

Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025

Mei 2025



gasunie
crossing borders in energy

tennet

coteq
NETBEHEER

ENEXIS
NETBEHEER

alliander

RENDONETWERKEN

STEDIN

westland
infra netbeheer

Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025

Mei 2025

Management-samenvatting

Introductie en doel

Hoe verwarmt Nederland woningen en bedrijfspanden? Welke energie benutten industrieën voor warmte, koude en datacenters? Welke energie drijft personenauto's, schepen en vrachtwagens aan? Vraag en aanbod van energie veranderen de komende jaren ingrijpend in elke sector, gedreven door de energietransitie, veranderende geopolitieke verhoudingen en maatschappelijke opgaven. Daarom brengen netbeheerders sinds 2020 periodiek met toekomstscenario's in beeld hoe het energiesysteem zich, op weg naar 2050, kan ontwikkelen in Nederland. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 geven meer inzicht in de relevante veranderingen en daarmee in de omvang en richting van de opgave voor netbeheerders.

Niet alleen netbeheerders, maar ook publieke en private partijen krijgen hiermee periodiek inzicht in de mogelijke ontwikkelingen van het Nederlandse energiesysteem. Door scenario's op te stellen en deze met stakeholders te bespreken en te toetsen, kan rekening worden gehouden met belangrijke onzekerheden en wordt het risico op over- of onderinvesteringen in de toekomst beperkt. Dit traject loopt tegelijk op met het tweejaarlijks investeringsplannen (IP) van de netbeheerders, die, op een termijn van 10 tot 15 jaar, inzicht geven op de investeringsopgave en -plannen. Op basis van deze informatie kunnen publieke en private partijen hun eigen beleids- en investeringsagenda opstellen.

Een periodieke update van deze scenario's is noodzakelijk, omdat vraag en aanbod van energie de komende decennia sterk veranderen. Sinds publicatie van de scenario's voor de investeringsplannen 2024 (IP2024) en de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050, 2^e editie) zijn belangrijke veranderingen: de publicatie van het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE); toegenomen geopolitieke onzekerheid, wijzigingen van het tempo van verduurzaming.

Daarnaast is feedback op de vorige scenario's verwerkt en zijn relevante cijfers geüpdatet op basis van recente markt- en technologiestudies, sectorale energietrajecten, politieke beleidsdocumenten en andere bronnen. Inzichten uit regionale energievisies zijn ook meegenomen. Dit helpt niet alleen bij aanscherping van de ontwikkelpaden van het energiesysteem tot 2050. Deze informatie is essentieel om

goed onderbouwde infrastructuurkeuzes te kunnen maken, beleid op te stellen en private investeringsbeslissingen te nemen.

De scenario's worden daarnaast ook gebruikt bij het:

- bepalen van investeringen in de energie-infrastructuur, zoals beschreven in de investeringsplannen van netbeheerders;
- bepalen van netcongestie;
- identificeren van de benodigde producten om flexibiliteit in het energiesysteem verder te ontsluiten, zoals nieuwe contractvormen en digitalisering;
- monitoren van de leveringszekerheid;
- aanjagen van maatschappelijk debat over de benodigde keuzes in het energiesysteem;
- ondersteunen van verkenningen van het energiesysteem en vele andere externe studies.

De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 stellen de netbeheerders en betrokkenen in staat om aan deze doelen invulling te geven vanuit een samenhangend en consistent raamwerk. De scenariostudie is uitgevoerd door Netbeheer Nederland, de brancheorganisatie voor alle energienetbeheerders. Gedurende het traject is met een brede groep stakeholders gesproken over de verhaallijnen van de scenario's, de conceptresultaten en de belangrijkste onzekerheden. Met de inbreng van deze stakeholders zijn de scenarioverhaallijnen aangescherpt. Net als de transitiepaden en hun tempo en daarmee het eindrapport.

Scenario's

In 2050 moet Nederland netto klimaatneutraal zijn. De ingrijpende transitie van het energiesysteem laat nu al zien dat niet alle stappen in dat proces vanzelf naadloos op elkaar aansluiten. In het vervolg van de transitie zijn verschillende routes mogelijk, elk met een andere impact op het energiesysteem. Om te komen tot de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is gewerkt met een PESTEL-analyse: een methodologie die politieke, economische, sociale, technische, ecologische en wettelijke trends, risico's, dilemma's en onzekerheden in kaart brengt. Uit de PESTEL-analyse volgt dat de volgende zaken van grote invloed zijn op hoe de transitie zich zal vormgeven:

- Een van de grootste onzekerheden bij de ontwikkeling van het energiesysteem is: welke **politieke** wind waait er op het wereldtoneel, in de Europese Unie en in Nederland? Internationale verhoudingen staan onder druk, tegelijkertijd sneuvelen heilige huisjes in Europa en maakt de nationale politiek haar eigen concrete keuzes. Voor de energietransitie moet nog veel beleid gevormd worden. Belangrijke vragen daarbij: welk deel van de overheid heeft de regie en hoe komt de sturing tot stand?
- Economische** factoren, zoals energieprijzen, subsidies, belastingheffingen en de handel in grondstoffen, bepalen de economische haalbaarheid van de transitie en het toekomstig verdienvermogen van Nederland. De beschikbaarheid van natuurlijke hulpbronnen (zoals kobalt, lithium en biograndstoffen) kan de transitieroute sterk beïnvloeden. Tegelijkertijd beïnvloeden de toekomstige energievraag, de concurrentie tussen energiebronnen, variabele energieprijzen en internationale verschillen de investeringskeuzes in de sector. Internationale spanningen en veiligheidsrisico's zorgen bijvoorbeeld voor extra investeringen in defensie, wat ook de mogelijke beschikbaarheid van kapitaal voor de energietransitie onder druk zet.
- De energietransitie is een **sociale** transitie en vraagt om een breed maatschappelijk draagvlak, waarbij gedragsverandering en een eerlijke kostenverdeling essentieel zijn voor succes. Zonder draagvlak en acceptatie kunnen zelfs de meest doordachte plannen tegenwind ondervinden. Daarom is het van cruciaal belang dat burgers, bedrijven en overheden samen de verantwoordelijkheid nemen om de transitie mogelijk te maken. De beschikbaarheid van arbeidskrachten vergt creatieve en innovatieve oplossingen.
- Ook **technologische** ontwikkelingen spelen een cruciale rol: de snelheid en schaalbaarheid van innovaties zoals waterstofelektrolyse, batterijopslag en CO₂-afvang zijn onzeker, net als de toekomstige rol van energieopslag en digitalisering. Deze onzekerheden onderstrepen het

belang van een dynamische benadering in de planning en uitvoering van de transitie. Voor leveringszekerheid is een nauwkeurige afstemming van vraag en aanbod op internationaal, nationaal en regionaal niveau noodzakelijk. Van groot belang hierbij is flexibel regelbaar vermogen in de vorm van opslag, conversie, aanbod- en vraagsturing en uitwisseling van energie met het buitenland. Daarmee kan er adequaat gereageerd worden op weersinvloeden en andere variabele factoren in het energiesysteem.

- De thema's klimaat en **milieu** spelen een belangrijke rol in de transitie. De impact van de energietransitie op de leefomgeving is een steeds belangrijker thema. Bijvoorbeeld bij wind-op-land of opslag van CO₂ onder de grond en het perspectief voor het gebruik van fossiele energie en grondstoffen.
- Consistent beleid en flexibele **regelgeving**, mede ondersteund door Europese samenwerking, is onmisbaar voor een geslaagde energietransitie. Consistentie op lange termijn in beleidsvoering is echter lastig te waarborgen in een dynamische en veranderende politieke en economische omgeving.

Naast deze uitgangspunten staan de belangrijke onzekerheden die in alle scenario's gelijkwaardig zijn opgenomen:

- De doelstellingen voor emissiereductie worden volgens plan gehaald. De scenario's laten daarmee zien wat er nodig is om de doelen te halen, welke keuzes daarin nog gemaakt kunnen worden, en – via de netimpactanalyses – welke infrastructuur daarvoor nodig is.
- De huidige netcapaciteit is zonder aanvullende maatregelen ontoereikend voor de grootschalige elektrificatie die nodig is in de komende jaren. Dit vraagt om aanzienlijke investeringen in de elektriciteitsnetten. Een robuuste en toekomstbestendige infrastructuur vormt de ruggengraat van het nieuwe energiesysteem. De scenario's nemen aan dat energie-infrastructuur op tijd beschikbaar is. De onzekerheid in de ontwikkeling van de energie-infrastructuur volgt uit de netimpactanalyses voor de investeringsplannen.
- De thema's klimaat en milieu spelen ook een belangrijke rol in de transitie, waarbij veranderingen in het weer – zoals warmer weer en variabele windcondities een rol spelen, maar ook extreem weer – en investeringen voor klimaatadaptatie een effect hebben op de ontwikkeling van het energiesysteem.

Door de verschillende mogelijke ontwikkelingen op deze thema's te vatten in logisch samenhangende verhalen en deze te kwantificeren ontstaan de volgende vier scenario's: Koersvaste Middenweg (KM), Eigen Vermogen (EV), Gezamenlijke Balans (GB) en Horizon Aanvoer (HA) (zie figuur 1).

Figuur 1 Scenario's.



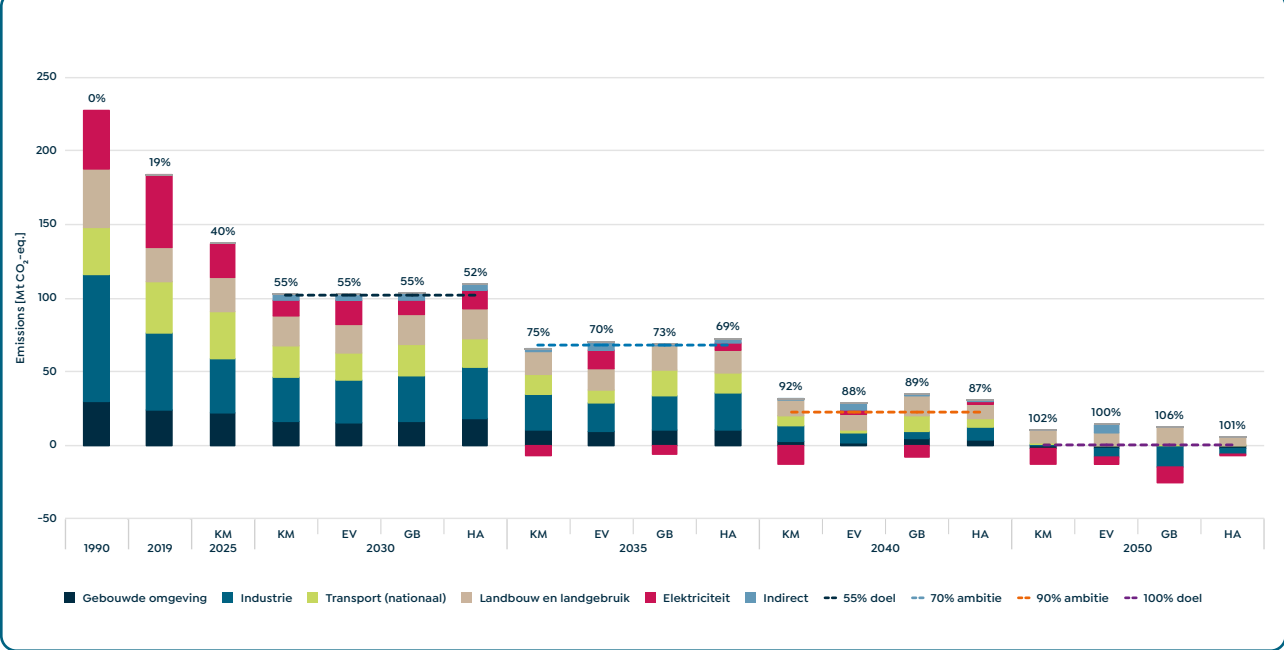
De scenario's hebben elk hun eigen accenten en uitgangspunten, wat leidt tot uiteenlopende invullingen van de energietransitie op regionaal, nationaal en internationaal niveau:

- Koersvaste Middenweg** schetst de verwachte koers van de energietransitie op basis van actuele trends, aangevuld met beleidsambities uit onder meer het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE), beleidsnota's en provinciale energievisies. Het scenarioteam heeft deze bronnen samengebracht tot een consistent scenario, dat voortbouwt op het scenario Klimaatambitie uit IP2024. Het scenario kenmerkt zich door een sterke en snelle elektrificatie van het eindverbruik, waarbij het totale energieverbruik in balans wordt gehouden door aanvullend gebruik van andere energiedragers.
- Eigen Vermogen** beschrijft een toekomst waarin Nederland qua politiek, beleid en markt sterk inzet op energie-autonomie en een hoge mate van zelfvoorzienendheid. Het scenario combineert elementen uit de scenario's Nationale Drijfveren uit IP2024 en Nationaal Leiderschap uit II3050-2^e editie, aangevuld met kenmerken uit Decentrale Initiatieven uit II3050-2^e editie. De opwek van duurzame elektriciteit groeit sterk, met een nadruk op zon- en windenergie. Er wordt maximaal ingezet op flexibiliteit, grootschalige warmtenetten en de inzet van groene waterstof. Er is sprake van een snelle elektrificatie van de industrie, mobiliteit en gebouwde omgeving, wat leidt tot een grote impact op de elektriciteitsinfrastructuur.
- Gezamenlijke Balans** schetst een toekomst waarin samenwerking en afstemming binnen Europa centraal staan, en is mede gebaseerd op de uitgangspunten van de scenario's Internationale Ambitie uit IP2024 en Europese Integratie uit II3050-2^e editie. De verduurzaming van vraagsectoren gebeurt via een hybride aanpak, met een belangrijke rol voor zowel elektrificatie als gas. De gasinfrastructuur blijft daarbij van groot belang, mede door de inzet van aardgas, groen gas, biobrandstoffen en blauwe waterstof. Het scenario kent daarnaast een hoge energiedoorvoer naar het buitenland, zodat ook buurlanden kunnen profiteren van de duurzame energie die via Nederlandse import beschikbaar komt.
- Horizon Aanvoer** bouwt voort op de scenario's Internationale Ambitie uit IP2024 en Internationale Handel uit II3050-2^e editie en gaat uit van een wereld waarin duurzame energie op grote schaal internationaal beschikbaar is. Nederland richt zich sterk op de import van energie en industriële halffabricaten, waardoor de energie-intensieve industrie deels verplaatst naar het buitenland en het finaal energieverbruik in Nederland laag blijft. Door deze importoriëntatie is de eigen productie van duurzame elektriciteit beperkt, en ligt de nadruk op internationale energieketens.

Ontwikkeling van broeikasgasemissies

De Nederlandse Klimaatwet heeft als doel de uitstoot van broeikasgasemissies te reduceren en op termijn een klimaat-neutrale samenleving te bereiken. De wet omvat nationale doelen voor verschillende zichtjaren en sectoren: voor 2030 is het reductiedoel een vermindering van broeikasgas-emissies met ten minste 55 procent ten opzichte van 1990.

Figuur 2 Broeikasgasuitstoot in CO₂-equivalenten.



In 2025 wordt er naar verwachting een reductie van 40 procent gerealiseerd ten opzichte van 1990, zie figuur 2. Alle vier de scenario's laten een reductie van broeikasgasemissies zien, dit betreft de reductie die zowel binnen als buiten het energiesysteem plaatsvindt. Gemiddeld bedraagt de reductie in 2030 54 procent en in 2050 103 procent. In bijna elk scenario, uitgaande van een gemiddeld weerjaar, worden de wettelijke en/of streefdoelen behaald. Een deel van de bruto emissies worden door de industrie en energiesector afgevangen. Dit zorgt ervoor dat de netto uitstoot van deze sectoren lager is en zelfs negatief kan worden. Voor de broeikasgasemissies buiten het energiesysteem, de veeteelt en landgebruik, zijn ook transitiescenario's opgesteld. Meer of minder emissie-reductie buiten het energiesysteem, heeft namelijk invloed op de emissiereductie en het tempo dat binnen het energie-systeem gerealiseerd moet worden om doelen te halen.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) verwacht in de Klimaat en Energieverkenning 2024 (K), dat zonder additionele maatregelen met snel effect, de reductie in 2030 circa 49 procent bedraagt. Bij het uitwerken van de

Voor 2035 hanteren de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 de ambitie van 70 procent reductie. De Europese Commissie adviseert (voorlopig) om de netto uitstoot van broeikasgassen in 2040 met 90 procent te verminderen. Tenslotte streeft de Europese Unie naar klimaatneutraliteit in 2050. Dit betekent dat de netto uitstoot van broeikasgassen dan tot nul is gereduceerd. Figuur 2 geeft per scenario een indicatie van de verwachte restemissies bij een gemiddeld weerjaar en de procentuele reductie voor elk scenario.

Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 voor 2030 is dus verondersteld dat het nodige additionele beleid er komt. In de rapportage worden de resultaten van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met de KEV en de scenario's van IP2024 vergeleken en worden verschillen toegelicht. Voor latere zichtjaren zijn de resultaten met het NPE en de vorige II3050-2^e editie, vergeleken.

De ontwikkeling van de energievraag en het energieaanbod

De **totale energievraag** in Nederland daalt naar verwachting met 10 procent tot 30 procent tussen nu en 2050.¹ Dankzij energiebesparing als gevolg van bijvoorbeeld isolatie en verhoogde efficiëntie, daalt de energievraag. Maar de omvang van de energie-intensieve industrieën speelt een doorslaggevende rol in de totale energievraag. De vraag van deze sector is in belangrijke mate bepalend voor de benodigde duurzame energieopwekking, flexibilitieitsmiddelen en hoofdinfrastructuur.

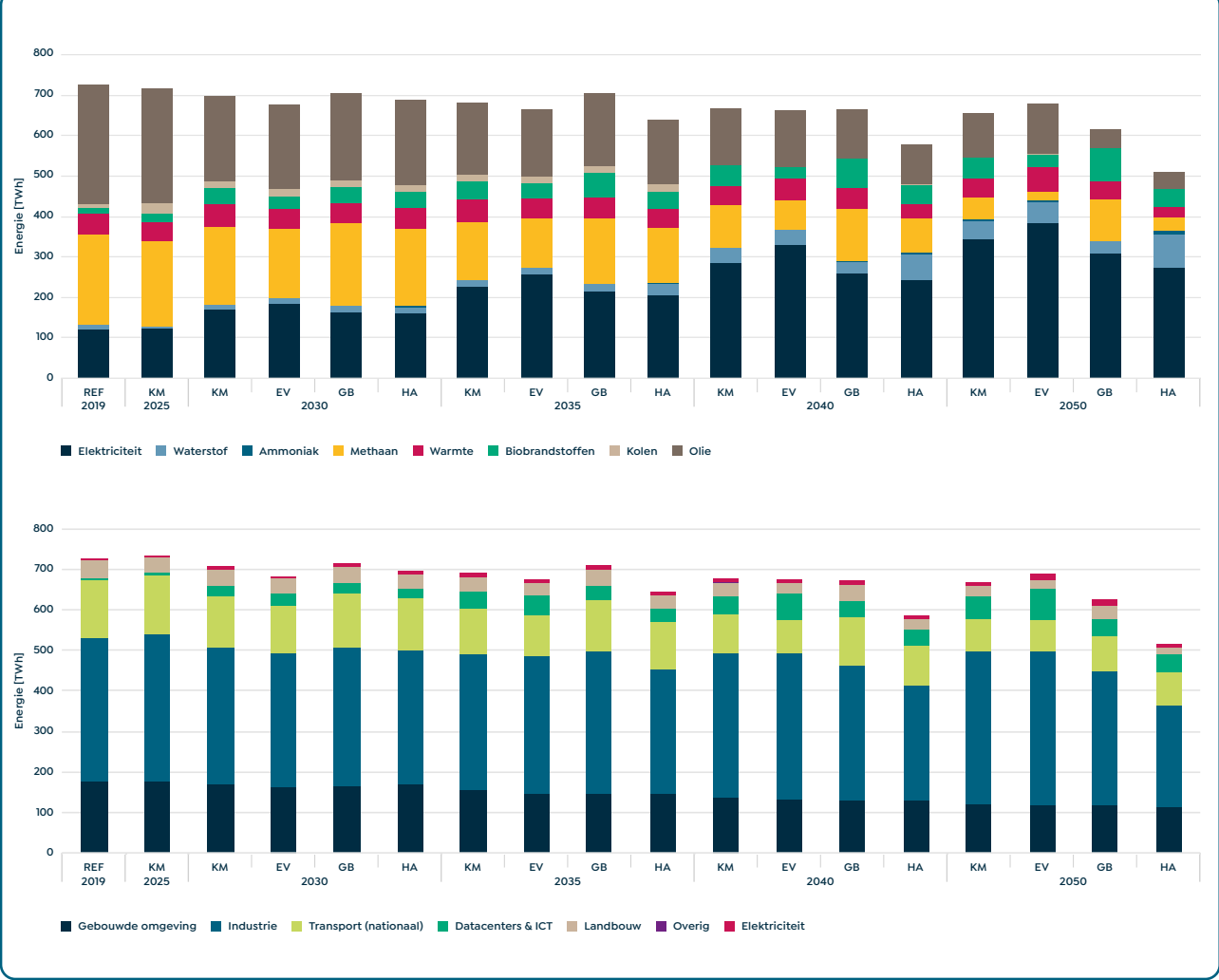
In scenario Horizon Aanvoer verplaatsen energie-intensieve processen zich naar regio's met voordeliger duurzame energie, terwijl de andere scenario's meer inzetten op het verduurzamen van bestaande industriële locaties.

Door de toenemende elektrificatie van de eindverbruikers-sectoren stijgt de finale elektriciteitsvraag fors, met een verdubbeling tot verdriedubbeling ten opzichte van nu. Daarnaast neemt de vraag naar waterstof en biobrandstoffen sterk toe. Waterstof wordt niet alleen ingezet als brandstof en grondstof voor de industrie en in enkele scenario's voor de hybride verwarming van gebouwen, het heeft ook een systeemrol voor balancerende van het stroomnet. De vraag naar biobrandstoffen kent net als bij waterstof een dynamische ontwikkeling. Tot 2040 groeit de behoefte aan biodiesel voor zwaar transport, waarna in 2050 een verschuiving optreedt naar biokerosine voor de internationale luchtvaart. Tevens worden steeds meer biogene en gerecyclede grondstoffen in de industrie gebruikt, bijvoorbeeld in raffinaderijen en de chemie.

De mate waarin het grondstoffensysteem wordt verduurzaamd, verschilt per scenario en hangt sterk af van de beschikbaarheid van biomassa, plastic afval, etc.

Het verbruik van olie- en olieproducten neemt af door de overstap naar elektrische voertuigen en waterstof. Tevens neemt het gebruik van pyrolyseolie in de industrie toe. Vanwege het beperkte aanbod van geschikt afval voor chemische recycling, wordt een aanzienlijk deel van dit materiaal geïmporteerd. De vraag naar aardgas en steenkool voor elektriciteitsopwekking daalt aanzienlijk als gevolg van de transitie. In het scenario Gezamenlijke Balans is nog wel een significante methaanvraag voorzien, om blauwe waterstof te maken en voor de hybride warmtepomp. Uitstoot vanwege inzet van aardgas wordt via CCS elders in het systeem gecompenseerd. In 2050 worden woningen verwarmd door een combinatie van elektriciteit, warmtenetten en mogelijk waterstof of groen gas, waarbij groen gas vooral een rol blijft spelen voor het opvangen van piekbelastingen in hybride systemen. Zie figuur 3.

Figuur 3 Ontwikkeling finale vraag per bron en sector, in TWh per scenario.



¹ De weergegeven cijfers in de figuren zijn exclusief de transformatie input (grondstoffen) voor hernieuwbare brand- en grondstoffenproductie. In het primair aanbod is de energiestroom wel meegenomen, wat maakt dat het aanbod in 2050 fors hoger ligt. In de vorige editie van de scenario's was de transformatie input voor bijvoorbeeld synthetische brandstoffenproductie (o.a. waterstof) wel als eindverbruik in de industrie meegeteld. Dit maakt dat het eindverbruik tussen beide scenario edities niet één op één te vergelijken is.

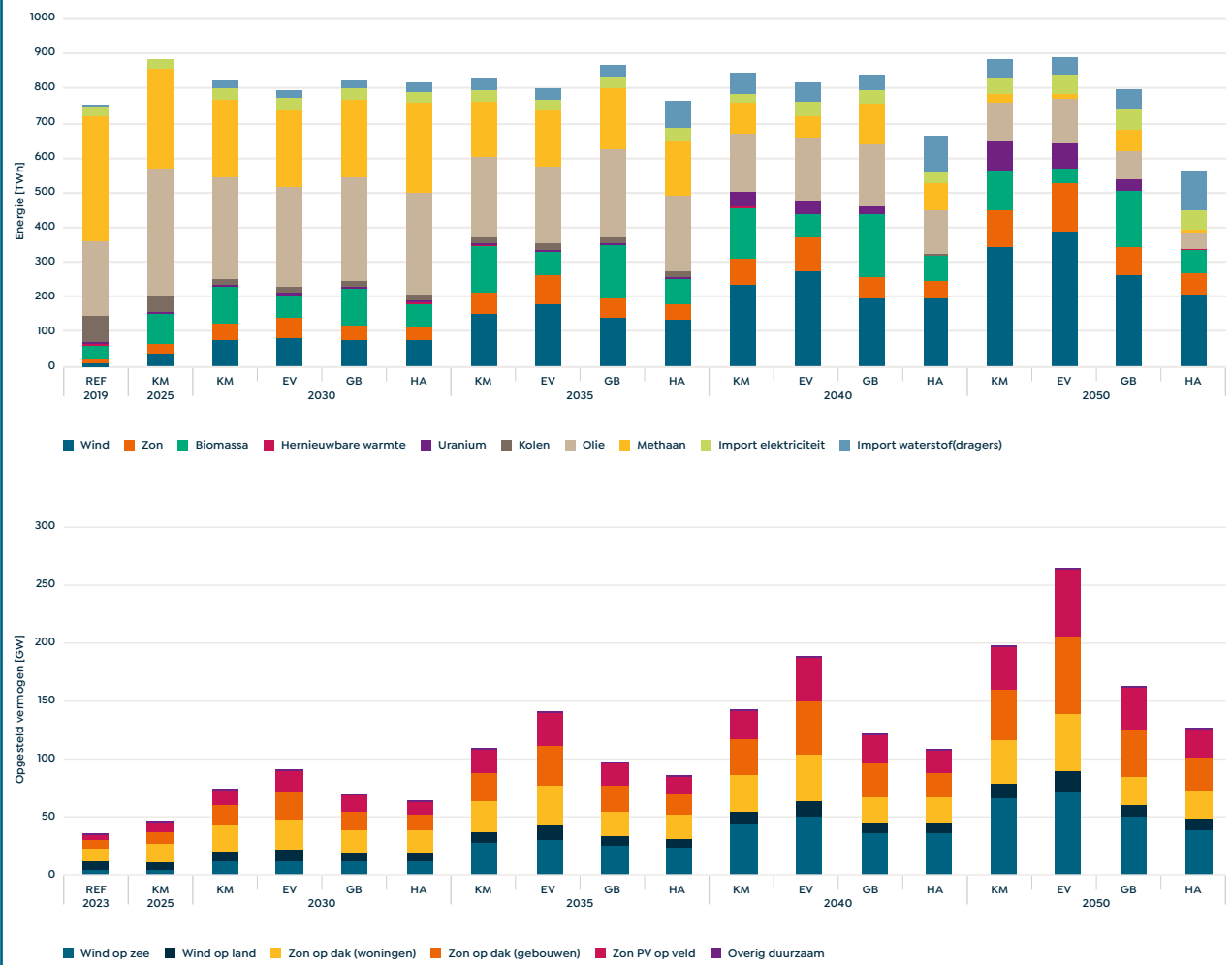
Het **totale energieaanbod** verandert de komende jaren ingrijpend, waarbij de huidige mix van fossiele brandstoffen plaatsmaakt voor een duurzame energiemix in 2050. In dit nieuwe systeem levert hernieuwbare elektriciteit de overgrote meerderheid van het duurzame energieaanbod. Met name windenergie, met een capaciteit van 39 tot 73 GW, vormt de ruggengraat van het primaire aanbod, 40-50 procent. Daarnaast zorgt zon-PV met een opwekcapaciteit van 75 tot 170 GW ook voor veel hernieuwbare energie: 10-15 procent. Dit verschil in percentage komt door het lagere aantal effectieve zonuren in Nederland, vergeleken met het aantal winduren. Belangrijke kanttekening bij de opwekcapaciteit van zon-pv is, dat het piekaansluitvermogen van zon-PV op de elektriciteitsnetten door de toepassing van overplanting rond de helft lager uitvalt dan het genoemde opwekcapaciteit (afhankelijk van de toepassing en het scenario).

De binnenlandse productie van groen gas bedraagt in 2050 naar schatting 25-50 TWh en blijft essentieel in specifieke sectoren. Vooral voor de warmtevraag in de gebouwde omgeving en de industrie, waarvoor gasbergingen een cruciale rol spelen om piekbelastingen in de winter op te vangen.

In eerste instantie komt waterstof grotendeels vanuit Steam Methane Reformers (SMR) on-site en restgassen uit de industrie. Richting 2030 wordt een groei verwacht in de productie van groene waterstof, met een capaciteit die groeit van 1 à 3 GW in 2030 naar 14 tot 35 GW, op land en op zee, in 2050.

Door de strategische ligging ontwikkelt Nederland zich tot een waterstofdoorvoerland. De import en export van waterstof is daarom een belangrijke energiestroom die de doorvoer van fossiele brandstoffen vervangt: in 2030 wordt een volume van 10 tot 30 TWh geïmporteerd. In 2050 neemt dat toe naar 150-300 TWh. Zie figuur 4.

Figuur 4 Ontwikkeling primair aanbod (in TWh) en duurzaam vermogen (in GW) per scenario.

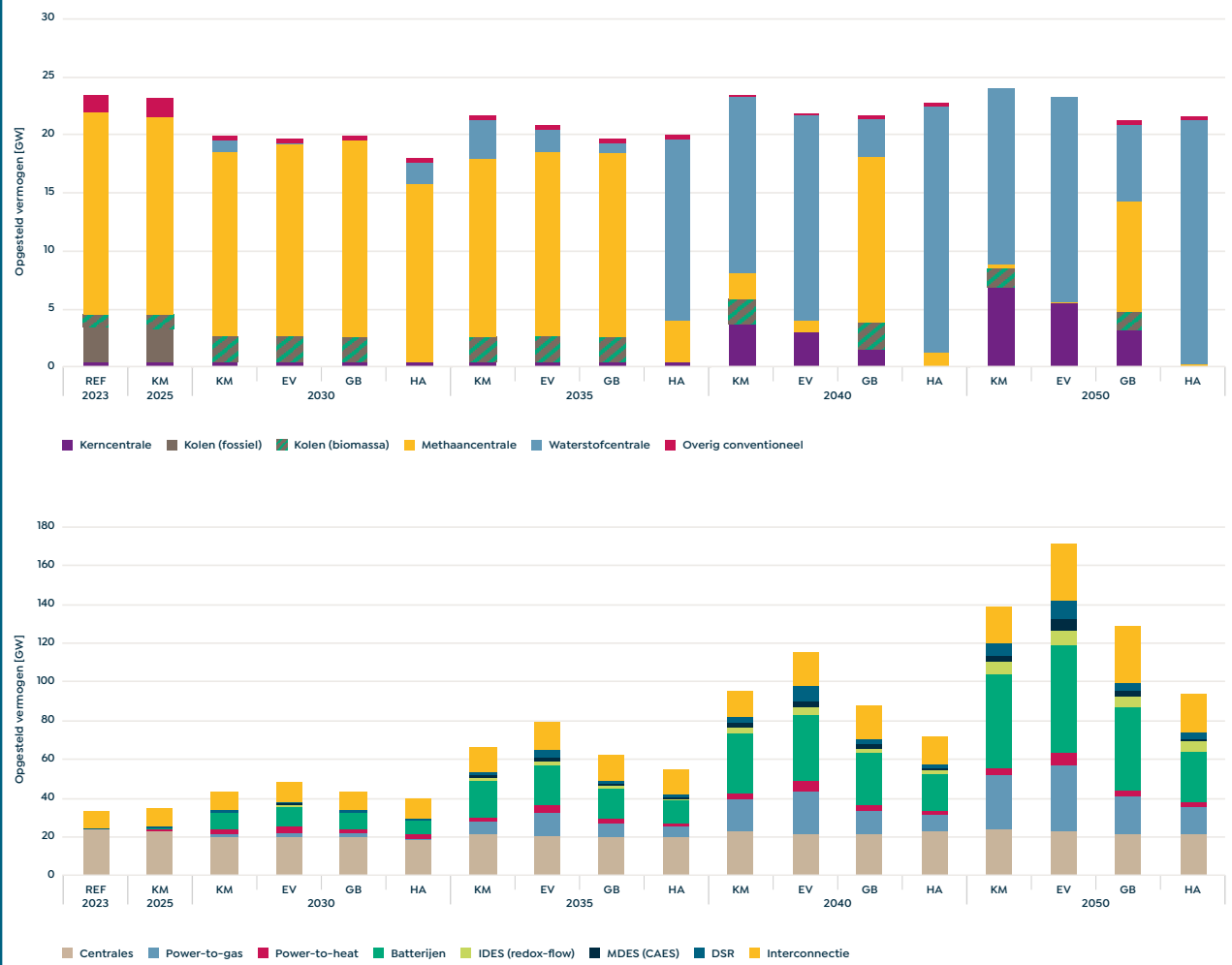


Het opgesteld **regelbaar vermogen voor elektriciteit** blijft grotendeels gelijk gedurende de transitie. De geleverde energie neemt wel aanzienlijk af. Aardgas en groen gas spelen gedurende de transitieperiode van 2030 tot 2040 nog een belangrijke rol in het Nederlandse energiesysteem. Naarmate de energietransitie vordert, neemt het gebruik van gas in drie van de vier scenario's af, met als uitzondering het scenario Gezamenlijke Balans, waar een grote rol voor groen gas is weggelegd. De rol van centrales op aardgas en andere fossiele brandstoffen wordt grotendeels overgenomen door waterstofcentrales, flexibele bronnen en kerncentrales.

Naast regelbaar en weersafhankelijke productie van elektriciteit is **flexibel vermogen** onmisbaar in het

toekomstige energiesysteem, dat grotendeels geëlektrificeerd is. De toenemende inzet van weersafhankelijke wind- en zonne-energie, veroorzaakt grote schommelingen in het energieaanbod. Deze ontwikkeling vraagt om een systeem dat dynamisch meebeweegt met de variabele energieproductie. Dit vereist sturing en er moeten investeringen worden gedaan om de balans in vraag en aanbod te waarborgen. De capaciteit om tekorten, met name op de vroege avond en koude winterdagen, op te vangen moet fors groeien. Daarbij is efficiënt benutten van overschotten noodzakelijk. Een breed scala aan flexibiliteitsmiddelen – niet alleen binnen het elektriciteitssysteem maar ook voor de integratie van andere energiedragers zoals waterstof en warmte – is ook essentieel om seizoensverschillen op te vangen. Zie figuur 5.

Figuur 5 Ontwikkeling regelbaar en flexibel vermogen, in GW per scenario.



Reflectie op de resultaten

De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 laten zien hoe het energiesysteem verandert als de klimaatdoelstellingen volgens plan gehaald worden. Deze scenario's maken zo duidelijk waar belangrijke vraagstukken voor de energietransitie ontstaan. Uit de resultaten komen belangrijke lessen naar voren:

Structuur industrie onderscheidende factor tussen de scenario's

Het energiesysteem van de toekomst wordt voor een groot deel bepaald door de industriële activiteiten. Meer specifiek: door de omvang, de afhankelijkheid van import en de manier waarop de industrie in Nederland verduurzaamt. Blijft er in Nederland grote capaciteit voor olieraffinage? Of wordt die capaciteit vervangen door biogene of synthetische productie? Voor de productie van duurzame brand- en grondstoffen is veel hernieuwbare energie nodig. Het vereist ook investeringen. Maar dat vergroot wel de strategische autonomie van Nederland. Zo hebben ook keuzes door de basischemie grote impact op het energiesysteem en op de rol van Nederlandse zeehavens. Bijvoorbeeld voor al dan niet verplaatsen van energie-intensieve deelprocessen naar het buitenland. De keuzes die nu worden gemaakt voor energiebronnen en leveringszekerheid, bepalen of Nederland zich kwetsbaar maakt of juist zijn strategische autonomie vergroot.

Meer regelbaar productievermogen nodig om tekorten in het elektriciteitssysteem te voorkomen

De ontwikkeling van het aanbod van duurzame elektriciteit vertraagt, terwijl de vraag wel blijft groeien. Windprojecten op zee en land vertragen, zonneparken lopen aan tegen netcongestie en uitblijven van vergunningen, zon-op-dak vertraagt door onzekerheid in beleid. Zonder versnelling moeten bestaande centrales langer operationeel blijven of meer draaiuren maken om in de groeiende behoefte aan elektriciteit te voorzien. In de scenario's is bijvoorbeeld gekozen om in 2030 kolencentrales open te houden, al gaan ze dan wel biomassa stoken. Tevens is nieuw

gasgestookt vermogen toegevoegd voor extra aanbod en als structurele oplossing voor flexibiliteit en netbalancing. Vanaf 2030 start het aanpassen van gascentrales voor de inzet van waterstof.

Extra flexibiliteit nodig om het systeem te balanceren

Een duurzaam energiesysteem vereist een grote hoeveelheid aan flexibele bronnen om vraag- en aanbod van energiedragers op ieder moment in balans te houden. Er is een inschatting gemaakt van de verwachte volumes en vermogens van flexibele assets in het systeem, op basis van bestaande klantenassets, bekende projecten, studies en onderzoek naar markt- en technologie trends. De assets blijken in veel gevallen nog onvoldoende om het energiesysteem in de scenario's volledig in balans te houden. Dat betekent dat er op sommige momenten overschotten of tekorten ontstaan die niet kunnen worden opgevangen. In de uitwerking van de scenario's zijn daarom extra flexibiliteitsmiddelen aan het systeem toegevoegd. Met name meer of sneller realiseren van vermogen met nieuwe gas- of waterstofcentrales, sturen op hogere vraag, en extra grootschalige opslag van elektriciteit. Daarmee is er meer flexibiliteit aangenomen dan op dit moment verwachten kan worden. Deze extra flexibiliteit is nodig om het energiesysteem te kunnen laten werken. Het is ook noodzakelijk om te onderzoeken welke maatregelen nodig zijn om in de toekomst wel voldoende flexvermogen in het energiesysteem beschikbaar te maken. Dat kan bijvoorbeeld door het financieel ondersteunen van onrendabele flexibiliteit, het verbeteren van marktcondities, of aanvullende regulering.

Toekomstig energiesysteem vraagt om investeringen en daarom een passende markt

De kosten van een duurzaam energiesysteem zijn naar alle waarschijnlijkheid hoger dan van het huidige systeem. Hoeveel hoger de kosten worden, is zeer sterk afhankelijk van het referentiejaar, de prijsontwikkelingen en de kosten voor investeringen. De energietransitie veroorzaakt een verschuiving van een OPEX-gedreven energiesysteem naar een CAPEX-gedreven systeem. Het is sterk de vraag

of de marktmodellen en regulering die in de afgelopen decennia ontwikkeld werd, geschikt zijn om publieke en private partijen aan te zetten tot investeren en financieren van deze schaa sprong. Een nadere analyse is nodig om volledig inzicht te krijgen in de financiële impact per scenario. Die analyse kan verhelderen wat de kosten zijn voor niets doen en wat de kosten zijn voor het uitvoeren van de scenario's. Daarbij hoort ook bijpassende regulering en de verdeling van kosten in de nieuwe energiesystemen.

Sterke en snelle groei datacenters niet baseload in te passen

Om in de groeiende behoefte aan digitalisering en clouddiensten te voorzien, is een wereldwijde groei van het aantal datacenters verwacht. Op basis van bestaande klantaanvragen en trends stijgt de verwachte vraag van datacenters in Nederland enorm, in 2050 met 40 tot 70 procent ten opzichte van het huidige elektriciteitsverbruik van Nederland. Deze vraag is niet in te passen, in combinatie met de groeiende elektriciteitsvraag van alle andere sectoren. De scenario's gaan daarom uit van een groter aandeel flexibel stuurbare vraag van datacenters dan nu door de markt wordt verwacht. Dat aandeel bedraagt 25 tot 40 procent reductie op piekmomenten. Een gedegen strategie en visie is nodig, zodat het energiesysteem kan omgaan met de verwachte groei en het verbruik van datacenters in Nederland. Belangrijke aspecten daarbij: sturen op temporisering, locatie binnen of buiten Nederland en prijsprikkels die zorgen voor flexibiliteit van de elektriciteitsvraag.

Andere systeemkeuzes maken om aan te sluiten bij emissiedoelstellingen

Recent valt een vertraging op in diverse verduurzamings-trends. Voorbeelden: het tempo van de warmtetransitie, ontwikkelingen van opwek en gebruik van groene waterstof, door achterblijvende beleid, technische en economische omstandigheden en netcongestie. Met name in scenario Horizon Aanvoer, maar ook in de andere scenario's, is het onzeker of de emissiedoelstellingen daadwerkelijk bereikt worden. In de scenario's is ervoor gekozen

zoveel mogelijk realistische bandbreedtes te bepalen die aansluiten bij huidige trends. Om aan te sluiten bij de emissiedoelstellingen van 2030 en 2050 is in de scenario's een aantal aanvullende systeemkeuzes gemaakt. Voorbeelden van de aanvullende systeemkeuzes zijn:

- CO₂-afvang bij biomassagestookte kolencentrales en afvalverwerkingsinstallaties (AVI's), waar van toepassing in alle scenario's voor 2030.
- Een progressieve groei van de productie van biobrandstoffen bij de opschaling van biobrandstoffen voor mobiliteit om aan de derde versie van de Europese richtlijn voor hernieuwbare energie (REDIII) te voldoen in alle scenario's voor 2030.
- Toepassen van biochar en het toepassen van direct air capture in 2050 in scenario Eigen Vermogen.
- Een aangenomen versnelling van de emissiereductie van sectoren die buiten het energiesysteem vallen. Eventuele versnelling of vertraging hier heeft ook impact op de opgave en het tempo van de energietransitie, toegepast in alle scenario's van 2030 tot 2050.

Vervolg

De vier scenarioverhaallijnen vormen een gedeeld vertrekpunt voor nadere analyses en besluitvorming bij de toekomstige inrichting van het energiesysteem. Op basis hiervan zetten de afzonderlijke leden van Netbeheer Nederland vervolgstappen, waaronder het opstellen van hun eigen investeringsplannen (IP2026). Verder vindt de komende periode verdiepend onderzoek plaats naar de impact van de scenario's in het kader van II3050. Ook worden varianten op de scenario's verkend om beter inzicht te krijgen in de risico's van andere toekomsten. Tot slot wordt actief afgestemd met partijen zoals ENTSG, ENTSO-E, het Rijk, regio's en andere stakeholders om de scenario's verder te verrijken en te verbinden aan beleidsprocessen. Zo ontstaat een gezamenlijk en consistent fundament voor de strategische keuzes die nu nodig zijn voor het klimaatneutrale energiesysteem van de toekomst.

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	4	3.7.3 Overige impact	87
		3.7.4 Varianten Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025	88
Begrippen	18		
Afkortingenlijst	19	Hoofdstuk 4. Kwantificatie per sector	90
Eenheden	19	4.1 Gebouwde omgeving	91
		4.1.1 Samenvatting	91
		4.1.2 Verhaallijn en trends in de sector	93
		4.1.3 Nationale kwantificatie	94
		4.1.4 Gebruik sectorale data nationale programma's (NAL, CES, NPRES, TVWs)	102
		4.1.5 Regionalisering	102
		4.1.6 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE	103
Hoofdstuk 1. Inleiding en leeswijzer	20	4.2 Mobiliteit	105
1.1 Doel scenariostudie	22	4.2.1 Samenvatting	105
1.2 Werkproces & methode in het kort	22	4.2.2 Verhaallijnen en trends in de sector	106
1.3 Volgende stappen	24	4.2.3 Personenvervoer	108
1.4 Leeswijzer	24	4.2.3.1 Algemene ontwikkelingen	108
		4.2.3.2 Openbaar vervoer	110
		4.2.3.3 Trein	111
		4.2.3.4 Klein personenvervoer	111
		4.2.4 Nationaal vrachtvervoer	112
		4.2.4.1 Trucks en bestelauto's	112
		4.2.4.2 Mobiele werktuigen in de bouw	114
		4.2.4.3 Nationale scheepvaart	114
		4.2.5 Internationale Lucht- en Scheepvaart	117
		4.2.5.1 Internationale scheepvaart	117
		4.2.5.2 Walstroom	120
		4.2.5.3 Internationale luchtvaart	121
		4.2.5.3.1 Trend	121
		4.2.6 Brandstofmix	122
		4.2.6.1 RED-III en alternatieve brandstoffen	122
		4.2.6.2 Implementatie RED-III in Nederland	122
		4.2.6.3 Kwantitatieve implementatie scenario's	122
		4.2.7 Regionalisering	123
		4.2.8 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024, en NPE	124
		4.2.8.1 Vergelijking Nationaal Plan energiesysteem	125
Hoofdstuk 2. Scenario's	26	4.3 Industrie	126
2.1 Uitgangspunten	27	4.3.1 Samenvatting	126
2.1.1 Algemene uitgangspunten	27	4.3.2 Verhaallijn en trends in de sector	127
2.1.2 Onderscheidende onzekerheden voor de scenario's	28	4.3.3 Methode en gebruik van sectorale data	129
2.2 Kwalitatieve beschrijving van de scenario's	30	4.3.3.1 Cluster energie strategie 3.0	129
2.2.1 Scenario Koersvaste Middenweg (KM)	31	4.3.3.2 RNB-data	130
2.2.2 Scenario Eigen Vermogen (EV)	33	4.3.3.3 Cluster completion	133
2.2.3 Scenario Gezamenlijke Balans (GB)	35	4.3.4 Nationale kwantificatie	135
2.2.4 Scenario Horizon Aanvoer (HA)	37	4.3.5 Kwantificering per sector	137
2.3 Implicaties voor keuzes transitie energiesysteem	39	4.3.5.1 Papier	137
		4.3.5.2 Voedsel	138
		4.3.5.3 Raffinaderijen	138
		4.3.5.4 Chemie	140
		4.3.5.5 Metaal	141
		4.3.5.6 Aluminium	141
		4.3.5.7 Staal	142
		4.3.5.8 Overige industrie	143
		4.3.6 Regionalisering	143
Hoofdstuk 3. Resultaten Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025	42		
3.1 Tijdshorizon en steekjaren van kwantificering	44		
3.2 Resultaat per scenario	45		
3.2.1 Voornaamste kengetallen van de scenario's	45		
3.2.2 Stroomschema's energiesysteemsscenario's 2050	50		
3.3 Kwantificatie totaaloverzicht	52		
3.3.1 Ontwikkeling uitstoot broeikasgassen	52		
3.3.2 Eindgebruik van energie	52		
3.3.3 Primaire energiebronnen	54		
3.3.4 Transformatie van energie	55		
3.4 Kwantificatie energiebronnen- en dragers	56		
3.4.1 Elektriciteit	56		
3.4.2 Waterstof	58		
3.4.3 Methaan	60		
3.4.4 Warmte	62		
3.4.5 Flexibiliteit, opslag, transport en conversie	63		
3.4.6 Koolstof	65		
3.4.7 Duurzame brand- en grondstoffen en de CO ₂ -balans	66		
3.5 Kwantificatie per sector	69		
3.5.1 Gebouwde omgeving	69		
3.5.2 Mobiliteit	71		
3.5.3 Landbouw	73		
3.5.4 Industrie	74		
3.5.5 Datacenters	76		
3.6 Vergelijking resultaten met andere scenario's	77		
3.6.1 Vergelijking met PBL KEV2024	77		
3.6.2 Vergelijking met de scenario's van II3050v2	79		
3.6.3 Nationaal Plan Energiesysteem	84		
3.7 Voornaamste onzekerheden, dilemma's en overige impact	85		
3.7.1 Voornaamste onzekerheden	85		
3.7.2 Uitdagingen, dilemma's en systeemkeuzes	86		

Inhoudsopgave

4.4 Datacenters	147	4.8 Groen gas en biogrondstoffen	213
4.4.1 Samenvatting	147	4.8.1 Samenvatting	213
4.4.2 Verhaallijnen en trends in de sector	147	4.8.2 Verhaallijnen en trends in de sector	213
4.4.3 Nationale kwantificatie	148	4.8.3 Nationale kwantificatie	215
4.4.4a Gebruik sectorale data nationale programma's	150	4.8.4 Regionalisering	218
4.4.4b Regionalisering	152	4.8.5 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE	219
4.4.4c Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE	152		
4.5 Kwantificatie per sector – Landbouw	154	4.9 Aanbod waterstof	220
4.5.1 Samenvatting	154	4.9.1 Samenvatting	220
4.5.2 Verhaallijnen en trends in de sector	154	4.9.2 Verhaallijnen en trends per sector	220
4.5.3 Nationale kwantificatie	155	4.9.3 Nationale kwantificatie	222
4.5.3.1 Bronnenmix en opgestelde vermogens	157	4.9.4 Gebruik sectorale data nationale programma's, NAL, CES, NPRES, TVWs	232
4.5.4 Gebruik sectorale data nationale programma's	162	4.9.5 Transparantie gebruik sectordata in Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025	232
4.5.4.1 Visiedocument Glastuinbouw Nederland	162	4.9.6 Afslagen	232
4.5.5 Regionalisering	163	4.9.7 Regionalisering	232
4.5.6 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE	164	4.9.8 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE	233
4.6 Opwek Elektriciteit	166	4.10 Warmtenetten	236
4.6.1 Samenvatting	166	4.10.1 Samenvatting	236
4.6.2 Verhaallijnen en trends in de sector	166	4.10.2 Verhaallijnen en trends in de sector	236
4.6.2.1 Algemene trends, ontwikkelingen en onzekerheden	166	4.10.2.1 Introductie	236
4.6.2.2 Verhaallijnen van de scenario's	167	4.10.2.2 Verhaallijnen voor de warmtenetten	237
4.6.3 Nationale kwantificatie	170	4.10.2.3 Trends in warmtenetten	238
4.6.3.1 Hernieuwbare opwek – wind-op-zee	170	4.10.2.4 Trends in warmtebronnen voor warmtenetten	239
4.6.3.2 Hernieuwbare opwek – wind-op-land	172	4.10.2.5 Trends in warmteopslag	239
4.6.3.3 Hernieuwbare opwek – zon-PV op daken en op land	174	4.10.3 Nationale kwantificatie	240
4.6.3.4 Hernieuwbare opwek – biomassa elektriciteitsproductie, AVI's en waterkracht	179	4.10.3.1 Inleiding	240
4.6.3.5 Conventionele productie – Kernenergie	180	4.10.3.2 Vraag naar warmte via warmtenetten	240
4.6.3.6 Conventionele productie – Kolencentrales	181	4.10.3.3 Overzicht kwantificatie warmtebronnen	241
4.6.3.7 Conventionele productie – Gascentrales (methaan en waterstof)	182	4.10.3.4 Geothermie	242
4.6.4 Gebruik sectorale data nationale programma's (RES en CES)	185	4.10.3.5 Restwarmte	243
4.6.4.1 RES	185	4.10.3.6 Zonthermie	243
4.6.4.2 CES 3.0 als input voor WKK-vermogen	185	4.10.3.7 Power-to-heat: e-boiler en warmtepomp	244
4.6.5 Regionalisering	186	4.10.3.8 Aquathermie	244
4.6.5.1 Inleiding	186	4.10.3.9 Aanbod: middenlast en pieklast bronnen	245
4.6.5.2 Hernieuwbare opwek – Wind-op-land en zee	186	4.10.3.10 Warmteopslag	246
4.6.5.3 Hernieuwbare opwek – zon-PV op daken en op land	186	4.10.4 Gebruik sectorale data nationale programma's	247
4.6.5.4 Conventionele productie en overige hernieuwbare productie	187	4.10.5 Regionalisering	247
4.6.6 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE	187	4.10.6 Vergelijking met IP2024, II3050v2 en KEV2024	250
4.6.6.1 Kwantitatieve vergelijkingen: wat zijn verschillen en waarom?	187	4.10.6.1 Vergelijking met IP2024 / II3050v2	250
		4.10.6.2 Vergelijking met KEV2024	252
4.7 Flexibiliteit	191	Hoofdstuk 5. Werkproces en methode	254
4.7.1 Inleiding	191	5.1. Typologie van de scenario's	255
4.7.2 Behoeftte aan flexibiliteit	192	5.2. Werkproces en stakeholderproces	256
4.7.3 Flexibiliteit ten behoeve van elektriciteit	195	5.3. Methode scenarioselectie	257
4.7.4 Flexibiliteit ten behoeve van waterstof	206	5.4. Kwantificering van de scenario's	260
4.7.5 Flexibiliteit ten behoeve van methaan	208		
4.7.6 Flexibiliteit ten behoeve van warmte	209	Bijlage genodigdenlijst	262
4.7.7 Aanvullende flexibiliteit ten behoeve van systeembalans	210		
4.7.8 Vergelijking IP2024, II3050v2 en KEV2024	211	Inhoudelijke bijlagen	266
		Bijlage vergelijking energieviesies en concept KM-2026	274

Begrippen

Begrip	Definitie
Blauwe waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie (aardgas of restgassen) in combinatie met afvang van CO ₂
Cluster 6	Industrie buiten de vijf grote Nederlandse inudstrieclusters (Chemelot, Noord Nederland, Noordzeekanaalgebied, Rotterdam-Moerdijk en Zeeland)
e-boiler	Elektrische boiler voor de productie van warmte
Groen gas	Gas geproduceerd uit organisch materiaal (biogas) dat is opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit zodat het kan worden geïnjecteerd in het aardgastransportnetwerk.
Groene waterstof	Waterstof geproduceerd uit duurzame elektriciteit door middel van elektrolyse
Kwantificering	Kwantitatieve, getalsmatige, uitwerking van de ontwikkelroute met meerdere steekjaren in het scenario
Scenario	Een mogelijke ontwikkelroute richting een klimaatneutraal energiesysteem, kwalitatief en kwantitatief beschreven
Scenarioverhaallijn	Kwalitatieve beschrijving van de ontwikkelroute naar een klimaatneutraal energiesysteem
Steekjaren	Jaren waarvoor de scenario's kwantitatief worden uitgewerkt

Afkortingenlijst

Afkorting	Definitie		
EAF	Electric Arc Furnace	II3050	Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050
AVI	Afval verbrandingsinstallatie	IP	Investeringsplan
BECCS	Bio-energy Carbon Capture & Storage; afvang van biogene CO ₂ ten behoeve van negatieve emissies	KEV	Klimaat & Energie Verkenning van het planbureau voor de leefomgeving
BWE	Productie van hernieuwbare brand- en grondstoffen uit elektriciteit, afvalstromen of biomassa (biomass, waste, electricity)	LNB	Landelijk netbeheerder
CCUS	Carbon Capture for utilisation & Storage; verzamelterm voor afvang van CO ₂ voor gebruik (CCU) of opslag (CCS)	NDA	Non disclosure agreement
CES	Cluster Energy Strategie	NEa	Nationale Emissieautoriteit
COP	Coefficient of performance	NPE	Nationaal Plan Energiesysteem
CO	Koolstofmonoxide	NZKG	Noordzeekanaalgebied
CO₂	Koolstofdioxide	RNB	Regionale netbeheerder
CTM	Carbon Transition Model van Kalavasta	PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
DAC	Direct Air Capture	PV	Photovoltaic; zonnepaneel
DRI	Direct Reduced Iron	RES	Regionale Energie Strategie
DSR	Demand Side Response, vraagsturing	SBI	Standaard Bedrijfsindeling, coderingsstelsel waarmee sector wordt aangeduid waarin een bedrijf opereert.
DSH	Data Safe House	SDE	Stimulering Duurzame Energieproductie
EAF	Electric Arc Furnace,	SMR	Steam methane reforming; productie van waterstof uit aardgas of industriële restgassen, al dan niet met afvang van CO ₂
EAN	European Article Numbering, unieke codering van een netaansluiting		Deze afkorting wordt ook gebruikt voor een Small Modular Reactor, oftewel een kleinschalige kerncentrale
ETM	Energietransitiemodel van Quintel		Warmte Kracht Koppeling
ETS	EU Emissions Trading System		
H₂	Waterstof	WKK	
HNS	HyNetwork Services; de landelijk netbeheerder voor waterstof in Nederland		

Eenheden

Afkorting	Definitie
Bcm	Billion cubic meter; miljard kubieke meter
GW	Gigawatt
Mton	Megaton; miljard kilogram
MW	Megawatt
TWh	Terawattuur

Hoofdstuk 1.

Inleiding en leeswijzer

Netbeheerders maken toekomstscenario's die in beeld brengen hoe het energiesysteem zich tot 2050 kan ontwikkelen in Nederland. Van woningbouw tot wind-op-zee, van mobiliteit tot industrie; in elke maatschappelijke sector veranderen vraag en aanbod van energie ingrijpend door de energietransitie, veranderende internationale verhoudingen en strengere milieueisen. Deze scenario's geven meer inzicht in die veranderingen en daarmee in de omvang en richting van de opgave voor netbeheerders.

Deze scenariostudie is uitgevoerd door Netbeheer Nederland, de brancheorganisatie voor alle energienetbeheerders. Tabel 1.1 zet de eisen uiteen waaraan de scenariostudie moet voldoen, volgens de regels voor investeringsplannen. Elke netbeheerder maakt elke twee jaar zo'n plan voor zijn uitbreidings- en vervangingsinvesteringen voor de elektriciteits- en gasnetten.

Netbeheer Nederland heeft bij de ontwikkeling van de scenario's en dit scenariorapport intensief samengewerkt met interne experts en met externe experts die een breed scala aan branches vertegenwoordigen. Hierdoor bevat dit rapport de meest actuele inzichten en wordt de inhoud gedragen door een groot deel van de stakeholders. Hoofdstuk 5 licht het stakeholderproces verder toe.

Tabel 1.1 Eisen aan scenariostudie.

Wettelijk kader

De basis voor de investeringsplannen is artikel 21 van de Elektriciteitswet en artikel 7a van de Gaswet². De investeringsplannen moeten gebaseerd zijn op de ontwikkelingen waar de energie-infrastructuur rekening mee moet houden. Daarvoor wordt gewerkt met scenario's³. Vanuit het investeringsplan en de wetgeving worden eisen gesteld aan de scenario's.

Ze bevatten:

- Voor elk scenario een raming van de productie, import, export en levering van elektriciteit of gas. Zie hoofdstuk 3.
- Een toelichting op de wijze waarop de scenario's tot stand zijn gekomen en de uitgangspunten en kenmerken die per scenario zijn gehanteerd. Zie hoofdstuk 2 en hoofdstuk 5.
- Een toelichting op de wijze waarop de ramingen binnen elk scenario tot stand zijn gekomen. Zie hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5.
- Een beschrijving van de omstandigheden waaronder een scenario zich naar verwachting voordoet. Zie hoofdstuk 2.
- Een toelichting op de wijze waarop in de scenario's rekening is gehouden met overheidsbeleid dat van invloed is op de inrichting van het elektriciteit- of gastransportnet. Zie sectie 2.2.
- Een onderbouwing waarom de gekozen scenario's als de meest realistische worden beoordeeld. Zie hoofdstuk 5.

Realisme en relevantie

De scenario's moeten volgens de regels relevant en realistisch voorstelbaar zijn. Relevantie en realisme worden bereikt door als basis ontwikkelingen te nemen die een hoge mate van zekerheid kennen. Tegelijkertijd is de toekomst intrinsiek onzeker. Deze onzekerheden worden gestructureerd toegepast bij het opstellen van de scenario's. De onzekerheden zijn geselecteerd op hun relevantie voor de ontwikkeling van het energiesysteem. Bij de scenario selectie zijn de scenario's met de hoogste mate van waarschijnlijkheid geselecteerd. Daarbij wordt in de kwantificatie ook steeds gezocht naar de nodige bronnen ter onderbouwing.

Actualiteit

De scenario's moeten actueel zijn en de nieuwste inzichten bevatten. De scenario's bevatten de nieuwste inzichten door het uitvoeren van literatuuronderzoek, het inpassen van bekende klantinzichten van de netbeheerders en door validatie van de scenario's met de stakeholders. De netbeheerders streven naar zo actueel mogelijke beelden door de scenario's zo laat als het IP-proces toestaat te definiëren.

Kader informatiebehoefte

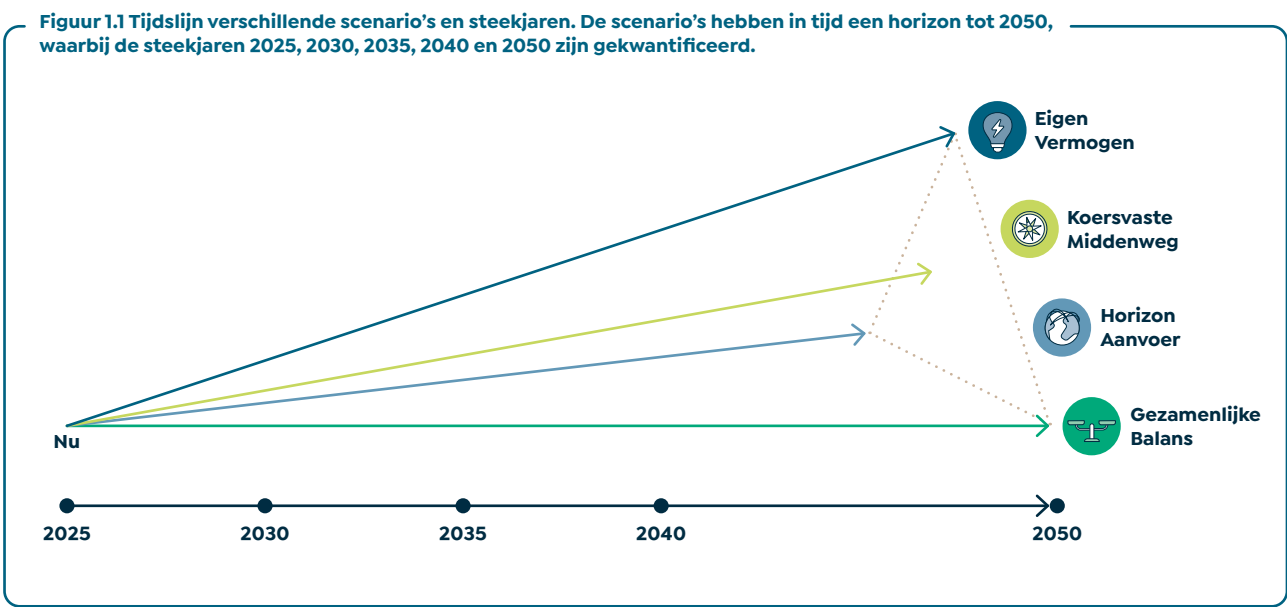
De ACM stelt voor de investeringsplannen een kader informatiebehoefte op. Dat beschrijft de eisen, gesteld aan de scenario's en de rapportage. De relevante eisen zijn verwerkt in deze rapportage, andere eisen komen aan bod in de investeringsplannen. Bovendien zijn de netbeheerders gedurende het scenarioproces in gesprek geweest met de ACM over de totstandkoming van de scenario's en was de ACM ook aanwezig bij de stakeholdersessies.

² Deze artikelen schrijven voor dat elke netbeheerder tweejaarlijks een investeringsplan opstelt waarin alle noodzakelijke uitbreidingen en vervangingsinvesteringen worden beschreven en onderbouwd.

³ Artikel 2.1, lid 1 onderdeel b.

1.1. Doel scenariostudie

- De scenariostudie dient meerdere doelen. De studie wordt gebruikt:
- om de investeringen te bepalen die de komende tijd gedaan zullen worden in de energie-infrastructuur;
 - om het toekomstige niveau van leveringszekerheid te monitoren;
 - om langetermijnverkenningen en gevoeligheidsanalyses te doen naar het energiesysteem en rol van de energie-infrastructuur daarin;
 - als belangrijk basiselement voor congestiebepaling en vormgeven van maatregelen en contracten bij congestie;
 - als consistent vertrekpunt voor externe studies en onderzoeken. De scenario's vervullen hiermee een maatschappelijke rol.

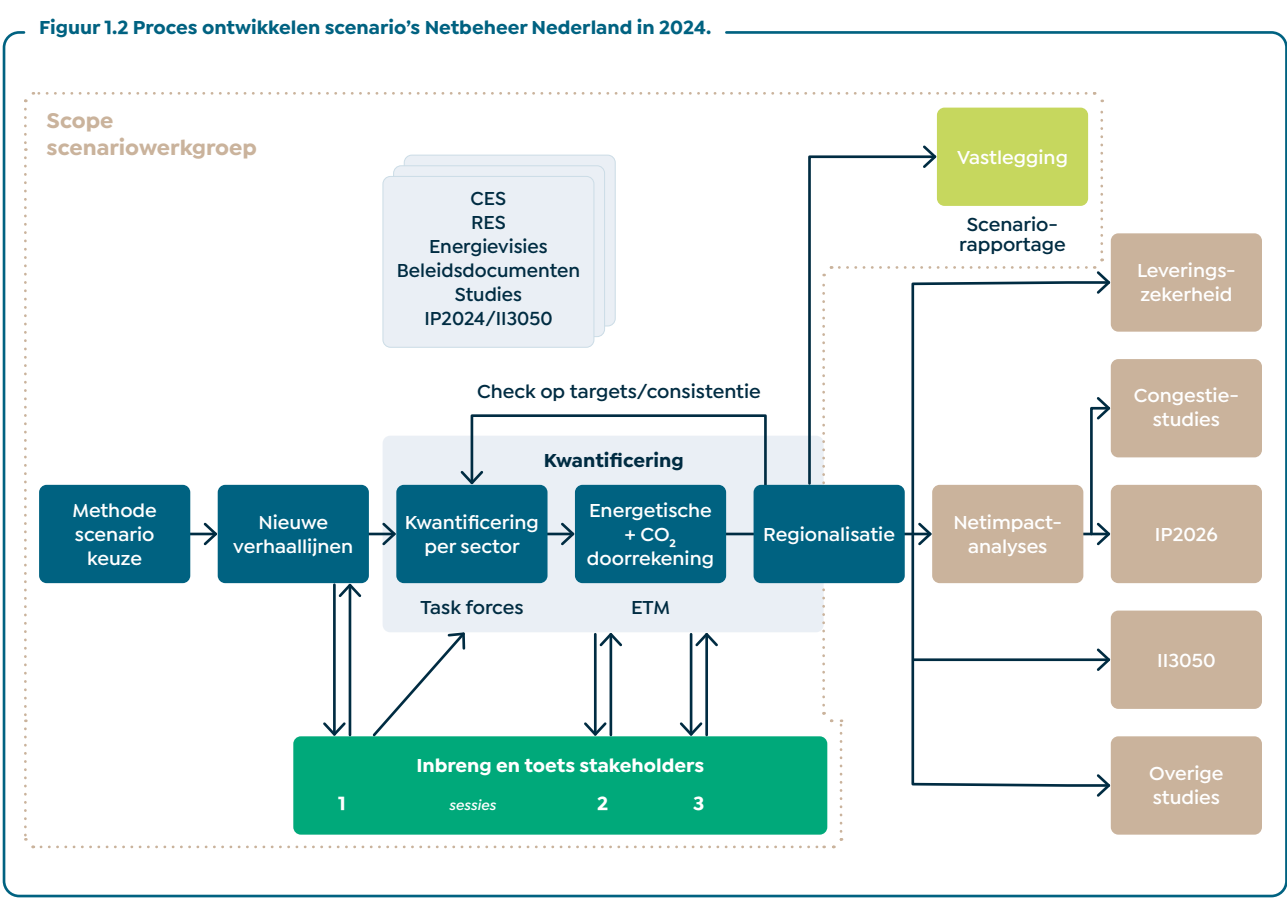


Voor deze kwalitatieve scenario's is verder verdiept hoe het energiesysteem eruit zou kunnen zien. Vervolgens is voor elk scenario de impact vastgesteld op de onderdelen van het energiesysteem – elektriciteit, gas, waterstof – en de waarschijnlijkheid bepaald dat een scenario werkelijkheid wordt. Hieruit zijn vier scenario's gekozen. Deze vier kwalitatieve scenario's zijn daarna uitgewerkt tot de nieuwe Netbeheer Nederland scenario's editie 2025 die in deze studie worden gehanteerd, zie figuur 1.1 Zie hoofdstuk 5 voor een nadere toelichting op deze methode.

1.2. Werkproces & methode in het kort

Het opstellen van de scenario's is een iteratief proces. Dit proces is doorlopen door het scenarioteam van Netbeheer Nederland. In dit team werken scenario- en sectordeskundigen van de netbeheerders. Hieronder volgt een samenvatting van het werkproces.

Als eerste stap hebben de netbeheerders gezamenlijk gewerkt aan de scenarioselectie en de onderliggende methode verbeterd. Via een uitgebreide trendanalyse (PESTEL-analyse), zijn toekomstige ontwikkelingen met elkaar in verband gebracht. Hieruit zijn verschillende kwalitatieve scenario's gedestilleerd.



De kwalitatieve scenario's zijn voorgelegd aan de stakeholders (zie bijlage HA3) in de eerste stakeholdersessie. Vervolgens zijn de scenario's gekwantificeerd op basis van verschillende bronnen en klantdata van netbeheerders. De kwantificatie is op nationaal niveau vastgelegd in het Energietransitiemodel (ETM) van Quintel. Daarnaast zijn aanvullende berekeningen gemaakt voor onderwerpen die niet goed in het ETM gemodelleerd zijn, zoals de modellering van de industrie met het Carbon Transition Model (CTM) van Kalavasta, de modellering van synthetische brandstoffen en de berekening van broeikasgasemissies.

Disclaimer bij gebruik Energietransitiemodel (ETM):

Het ETM is een passende tool om het energiesysteem te modelleren en geeft over het algemeen inzicht en resultaten die vergelijkbaar zijn met de uitkomsten van dit rapport. Echter, niet alle onderdelen van het energiesysteem zijn in het gewenste detail uitgewerkt. Daarom zijn er enkele aanvullende berekeningen gedaan, of soms andere modellen gebruikt om aanvullende analyses te doen. Daarom komen de waarden in de openbare ETM-scenario's niet altijd overeen met de waarden die hier gebruikt worden in het rapport. De openbare ETM-scenario's kunnen gebruikt worden voor naslagwerk met inachtneming van deze verschillen.

Het gaat dan bijvoorbeeld om de volgende waarden uit het ETM:

- Inputwaarden industrie. Industrie is gemodelleerd in Carbon Transition Model (CTM), in het ETM is transformatie binnen industrie en productie synfuels niet zichtbaar.
- Cijfers van CO₂-equivalenten. Additionele analyse voor inpassing CTM-uitkomsten en verwerking negatieve emissies van groengasproductie, LULUCF en biochar.
- Black-out-uren. Nadere marktanalyse wordt uitgevoerd door TeneT.

De scenariowerkgroep van Netbeheer Nederland is graag bereid om een nadere toelichting te geven op de ETM-uitwerking van de scenario's.

Deze scenario's zijn in de volgende twee stakeholdersessies besproken, verder uitgediept en gevalideerd met de stakeholders. Daarnaast is er tussentijds in direct contact samengewerkt met de stakeholders voor verbeteringen op specifieke thema's.

Tot slot is een eerste regionalisatie gemaakt, waarbij de landelijke scenario's zijn verdeeld tot het niveau van de verzorgingsgebieden van de netbeheerders. Deze regionalisatie wordt door de individuele netbeheerders verder uitgewerkt. Het resultaat hiervan maakt geen onderdeel uit van dit rapport, maar wordt beschreven in de investeringsplannen van de desbetreffende netbeheerder.

1.3. Volgende stappen

De scenario's worden in 2025 door de netbedrijven doorgerekend. De uitkomsten daarvan vormen de basis van de investeringsplannen 2026. Daarnaast worden ze gebruikt voor netdoorrekeningen, voor langetermijnverkenningen, als basis voor congestiebeslissingen en voor leveringszekerheidsanalyses. De modellering voor deze studies, inclusief netdoorrekeningen, worden door de individuele netbeheerders in hun modellen uitgevoerd. De netbeheerders staan daarnaast andere partijen bij in het gebruik van deze scenario's voor hun specifieke doeleinden.

In 2026 start er een nieuwe actualisatie van de scenario's.

1.4. Leeswijzer

Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is een zeer uitgebreid rapport, want het dient als naslagwerk en onderbouwing van de scenario's in alle details. Het rapport begint op een hoog abstractieniveau en zoomt daarna inhoudelijk in op alle deelonderwerpen. Het sluit af met de toelichting op het werkproces.

Hoofdstuk 2 beschrijft uitgangspunten van de scenario's. Daarbij ook hoe bij de ontwikkeling van de scenario's rekening is gehouden met de klimaatdoelen. Daarnaast worden relevante ontwikkelingen en de niet-beïnvloedbare factoren toegelicht. Dit hoofdstuk presenteert vervolgens de kwalitatieve beschrijvingen van de scenario's.

Hoofdstuk 3 beschrijft de overkoepelende resultaten van de scenario's, op basis van de uitgevoerde doorrekening van het energiesysteem. Het licht de keuze toe voor de horizon in tijd en tussentijdse 'steekjaren'. Dit hoofdstuk beschrijft de emissiereductie die met de opgestelde scenario's wordt bereikt. Het geeft daarnaast uitleg bij de relatie van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met andere relevante scenario's.

Hoofdstuk 4 gaat in op de kwantitatieve uitwerking van de scenario's per sector en per onderwerp. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gebruikte parameters en verwijzingen naar de relevante informatiebronnen die gebruikt zijn om de waardes van de parameters vast te stellen. Daarnaast beschrijft het de wijze van regionalisatie, van landelijke scenario's naar regionale scenario's tot op verzorgingsgebied. Het legt ook uit hoe de bronnen en regionale factoren, aannames en/of verdeelsleutels daartoe leiden. Het geeft tot slot inzicht in de relatie van de sectorale uitwerking met andere relevante scenario's, zoals die in het National Plan Energiesysteem (NPE) en in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV).

Hoofdstuk 5 beschrijft het werk- en stakeholderproces en de methode voor het opstellen van samenhangende scenario's. Het behandelt hoe zekerheden en onzekerheden zijn verwerkt om een plausibele en breed voorstelbare set scenario's te schetsen.

Tenslotte volgen de bijlagen: bronvermelding, begrippenlijst, stakeholderlijst en inhoudelijke bijlagen.

Hoofdstuk 2. Scenario's

Dit hoofdstuk presenteert de verhaallijnen van de vier Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 voor een klimaatneutraal energiesysteem. De verhaallijnen zijn de kwalitatieve beschrijving van de scenario's. De kwantitatieve uitwerking van de scenario's wordt beschreven in hoofdstuk 3 en per sector toegelicht in hoofdstuk 4.

Na de inleiding zet dit hoofdstuk de gehanteerde uitgangspunten uiteen. Daarna worden, met de belangrijkste onzekerheden, vier scenario's opgebouwd. Een beknopt overzicht laat tenslotte zien wat de gevolgen zijn van elk scenario voor de keuzes en de mix van energiebronnen- en dragers in het energiesysteem in 2050. Sectie 2.4 geeft dit in een tabel kwalitatief weer.

Hoofdstuk 5 bevat een overzicht van het werkproces en de methode die hebben geleid tot deze vier scenario's.

2.1. Uitgangspunten

2.1.1 Algemene uitgangspunten

De scenario's zijn gebaseerd op een aantal algemene ontwikkelingen en uitgangspunten. Die variëren niet tussen de scenario's. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

Politiek: Halen van klimaatdoelen

Klimaatdoelen zijn maatschappelijk zeer belangrijk. Als de Netbeheer Nederland scenario's geen rekening houden met het halen van de klimaatdoelen dan blijven ook de investeringen van de netbeheerders bij voorbaat achter bij de klimaatdoelen. Daarmee is er geen zicht op welke infrastructuur nodig is om de doelen wel te halen. Daarnaast ontstaat er mogelijk een negatieve spiraal van achterblijvende infrastructuur en daarmee achterblijvende projecten voor de verduurzaming.

Doel van de Klimaatwet in 2030 is een emissiereductie van 55 procent. Voor 2040 gaan de scenario's richting 90 procent reductie. Dat is ook de doelstelling van de Europese Klimaatwet voor 2040. In 2050 hanteren de scenario's minimaal netto 0 uitstoot, zoals in de Europese Klimaatwet staat.

Elk van de scenario's neemt het vastgestelde en voorgenomen beleid als start voor de kwantitatieve

uitwerking. Door uitvoering van alleen het vastgesteld en voorgenomen beleid wordt de doelstelling van 55 procent emissiereductie in 2030 niet zondermeer gehaald. Daarnaast is de horizon van het huidige beleid beperkt tot 2030-2035. De additionele invulling die nodig is om de klimaatdoelstellingen te halen tot 2050, wordt uitgewerkt in de verschillende scenario's. Elk scenario beschrijft een andere manier waarop de doelen gehaald worden.

Dit uitgangspunt legt een beperking op aan mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Zoals de KEV aantoont is het onwaarschijnlijk dat in 2030 de emissiereductie van 55 procent gehaald wordt. Naast het door het nieuwe kabinet geagendeerde beleid, is er aanvullend beleid nodig dat snel 24 Mton additionele reductie bewerkstelligt, om met 95 procent zekerheid het doel te halen. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 hebben voor 2030 als uitgangspunt dat de doelstelling van 55 procent reductie wordt gehaald en omvatten daarmee niet het gehele speelveld. De projecties uit de KEV kunnen worden gezien als één van de mogelijke additionele hoekpunten waarbij in 2030 de doelstelling niet wordt gehaald. Voor 2050 is er geen analyse beschikbaar zoals de KEV is voor 2030, maar het lijkt vanzelfsprekend dat ook voor het zichtjaar 2050 scenario's denkbaar zijn waarin de reductie-doelstelling niet gehaald wordt.

Een verschillenanalyse tussen KEV-projecties en Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 geeft een beeld van de versnelling die nodig is om de klimaatdoelen toch tijdig te realiseren. In het kwantitatieve deel van deze rapportage worden Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 daarom ook op verschillende punten met de KEV vergeleken en worden de verschillen geïdentificeerd.

Paragraaf 3.6.4. staat verder stil bij alternatieve scenario's, variantscenario's genoemd. Bijvoorbeeld een "behind target" scenario, waarin de klimaatdoelstelling ook niet op tijd worden gehaald.

Sociaal: Gemiddelde demografische ontwikkeling

De scenario's hanteren een gemiddelde demografische ontwikkeling, bevolkingsgroei en samenstelling van huishoudens. Demografische ontwikkeling verloopt dusdanig traag dat onzekerheid tijdig kan worden voorspeld en in een volgende editie kan worden opgenomen. De ontwikkelingen in de woningbouw zijn wel gevarieerd in de scenario's.

Technologisch: Huidige congestie

Huidige realisatie van netinfrastructuur en klantaanvragen zijn in meer of minder mate beïnvloed door congestie-problematiek. In de scenario's wordt daarom ook rekening gehouden met ontwikkelingen die het gevolg zijn van congestie. Zoals slimme systeemkeuzes of (flexibiliteits-) oplossingen. Die moeten dan wel zijn vastgelegd in plannen, maatregelen of beleid. De scenario's houden niet op voorhand rekening met beperkingen van de infrastructuur. De scenario's hebben steeds ten doel om de ongelimiteerde klantvraag te voorspellen.

Technologisch: Toekomstige maakbaarheidsgat

Het maakbaarheidsgat is het verschil tussen de gewenste infrastructuur en de infrastructuur die de netbeheerders kunnen maken. Het toekomstige maakbaarheidsgat van de netbeheerders is een uitkomst van het totale proces van investeringsplannen. De scenario's houden geen rekening met een eventueel toekomstig maakbaarheidsgat.

Technologisch: Doorbraak-technologieën

De scenario's houden alleen rekening met huidig bekende technologieën. Voor doorbraaktechnologieën die nog in de onderzoeksfase verkeren, hanteren ze een realistische ontwikkeling, bijvoorbeeld voor small-modular-reactors.

Ecologisch: Effecten klimaatverandering

Alle scenario's kennen een gelijke impact van klimaatverandering.

Wettelijk: Takenpakket netbeheerders

Uitgangspunt is dat het takenpakket voor de netbeheerders gelijk blijft en dat de netbeheerders dit takenpakket volledig kunnen uitvoeren. Daarmee hebben de netbeheerders geen directe impact op de ontwikkeling van het energie-systeem. Er is dan ook geen rekening gehouden met overheidsbeleid dat van invloed is op de inrichting van het elektriciteit- of gastransportnet.

2.1.2. Onderscheidende onzekerheden voor de scenario's

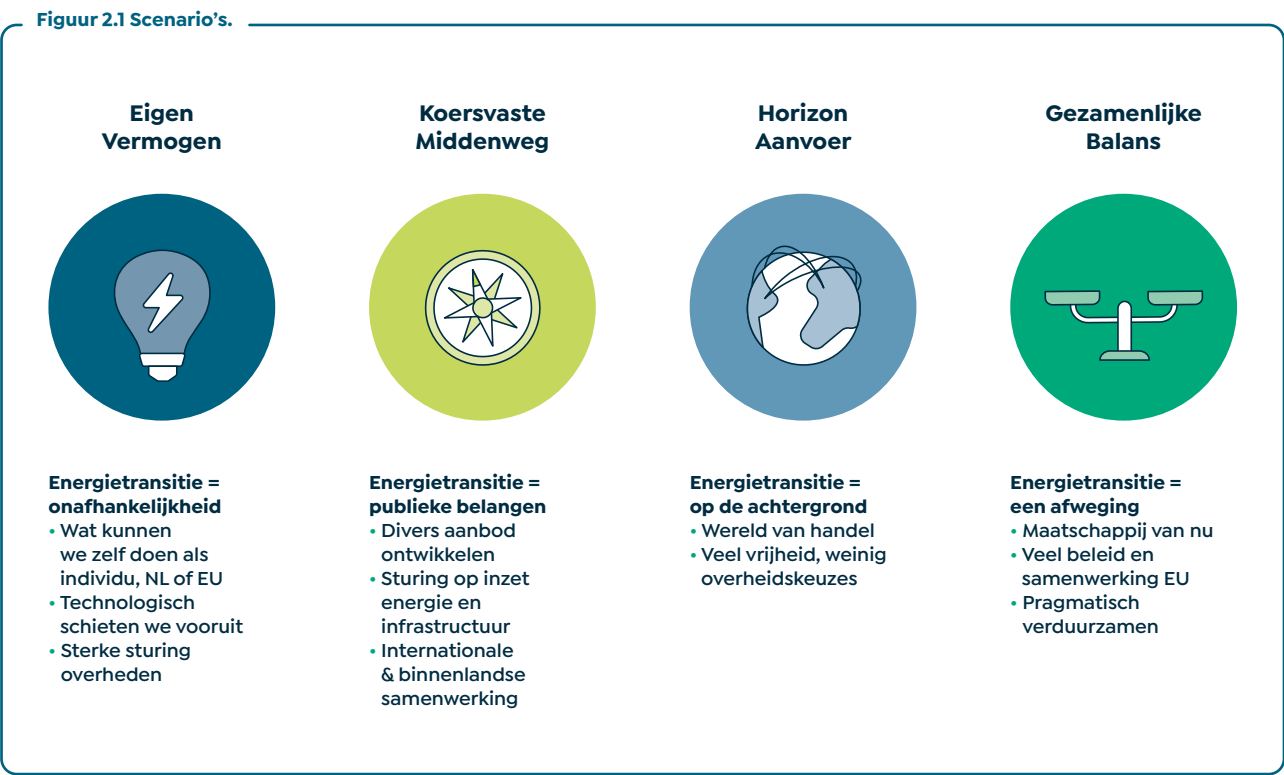
Onzekerheden voor de variatie tussen de scenario's. Politieke factoren, zoals internationale handelsrelaties, de mate van overheidssturing en het beleid op EU-niveau, beïnvloeden de snelheid en richting van de energietransitie. Economische ontwikkelingen, waaronder grondstofschaarste en prijsontwikkelingen van brandstoffen en essentiële technologieën of materialen, kunnen de haalbaarheid van bepaalde transitiepaden versterken of beperken. Sociale factoren, zoals arbeidsmarktontwikkelingen, consumptiepatronen en maatschappelijk draagvlak, hebben eveneens invloed op de energietransitie. Technologische keuzes, ecologische afwegingen en wettelijke randvoorwaarden bepalen in hoeverre bepaalde oplossingen uitvoerbaar zijn. De scenario-werkgroep van de netbeheerders heeft een PESTEL-analyse uitgevoerd om de belangrijkste onzekerheden te identificeren. Op basis hiervan zijn vier verhaallijnen opgesteld, waarbij per scenario een samenhangend geheel van deze onzekerheden is geformuleerd.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de belangrijkste onzekerheden en hoe deze zijn gedefinieerd. Deze onzekerheden zorgen voor variatie in de scenario's en bieden een breed en realistisch beeld van verschillende toekomsten voor het energiesysteem bij de transitie richting 2050.

Tabel 2.1 Overzicht belangrijke onderscheidende factoren die de transitie beïnvloeden.			
Dimensie	Onzekerheid	Afk.	Definitie
Politiek	Internationale verhoudingen	P1	Hoe vormen de internationale verhoudingen zich; en wat zijn dan de handelsrelaties?
	Beleid op EU-niveau	P2	Waar ligt de besluitvorming? Steeds meer bij Europa of steeds meer nationaal?
	Politieke koers op energietransitie in Nederland	P3	In welke mate bepaalt de energietransitie nationaal beleid?
	Aansturingsniveau en keuzevrijheid	P4	Waar ligt het zwaartepunt van besluiten over energietransitie in Nederland? Wordt er krachtig gestuurd door de overheid, of laat de overheid de markt sturend zijn?
Economisch	Grondstofschaarste (metalen)	E1	Wel of niet belemmerend voor economie en daarmee energietransitie?
	Economie nationaal en internationaal	E2	Groei versus krimp gedreven door de geopolitieke situatie.
	Economische structuur Nederland	E3	Basisindustrie versus diensten versus nieuwe duurzame industrie.
	Prijsontwikkeling/kosten	E4	Prijsontwikkelingen en kosten van essentiële technologieën voor de energietransitie (snel en goedkoop of traag en duur)?
Sociaal	Arbeidsmarkt	S1	Ruime of krappe arbeidsmarkt?
	Consumptiepatronen	S2	Consument blijft steeds meer consumeren of is bereid duurzame keuzes te maken, te consuminderen?
	Draagvlak klimaatmaatregelen	S3	Maatschappelijk draagvlak voor consequenties van energietransitie.
	Individualisme of collectivisme	S4	Hoe individualistisch is de Nederlandse bevolking?
Technisch	Internationale energieketens	T1	Hoe kunnen duurzame brandstoffen worden geïmporteerd - bilateraal tot internationaal?
	Schaalgrootte energieproductie	T2	Realisatie van veel, of juist minder grootschalige nationale projecten?
	Innovatiekracht	T3	Innovatiekracht om problemen technisch op te lossen; In hoeverre zijn we in staat om grondstofschaarste tegen te gaan; circulaire economie
	Slimme systemen en privacy	T4	Hoe sterk is AI geïntegreerd in de IT-systemen
Ecologisch	Gebruik fossiele energie en grondstoffen	Eco1	Taboe of toegestaan zolang het gecompenseerd wordt?
	Impact op de leefomgeving	Eco2	Welke rol speelt de leefomgeving bij de energietransitie: ruimtebeslag, horizonvervuiling en ecologische belangen?
Wettelijk	Vergunning en besluitvorming	W1	Hoe beïnvloeden wetten en regels en besluitvorming de energietransitie?

2.2. Kwalitatieve beschrijving van de scenario's

Op basis van de uitgangspunten, de algemene ontwikkelingen en de onzekerheden zijn vier logisch samenhangende scenario's geselecteerd: **Koersvaste Middenweg (KM)**, **Eigen Vermogen (EV)**, **Gezamenlijke Balans (GB)** en **Horizon Aanvoer (HA)** (zie figuur 2.1).



Elk scenario legt andere accenten en hanteert specifieke uitgangspunten:

- Koersvaste Middenweg volgt de verwachte trends en beleidsambities. Dat is gebaseerd op onder andere het Nationaal Plan Energiesysteem en getoetst aan de provinciale energievisies (zie bijlage voor het verslag van deze toetsing). Beleidsambities worden niet per definitie volledig in dit scenario over genomen; het is dus uitdrukkelijk niet hét NPE-scenario. Dit scenario bouwt voort op het scenario Klimaatambitie uit IP2024.
- Eigen Vermogen schetst een toekomst met een grote rol voor elektriciteit in het energiesysteem en combineert elementen uit IP2024-scenario Nationale Drijfveren en II3050-2^e editie-scenario's Nationaal Leiderschap en Decentrale Initiatieven.
- Gezamenlijke Balans benadrukt de rol van gas in het energiesysteem en sluit aan bij de uitgangspunten van Internationale Ambitie uit IP2024 en Europese Integratie uit II3050-2^e editie.
- Horizon Aanvoer richt zich op een energiesysteem waarin waterstof centraal staat en is gebaseerd op scenario Internationale Ambitie uit IP2024 en scenario Internationale Handel uit II3050-2^e editie.

Deze vier nieuwe scenario's laten zien hoe verschillende ontwikkelingen leiden tot uiteenlopende invulling van het energiesysteem tot 2050. De differentiatie is aangebracht, omdat elk scenario andere infrastructuur vraagt. Deze variatie biedt waardevolle inzichten voor zowel de investeringsplannen als voor langetermijn-verkenningen. In de volgende paragrafen worden de scenario's kwalitatief beschreven, met telkens aandacht voor maatschappelijke ontwikkelingen, energievraag en -aanbod, en de impact op het energiesysteem.

Er wordt in onderstaande paragrafen gebruik gemaakt van een tabel om de keuzes in onzekerheden te duiden voor ieder scenario. Voor het gemak is daar een kwalificatie negatief, neutraal of positief in gebruikt. Deze kwalificatie is niet bedoeld als waarde oordeel, maar is gebruikt om visueel de verschillen tussen de scenario's te laten zien.

2.2.1 Scenario Koersvaste Middenweg (KM)

Scenariokenmerken en maatschappelijke ontwikkelingen

- Sterke en snelle elektrificatie van eindverbruik, maar eindverbruik wordt gebalanceerd door aanvulling vanuit andere energiedragers.
- Snelle groei duurzame elektriciteitsproductie, maar lager dan Eigen Vermogen.
- Groot gebruik van flexibiliteit in het elektriciteitssysteem.

Tabel 2.2 Maatschappelijke ontwikkelingen scenario Koersvaste Middenweg.

Dimensie	Onzekerheid	Afk.	Negatief	Neutraal	Positief
Politiek	Internationale verhoudingen	P1		X	
	Beleid op EU-niveau	P2		X	
	Politieke koers op energietransitie in Nederland	P3		X	
	Aansturingsniveau en keuzevrijheid	P4			X
Economisch	Grondstofschaarste (metalen)	E1			X
	Economie nationaal en internationaal	E2		X	
	Economische structuur Nederland	E3			X
	Prijzontwikkeling/kosten	E4		X	
Sociaal	Arbeidsmarkt	S1		X	
	Consumptiepatronen	S2		X	
	Draagvlak klimaatmaatregelen	S3		X	
	Individualisme of collectivisme	S4		X	
Technisch	Internationale energieketens	T1			X
	Schaalgrootte energieproductie	T2			X
	Innovatiekracht	T3		X	
	Slimme systemen en privacy	T4			X
Ecologisch	Gebruik fossiele energie en grondstoffen	Eco1		X	
	Impact op de leefomgeving	Eco2		X	
Wettelijk	Vergunning en besluitvorming	W1		X	

Beschrijving maatschappelijke ontwikkeling

- Het scenario omschrijft ten opzichte van de andere scenario's een meer gemiddeld beeld, de meeste onzekerheden laten een neutrale ontwikkeling zien. Dat wil niet zeggen dat dit scenario voor elke ontwikkeling in het energiesysteem precies een midden waarde weergeeft.
- Voor de korte termijn sluit het scenario aan bij het ingezette beleid in Nederland en Europa, en geeft voor de lange termijn een realistische interpretatie van het NPE weer. Ambities uit het NPE worden daarom niet altijd volledig gehaald, maar de richting van het beleid wordt gevolgd in dit scenario.
- De verhoudingen in de wereld blijven onder druk staan, maar verdere escalatie blijft uit, de wereldeconomie blijft desondanks groeien. De belangrijkste industriële sectoren worden ondersteund met overheidsbeleid, terwijl nieuwe industrie ook de ruimte krijgt vanuit de overheid.
- Internationale energieketens ontstaan. Overheid maakt structurerende keuzes in het belang van de energietransitie. Fossiele brandstoffen blijven in gebruik, zolang de CO₂-emissies gecompenseerd worden.
- Maatschappij, arbeidsmarkt, innovatiekracht en wetgeving blijven dicht bij de wereld van nu. Dit scenario streeft naar balans tussen de energietransitie en andere belangen die om dezelfde schaarse middelen vragen zoals geld en ruimte. Het streeft ook naar een relatief groot energieaanbod, vanuit diverse energiebronnen. Grootchalige energieprojecten kunnen daarbij ontwikkeld worden.

Richtinggevende keuzes NPE leidend

Het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) is de kabinetsvisie voor het energiesysteem tot 2050. Hierin maakt het kabinet richtinggevende keuzes voor de vorm van het energiesysteem van de toekomst. Het NPE legt hiermee de basis voor een agenda om uitvoering te geven aan de transitie van het energiesysteem:

1. Maximale inzet op aanbod van duurzame energie en energie-infrastructuur.
2. Energie besparen als belangrijke hoeksteen van energiebeleid.
3. Schaarse energie en infrastructuur worden ingezet waar dit het meest nodig is vanuit systeemperspectief.
4. Sterke internationale samenwerking en maximaal verbonden energiesysteem.
5. Samen sturen met burgers en bedrijven, met ruimte voor participatie en initiatief.

Beeld van het energiesysteem

Deze richtinggevende keuzes leiden tot een energiesysteem voor de energiedragers elektriciteit, waterstof, warmte en koolstof, dat er als volgt uit ziet:

- Elektriciteit moet de ruggengraat vormen van het energiesysteem. Hierdoor ontstaat sterke groei in direct elektriciteitsverbruik in alle sectoren, maar ook van productie van groene waterstof. Nederland zet maximaal in op het opschalen van hernieuwbare bronnen: wind-op-zee, hernieuwbaar op land en kernenergie. Maar uiteindelijk kunnen niet alle ambities ook waargemaakt worden.
- Waterstof moet een systeemrol voor het energiesysteem vervullen, met vooral toepassingen in de industrie en in internationale mobiliteit. Met een aanvullende rol in andere sectoren. Er wordt door de rijksoverheid werk gemaakt van een strategisch aandeel binnenlandse productie. Sterke inzet op het opschalen van productie, import en opslag van groene waterstof. Blauwe waterstof krijgt een faciliterende transitierol.
- Warmtevraag moet ingevuld worden via warmtenetten en elektrificatie. Waar mogelijk worden lokale warmtebronnen gebruikt en warmteopslag is belangrijk als buffer voor het energiesysteem.
- Fossiele koolstof wordt zo snel mogelijk afgebouwd, terwijl duurzame koolstof moet worden opgeschaald. Inzet op innovatie en productie duurzame koolstofdragers, hergebruik en import. Gebruik van koolstof wordt beperkt tot essentiële en hoogwaardige toepassingen.

2.2.2 Scenario Eigen Vermogen (EV)

Scenariokenmerken en maatschappelijke ontwikkelingen

- Snelle elektrificatie van industrie, mobiliteit en gebouwen.
- Focus op energie-autonomie en groene waterstof.
- Sterke groei van zon-PV en windenergie.
- Maximale flexibiliteit in het elektriciteitssysteem.
- Grootchalig gebruik van warmtenetten.

Tabel 2.3 Maatschappelijke ontwikkelingen scenario Eigen Vermogen.

Dimensie	Onzekerheid	Afk.	Negatief	Neutraal	Positief
Politiek	Internationale verhoudingen	P1	X		
	Beleid op EU-niveau	P2		X	
	Politieke koers op energietransitie in Nederland	P3			X
	Aansturingsniveau en keuzevrijheid	P4			X
Economisch	Grondstofschaarste (metalen)	E1			X
	Economie nationaal en internationaal	E2		X	
	Economische structuur Nederland	E3		X	
	Prijsontwikkeling/kosten	E4		X	
Sociaal	Arbeidsmarkt	S1		X	
	Consumptiepatronen	S2		X	
	Draagvlak klimaatmaatregelen	S3			X
	Individualisme of collectivisme	S4	X		
Technisch	Internationale energieketens	T1	X		
	Schaalgrootte energieproductie	T2			X
	Innovatiekracht	T3			X
	Slimme systemen en privacy	T4			X
Ecologisch	Gebruik fossiele energie en grondstoffen	Eco1		X	
	Impact op de leefomgeving	Eco2			X
Wettelijk	Vergunning en besluitvorming	W1			X

Beschrijving maatschappelijke ontwikkeling

- Door oplopende geopolitieke spanningen ontstaan steeds meer handelsbarrières. Nederland zet daarom met strategische partners energieketens en grondstofketens op en beschermt slechts de belangrijkste huidige industriesectoren. Nieuwe industrie wordt ondersteund in zijn ontwikkeling. Innovatiekracht in Europa blijft op peil, waardoor nieuwe technieken volgens verwachting beschikbaar komen tegen – eveneens te verwachten – prijzen.
- Met landen binnen de Europese Unie blijft Nederland samenwerken, zoals dat nu ook gebeurt. Gedwongen door de geopolitieke uitdagingen is de ambitie om in 2050 volledig onafhankelijk te zijn van fossiele bronnen, maar dit wordt niet volledig afgedwongen. Europa en Nederland zetten voor onafhankelijkheid sterk in op de energietransitie. De Nederlandse overheid verleent daardoor minder actieve steun aan sommige industriële sectoren.
- De rijksoverheid is ook bereid zelf stevige keuzes te maken en grootschalige projecten te realiseren of mogelijk te maken. Procedures voor vergunningen en besluitvorming worden daarvoor versoepeld. Krapte op de arbeidsmarkt blijft echter een beperkende factor in de uitvoeringscapaciteit.
- De Nederlandse samenleving wordt steeds meer individualistisch; bij onzekerheid kiezen burgers meer voor het eigen belang en blijven consumeren zoals dat ook nu gebruikelijk is. Er is draagvlak voor de energietransitie vanuit de samenleving, maar met name om onafhankelijk te zijn. De maatschappij is bereid de prijs te betalen in impact op de leefomgeving.
- Door geopolitieke waakzaamheid is het gebruik van slimme systemen stevig door wetgeving ingekaderd. Drijfveer daarvoor is de wens om controle te houden over deze systemen en de eigen data.

Beeld van het energiesysteem

- Energie-efficiënte elektrificatie is de hoofdroute voor verduurzaming, vanuit de wens om snel minder afhankelijk te zijn van import van energie. Maar ook omdat duurzame brandstoffen uit internationale energieketens moeilijk van de grond komen.
- De gebouwde omgeving gebruikt veel all-electric warmtepompen, vooral gedreven door individuele keuzes. Grootschalige warmtenetten worden gestimuleerd waar mogelijk, en grotendeels gevoed door warmtepompen en e-boilers op basis van grootschalig beschikbare elektriciteit.

De mobiliteitssector volgt ook een stevig elektrificatiepad, zodat de afhankelijkheid van buitenlandse fossiele bronnen snel afneemt.

- De structuur van de industrie verandert, waarbij een deel van de industrie wordt beschermd. Andere industrie verandert van karakter, fossiele raffinage transformeert in duurzame synthetische brandstofproductie. Hierdoor is er naast veel elektriciteit ook veel hernieuwbare waterstof voor de industrie nodig. De productie van duurzame brandstof in Nederland is nodig vanuit het streven naar onafhankelijkheid en bilaterale energieketens. De landbouw volgt ook voornamelijk de elektrificatie route in combinatie met warmtenetten.
- Flexibiliteit in het energiesysteem is gewenst en wordt centraal georganiseerd. De Rijksoverheid steunt dat door daadkrachtig beleid. Een breed spectrum aan oplossingen komt van de grond, onder andere curtailment, grootschalige batterijen, langdurige energieopslag, power-to-heat maar ook elektrolyse en centrale waterstofopslag. Op individueel niveau worden batterij-systemen aangeschaft om economische redenen en om op individueel niveau onafhankelijk te zijn. Consumenten zijn niet massaal bereid hun systemen ten dienste van het energiesysteem te stellen en er gelden daarbij stevige eisen aan slimme systemen.
- De overheid richt zich primair op grootschalige wind-op-zee en wind-op-landprojecten om te zorgen voor voldoende duurzame energie. Deze projecten krijgen ruim baan door belemmeringen in vergunningen en besluitvorming weg te nemen. De maatschappij is bereid deze centrale keuzes te accepteren. Om voldoende duurzame elektriciteit te produceren worden er op land ook veel windturbines en zonnenvelden gerealiseerd.
- Kernenergie levert een basiselektriciteitsproductie, die goed aansluit bij de continue vraag van basisindustrie. Centrale back-up wordt, naast batterij- en langdurige opslag, gerealiseerd vanuit de beschikbare groene waterstof uit overproductie van wind-op-zee.
- Veel huishoudens en bedrijven schaffen op korte en lange termijn zonnepanelen aan voor hun daken, vanuit de individuele wens om onafhankelijk te zijn en omdat de business case positief blijft.
- Groengasproductie wordt gestimuleerd vanwege de geopolitiek verhoudingen, ook binnen de EU wisselen landen groen gas uit. Import van biomassa is beperkt door de beperkte internationale energieketens.

2.2.3 Scenario Gezamenlijke Balans (GB)

Scenariokenmerken en maatschappelijke ontwikkelingen

- Hybride elektrificatie en inzet van gas spelen een grote rol in de verduurzaming van de vraagsectoren. Licht lager finaal energieverbruik dan nu; grootste behoefte aan gas.
- Relatief hoge import, voornamelijk aardgas, groengas en biobrandstoffen, doordat relatief weinig energie in Nederland geproduceerd wordt.
- Rol in de energiemix voor CCS (Carbon capture and storage) en blauwe waterstof.
- Hoge doorvoer, zodat geïmporteerde duurzame energie ook bij buurlanden beschikbaar komt.

Tabel 2.4 Maatschappelijke ontwikkelingen scenario Gezamenlijke Balans.

Dimensie	Onzekerheid	Afk.	Negatief	Neutraal	Positief
Politiek	Internationale verhoudingen	P1		X	
	Beleid op EU-niveau	P2			X
	Politieke koers op energietransitie in Nederland	P3		X	
	Aansturingsniveau en keuzevrijheid	P4	X		
Economisch	Grondstofschaarste (metalen)	E1	X		
	Economie nationaal en internationaal	E2		X	
	Economische structuur Nederland	E3			X
	Prijsontwikkeling/kosten	E4		X	
Sociaal	Arbeidsmarkt	S1		X	
	Consumptiepatronen	S2		X	
	Draagvlak klimaatmaatregelen	S3		X	
	Individualisme of collectivisme	S4		X	
Technisch	Internationale energieketens	T1		X	
	Schaalgrootte energieproductie	T2		X	
	Innovatiekracht	T3		X	
	Slimme systemen en privacy	T4			X
Ecologisch	Gebruik fossiele energie en grondstoffen	Eco1			X
	Impact op de leefomgeving	Eco2		X	
Wettelijk	Vergunning en besluitvorming	W1		X	

Beschrijving maatschappelijke ontwikkeling

- De geopolitieke verhoudingen in de wereld blijven onder druk staan, maar verdere escalatie blijft uit. De wereldeconomie blijft groeien. Innovatiekracht in Europa blijft op peil, waardoor nieuwe technieken volgens verwachting beschikbaar komen tegen – eveneens te verwachten – prijzen.
- De Europese Unie werkt actief samen om het duurzame energieaanbod te vergroten en gebruik te maken van de krachten van ieder land. Ook buiten Europa wordt via handelsverdragen gewerkt aan betrouwbare energie- en grondstoffenketens. Dit kan echter niet voorkomen dat metalen blijvend schaars zijn. Er wordt nadrukkelijk gekeken naar pragmatische routes voor verduurzaming, via gas en groen gas, blauwe waterstof en biomassaproductie. In 2050 is het nog acceptabel om fossiele brandstoffen te gebruiken, mits emissies elders gecompenseerd worden.
- De regering probeert alle belangen af te wegen in een relatief instabiele wereld, terwijl het land zonder grote maatschappelijke verandering richting 2050 gaat. Om de onafhankelijkheid van Nederland te waarborgen, wordt de industrie in hoge mate ondersteund, terwijl er ook kansen gecreëerd worden voor nieuwe industriële activiteiten, zoals duurzame biobrandstofproductie. Dit beleid wordt ondersteund vanuit de Europese samenwerking.
- Bij het ontwikkelen van projecten voor de energievoorziening, wordt gezocht naar een balans tussen meerdere belangen, bijvoorbeeld de impact op de leefomgeving. Daardoor kunnen grootschalige projecten met mate doorgang vinden.
- De toepassing van slimme systemen wordt steeds wijder verspreid, er is vanwege de geopolitieke situatie ook minder reden voor inkadering van de mogelijkheden van slimme systemen voor cybersecurity.

Beeld van het energiesysteem

- Groen gas, CCS, blauwe waterstof en biomassa krijgen een grotere rol in het energiesysteem, omdat deze technieken een kleiner beslag leggen op schaars beschikbare materialen en ruimte.
- In de gebouwde omgeving voltrekt de verduurzaming zich gestaag, hybride warmtepompen op (groen gas) spelen een belangrijke rol, maar er blijft ook ruimte voor all-electric warmtepompen wanneer woningen hier geschikt voor zijn. Warmtenetten zijn relevant,

- maar met mate vanwege de reserve rond grootschalige projecten.
- Vooraf gedreven door kostendaling en EU-beleid verduurzaamt de mobiliteitssector. In Nederland blijft verder stimuleren van verduurzaming van de mobiliteitssector achter. De beperkte beschikbaarheid van waterstof, zorgt er wel voor dat de mobiliteitssector voornamelijk voor elektrificatie kiest.
 - De industrie wordt in hoge mate ondersteund om te verduurzamen en zich te ontwikkelen, de impact van de verduurzaming wordt zo klein mogelijk gehouden. Krapte op de arbeidsmarkt neemt niet toe. Door de inzet van CCS, groen gas, blauwe waterstof en biomassa wordt de verduurzaming van de industrie ondersteund. Ook kunnen andere landen gebruik maken van de CCS-capaciteiten van Nederland om een deel van hun CO₂ op te slaan.
 - Ook de landbouw maakt gebruik van duurzame bio-based brandstoffen. Op plekken waar warmte goedkoop kan worden aangeleverd blijft warmte ingezet worden, bijvoorbeeld bij beschikbare restwarmte. Daarnaast ondersteunen elektrificatie en slimme algoritmes de mogelijkheid om in te spelen op de wisselende prijzen.
 - De beperkte beschikbaarheid van duurzame metalen zorgt voor beperkingen voor duurzame elektrische opwek. Een aanzienlijk deel van het energiesysteem wordt daarom ook gebouwd op biomassa en gassen.
 - Gasopslag zorgt voor flexibiliteit in het energiesysteem, waarbij voor de inzet van dit gas CCS gebruikt wordt. Biomassa wordt internationaal aangevoerd, en komt voornamelijk uit Europa of andere bevriende landen.
 - Kernenergie levert een basiselektriciteitsproductie, die goed aansluit bij de continue vraag van basisindustrie en wordt ontwikkeld mede vanwege de relatief beperkte zichtbaarheid van de centrales.
 - Grootschalige wind-op-zeeprojecten komen nog steeds van de grond, maar duurzame productie op land wordt bemoeilijkt door gebrek aan draagvlak en bezwaren in vergunningsprocedures. De maatschappij is bereid deze grootschalige projecten ver op zee te accepteren, omdat een kleinere impact op de directe leefomgeving betekent.
 - Huishoudens en bedrijven schaffen nog steeds zonnepanelen voor hun daken aan, omdat dat rendabel is, maar zonder versnelling van de groei.
 - Slimme systemen ondersteunen de inzet en optimalisatie van flexibiliteitsmiddelen.

2.2.4 Scenario Horizon Aanvoer (HA)

Scenariokenmerken en maatschappelijke ontwikkelingen

- Nederland importeert veel, waaronder industriële halffabricaten. Daardoor verdwijnt de energie-intensieve industrie deels uit Nederland. Resultaat is een laag finaal energieverbruik.
- Scenario met grootste behoefte aan waterstof.
- Laag primair aanbod van duurzame elektriciteitsproductie vanwege lager finaal energieverbruik en groter belang van import van energie.
- Er is veel import van waterstof, ook voor doorvoer naar omliggende landen.

Tabel 2.5 Maatschappelijke ontwikkeling scenario Horizon Aanvoer.

Dimensie	Onzekerheid	Afk.	Negatief	Neutraal	Positief
Politiek	Internationale verhoudingen	P1			X
	Beleid op EU-niveau	P2		X	
	Politieke koers op energietransitie in Nederland	P3	X		
	Aansturingsniveau en keuzevrijheid	P4	X		
Economisch	Grondstofschaarste (metalen)	E1	X		
	Economie nationaal en internationaal	E2			X
	Economische structuur Nederland	E3	X		
	Prijzontwikkeling/kosten	E4			X
Sociaal	Arbeidsmarkt	S1	X		
	Consumptiepatronen	S2	X		
	Draagvlak klimaatmaatregelen	S3	X		
	Individualisme of collectivisme	S4	X		
Technisch	Internationale energieketens	T1			X
	Schaalgrootte energieproductie	T2	X		
	Innovatiekracht	T3	X		
	Slimme systemen en privacy	T4	X		
Ecologisch	Gebruik fossiele energie en grondstoffen	Eco1		X	
	Impact op de leefomgeving	Eco2	X		
Wettelijk	Vergunning en besluitvorming	W1		X	

Beschrijving maatschappelijke ontwikkeling

- De internationale verhoudingen komen in rustiger vaarwater in de loop naar 2050. De internationale handel groeit, maar Europa blijft samenwerken op de huidige manier en verliest aan kracht. Aantrekken van arbeidskrachten wordt daarmee lastiger. De wereldwijde ketens voor energie en grondstoffen komen door de wereldwijde groei van de grond, dit drukt de handelsprijzen. Maar de wereldwijde groei leidt ook tot grondstofschaarste. Nederland kan daar niet altijd de hoogste prijs voor bieden.
- Doordat Europa aan politiek en economisch gewicht verliest in de wereld, verwatert de aandacht voor de energietransitie. In 2050 worden geen fossiele brandstoffen meer gebruikt, maar fossiele grondstoffen kunnen nog wel.
- Het draagvlak in de samenleving neemt af voor de energie-transitie. De maatschappij wordt steeds individualistischer en consumptie is statusverhogend. De overheid laat andere belangen voor gaan en maakt geen essentiële keuzes.
- Inzet op import van hernieuwbare energie is daarom belangrijk om wel klimaatneutraal te worden. Het blijkt ook lastiger om grootschalige projecten te ontwikkelen, ook vanwege de impact op de leefomgeving, vergunningprocedures en het afnemende draagvlak.
- Nederland probeert vast te houden aan de huidige industrie, maar juist de energie-intensieve delen van industrie wijken om economische redenen uit naar het buitenland. Ook de productie van duurzame brandstoffen vindt voornamelijk buiten Europa plaats en in Europa importeren we voornamelijk.

Beeld van het energiesysteem

- In de gebouwde omgeving voltrekt de verduurzaming zich gestaag. Hybride warmtepompen op groen gas spelen een belangrijke rol, met een beperkt aantal hybride warmtepompen op waterstof. In goed te isoleren woningen worden volledig elektrische warmtepompen ingezet. Warmtenetten spelen een bescheiden rol. Er blijft, ondanks de krimp van de industrie, restwarmte beschikbaar uit verbrandingsprocessen op geïmporteerde waterstof en waterstofdragers. Ook WKK's en pieketels op waterstof zijn onderdeel van de warmtebronnenmix.

- Door de grote beschikbaarheid van geïmporteerde waterstof, is er veel ruimte voor waterstof als brandstof in de mobiliteitssector, naast elektrificatie.
- De energie-intensieve delen van de industrie vertrekken naar het buitenland, o.a. vanwege de arbeidskrachten en de snellere ontwikkelingen in andere delen van de wereld. In bepaalde industrieën worden halffabricaten (bijvoorbeeld ammoniak) elders geproduceerd om in Nederland te worden verwerkt tot eindproducten. Het energieverbruik van de industrie bestaat voornamelijk uit elektriciteit en geïmporteerde waterstoffen.
- In de landbouw is het lastig om grootschalige warmteprojecten te realiseren mede door gemis aan synergie met warmtenetten voor de gebouwde omgeving en het beperkte aanbod van groen gas of biomassa. Daarom wordt er verduurzaamd door elektrificatie. Er is een beperkte rol voor waterstof-WKK's.

- Waterstof en op waterstof gebaseerde brandstoffen worden wereldwijd de norm. De beperkte beschikbaarheid van duurzame metalen zorgt voor een rem op duurzame elektriciteitsproductie. Een aanzienlijk deel van het energiesysteem wordt daarom gebouwd op geïmporteerde brandstoffen, ook voor doorvoer naar andere landen in Noordwest-Europa.
- Opslag en vraaggestuurde inzet van waterstof zorgt voor flexibiliteit in het energiesysteem. Biomassa wordt ook internationaal aangevoerd, maar speelt een kleinere rol in dit scenario.
- Voor kernenergie is geen grote rol weggelegd, omdat het moet concurreren met goedkope brandstof. Waterstofcentrales maken de dienst uit.
- De ontwikkeling van grootschalige wind-op-zeeprojecten is lastig, door schaarste aan materialen en een minder daadkrachtige overheid. Ook op land is het lastig om projecten te realiseren. Huishoudens en bedrijven staan steeds minder in de rij voor zonnepanelen op hun daken.
- Flexibiliteit wordt met name georganiseerd rond waterstof, via import of waterstofopslag. De inzet van flexibiliteitsmiddelen wordt ondersteund en geoptimaliseerd door slimme systemen.

2.3. Implicaties voor keuzes transitie energiesysteem

De scenario's beschrijven hoe verschillende beleidskeuzes, technologische ontwikkelingen en maatschappelijke trends leiden tot uiteenlopende invullingen van het Nederlandse energiesysteem. Onderstaande overzichtstabel toont hoe elk scenario scoort op diverse onderdelen van het energiesysteem.

Deze tabel toont hoe binnen elk scenario de ontwikkeling

verloopt van elementen als elektriciteitsvraag, gasverbruik, waterstofgebruik, systeemflexibiliteit en internationale energiestromen. De tabel geeft de mate van verandering of intensiteit binnen een bepaalde categorie aan op een schaal van laag (♦) tot hoog (♦♦♦♦♦). Een hogere score op een bepaalde regel duidt niet op een absolute hoeveelheid, maar op de relatieve positie van het scenario ten opzichte van de andere binnen die regel. Zo betekent een score van ♦♦♦♦♦ bij 'Mobiliteit – waterstof' dat waterstof binnen deze sector de grootste rol speelt in dat scenario, maar niet dat in dat scenario uitsluitend waterstof verbruikt wordt in mobiliteit.

Tabel 2.6 Overzicht implicaties scenario's voor het energiesysteem van 2050. De mate van verandering of intensiteit binnen een bepaalde categorie wordt aangegeven op een schaal van laag (♦) tot hoog (♦♦♦♦♦). N.B. Een hogere score op een bepaalde regel duidt niet op een absolute hoeveelheid, maar op de relatieve positie van het scenario ten opzichte van de andere binnen die regel.

Tabel 2.6 Algemeen				
Algemeen	Koersvaste middenweg	Eigen vermogen	Gezamenlijke balans	Horizon aanvoer
Klimaatdoelen 2030 en 2050	♦♦♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦♦♦
Ruimte voor fossiel in 2050	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦♦
Importafhankelijkheid (enkele partners ♦ tot wereldmarkt ♦♦♦♦♦)	♦♦♦	♦	♦♦	♦♦♦♦♦

Tabel 2.6 Aanbod

Aanbod	Koersvaste middenweg	Eigen vermogen	Gezamenlijke balans	Horizon aanvoer
Elektriciteit				
Wind-op-zee	♦♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦	♦
Wind-op-land	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦	♦
Zon-op-land	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦	♦
Zon-op-dak	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦	♦
Biomassa	♦♦♦♦♦	♦♦	♦♦♦♦♦	♦
Kernenergie	♦♦♦♦♦	♦♦♦♦	♦♦♦	♦
Waterstofcentrales	♦♦♦	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦
(Groen)gascentrales	♦	♦	♦♦♦♦♦	♦
Waterstof				
Waterstof volume	♦♦♦	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦
Groen	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦	♦
Blauw	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦
Import	♦♦♦	♦	♦♦♦	♦♦♦♦♦
Doorvoer	♦♦	♦	♦♦♦	♦♦♦♦♦
(Groen) gas en biomassa				
Groengasproductie in NL	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦
Groengasimport	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦
Biomassa import	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦
Warmte				
Basislast elektrisch (warmtepomp + omgevingswarmte)	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦	♦
Pieklast elektrisch (e-boiler/p2h)	♦♦♦	♦♦♦♦	♦	♦
Basislast geothermie	♦♦♦	♦	♦♦	♦♦♦
Basislast restwarmte	♦	♦♦	♦♦♦♦♦	♦
Middenlast biomassa/afval (WKK / ketel)	♦♦	♦	♦♦♦	♦♦
Pieklast waterstof (WKK / ketel)	♦	-	♦	♦♦♦♦
Pieklast (groen) gas (WKK / ketel)	♦♦	♦	♦♦♦	♦
Warmteopslag	♦♦♦	♦♦♦♦	♦	♦

Tabel 2.6 Vraag

Vraag	Koersvaste middenweg	Eigen vermogen	Gezamenlijke balans	Horizon aanvoer
Industrie				
Omvang van bestaande industrie	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦
Nieuwe industrie (o.a. syn. brandstoffen)	♦♦♦	♦♦	♦♦♦♦	♦♦♦
Elektrificatie	♦♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦
Waterstof	♦♦♦	♦♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦
(Groen) gas	♦♦♦	♦♦	♦♦♦♦♦	♦
Biomassa	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦♦
CCS (op lange termijn)	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦
CCU	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦	♦
Gebouwde omgeving				
Heterogeniteit	♦♦	♦♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦
Elektrificatie	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦	♦
Waterstof hybride waterpomp	♦	♦	♦	♦♦♦♦♦
(Groen) gas hybride warmtepomp	♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦♦
Warmte	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦	♦
Nieuwbouw	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦	♦
Mobiliteit				
Elektrificatie	♦♦♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦	♦
Waterstof	♦	♦	♦	♦♦♦♦♦
Biobrandstoffen	♦	♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦
Synthetische brandstoffen	♦	♦	♦	♦♦♦♦♦
Internationale scheepvaart en luchtvaart				
Elektrificatie	♦	♦	♦	♦
Waterstof	♦♦	♦	♦	♦♦♦♦♦
Biobrandstoffen	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦
Synthetische brandstoffen	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦
Landbouw				
Elektrificatie	♦♦♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦
Warmte	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦
Biomassa/groen gas	♦	♦	♦♦♦♦♦	♦
Waterstof	♦♦♦♦♦	♦	♦	♦♦♦♦♦



Hoofdstuk 3.

Resultaten Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025

Voor elk scenario geeft een kwantitatieve uitwerking de belangrijkste kenmerken weer van het energiesysteem op bepaalde momenten in de toekomst. Dit hoofdstuk zet op hoofdlijnen de kwantificering van de scenario's uiteen. In de tabellen staan de jaren 2025, 2030 en 2050. De figuren in dit hoofdstuk tonen als eerste de referentiejaar 2019 / 2023, daarnaast de resultaten voor 2025, 2030, 2035, 2040 en 2050. De tekst gaat in op de huidige situatie, de transitie per scenario richting het eindbeeld 2050 en de voornaamste verschillen tussen de vier scenario's in het eindbeeld. Ook geeft dit hoofdstuk inzicht in de grootste onzekerheden en dilemma's die effect hebben op de transitie van het energiesysteem, alsook welke varianten daarom onderzocht zijn. Dit hoofdstuk geeft hierbij een overzicht van de belangrijkste cijfers. Meer detail over de aannames, bronnen en overwegingen, staan in de respectievelijke sectorale uitwerkingen onder hoofdstuk 4.

Het hoofdstuk is als volgt opgebouwd:

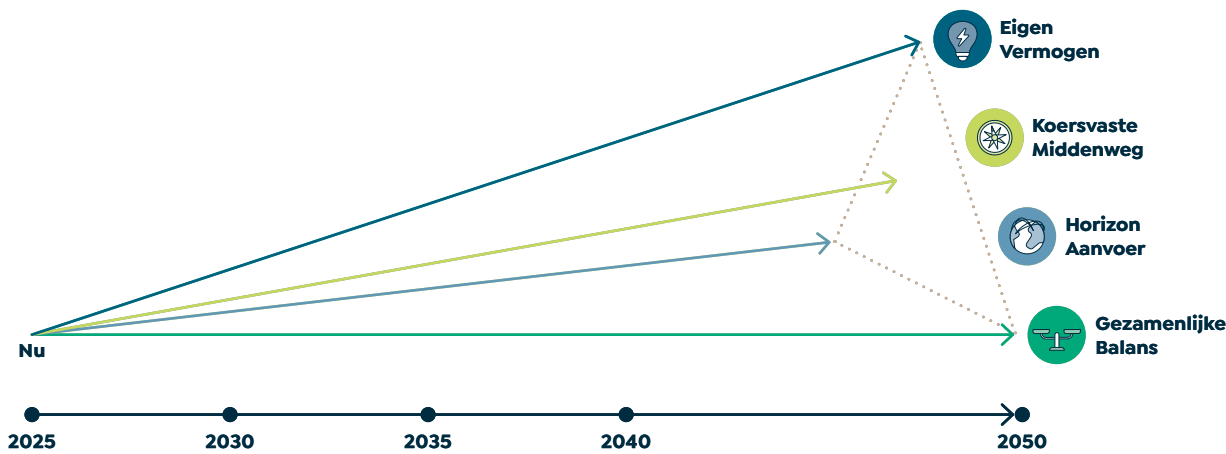
- Sectie 3.1 bespreekt de keuzes voor de tijdshorizon en de steekjaren voor de kwantificatie van de scenario's.
- Sectie 3.2 geeft de voornaamste resultaten per scenario en geeft de resultaten in stroomschema's voor 2050 weer.
- Sectie 3.3 bespreekt de ontwikkeling van broeikasgasemissies, de finale energievraag en de primaire energie-inzet die nodig is om aan de finale energievraag te voldoen.
- Sectie 3.4 gaat in meer detail in op de voornaamste energiebronnen- en dragers.
- Sectie 3.5 geeft de ontwikkeling van de vraag per sector weer en beschrijft de voornaamste keuzes.
- Sectie 3.6 vergelijkt de resultaten met de resultaten van enkele relevante studies.
- Sectie 3.7 zet de voornaamste onzekerheden, uitdagingen en dilemma's uiteen. Ook zijn relevante varianten op de scenario's geïdentificeerd die van belang lijken om nader te onderzoeken.

3.1 Tijdshorizon en steekjaren van kwantificering

De horizon wordt gelegd op 2050 omdat dit het laatste jaar is van veel beleid en de energietransitie dan moet hebben geleid tot een klimaatneutraal energiesysteem. Het aantal datapunten per onderwerp wordt overzichtelijk gehouden. Daarom is ervoor gekozen om de steekjaren te laten samenvallen met belangrijke mijlpalen in het beleid. De gekozen steekjaren zijn 2025, 2030, 2035, 2040 en 2050.

- 2025 wordt als eerste steekjaar gebruikt en dient als vertrekpunt in de analyses van de netbeheerders.
- 2030 is het jaar dat onder de klimaatwet 55 procent reductie van broeikasgasemissie bewerkstelligd moet zijn.
- 2035 is het jaar voor realisatie van een emissievrij elektriciteitssysteem vanuit het NPE.
- 2040 is het jaar waarvoor in Europees verband aan een klimaatdoelstelling wordt gewerkt, indicatief is dit 90%.
- 2050 is het jaar waarin Nederland de netto-uitstoot van broeikasgassen uiterlijk tot nul heeft gereduceerd.

Figuur 3.1 Tijdslijn verschillende scenario's en steekjaren. De scenario's hebben een tijdshorizon tot 2050, waarbij de steekjaren 2025, 2030, 2035, 2040 en 2050 zijn gekwantificeerd.



De uitwerking van de verschillende sectoren geeft waar mogelijk historische cijfers van een referentiejaar (2023) weer. Waar deze data niet volledig beschikbaar is, worden data gebruikt uit het Energie Transitie Model (ETM) met als referentiejaar 2019.

3.2 Resultaat per scenario

3.2.1 Voornaamste kengetallen van de scenario's

De Nederlandse Klimaatwet heeft als doel de uitstoot van broeikasgasemissies conform de IPCC-richtlijnen te reduceren en op termijn een klimaatneutrale samenleving te bereiken. De wet omvat nationale doelen voor verschillende zichtjaren en legt de verantwoordelijkheid bij de overheid om consistent te werken aan deze doelen. Voor 2030 is het reductiedoel een vermindering van broeikasgasemissies met ten minste 55 procent ten opzichte van 1990. Voor 2035 gaat het indicatief om 70 procent reductie. De Europese Commissie beveelt aan om de netto uitstoot van broeikasgassen tegen 2040 met 90 procent te verminderen, onduidelijk is of dit geldt voor elke lidstaat of geldt als gemiddelde voor de EU. Tenslotte streeft Nederland naar klimaatneutraliteit in 2050. Dit betekent dat de netto uitstoot van broeikasgassen dan tot nul is gereduceerd. Na 2050 wordt gestreefd naar negatieve emissies, waarbij meer broeikasgassen worden verwijderd dan uitgestoten.

De wettelijke en indicatieve doelen bepalen mede het tempo waarop de energietransitie plaatsvindt. Ze geven richting aan de transitie en zijn een belangrijke graadmeter of de transitie van het energiesysteem – en overige emissies daarbuiten – bij deze doelen aansluit. Tabel 3.1 geeft voor de relevante zichtjaren per scenario de restemissies en het reductiepercentage t.o.v. 1990 weer. ⁴Gemiddeld bedraagt de reductie in 2030 en 2050 respectievelijk 54 procent en 103 procent. Dit betekent dat in een gemiddeld weerjaar bijna elk scenario de wettelijke doelen haalt, alleen Horizon Aanvoer doet dat niet in 2030. Deze reductie vraagt om een grote verbouwing van het energiesysteem.

Tabel 3.1 toont de som van het elektrisch vermogen. Het hernieuwbare vermogen neemt ten opzichte van 2025 toe met een factor twee tot 2030, en met een factor vijf tot 2050. Het conventioneel vermogen neemt iets af, dit wordt deels vervangen door nieuwe vormen van flexibel vermogen. Dat stijgt met een factor twee tot 2030 en met een factor negen tot 2050.

Tabel 3.1 Overzicht CO₂-uitstoot en elektrische vermogens Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

			KM	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
			2025	2030				2050			
Emissies	Indicatie restemissies	Mt CO ₂ eq	141	105	105	106	110	1	6	-9	3
	Indicatie reductie t.o.v. 1990	%	38%	54%	54%	53%	51%	100%	97%	104%	99%
Totalen	Totaal hernieuwbaar vermogen	GW	45	74	90	69	63	197	264	162	126
	Totaal conventioneel vermogen	GW	23	20	20	20	18	24	23	21	22
	Totaal flexvermogen	GW	12	24	28	24	22	115	148	108	72
				KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
				2035				2040			
Emissies	Indicatie restemissies	Mt CO ₂ eq		58	69	62	71	17	28	26	30
	Indicatie reductie t.o.v. 1990	%		75%	70%	73%	69%	92%	88%	89%	87%
Totalen	Totaal hernieuwbaar vermogen	GW		108	140	97	85	143	188	122	107
	Totaal conventioneel vermogen	GW		20	20	18	19	22	21	20	22
	Totaal flexvermogen	GW		42	53	41	33	67	86	62	46

De onderstaande tabel bevat de voornaamste kengetallen en uitkomsten van de scenario's voor 2030 en 2050. Waar volumes getoond worden zijn deze gebaseerd op modelberekeningen in het ETM en de weersomstandigheden van klimaatjaar 2012⁵. Deze tabel toont 2025 ter referentie. Cijfers voor 2035 en 2040 zijn beschikbaar in de bijlage van dit rapport. De cijfers zijn afgerond tot hele getallen.

⁴ Er wordt een puntwaarde en geen bandbreedte gehanteerd, in de realiteit hebben veel externe factoren zoals het weer en het buitenland een positief of negatief effect op de daadwerkelijke emissies in een bepaald jaar.

⁵ Dit klimaatjaar is consistent als redelijk "gemiddeld" klimaatjaar, en daarom gehanteerd voor de indicatieve berekeningen bij de scenariokwantificatie.

Tabel 3.2 Overzicht voornaamste kengetallen Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

		KM	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
		2025	2030				2050			
Energievraag										
Elektriciteitsvraag	TWh	132	192	213	186	181	505	560	419	338
Gebouwde omgeving	TWh	50	54	54	54	54	81	74	77	80
Transport	TWh	6	17	23	13	16	68	72	60	61
Industrie	TWh	47	57	60	56	54	120	139	107	75
ICT & datacenters	TWh	9	25	29	24	24	55	78	45	45
Landbouw	TWh	11	10	13	11	9	14	15	11	9
Energiesector	TWh	9	15	16	15	14	31	34	31	24
Flexibele vraag (PtX)	TWh	1	12	17	13	10	137	148	88	46
Methaanvraag	TWh	301	275	263	283	283	63	34	136	37
Gebouwde omgeving	TWh	112	97	86	99	97	9	3	18	15
Transport	TWh	0	2	1	3	1	0	0	0	0
Industrie	TWh	90	91	81	97	89	46	20	81	20
Landbouw	TWh	9	5	2	6	5	0	0	1	0
Flex: centrales en piekketels	TWh	88	80	93	79	90	8	11	36	2
Waterstofvraag	TWh	1	13	15	15	17	68	77	36	133
Gebouwde omgeving	TWh	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Transport	TWh	0	1	1	2	3	4	4	8	16
Industrie	TWh	1	12	14	14	12	43	50	22	57
Landbouw	TWh	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Flex: centrales en piekketels	TWh	0	0	0	0	2	21	23	6	51
Energieaanbod										
Windenergie	GW	12	20	22	20	20	80	90	61	49
op zee (elektrisch)	GW	5	12	12	12	12	32	24	30	32
op zee (hybride)	GW	0	0	0	0	0	31	43	21	7
op zee (waterstof)	GW	0	0	0	0	0	4	6	0	0
op land	GW	7	8	10	8	8	13	17	10	10
Zon-PV ⁶	GW	33	54	68	49	44	116	174	101	77
op land/water	GW	8	14	18	14	11	37	58	37	25
gebouwen/woningen	GW	26	40	50	35	32	80	117	65	52

Tabel 3.2 Overzicht voornaamste kengetallen Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

Overig hernieuwbaar	GW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Groen gas	TWh	6	14	14	20	6	36	23	66	27
Aardgaswinning	TWh	74	60	60	60	60	0	0	0	0
Waterstof groen	TWh	0	3	6	4	3	108	123	55	29
Waterstof grijs/blauw	TWh	0	8	8	8	8	14	8	32	7
Waterstof import	TWh	0	12	9	15	27	136	103	163	306
Waterstof export	TWh	8	13	6	17	19	130	90	150	180
Centrales										
Kerncentrales	GW	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6,9	5,5	3,2	0,0
(Bio)kolencentrales	GW	4,0	2,2	2,2	2,2	0,0	1,6	0,0	1,6	0,0
Gascentrales	GW	17,0	15,9	16,5	16,8	15,3	0,4	0,1	9,6	0,3
Waterstofcentrales	GW	0,0	0,9	0,0	0,0	1,8	15,2	17,7	6,6	21,0
Overige centrales	GW	1,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,0	0,0	0,3	0,3
Flexibiliteit										
Power-to-gas (op land)	GW	0	2	3	2	1	13	13	10	11
Power-to-gas (op zee)	GW	0	0	0	0	0	15	21	10	3
Power-to-heat	GW	0,5	2,3	2,8	1,9	1,9	3,6	5,9	3,3	2,2
Batterijopslag	GW	1	9	10	9	7	49	56	43	27
Intraday energy storage (IDES)	GW	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	6,0	7,0	5,5	5,0
Multiday energy storage (MDES)	GW	0,0	0,3	1,0	0,3	0,3	3,2	6,4	2,6	1,3
Vraagsturing (DSR)	GW	0,8	1,1	1,2	1,0	1,0	6	9	4	4
Interconnectie (elektrisch)	GW	9	10	10	10	10	20	29	29	20
Methaanopslag	TWh	33	30	29	31	30	5	3	15	5
Waterstofopslag	TWh	0	0	1	0	1	15	16	7	19

⁶ Paneelvermogen, maximale levering aan stroomnetten aanzienlijk lager door aangenomen overplanting.

Tabel 3.2 Overzicht voornaamste kengetallen Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

		KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
		2035				2040			
Energievraag									
Elektriciteitsvraag	TWh	272	321	261	240	374	442	323	295
Gebouwde omgeving	TWh	65	62	64	65	74	71	74	75
Transport	TWh	35	44	25	31	54	65	39	46
Industrie	TWh	69	81	68	59	90	111	85	67
ICT & datacenters	TWh	38	49	34	34	47	64	40	40
Landbouw	TWh	11	14	11	9	12	15	11	9
Energiesector	TWh	23	23	23	18	27	30	28	22
Flexibele vraag (PtX)	TWh	31	48	36	24	69	87	46	34
Methaanvraag	TWh	208	203	240	171	122	90	192	97
Gebouwde omgeving	TWh	67	52	68	66	38	23	38	36
Transport	TWh	2	1	2	1	2	0	3	1
Industrie	TWh	75	65	89	66	63	50	85	47
Landbouw	TWh	2	1	4	3	0	1	2	2
Flex: centrales en piekketels	TWh	63	84	77	34	19	16	64	11
Waterstofvraag	TWh	18	20	21	72	63	74	33	121
Gebouwde omgeving	TWh	0	0	0	1	0	0	0	3
Transport	TWh	1	1	3	7	2	2	5	10
Industrie	TWh	14	18	17	22	35	34	25	49
Landbouw	TWh	0	0	0	1	0	0	0	2
Flex: centrales en piekketels	TWh	2	1	1	42	25	38	4	57
Energieaanbod									
Windenergie	GW	37	43	34	32	55	64	45	45
op zee (elektrisch)	GW	25	26	23	23	36	30	32	32
op zee (hybride)	GW	3	5	3	1	9	21	5	5
op zee (waterstof)	GW	0	0	0	0	0	0	0	0
op land	GW	9	12	8	8	11	14	9	9
Zon-PV	GW	71	97	63	53	87	123	76	61
op land/water	GW	19	28	19	15	25	38	25	18
gebouwen/woningen	GW	52	69	43	38	62	85	51	43

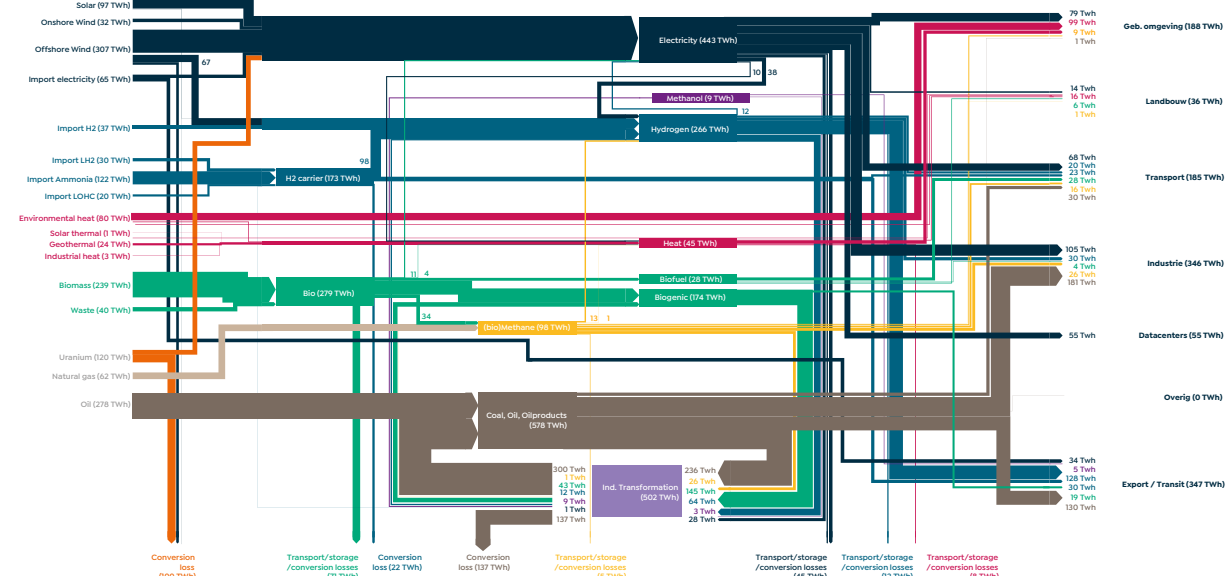
Tabel 3.2 Overzicht voornaamste kengetallen Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

Overig hernieuwbaar	GW	1	0	1	0	1	0	1	0
Groen gas	TWh	22	20	36	13	30	25	50	20
Aardgaswinning	TWh	32	32	32	32	12	12	12	12
Waterstof groen	TWh	15	27	19	12	42	56	27	20
Waterstof grijs/blauw	TWh	14	8	20	7	14	8	26	7
Waterstof import	TWh	47	39	63	142	122	100	127	255
Waterstof export	TWh	57	29	71	85	100	50	125	150
Centrales									
Kerncentrales	GW	0	0	0	0	4	3	2	0
(Bio)kolencentrales	GW	2	2	2	0	2	0	2	0
Gascentrales	GW	14	15	14	3	1	1	13	1
Waterstofcentrales	GW	3	2	1	16	15	18	3	21
Overige centrales	GW	0	0	0	0	4	3	2	0
Flexibiliteit									
Power-to-gas (op land)	GW	5	10	6	5	12	12	10	7
Power-to-gas (op zee)	GW	1	2	2	1	4	10	2	2
Power-to-heat	GW	3	4	3	2	3	5	3	2
Batterijopslag	GW	20	20	16	12	31	34	27	19
Intraday energy storage (IDES)	GW	1,5	2,5	1,0	0,5	3,0	4,0	2,5	2,0
Multiday energy storage (MDES)	GW	1,3	1,9	1,0	0,6	2,6	3,8	1,9	1,3
Vraagsturing (DSR)	GW	1,9	3,9	1,6	1,7	3,1	7,4	2,5	2,4
Interconnectie (elektrisch)	GW	13	14	14	13	14	18	18	14
Methaanopslag	TWh	27	25	26	18	11	9	21	10
Waterstofopslag	TWh	2	4	2	12	13	18	4	16

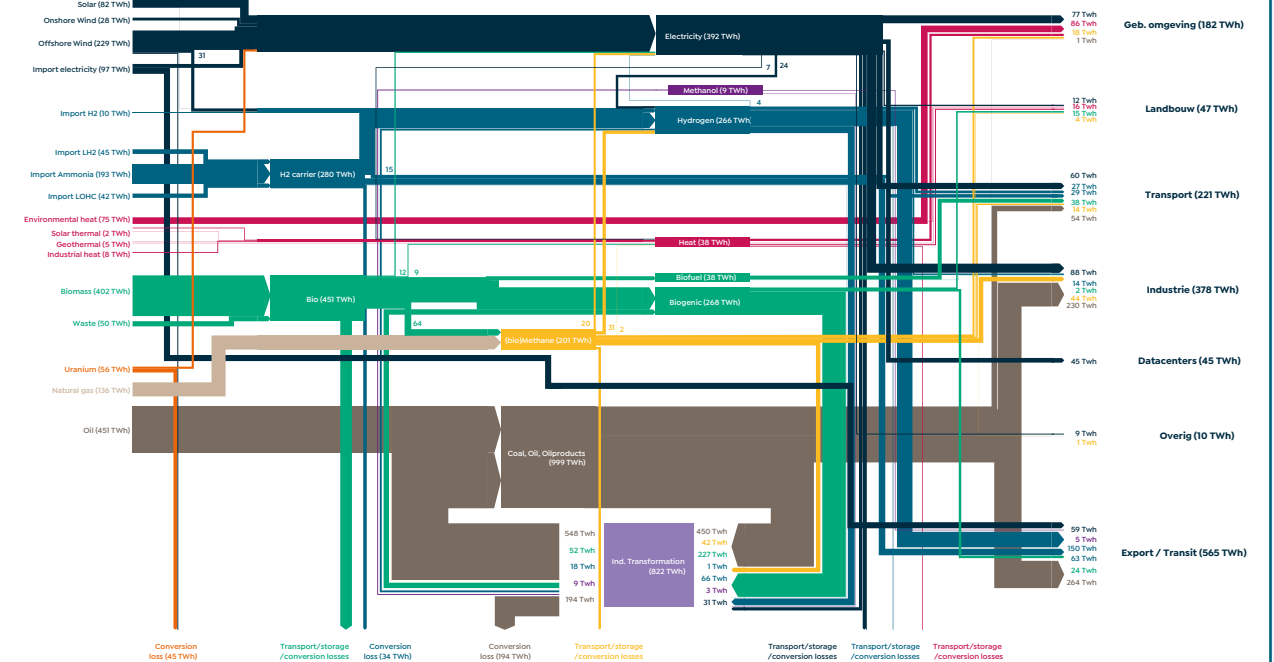
De onderstaande Sankeydiagrammen - stroomschema's - geven inzicht in de belangrijkste energiestromen en conversies van de scenario's in het jaar 2050. Dit toont de verhoudingen tussen energiedragers en sectoren en in

Disclaimer Sankeydiagrammen: de Sankeydiagrammen maken gebruik van de resultaten van het ETM. Hierdoor kan het voorkomen dat getallen in deze diagrammen niet exact overeenkomen met de getallen in de overige grafieken. Bij de overige grafieken zijn namelijk enkele aanvullende berekeningen uitgevoerd.

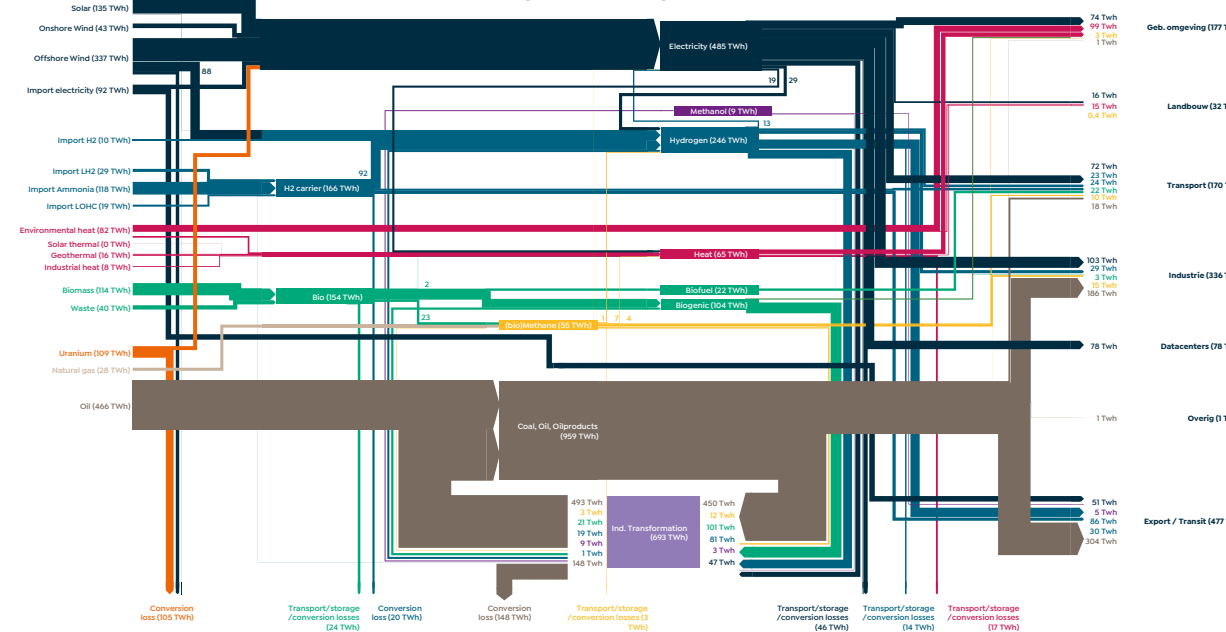
Scenario Koersvaste Middenweg 2050



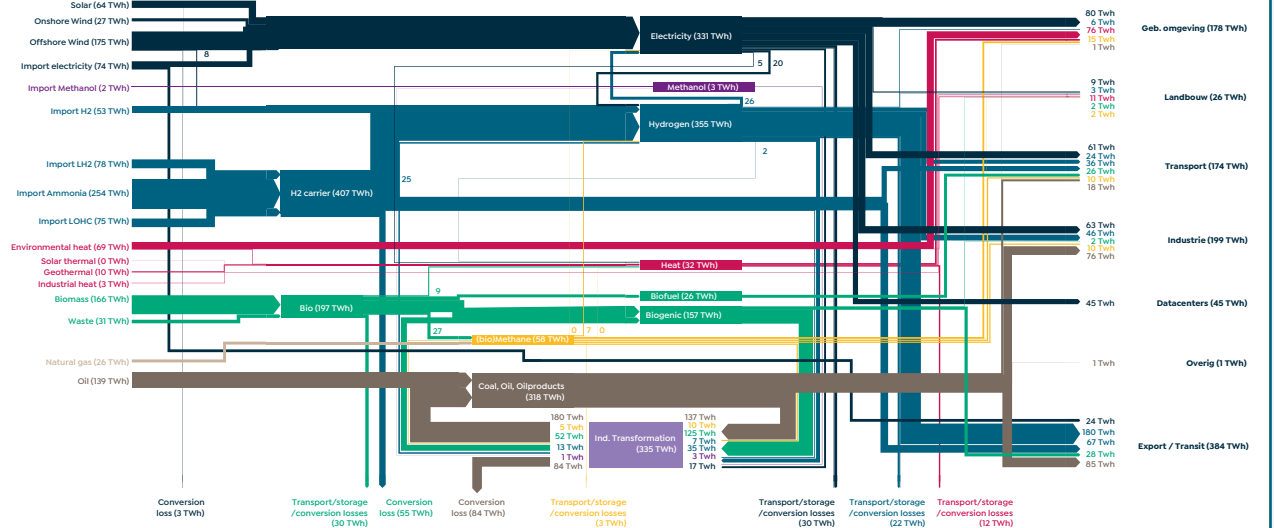
Scenario Gezamenlijke Balans 2050



Scenario Eigen Vermögen 2050



Scenario Horizon Aanvoer 2050

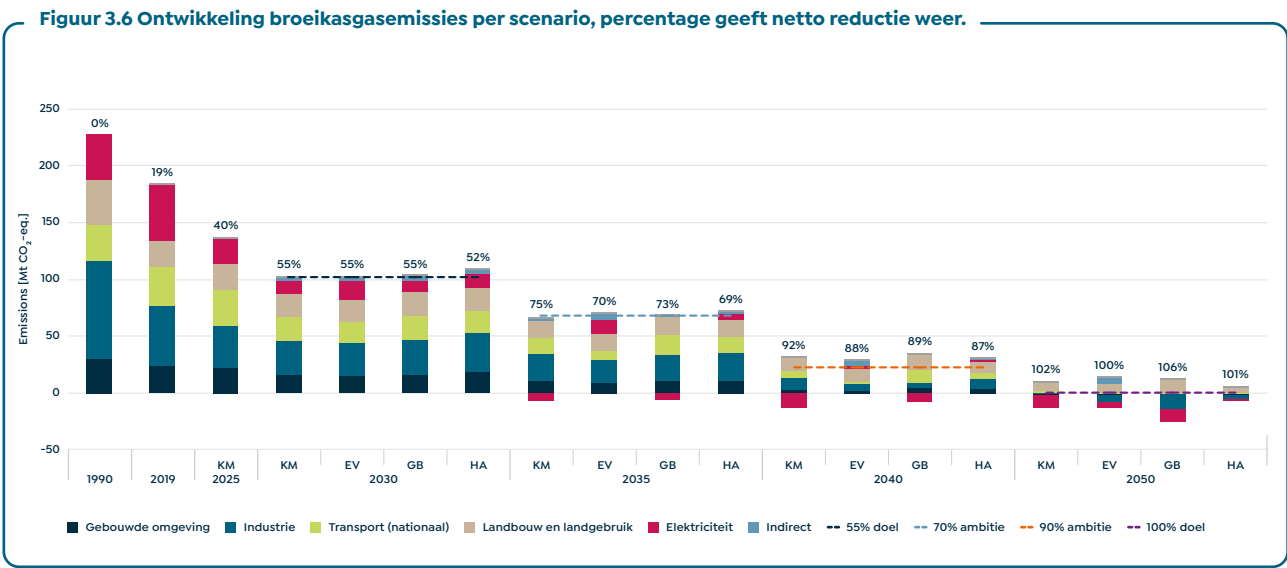


3.3 Kwantificatie totaaloverzicht

Dit hoofdstuk zet de belangrijkste uitkomsten van de scenariokwantificatie uiteen. Het geeft eerst de ontwikkeling van de uitstoot van broeikasgassen weer. Daarna volgt het overzicht met finaal verbruik – de som van de eind-verbruikssectoren – en tot slot het overzicht van primaire binnenlandse energiebronnen, de som van aanbod.

3.3.1 Ontwikkeling uitstoot broeikasgassen

Voor elk scenario is per sector CO_{2eq}-reductie berekend.⁷ Figuur 3.1 vat de resultaten van elk scenario in vergelijking tot de Nederlandse doelstellingen voor emissiereductie in verschillende zichtjaren samen.



Alle vier de scenario's leiden tot reductie van broeikasgas-emissies. Emissies in 2030 liggen tussen de 100–110 Mton. Dit betekent dat er in 2030 een netto emissiereductie van 52 tot 55 procent gehaald wordt ten opzichte van het niveau in 1990. Daarmee wordt de emissiereductiedoelstelling van 55 procent in de meeste scenario's, in een gemiddeld weerjaar, behaald. In 2035 bedraagt de emissiereductie tussen de 69 en 75 procent. In 2040 ligt de reductie tussen de 88 en 92 procent en in 2050 is de uitstoot in elk scenario netto meer dan 100 procent, dit betekent dat er meer negatieve dan positieve emissies zijn. Een deel van de bruto emissies worden in de industrie en energiesector afgevangen en opgeslagen, waardoor de netto uitstoot van deze sectoren lager is. Met name in de scenario's Koersvast Middenweg en Gezamenlijke Balans speelt deze techniek een grote rol. In het scenario Horizon Aanvoer is aangenomen dat de emissies uit de veehouderij aanzienlijk dalen, wat doorwerkt in de totale reductie.

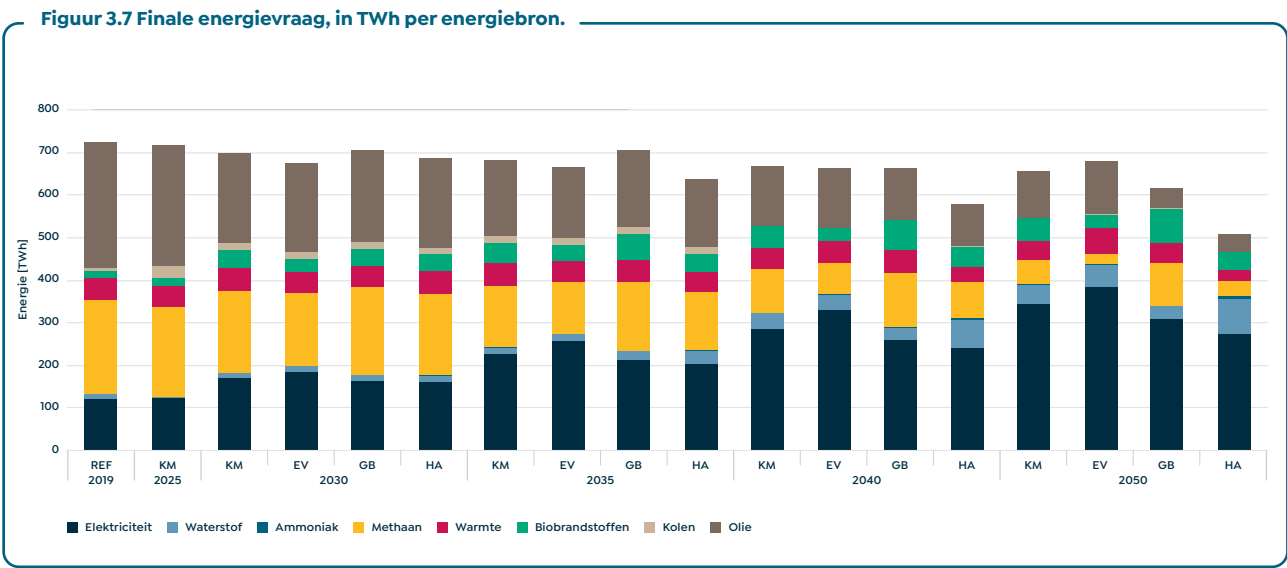
3.3.2 Eindgebruik van energie

Het finaal eindgebruik is het binnenlands energieverbruik van eindverbruikers, uitgesplitst naar energiedrager (figuur 3.7) en naar de sectoren (figuur 3.8). De getoonde getallen zijn exclusief energieverbruik voor internationaal transport, bunkers en luchtvaart. De biomassavraag voor de productie van Sustainable Aviation Fuel (SAF) wordt niet weergegeven. Elektriciteit, warmte en waterstof zijn secundaire energiedragers; de primaire bronnen die ingezet worden voor het maken hiervan, worden beschreven in sectie 2.3.

De totale energievraag is in 2050 voor alle scenario's lager dan medio 2025. Maar in de meeste scenario's neemt de totale finale energievraag maar beperkt af tot 2050. De grootste afname vindt plaats in het scenario Horizon Aanvoer. Wel valt een verandering op in energiebronnen. Aardgas en olie zijn in de referentiesituatie dominant. Beide lopen sterk terug richting 2050.

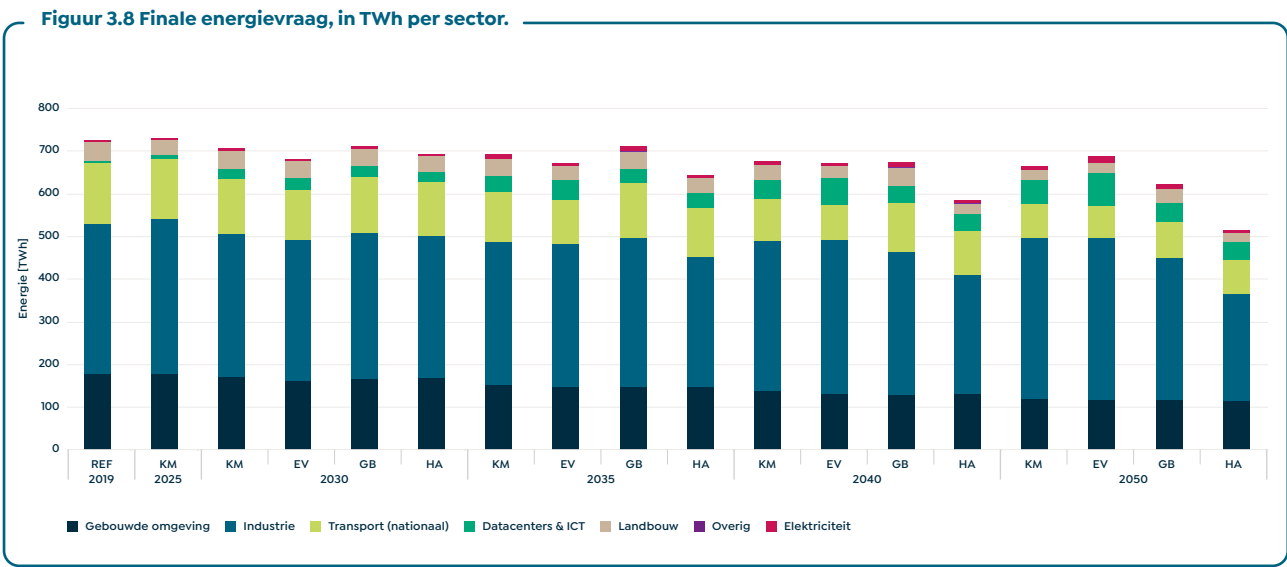
In de 2050-scenario's is gebruik van aardgas alleen mogelijk met behulp van CCS en de olie die nog gebruikt wordt, is grotendeels vervangen door gerecyclede pyrolyseolie. De hoeveelheid biobrandstoffen en warmte stijgt maar zeer beperkt, vanwege de keuze om vraag vanuit internationale mobiliteit buiten onderstaande figuur te laten. Daar is namelijk wel een forse groei zichtbaar. Voor warmte geldt dat er veel meer woningen op een warmtenet worden

aangesloten. Netto is er echter beperkt verschil in de finale warmtevraag, onder andere door verre-gaande isolatie die leidt tot een lagere warmtevraag. De hoeveelheid elektriciteit neemt toe in alle scenario's. In alle 2050-scenario's is duurzame elektriciteit de belangrijkste energiedrager. De rol van waterstof neemt in de tijd ook geleidelijk toe. Daarbij gaat het om waterstof, ammoniak en een deel van de methaanvraag.



Figuur 3.8 toont de finale (binnenlandse) energievraag per sector. Hier valt op dat de consumptie in de industrie in alle scenario's het grootste aandeel heeft in het eind-verbruik. In 2050 ontstaat een forse variatie in het industrieel verbruik tussen de scenario's. Dit wordt verklaard doordat in het scenario Horizon Aanvoer een deel van de industrie uit Nederland vertrekt, terwijl in de andere scenario's juist nieuwe industrieën zich in Nederland vestigen. Het energieverbruik van datacenters groeit fors over de jaren.

Het elektriciteitsverbruik per datacenter is aanzienlijk. Het eindgebruik in de gebouwde omgeving neemt enigszins af door betere isolatie en efficiëntere verwarming. Door groei van de bevolking wordt dit effect deels tenietgedaan. De toename van elektrische aandrijving draagt bij aan een lager energieverbruik bij mobiliteit, dit is namelijk veel efficiënter dan de traditionele brandstofmotor. Ook de vraag vanuit de landbouw halveert bijna in een periode van 25 jaar, voornamelijk door elektrificatie in de sector.



⁷ De verdeling emissies per sectoren in het ETM is niet gelijk aan de verdeling van emissies naar de 6 sectoren-/klimaattafels. Door nadere eigen berekeningen zijn bijv. de elektriciteit emissies die voortkomen vanuit gebruik in de gebouwde omgeving verplaatst naar de elektriciteitssector.

3.3.3 Primaire energiebronnen

Het primaire energieaanbod omvat alle energie die nodig is om in het binnenlandse eindverbruik te voorzien, inclusief de energie voor conversie, zoals zon voor elektriciteitsopwekking of elektriciteit voor waterstofproductie. Figuur 3.9 toont hoe de belangrijkste energiedragers in het huidige energiesysteem – gas, olie en kolen – vervangen worden door een duurzame energiemix in 2050, waar in alle scenario's een grote rol is weggelegd voor verschillende vormen van duurzame opwek van elektriciteit. Er is een aantal belangrijke algemene veranderingen in de energiemix:

- **Elektriciteit:** de totale opwek van wind en zon neemt aanzienlijk toe. Wind wordt in 2050 in alle scenario's de belangrijkste energiebron voor Nederland en draagt bij aan de verduurzaming van het eindverbruik in alle sectoren. In drie van de vier scenario's speelt nucleaire elektriciteit vanaf 2040 een grotere rol. Een deel van de duurzaam opgewekte elektriciteit wordt ingezet voor de productie van andere dragers zoals waterstof en warmte. Daarnaast leidt de simulatie in het ETM tot meer import dan export van elektriciteit in alle scenario's en zichtjaren. TenneT voert hiervoor nog een diepere marktanalyse uit.⁸
- **Methaan:** aardgas speelt medio 2025 nog een belangrijke rol in de totale energiemix. Deze hoeveelheid is ongeveer gehalveerd in 2030 en neemt daarna snel verder af. In alle scenario's blijft methaan van groen gas en aardgas in gebruik, bijvoorbeeld om blauwe waterstof mee te maken en ook wordt het ingezet in de hybride warmtepomp. Uitstoot vanwege inzet van aardgas wordt via CCS elders in het systeem gecompenseerd.
- **Biomassa:** de scenario's kennen in 2050 een grote bandbreedte in gebruik van biomassa als energiebron. Afhankelijk van het scenario blijft het volume nagenoeg gelijk of neemt met een factor drie toe. Biomassa wordt

gebruikt voor de productie van elektriciteit, warmte en biomethaan – groen gas.

- **Waterstof(dragers):** in alle scenario's wordt vanaf 2030 ammoniak, waterstof en LOHC, een vloeibare organische waterstofdrager, geïmporteerd. Een uiteindelijk deel van deze groene ammoniak wordt in Nederland omgezet in waterstof. Ammoniak kan ook direct ingezet worden.
- **Uranium:** productie van elektriciteit uit kerncentrales en/of Small Modular Reactor's (SMR's) neemt in veel scenario's aanzienlijk toe. Kerncentrales leveren in het scenario Koersvaste Middenweg bijvoorbeeld een kleine 10 procent van de totale elektriciteitsproductie.

Hoewel de 2050 scenario's redelijk met elkaar overeenkomen, laten de scenario's ook enkele verschillen zien:

- Het scenario Horizon Aanvoer heeft een lagere energievraag dan de andere scenario's. Er wordt minder in Nederland geproduceerd, dus de benodigde energie is in dit scenario ook lager.
- De scenario's Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans hebben een grotere biomassa vraag. In deze scenario's worden meer biobrandstoffen gebruikt. En er wordt meer gebruik gemaakt van groen gas.
- In het scenario Horizon Aanvoer speelt kernenergie geen rol in het energiesysteem. Daardoor is er geen uraniumvraag in de grafiek.
- De productie van windenergie en zonne-energie is in het scenario Eigen Vermogen het grootste. Met name zon is in het scenario Eigen Vermogen twee keer zo groot als in de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer.
- Aardgas speelt met name nog een belangrijke rol in het scenario Gezamenlijke Balans. In dit scenario zijn er nog veel back-upcentrales op aardgas en speelt blauwe waterstof een grote rol.

3.3.4. Transformatie van energie

De Sankey-diagrammen maken goed zichtbaar dat de transformatie van energie een grote rol speelt in de energiestromen. Medio 2025 gaat het daarbij met name om omzetting van olie in olieproducten zoals benzine, diesel en kerosine. De energietransitie zorgt ook binnen deze stromen voor een ingrijpende verandering:

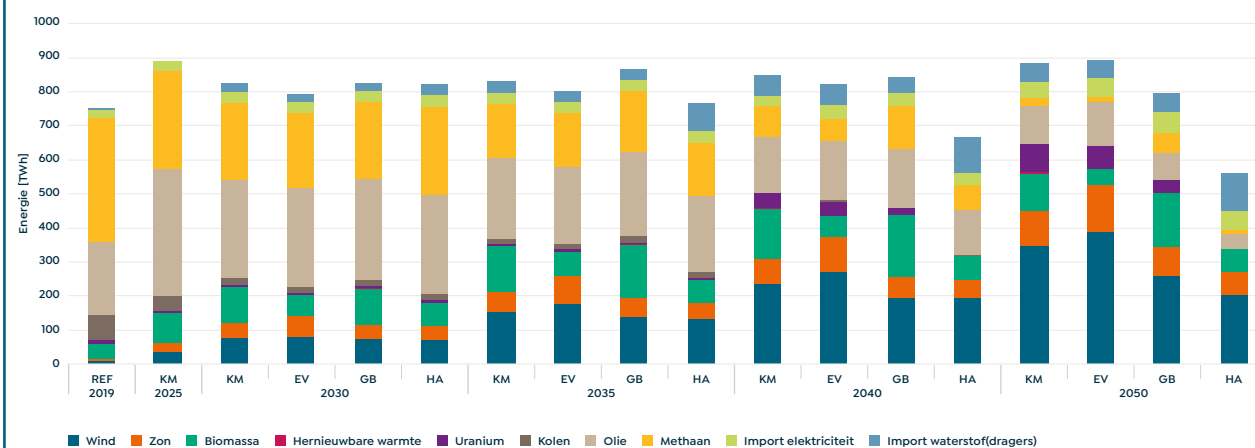
- In 2019 bedroeg het totale energieaanbod ongeveer 750 TWh, waarvan 90 procent bestond uit olieproducten zoals benzine, diesel en nafta. Deze producten worden voor- namelijk geleverd aan de mobiliteitssector en de chemische industrie. Dit aanbod neemt geleidelijk af tot gemiddeld 300 TWh in 2050, waarbij fossiele productiecapaciteit steeds verder wordt afgebouwd en deels wordt vervangen door duurzame alternatieven. Naast olieproducten maakt de transformatiesector ook allerlei andere producten, zoals waterstof, methanol en ammoniak. De transformatievraag betreft de grondstoffen voor deze producten⁹. Hierin wordt ook de transitie binnen de brand- en grondstoffensector zichtbaar. In 2019 werd nog vrijwel uitsluitend fossiele olie gebruikt. Richting 2050 neemt de verwerking van ruwe olie in alle scenario's af. In de scenario's Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans blijft ca 60 procent van de huidige

productiecapaciteit in bedrijf tot aan 2050. Het scenario Horizon Aanvoer voorziet de grootste daling, hoofdzakelijk vanwege de grotere rol van importen.

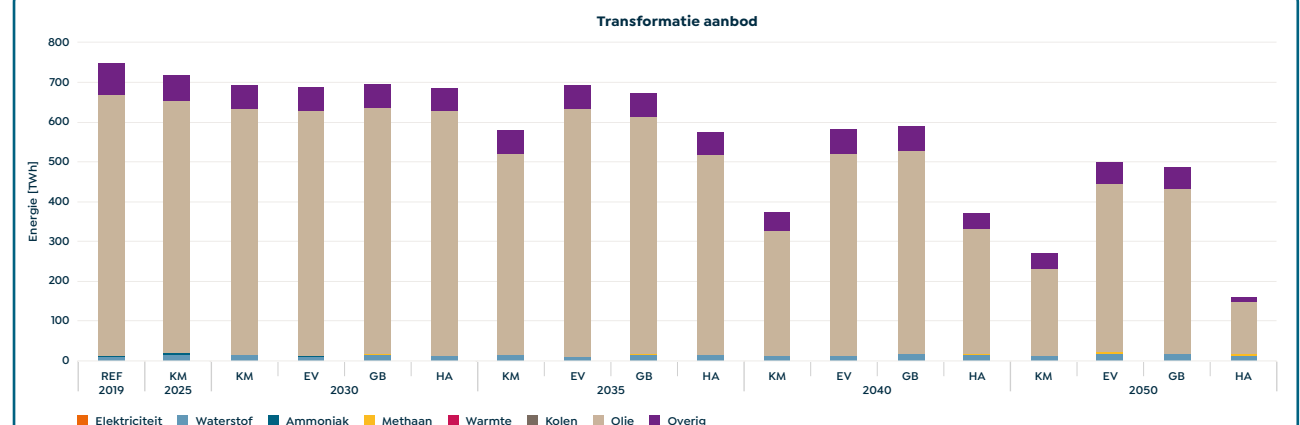
- Afhankelijk van het scenario komt hier deels duurzame productie voor terug. Dit wordt zichtbaar in het toenemend gebruik van o.a. afval, biomassa en waterstof. De omvang van deze nieuwe industrie verschilt ook per scenario en is onder andere afhankelijk van het aanbodpotentieel van de noodzakelijke grondstoffen, hernieuwbare energie, duurzame koolstof, etc. Het scenario Gezamenlijke Balans voorziet de grootste biogene productie vanwege de grote beschikbaarheid van biomassa. In het scenario Eigen Vermogen worden de meeste synthetische producten gemaakt, gedreven door de beschikbaarheid van duurzame elektriciteit en waterstof.

Onderstaande twee figuren hebben betrekking op het primair energieaanbod, inclusief buitenlandse vraag. Ten opzichte van figuur 3.9 bevat het primair energieaanbod, inclusief buitenlandse vraag, met name veel meer olie, die in Nederlandse raffinaderijen wordt verwerkt tot scheep- of luchtvaartbrandstof of wordt doorverkocht als olieproduct buiten Nederland.

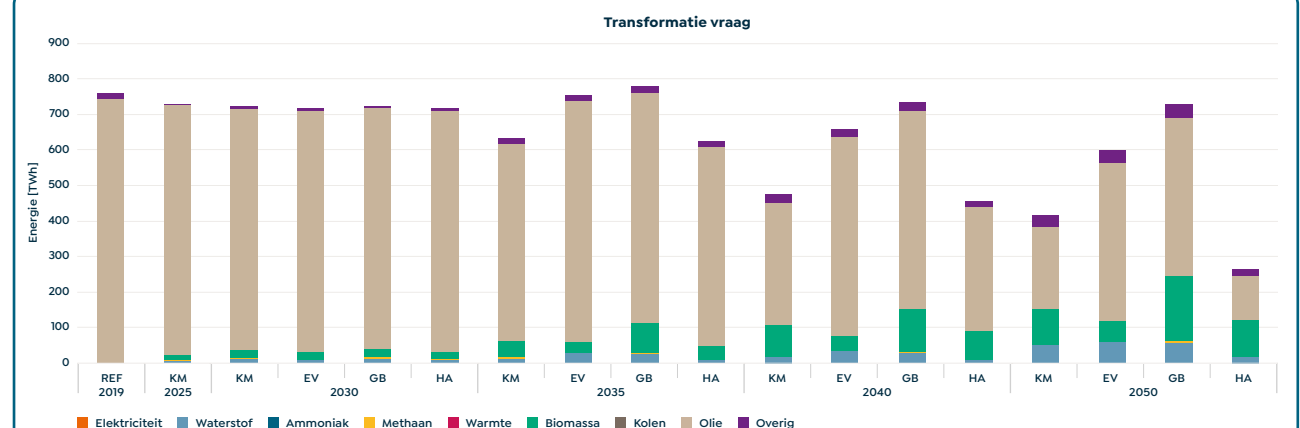
Figuur 3.9 Primair energieaanbod voor binnenlandse vraag, exclusief doorvoer en export, inclusief grondstoffen en synfuels.



Figuur 3.10 Ontwikkeling transformatie-aanbod, in TWh per bron.



Figuur 3.11 Ontwikkeling transformatievraag, in TWh per bron.



⁹ Industriebedrijven die meer van een bepaalde energievorm produceren dan ze zelf gebruiken worden in de modellering als transformatiesite beschouwd. In principe is alle energievraag van deze sites in het ETM weergegeven onder transformatie. Als zodanig zit hier ook eindverbruik bij. Voor de grafieken in deze rapportage is hier nog een correctie op toegepast. Alle transformatievraag van de chemie in het eindverbruik weergegeven. Alle energieverbruik van olieraffinaderijen is als transformatie gelabeld, met uitzondering van het elektriciteitsverbruik.

3.4 Kwantificatie energiebronnen- en dragers

Deze paragraaf gaat in op de energiedragers van het Nederlandse energiesysteem: elektriciteit, waterstof, methaan, warmte, biobrandstoffen en synthetische brandstoffen. Daar geeft de paragraaf wordt een toelichting op de huidige inzet, de ontwikkeling in vraag en aanbod tot 2050 en de belangrijkste verschillen tussen de scenario's. Waar volumes genoemd worden, zijn deze gebaseerd op berekeningen met het ETM en de weersomstandigheden van klimaatjaar 2012¹⁰.

3.4.1 Elektriciteit Huidige inzet

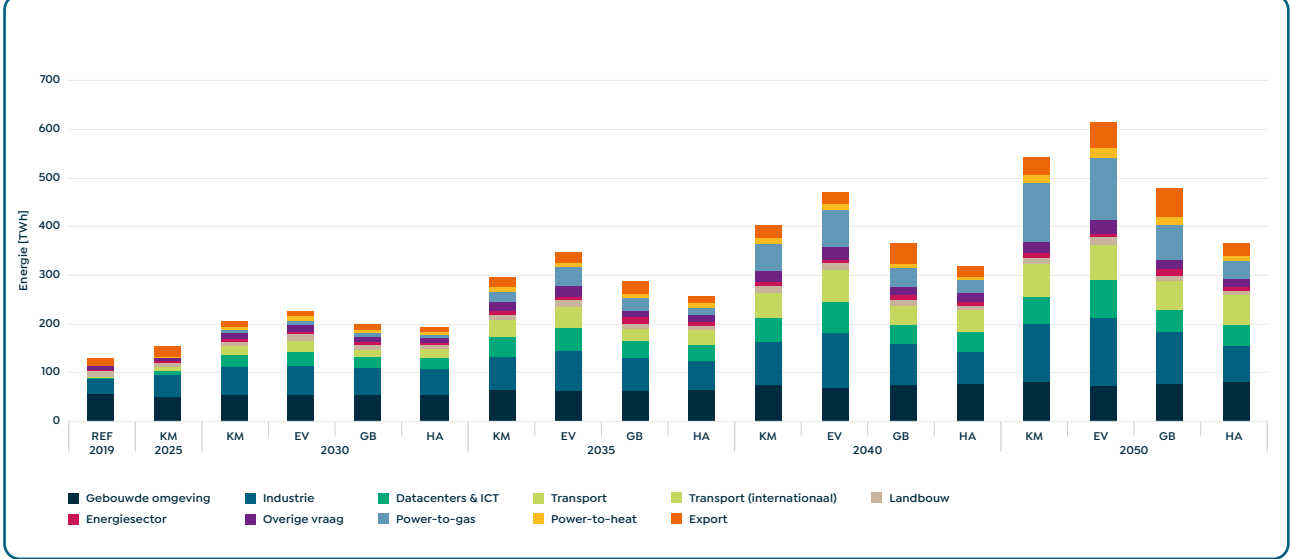
Eind 2025 bedraagt het verwachte geïnstalleerd vermogen aan duurzame elektriciteitsopwekking rond 45 GW, waarvan rond 33 GW zon-PV, 7 GW wind-op-land en bijna 5 GW wind-op-zee. Voor conventionele opwek met fossiele brandstoffen gaat het om rond 23 GW, waarvan het grootste deel, 17 GW, afkomstig is van aardgascentrales. Kolencentrales hebben een geïnstalleerd vermogen van 4 GW, overige conventionele centrales (zoals afvalverbranding, kolengas en olie) leveren maximaal 1,6 GW en de kerncentrale Borssele voegt rond 0,5 GW aan het totaal toe. Daarnaast dragen flexibele bronnen zoals marktinterconnectie, vraagsturing en batterijopslag naar verwachting in totaal, rond 12GW bij. Samen wekken alle bronnen circa 145 TWh aan elektriciteit op, wat aansluit bij de verwachte elektriciteitsbehoefte eind 2025 (zie figuur 3.12). De gebouwde omgeving en de industrie –

inclusief datacenters en ICT – vragen de meeste elektriciteit, respectievelijk 50 TWh en 47 TWh. Nederland importeert in deze situatie meer elektriciteit (34 TWh) dan het exporteert (22 TWh). Vergeleken met 2023 stijgt de productie uit wind – zowel op land als op zee – en zon-PV sterk, terwijl de productie uit fossiele bronnen zoals kolen- en gascentrales daalt.

Ontwikkelingen 2025 tot 2050 en verschillen per scenario

Vanwege de elektrificatie van de samenleving, neemt de vraag naar elektriciteit de komende decennia fors toe. Deze toename is echter niet in alle scenario's en niet voor alle sectoren hetzelfde. In het scenario Horizon Aanvoer is de stijging van de elektriciteitsvraag in vergelijking met de andere scenario's het meest beperkt, naar circa 290 TWh in 2050 en rond 330 TWh inclusief flexibele vraag door power-to-x¹¹. In het scenario Eigen Vermogen wordt de sterkste groei van de elektriciteitsvraag verwacht, namelijk naar rond 370 TWh en 440 TWh inclusief power-to-x, door een verregaande elektrificatie in vrijwel alle sectoren en nieuwe verbruikers zoals datacentra. In scenario's Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans ligt de groeiende vraag naar elektriciteit hier tussen. Om aan de toenemende elektriciteitsvraag te voldoen, stijgt het aanbod mee. Hierbij verduurzaamt het elektriciteitsaanbod met name door investeringen in hernieuwbare bronnen zoals wind en zon-PV en wordt de rol van fossiele brandstoffen steeds kleiner, tot een volledige uitfasering van fossiele brandstoffen in 2050 in drie van de vier scenario's – met nog een beperkt aanbod in het scenario Gezamenlijke Balans.

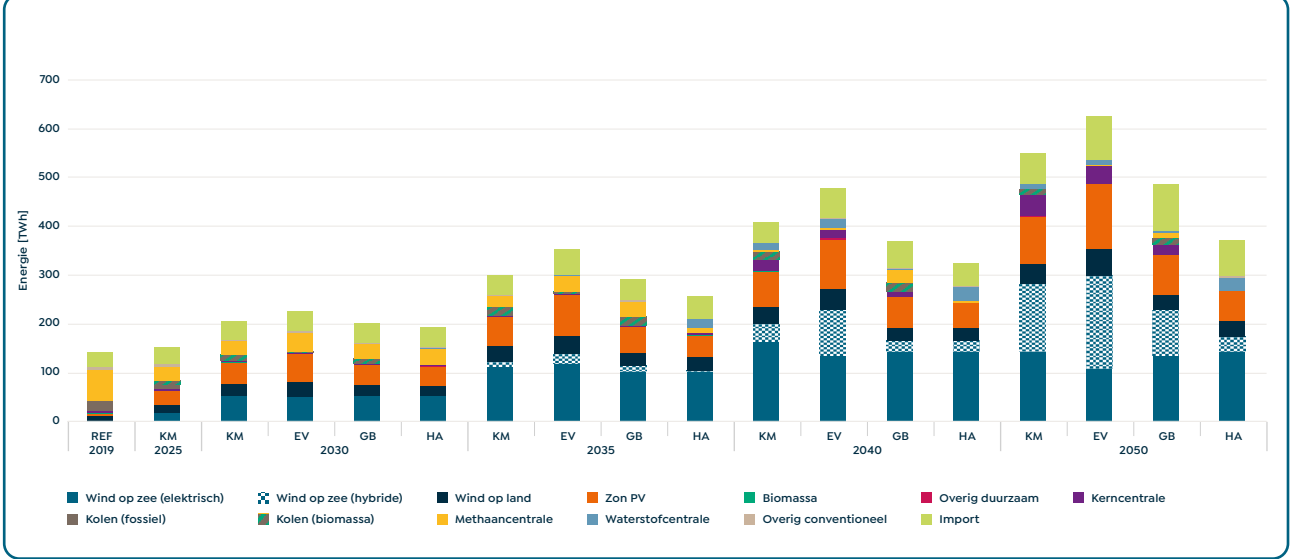
Figuur 3.12 Ontwikkeling vraag naar elektriciteit 2025-2050, in TWh per sector.



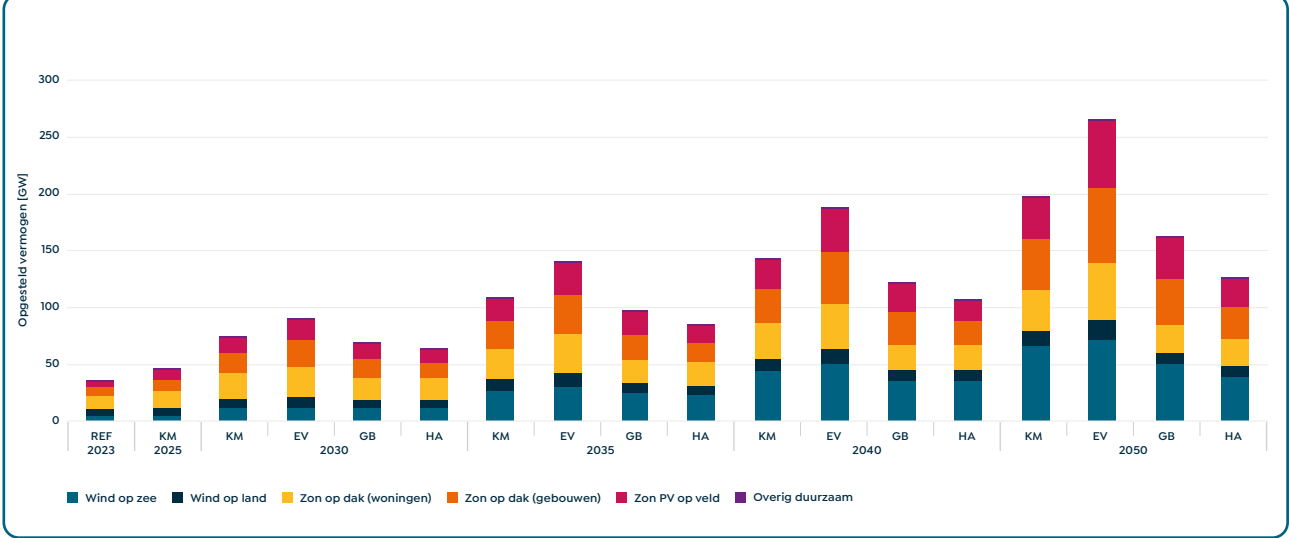
Hoewel het aanbod van elektriciteit per scenario verschilt, neemt in alle scenario's het opgestelde vermogen van duurzame energiebronnen toe, met name van wind en zon-PV, zie figuur 3.14. In het scenario Eigen Vermogen zet Nederland vol in op duurzame opwek zowel op land als op zee. Daarnaast wordt een deel van de wind-op-zee in de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen op de lange termijn hybride aangesloten. Dit betekent dat er een mogelijkheid is om een deel van de opgewekte energie als waterstof te transporteren op momenten waarin al aan de elektrische vraag is voldaan. In het scenario Gezamenlijke Balans en scenario Horizon Aanvoer wordt minder energie opgewekt door zon en wind. In het scenario Gezamenlijke Balans speelt de import van biomassa en groen gas een grote rol. In alle scenario's wordt daarnaast

waterstof in centrales omgezet in elektriciteit om tekorten op te vangen. Met een verschuiving naar opwek met duurzame bronnen worden centrales ook anders ingezet. In 2030 zijn centrales op aardgas nog steeds onderdeel van het systeem, maar het aantal vollasturen neemt af. Waar methaancentrales in 2019 nog circa de helft van de elektriciteitsvraag voor hun rekening namen, is dit in 2030 geslonken tot circa 20 procent, 30 TWh van 170 TWh. In 2050 wordt alleen in het scenario Gezamenlijke Balans methaan gebruikt voor centrale elektriciteitsproductie. In de andere scenario's opereren gascentrales allemaal op waterstof. Ten slotte wordt er in de scenario's Koersvaste Middenweg, Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans ook ingezet op elektriciteitsproductie met nucleaire bronnen.

Figuur 3.13 Ontwikkeling aanbod elektriciteit, in TWh per bron.



Figuur 3.14 Opgesteld duurzaam vermogen, in GW per techniek.



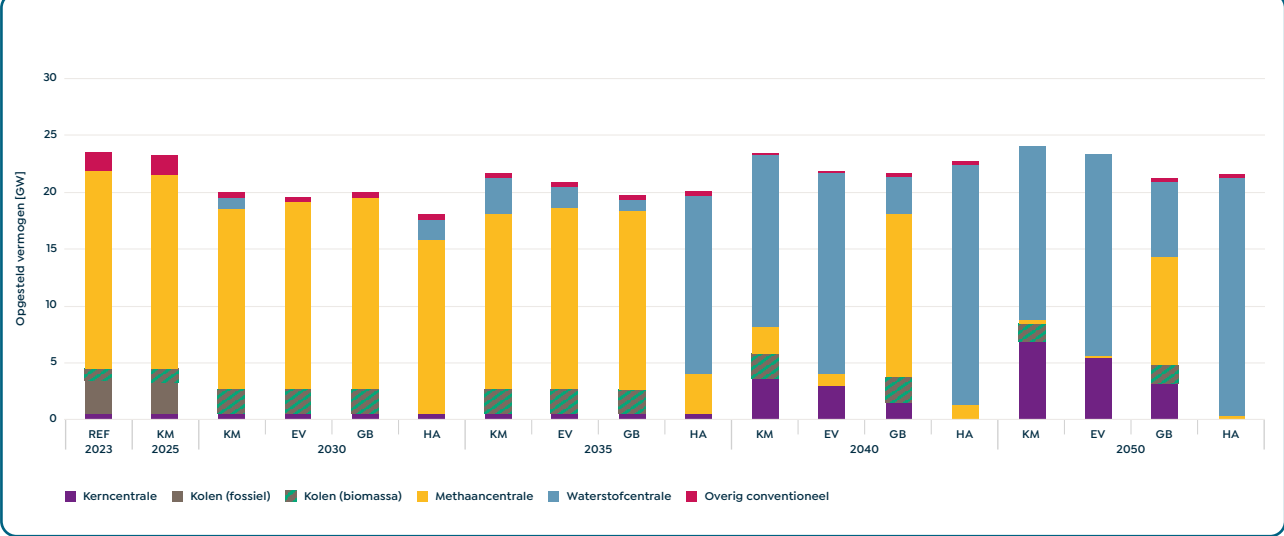
¹⁰ ETM berekeningen bevatten versimpelingen bijv. op het vlak van marktberoekeningen en zijn daarom als indicatief te beschouwen. Het klimaatjaar heeft verder ook impact op de getoonde aanbod- en vraagvolumes. In de ETM analyses is 2012 als redelijk gemiddeld klimaatjaar gebruikt.

¹¹ Let op: Indicatieve cijfers o.b.v. berekeningen in het ETM

Figuur 3.15 geeft het regelbare vermogen uit conventionele centrales weer. Conventionele c.q. regelbare elektriciteitscentrales leveren het gevraagde vermogen op momenten met onvoldoende duurzame opwek en andere vormen van beschikbare flexibiliteit. Ze vangen zo het verschil op tussen vraag en aanbod. In de 2050-scenario's komt het opgesteld vermogen van conventionele centrales uit op 21-24 GW¹². Dit is vergelijkbaar met het regelbaar vermogen van conventionele centrales medio 2025.

Het grootste gedeelte van de centrales werken medio 2025 op aardgas. Deze centrales gaan in drie scenario's grotendeels over op waterstof. Daarnaast staat er in het scenario Koersvaste Middenweg in totaal 7 GW kerncentrales, in het scenario Eigen Vermogen en scenario Gezamenlijke Balans is dit respectievelijk 5 GW en 3 GW. De huidige kolencentrales gaan uiterlijk 2030 uit bedrijf of worden omgebouwd naar regelbare biomassacentrales¹³.

Figuur 3.15 Opgesteld regelbaar vermogen, in GW per techniek.



Zie sectie 3.4.5 voor de rol van flexibiliteit, opslag, transport en conversie. Deze bronnen hebben ook invloed op de vraag en het aanbod.

3.4.2 Waterstof
Huidige inzet

Nederland produceert medio 2025 ongeveer 50 TWh waterstof, grotendeels lokaal, deels uit aardgas met steam methane reforming (SMR) en deels uit industriële restproducten.¹⁴ Deze waterstof wordt nu met name gebruikt voor kunstmestproductie en in de olieraffinage. Onderstaande figuren geven een overzicht van de hoeveelheden waterstof in de verschillende scenario's. Hierin is alleen de waterstof opgenomen waarvoor transportnetten nodig zijn; vraag die wordt ingevuld met aanbod op locatie – de productie uit SMR's on-site – is buiten beschouwing gelaten. Ook de geïmporteerde

ammoniak en LOHC die niet wordt omgezet in waterstof is buiten beschouwing gehouden in deze paragraaf. Deze informatie komt terug bij de industrievraag.

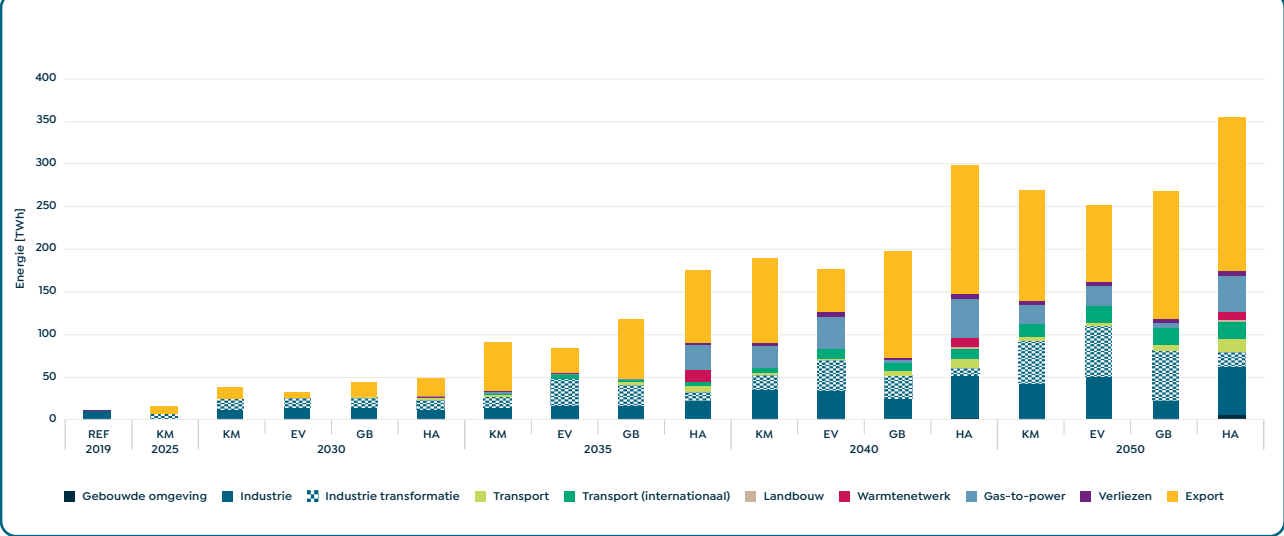
Ontwikkelingen 2025 tot 2050
en verschillen per scenario

De vraag naar waterstof groeit naar 250 tot 350 TWh in 2050, hiervan is een aanzienlijk deel, 90-180 TWh, doorvoer en export¹⁵. De groei is veruit het snelst in het scenario Horizon Aanvoer. Op korte termijn is de consumptie van de industrie bepalend voor de vraag naar waterstof. Daarnaast gaat ook de elektriciteitsopwek tussen 2030-2035 waterstof omzetten, het gas-to-power. Vanaf 2040 speelt waterstof ook een rol

in de gebouwde omgeving. Daar dient het als brandstof voor piekketels van warmtenetten. Directe inzet in een hybride warmtepomp met H₂-ketel vindt alleen na 2040 plaats in het scenario Horizon Aanvoer. Met als argument dat in dit scenario de marktprijs van waterstof relatief laag is. In 2040 neemt gebruik van waterstof voor flexibiliteit en balanceren van het elektriciteitssysteem toe. Richting 2050 neemt ook de directe inzet van waterstof in de mobiliteit

serieuze vormen aan. Het gaat dan met name om transport over lange afstanden. De scenario's Eigen Vermogen en Koersvaste Middenweg laten de grootste groei zien in de industrie. Dit houdt verband met de productie van synthetische grondstoffen voor de industrie en brandstoffen voor de lucht- en scheepvaart. Paragraaf 2.3.6 gaat nader in op de productie van synthetische brand- en grondstoffen.

Figuur 3.16 Ontwikkeling waterstofvraag, in TWh per sector.



Naast de binnenlandse vraag groeit ook het binnenlands aanbod van waterstof. Low-carbon productie uit aardgas (SMR+CCS/ATR) neemt toe in de meeste scenario's. Deze fabrieken reduceren met CCS de emissies. Nieuw gebouwde ATR-installaties produceren blauwe waterstof. Industriële restgassen voorzien in een deel van de nieuwe waterstofvraag. Ook hiervan wordt de CO₂ afgevangen.

In 2030 en 2035 wordt groene waterstof bijna alleen op land geproduceerd. De elektriciteit daarvoor wordt geproduceerd door wind-op-zee, wind-op-land en zon-op-land. Vanaf 2035 wordt groene waterstof ook op zee geproduceerd, hybride-, direct in een windturbine of op een 'energie-eiland'. Eerst in kleinere hoeveelheden, maar in 2050 komt de meeste groene waterstof van zee, behalve in het scenario Horizon Aanvoer. De omvang van de productie van groene waterstof hangt af van het opgestelde vermogen aan wind en zon, de mate van elektrificatie van Nederland en de kosten voor import van waterstof.

Deze productie op zee kent hoge draaiuren en een eigen transportleiding naar land. Productie op land kent lagere draaiuren met meer zon en onshore wind in de mix, en meer afhankelijkheid van overschotten. Daardoor neemt de hoeveelheid geproduceerde waterstof na 2035 aanzienlijk toe en daalt waarschijnlijk ook de prijs.

Om aan de totale vraag te kunnen voldoen is veel import van waterstof nodig, terwijl ook in het buitenland in Europese scenario's de vraag naar waterstof hoog is. Nederland is goed gepositioneerd om bijvoorbeeld het Duitse industriegebied van Northrijn Westfalen te bedienen. Voor drie scenario's gaat het om circa 120 TWh, deze import wordt min of meer volledig doorgevoerd naar het achterland. In het scenario Horizon Aanvoer is de geïmporteerde waterstof ook bedoeld voor de binnenlandse vraag van 300 TWh. In een aantal scenario's wordt een deel van de geïmporteerde ammoniak en LOHC rechtstreeks doorgevoerd naar het buitenland, zonder gebruik te maken van het waterstof netwerk (zie hoofdstuk 4.9).

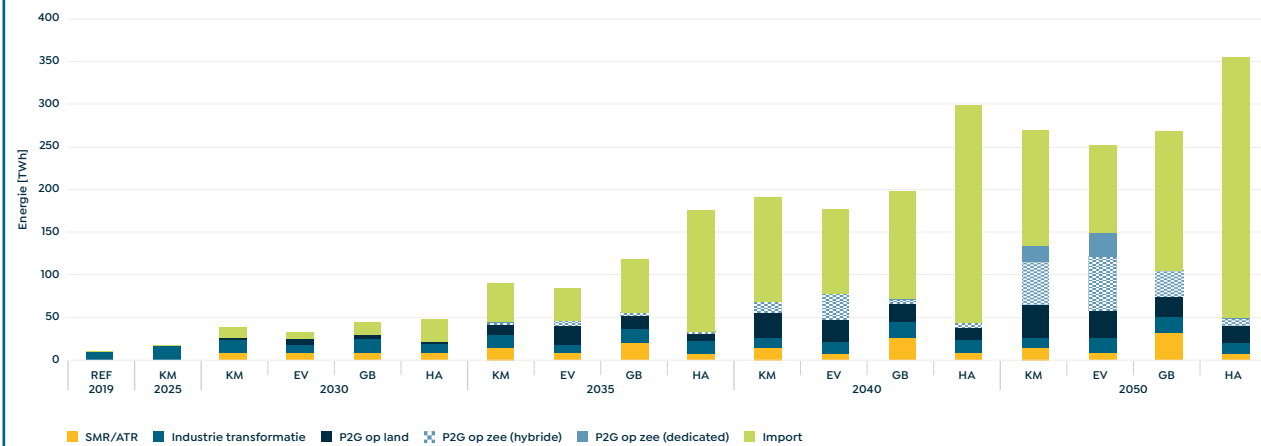
¹² Deze uitkomst is bepaald middels een globale analyse in het ETM. Deze studie doet geen uitspraken over de hoeveelheid regelbaar vermogen dat in een klimaatneutraal energiesysteem wenselijk is vanuit leveringszekerheidsperspectief. Hiervoor wordt verwezen naar de leveringszekerheidsstudies van TenneT, die dit zowel voor de kortere als langere termijn in meer detail in beeld brengt.

¹³ Kolencentrales die overgaan naar biomassa-stook worden hier onder conventioneel vermogen getoond ter verduidelijking dat het om dezelfde centrales gaat.

¹⁴ Het aandeel van waterstof uit SMR in de totale waterstofproductie is momenteel ongeveer 58% (28 TWh). Het restant wordt gemaakt uit industriële reststromen. Zie ook: open.overheid.nl/documenten/ronl-dca8a3f6-1f43-44eb-b8a9-63c496bd2f57/pdf

¹⁵ In de grafiek is alleen de netto energievraag getoond, d.w.z. de energie die naar een gebruiker getransporteerd moet worden. Vraag die wordt voorzien met on-site productie is niet inbegrepen.

Figuur 3.17 Ontwikkeling waterstofaanbod, in TWh per bron.



3.4.3 Methaan

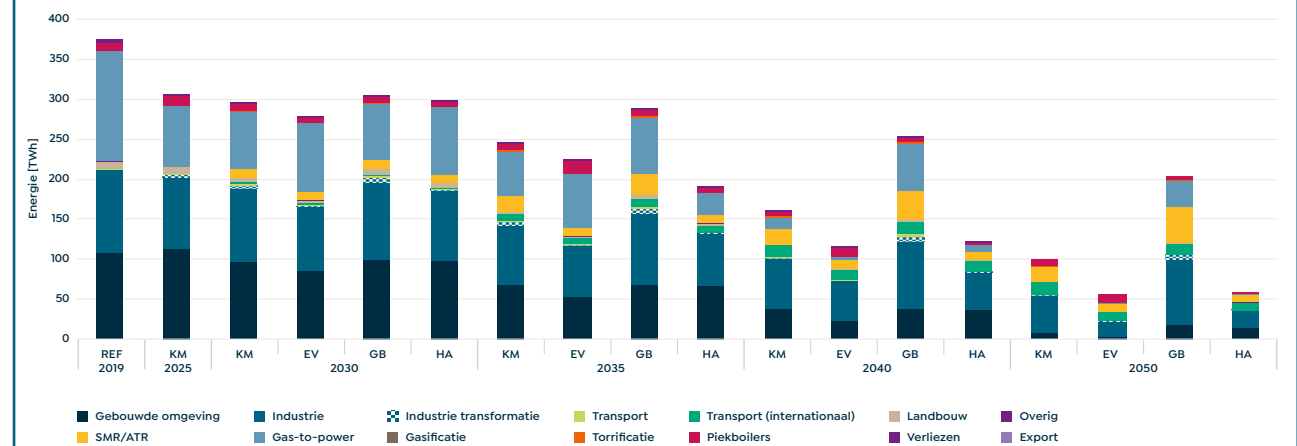
Huidige inzet

In 2023 bedroeg de binnenlandse productie van aardgas 92 TWh (8,8 miljard m³).¹⁶ Dit is een afname van 190 TWh ten opzichte van 2019, grotendeels verklaarbaar door nagenoeg geen winning uit het Groningenveld. De totale groengasproductie bedroeg 2 TWh, 0,28 miljard m³. De binnenlandse vraag naar methaan was circa 314 TWh en de verwachting is dat deze daalt naar 305 TWh in 2025. Het grootste deel van de vraag naar methaan is afkomstig van de industrie met 33 procent, gevolgd door de gebouwde omgeving met 31 procent, elektriciteitsproductie met 25 procent en de landbouw met 10 procent. De productie van groen gas is ten opzichte van 2022 met 22 procent toegenomen. Onderstaande figuren tonen aanbod en vraag naar methaan – aardgas en groen gas – in de periode tot 2050.

Ontwikkelingen 2025 tot 2050 en verschillen per scenario

De vraag naar methaan neemt in de periode tot 2050 drastisch af, met een daling van 65–92 procent ten opzichte van 2025 (figuur 3.18). Deze daling gaat gepaard met grote verschuivingen in de sectoren die methaan nodig hebben. De productie van blauwe waterstof via SMR/ATR-methoden wordt naar verwachting de belangrijkste toepassing van fossiel methaan, dat in beperkte mate geïmporteerd blijft worden. In het scenario Gezamenlijke Balans is de vraag naar methaan in 2050 het hoogst, namelijk circa 200 TWh, voornamelijk vanwege de productie van blauwe waterstof¹⁷. In andere scenario's varieert de methaanvraag tussen 5 en 15 TWh. Het gebruik van methaan voor elektriciteitsopwek is tegen 2040 grotendeels geëlimineerd door de omschakeling naar waterstofcentrales. In 2050 is er geen sprake meer van conventionele methaancentrales.

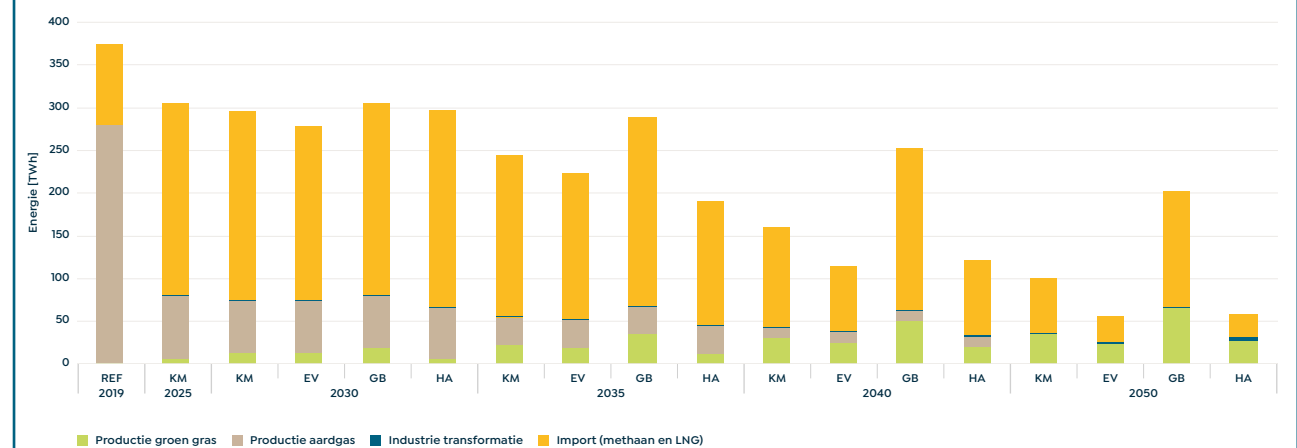
Figuur 3.18 Ontwikkeling vraag methaan, in TWh per sector.



Aan de aanbodzijde vindt tot 2030 een sterke daling plaats in de binnenlandse aardgasproductie, die afneemt tot 40–60 TWh (figuur 3.19). Het aandeel groen gas neemt in de meeste scenario's aanzienlijk toe, er is een grote bandbreedte: van 25 TWh in Horizon Aanvoer en Eigen Vermogen, tot 65 TWh in Gezamenlijke Balans. Tussen 2040–2050 wordt er in Nederland geen

aardgas meer geproduceerd; uitsluitend groen gas blijft over door import en eigen productie. De rol van aardgasimport neemt in vrijwel alle scenario's af, naarmate de vraag naar methaan verder daalt. Alleen in scenario Gezamenlijke Balans blijft een noemenswaardige hoeveelheid aardgas nodig, met name voor de productie van blauwe waterstof.

Figuur 3.19 Ontwikkeling aanbod methaan exclusief export en doorvoer, in TWh per bron.



¹⁶ TNO, 2023. Jaarverslag Delfstoffen en aardwarmte in Nederland.

¹⁷ De categorie met label SMR/ATR omvat alleen nieuwe fabrieken waterstofproductie. Bij de categorieën industrie (en transformatie) zit ook nog bestaande productie, het totaal is dus groter.

3.4.4 Warmte

Huidige situatie

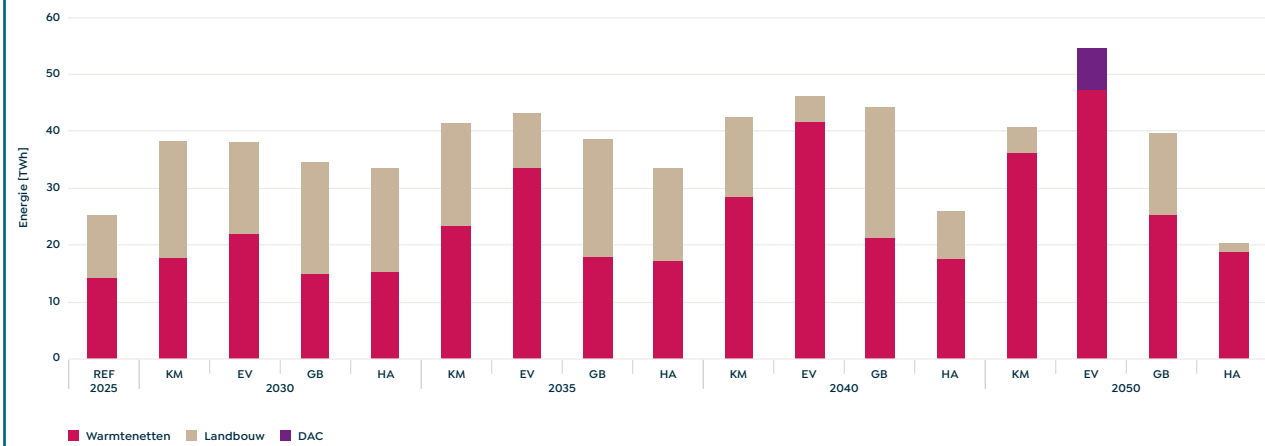
In 2025 bedraagt de vraag naar warmte, geleverd via warmtenetten aan de glastuinbouw en de gebouwde omgeving, circa 25 TWh. De vraag is vooral afkomstig van de glastuinbouw (15 TWh) en de gebouwde omgeving (10 TWh)¹⁸. De warmte wordt voornamelijk geleverd door een combinatie van restwarmte uit elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties en WKK's (2,7 TWh), warmteboilers (12 TWh), midden- en pieklastbronnen (10,2 TWh), restwarmte uit de industrie (0,8 TWh) en geothermie (0,4 TWh). Het gaat hier om 'on-site' warmtelevering voor glastuinbouw en publieke warmtelevering aan een net met een mix aan verbruikers. Deze sectie kijkt niet naar de on-site warmtevraag van de industrie.

Ontwikkelingen 2025 tot 2050 en verschillen per scenario

In drie van de vier scenario's neemt de vraag naar geleverde warmte toe, ten opzichte van 2025. Alleen in scenario Horizon Aanvoer neemt de vraag af. Het type warmtebron verandert ook aanzienlijk. Van overwegend warmtelevering door WKK's en elektriciteitscentrales, verschuift het aanbod naar industriële restwarmte en grootschalige geothermie.

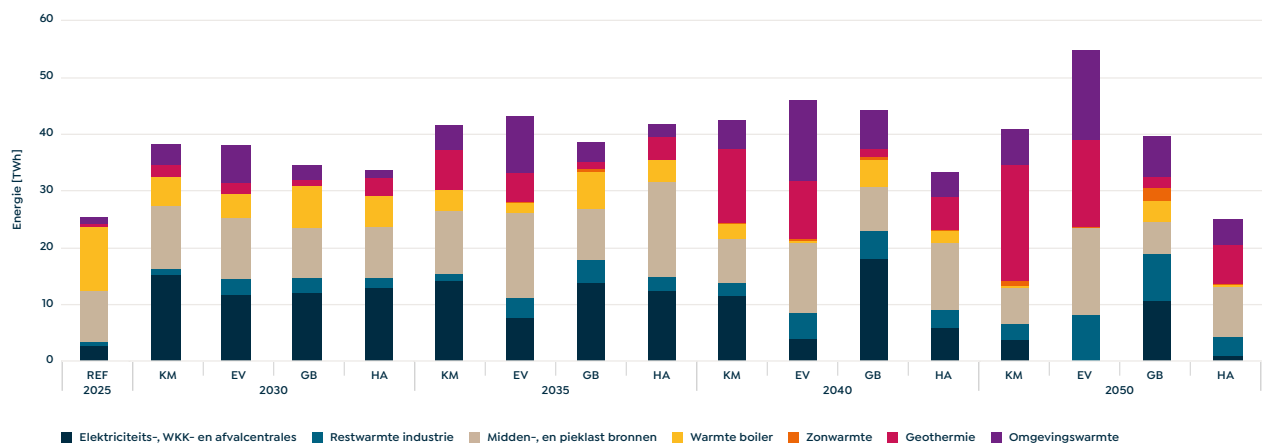
In de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen is de warmtevraag driemaal hoger dan medio 2025 in de gebouwde omgeving. De warmtevraag in het scenario Gezamenlijke Balans blijft ongeveer tegelijk ten opzichte van medio 2025. Het scenario Horizon Aanvoer kent de laagste warmtevraag: in de gebouwde omgeving is slechts een kleine groei van de warmtevraag en de vraag van de glastuinbouw krimpt. In het scenario Eigen Vermogen neemt de warmtevraag in 2050 mede toe als gevolg van Direct Air Capture-installaties.

Figuur 3.20 Ontwikkeling warmtevraag, in TWh per sector.



In alle scenario's is er een mix aan aanbod van warmte. Net als de vraag, is het aanbod in de meeste scenario's relatief gelijk aan het aanbod medio 2025. Wel verschuift de bronnenmix van centrales naar geothermie en pieklastbronnen met daarin een aanzienlijk deel biomassa. In de scenario's Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans wordt veel restwarmte geleverd door de industrie. Voor de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen is opschaling van geothermie voor invoeding in warmtenetten noodzakelijk voor een duurzame warmtelevering.

Figuur 3.21 Ontwikkeling warmte-aanbod, in TWh per bron.



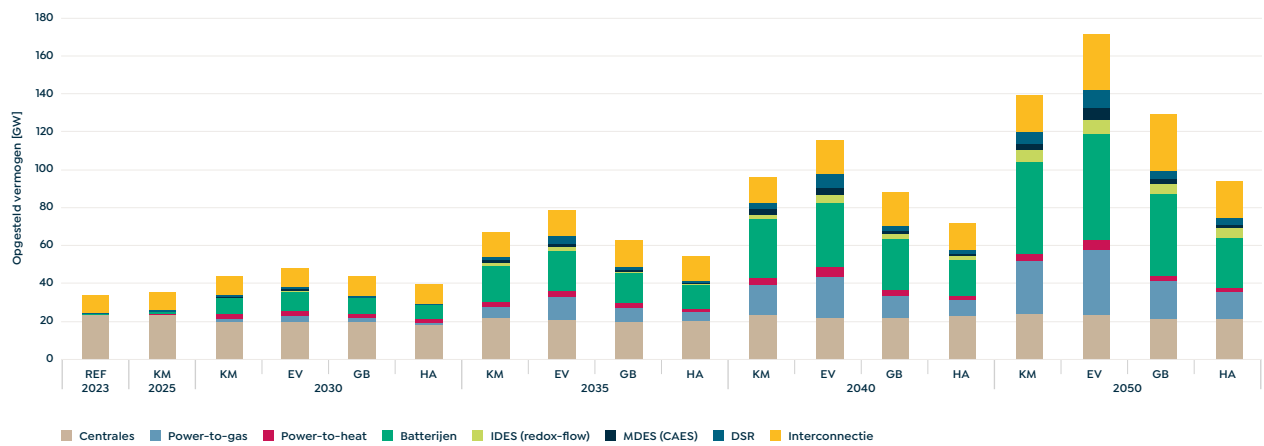
3.4.5 Flexibiliteit, opslag, transport en conversie

Deze paragraaf geeft een overzicht van de aangenomen vermogens voor flexibiliteit in de scenario's. Voor meer detail over achterliggende aannames voor der verschillende vormen van flexibiliteit wordt naar hoofdstuk 4.7 flexibiliteit verwezen.

Energie uit wind en zon krijgt in alle transitiepaden een steeds belangrijkere plaats in het energiesysteem van de toekomst. Hierdoor wordt het primaire energieaanbod meer beïnvloed door fluctuerende weersomstandigheden. Het energiesysteem heeft daarom in toenemende mate flexibele vraag en aanbod - of kort flexibiliteit - nodig die kan meebewegen met de variërende productie.

Deze behoefte aan flexibiliteit kan ingevuld worden met flexibele productie en vraag, opslag van energie, conversie en de uitwisseling met andere landen. Deze flexibiliteitsbehoefte is er niet allen voor elektriciteit, maar speelt ook voor andere energiedragers zoals gassen (waterstof, methaan) en warmte. Het inzetten van flexibiliteit in de vorm van conversietechnologieën (bijvoorbeeld PtX, gascentrales) leidt verder tot een toenemende koppeling tussen verschillende energiedragers. Ontwikkelingen voor een drager kunnen hierdoor directe impact hebben op de flexibiliteitsbehoefte van een andere drager. Figuur 3.22 toont het opgesteld flexibel vermogen voor verschillende vormen aan flexibiliteit t.b.v. het elektriciteitssysteem, in de scenario's.

Figuur 3.22 Opgesteld flexibel vermogen t.b.v. elektriciteitsbalans, in GW per techniek.



¹⁸ Een deel van de levering van warmte via warmtenetten is levering aan de landbouw, in de figuur is dit als warmtenetten weergegeven gezien het gebruik van deze figuren in de berekeningen t.a.v. benodigde transportcapaciteit.

Het opgesteld vermogen neemt in alle scenario's aanzienlijk toe ten opzichte van de huidige situatie. Medio 2025 staat er rond 34 GW flexibel aanbod- en vraagvermogen, inclusief centrales. Dit kan tot 2050 toenemen tot maximaal 170 GW in het scenario Eigen Vermogen. In dit scenario is de behoefte aan flexibele capaciteit het grootst, omdat er naast een hoge mate van elektrificatie in de vraagsectoren, ook het meeste vermogen wind en zon-PV opgesteld staat. Ook in de andere scenario's is de aangenomen toename aan flexibel regelbaar vermogen aanzienlijk.

Binnen deze totale groei van flexibiliteit speelt batterijopslag een grote rol. Batterijen kunnen snel vermogen leveren en vragen, en daarmee tekorten en overschotten op de korte termijn – op de schaal van enkele uren – oplossen. Dit zijn zowel verschillende types grootschalige batterijen, als thuisbatterijen en elektrische voertuigen met V2G, zie . Daarnaast faciliteren op de langere termijn nieuwe elektrische opslagsystemen in de vorm van Intraday energy storage (IDES) en Multiday energy storage (MDES) de balancering voor kort- tot middellange periodes. Redox-flow batterijen en persluchtopslagsystemen zijn mogelijke invullingen hiervan, maar ook andere technologieën die naar verwachting beschikbaar komen. In alle scenario's wordt verder een groei van power-to-gas aangenomen, met name op de langere termijn, na 2035. Dit zijn grootschalige installaties die de inzet van elektrische energie en elektrolyse waterstof kunnen produceren. Een deel van de power-to-gasontwikkeling zal vooral in het scenario Koersvaste Middenweg en in het scenario Eigen Vermogen op zee plaatsvinden (). Waar batterijen op de korte termijn onbalans kunnen verhelpen, kan waterstof wanneer opgeslagen in cavernes juist ook op de langere termijn onbalans opvangen, bijvoorbeeld om seizoensfluctuaties in duurzame opwek en warmtevraag op te lossen. Daarom wordt aangenomen, dat ook de volumes waterstofsopslag in de vorm van cavernes en voormalige gasvelden in de scenario's meegroeien. Methaanopslag blijft belangrijk zo lang er nog aardgas – of in de toekomst groene vormen van methaan – gebruikt worden.

Ook flexibele conversie van elektrische energie naar warmte, power-to-heat, krijgt in de scenario's een toenemende rol en levert een bijdrage aan de verduurzaming van de warmtesector. Elektrische boilers of warmtepompen kunnen daarbij flexibel reageren op schommelingen in hernieuwbare elektriciteitsproductie en prijzen. In dit kader neemt ook het belang van warmteopslag op verschillende tijdschalen toe. Daarnaast wordt in alle scenario's een toename van interconnectiecapaciteit voorzien. Importen en exporten faciliteren dan het balanceren van vraag en aanbod van energie.

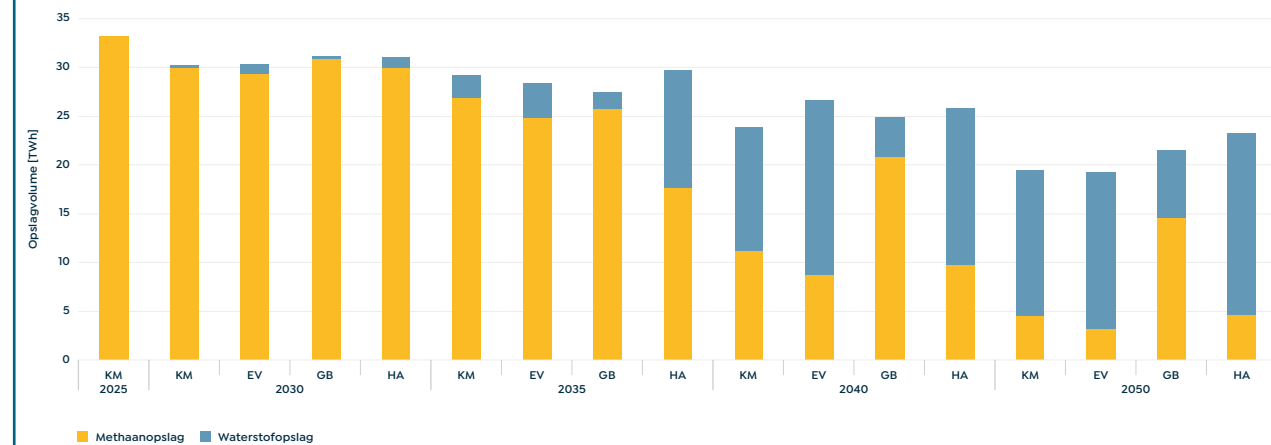
Naast de genoemde flexibele technologieën krijgt flexibel sturen van hernieuwbare productie, curtailment, en energievraag, Demand side response (DSR), een steeds grotere rol in alle scenario's. Op een relatief beperkt aantal momenten van het jaar is dan tijdelijk verlaging nodig van:

- productie van wind en zon-PV door marktpartijen, bij grote overschotten en lage of zelfs negatieve elektriciteitsprijzen;
- de energieconsumptie op het beschikbare hernieuwbare aanbod, bijvoorbeeld in industriële processen, ten tijde van aanbodtekorten en zeer hoge energieprijzen.

Hoofdstuk 4.7 flexibiliteit gaat nader in op de verschillende vormen van flexibiliteit en achterliggende keuzes.

De flexibiliteitsbehoefte voor gassen wordt voor het merendeel ingevuld door opslag. Daarnaast bieden import en het kraken van waterstof uit ammonia en methaan flexibiliteit. Met name de omvang van opslag van waterstof en methaan is daarom ook relevant. Zowel voor de productie van elektriciteit op momenten met langdurig geen of beperkt levering uit duurzame opwek, als voor het kunnen balanceren van de waterstofproductie en import. Onderstaande figuur geeft het ETM modelresultaat weer. De benodigde waterstofsopslag verschilt per scenario en is in 2050 tussen de 7 en bijna 20 TWh. Doordat methaan een minder prominente rol gaat spelen in het toekomstige energiesysteem, neemt ook de behoefte aan aardgasopslag af.

Figuur 3.23 Berekende volumes voor methaan en waterstofsopslag in TWh.



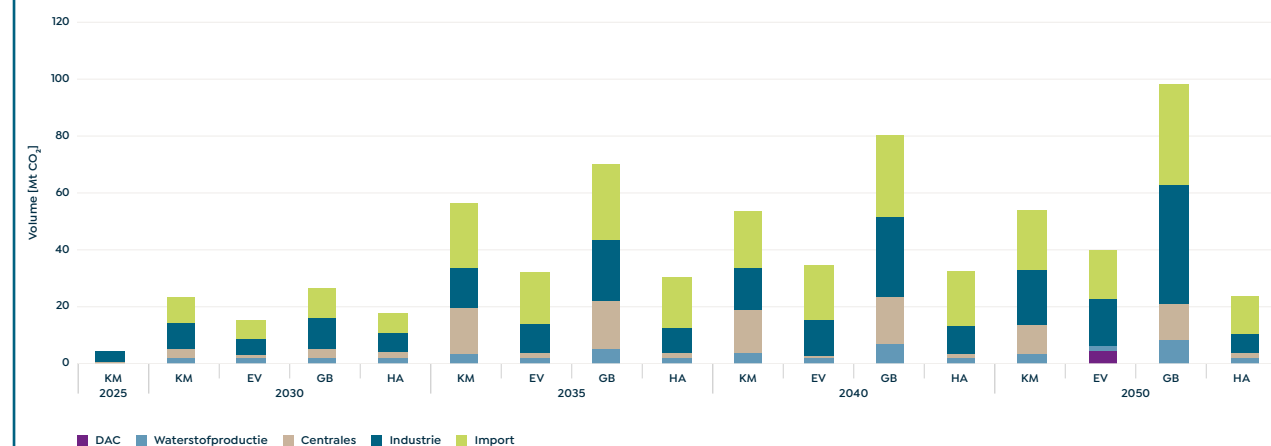
Belangrijke kanttekening is dat deze modeluitkomst van het ETM zijn dat beperkingen kent. Allereerst wordt er gerekend met een standaard weerjaar. In werkelijkheid kunnen de weerjaren verschillen, zowel qua opbrengst uit zon en wind, alsook qua temperatuur. In de aardgasmarkt kan een koud weerjaar leiden tot een 30% hogere gasvraag. Deze behoefte aan seizoensflexibiliteit wordt nu vooral geleverd door grote gasveldbergingen. Momenteel wordt er ook aardgasflexibiliteit geëxporteerd naar landen om ons heen. Hier is in het ETM nu ook nog geen rekening mee gehouden. De gepresenteerde opslagvolumes moeten dan ook beschouwd worden als een redelijk minimum. Analyses van GTS waarbij wel rekening is gehouden met koude weersomstandigheden en flexvraag uit het buitenland gaan uit van ongeveer 90 TWh benodigde gasopslag in 2030.

3.4.6 Koolstof

Het CO₂-aanbod verandert sterk de periode 2025-2050, zowel in omvang als in herkomst. Momenteel wordt er iets minder dan 4 Mton aan CO₂ afgevangen, voor gebruik in

de glastuinbouw en de drankindustrie. In 2030 neemt het aanbod van CO₂ substantieel toe, met tussen de 15 en 26 Mton, afhankelijk van het scenario. Een deel hiervan komt uit het buitenland. Het grootste deel hiervan wordt opgeslagen in lege gasvelden op zee¹⁹. Naarmate CCS-technologieën en Direct Air Capture (DAC) zich ontwikkelen, groeit en diversifieert het aanbod. Een deel van het aanbod betreft biogene CO₂. In twee van de vier scenario's is er veel aanbod van CO₂ van op biomassa gestookte elektriciteitscentrales. Daarnaast wordt er biogene koolstof afgevangen bij afvalverbranders en bij de productie van groen gas en biobrandstoffen. Deze biogene CO₂ kan worden gebruikt in duurzame producten (o.a. synfuels, zie ook hoofdstuk 3.4.7), of opgeslagen ten behoeve van negatieve emissies. Tegen 2050 bereiken de scenario's op een bandbreedte van jaarlijks circa 24 tot bijna 100 Mton CO₂. Dit betreft niet alleen afvang in Nederland, maar ook geïmporteerde CO₂ die in Nederland wordt opgeslagen. In het scenario Eigen Vermogen wordt ook een rol voorzien voor DAC om klimaatneutraliteit in 2050 te bereiken.

Figuur 3.24 Ontwikkeling van CO₂-aanbod, in Mton CO₂ per bron.



¹⁹ De cijfers voor CO₂-opslag in het Gezamenlijke Balans scenario kunnen afwijken van de cijfers in het ETM. Dit komt omdat het in dit scenario noodzakelijke opslagvolume in de modelmatig maximaal toegestane waarde in het ETM overtreft. Als zodanig wordt een deel van het opslagvolume in het ETM als export weergegeven.

In de aanloop naar 2030 en ook verder richting 2050 spelen Carbon Capture and Storage (CCS) en Carbon Capture and Utilization (CCU) een cruciale rol in het verminderen van CO₂-emissies. Vooral in sectoren waar volledige elektrificatie of verduurzaming moeilijk is. In de beginjaren ligt de focus op het opzetten van grootschalige infrastructuur voor CO₂-afvang, transport en opslag, met name in lege gasvelden onder de Noordzee. Na 2030 versnelt de inzet van CCS en CCU, mede door strengere klimaatdoelen en technologische verbeteringen. In de scenario's varieert de

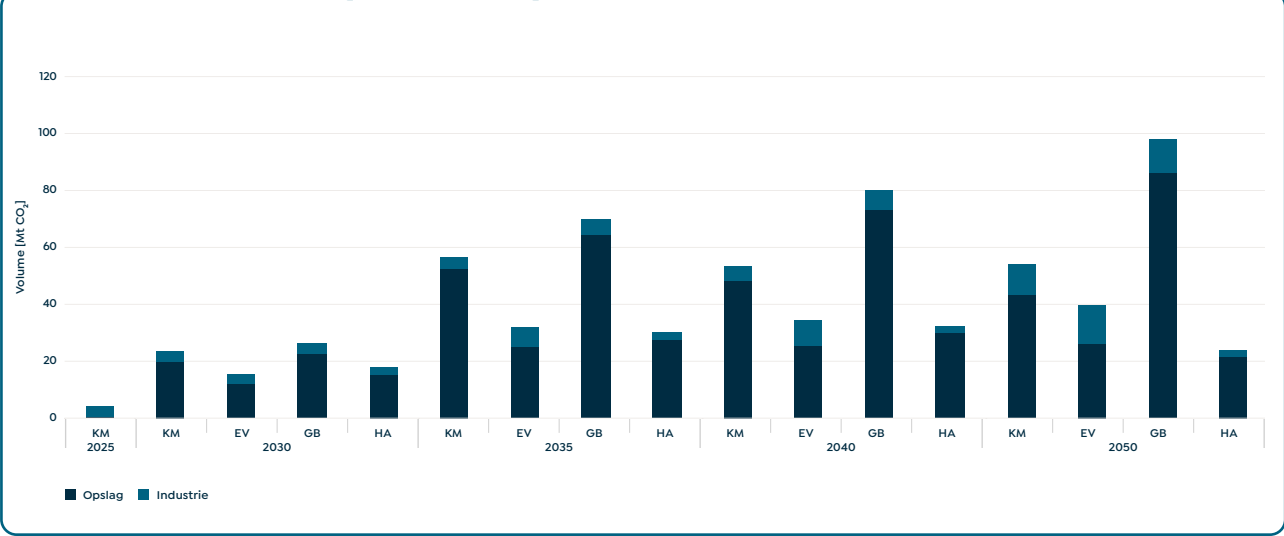
rol van CCS en CCU sterk. In scenario's met veel duurzame energieopwekking en/of import is de afhankelijkheid van CCS en CCU lager, terwijl in scenario's met meer fossiele brandstoffen en minder hernieuwbare bronnen CCS en CCU essentieel blijven om klimaatdoelen te halen, met name in het scenario Gezamenlijke Balans. Tegen 2050 wordt verwacht dat CCS en CCU jaarlijks tientallen megatonnen CO₂ afvangen en opslaan of hergebruiken, waarmee ze een belangrijke bijdrage leveren aan het behalen van de klimaatdoelstellingen van Nederland.

naar biobrandstoffen voor transport verder, maar vindt ook een verschuiving van de vraag plaats, van wegverkeer naar lucht- en zeevaart, omdat de meeste voertuigen in die periode elektrisch rijden. In het scenario Gezamenlijke Balans is zowel in het wegverkeer als in de internationale mobiliteit, de vraag naar biobrandstoffen het grootst.

Het gebruik van biogene grondstof in de industrie, bijvoorbeeld bio-nafta, neemt richting 2050 toe. In de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer

worden relatief veel biogene grondstoffen gebruikt, onder andere vanwege de mogelijkheid van import. In alle scenario's wordt ook gebruik gemaakt van circulaire en synthetische grondstoffen. Om aan deze vraag te voldoen, moet er zorgvuldig worden omgegaan met de binnenlands beschikbare biomassa en moeten er veel nieuwe fabrieken gebouwd worden om biogelateerde brand- en grondstoffen te produceren. Figuur 3.26 geeft een overzicht van het eindverbruik van biomassa, -grondstoffen en -brandstoffen.²⁰

Figuur 3.25 Ontwikkeling van CO₂-vraag, in Mton CO₂ per bron.



3.4.7 Duurzame brand- en grondstoffen en de CO₂-balans

Richting 2050 spelen duurzame brand- en grondstoffen, zoals biogene bio-diesel of duurzame Vliegtuigbrandstof – Sustainable Aviation Fuel (SAF) – en synthetische feedstocks voor de industrie en synthetische brandstoffen voor de lucht- en scheepvaart, een belangrijke rol:

- Biogene brand- en grondstoffen worden ingezet in de mobiliteit, industrie en in mindere mate in de gebouwde omgeving en landbouw. De mobiliteitssector gebruikt biobrandstoffen, bijvoorbeeld bio-diesel of duurzame vliegtuigbrandstof (SAF). De industrie vervangt een deel van de fossiele grondstoffen door biobased grondstoffen, bijvoorbeeld bio-nafta in de chemische industrie. De gebouwde omgeving en landbouw gebruiken vooral droge biobrandstoffen voor het stoken van pelletkachels en biomassaketels.
- Synthetische brand- en grondstoffen worden gemaakt met een chemisch proces waarvoor veel elektriciteit, waterstof en biogene koolstof nodig is.

Huidige situatie

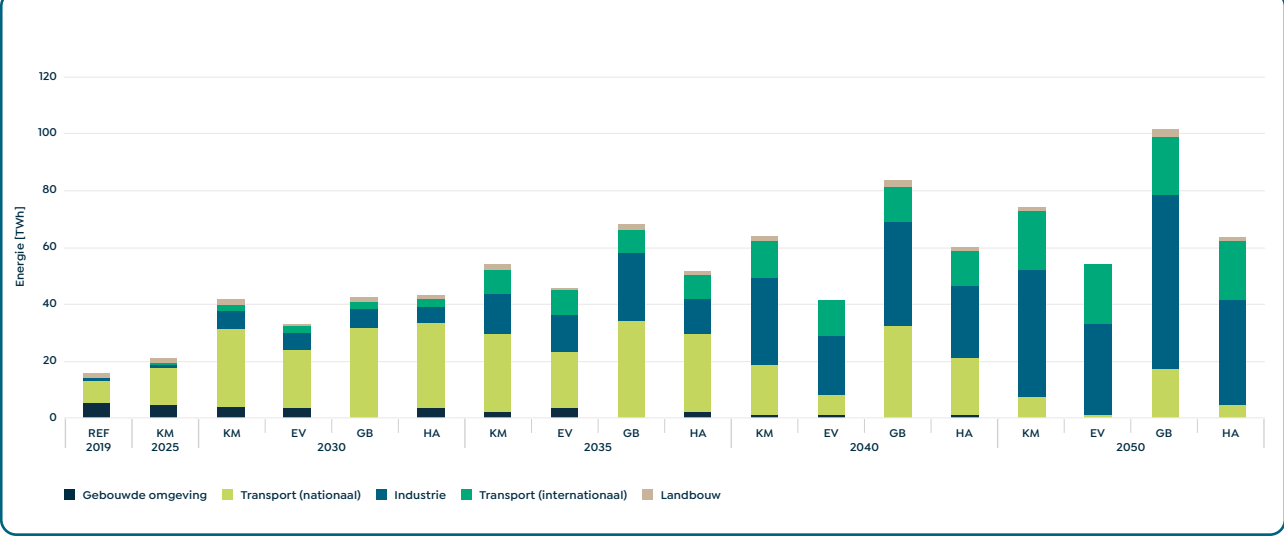
In 2025 bedraagt de totale vraag naar biofuels 20 TWh. Dit is vooral biodiesel en bio-ethanol voor nationaal transport. Deze biobrandstoffen worden deels geproduceerd in biobrandstoffabrieken in Nederland, maar ook geïmporteerd uit landen buiten Europa. In de gebouwde omgeving en landbouw wordt aangenomen dat er lokaal beschikbare biomassa wordt verbrand in houtpelletkachels en biomassaketels. Het aandeel biogene grondstoffen in de industriële sector is medio 2025 nog beperkt.

Er is in 2025 een CO₂-aanbod van circa 4 Mton. Grotendeels uit afval bij de industrie en een klein deel van afval bij elektriciteitscentrales. De industrie gebruikt hiervan 3,5 Mton in processen, 0,5 Mton wordt geëxporteerd.

Ontwikkelingen 2025 tot 2050 en verschillen per scenario

De inzet van biobrandstoffen verschilt tussen de scenario's. Tot en met 2040 neemt de vraag naar biobrandstoffen toe in elk scenario. Tussen 2040 en 2050 stijgt de totale vraag

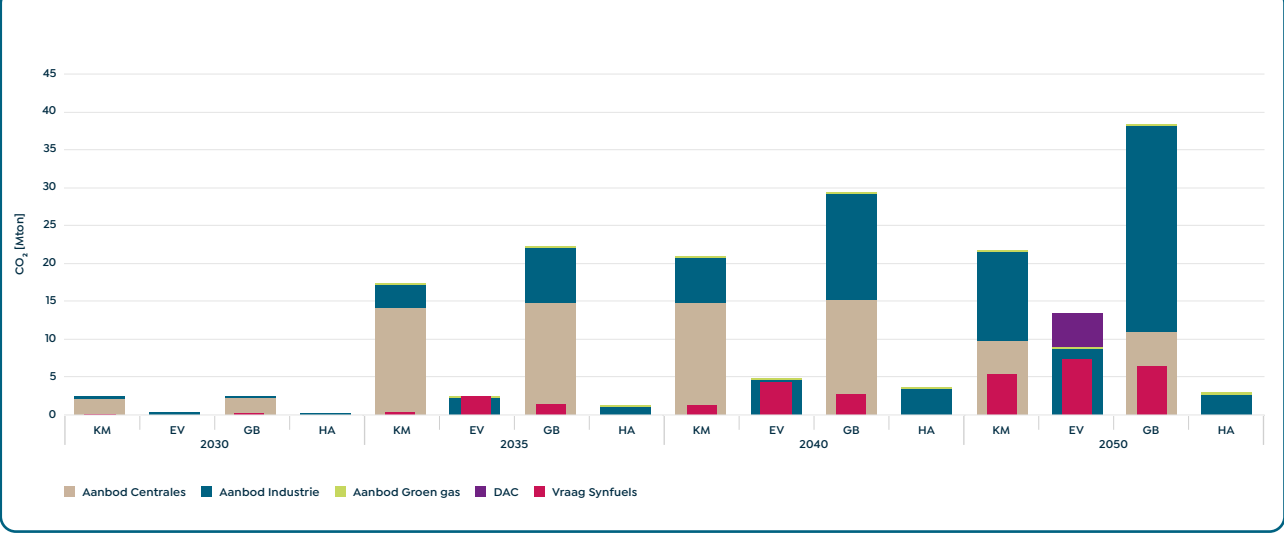
Figuur 3.26 Finale vraag naar biomassa, biogelateerde brand- en grondstoffen, in TWh per sector.



Zowel biogene brandstoffen als synfuels vereisen koolstof-atomen in het productieproces. Voor biobrandstoffen komt de koolstof uit de biogene grondstof, maar voor synthetische producten moet deze separaat afgevangen en aangevoerd worden. Figuur 3.27 schetst de vraag naar biogene CO₂ voor synthetische producten en vergelijkt dit met het beschikbare aanbod in Nederland. In veel scenario's is het aanbod fors

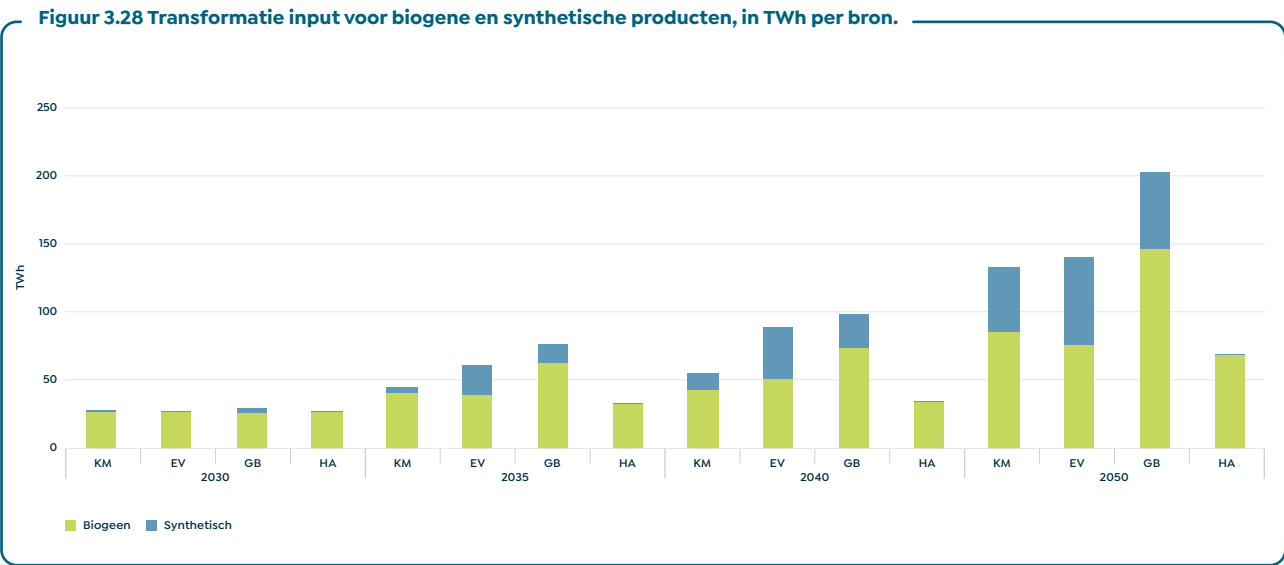
groter dan de vraag. In het scenario Eigen Vermogen zijn overschotten relatief beperkt, onder andere vanwege het beperkte gebruik van biomassa. Eventuele overschotten van biogene CO₂ kunnen elders in de industrie worden gebruikt, ofwel worden opgeslagen in lege gasvelden op zee. Opslag van biogene CO₂ veroorzaakt voor emissies. Fossiele uitstoot elders in het systeem kan daarmee worden gecompenseerd.

Figuur 3.27 Ontwikkeling van biogene CO₂-aanbod vs synfuelvraag, in Mton CO₂ per bron.

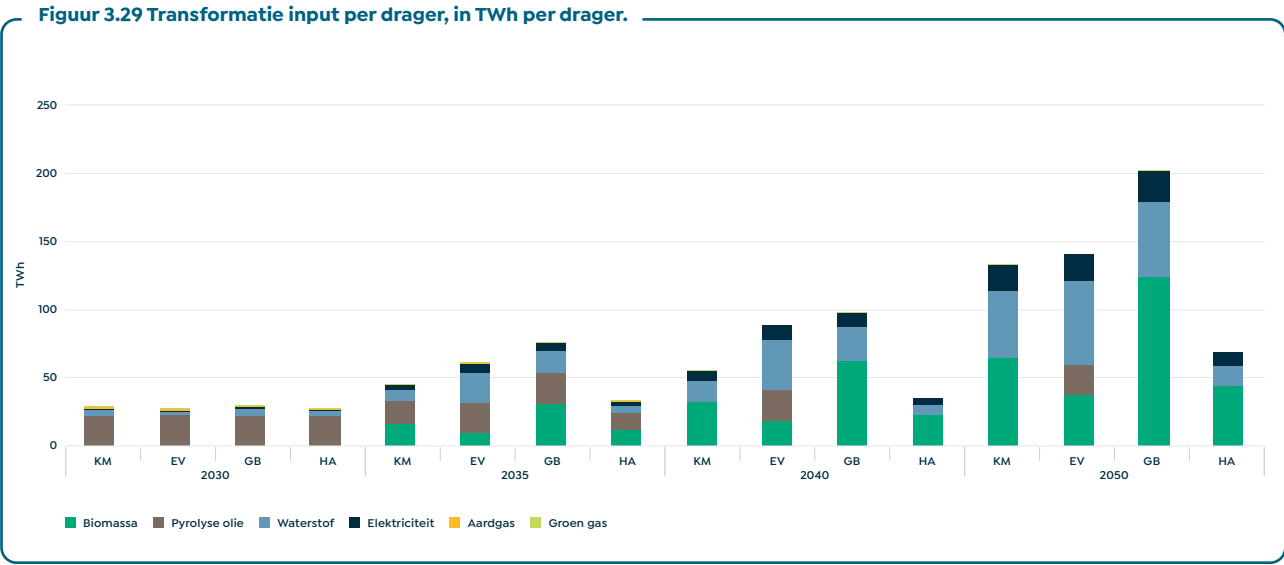


²⁰Getallen zijn inclusief biobrandstoffen voor de luchtvaart (SAF) en exclusief biomassa voor productie van groen gas, synthetische brandstoffen en de inzet van biomassa voor elektriciteitsproductie en afvalverbranding.

Figuur 3.28 geeft de input van biogene en synthetische producten weer. In drie van de vier scenario's worden vanaf 2035 beide routes gebruikt, maar niet in het scenario Horizon Aanvoer. In het scenario Horizon Aanvoer worden er maar beperkt producten in Nederland gemaakt, eindproducten worden in dit scenario geïmporteerd. Dit betekent een kleinere hoeveelheid biogene productie en helemaal geen synthetische productie. Het scenario Gezamenlijke Balans heeft in 2050 veruit de hoogste vraag naar biogene en synthetische producten, omdat er veel aanbod van biomassa is, onder andere door import uit omliggende landen, waardoor Nederland meer biobrandstoffen kan maken.



Figuur 3.29 toont de biogene en synthetische brandstoffen, uitgesplitst naar energiedrager. Wat opvalt is dat pyrolyse-olie tot 2035 in alle scenario's als input wordt gebruikt, maar vervolgens wordt uitgefaseerd in drie scenario's, maar niet in het scenario Eigen Vermogen. Het gaat hier om natuurlijke olie (FAME), die ingezet wordt om HVO-producten van te maken – wat staat voor bio-nafta/kerosine/diesel. Het gebruik van waterstof en biomassa groeit in alle scenario's tot 2050. De scenario's waarin synthetische producten worden geproduceerd, kennen een grote waterstofvraag. Het aangenomen productieproces van synthetische producten vraagt namelijk veel waterstof. Alle scenario's vragen een bepaalde hoeveelheid elektriciteit voor de productie van biogene en synthetische producten.



3.5 Kwantificatie per sector

Deze paragraaf licht de aannames en kwantificatie per vraagsector beknopt toe. De belangrijke aannames en vervolgens de finale vraag worden per sector behandeld, naast eventuele bijzonderheden. De sectoren worden uitgebreider toegelicht in hoofdstuk 4.

Deze paragraaf behandelt de vraagsectoren:

1. Gebouwde omgeving
2. Mobiliteit
3. Landbouw
4. Industrie
5. Datacenters

3.5.1 Gebouwde omgeving

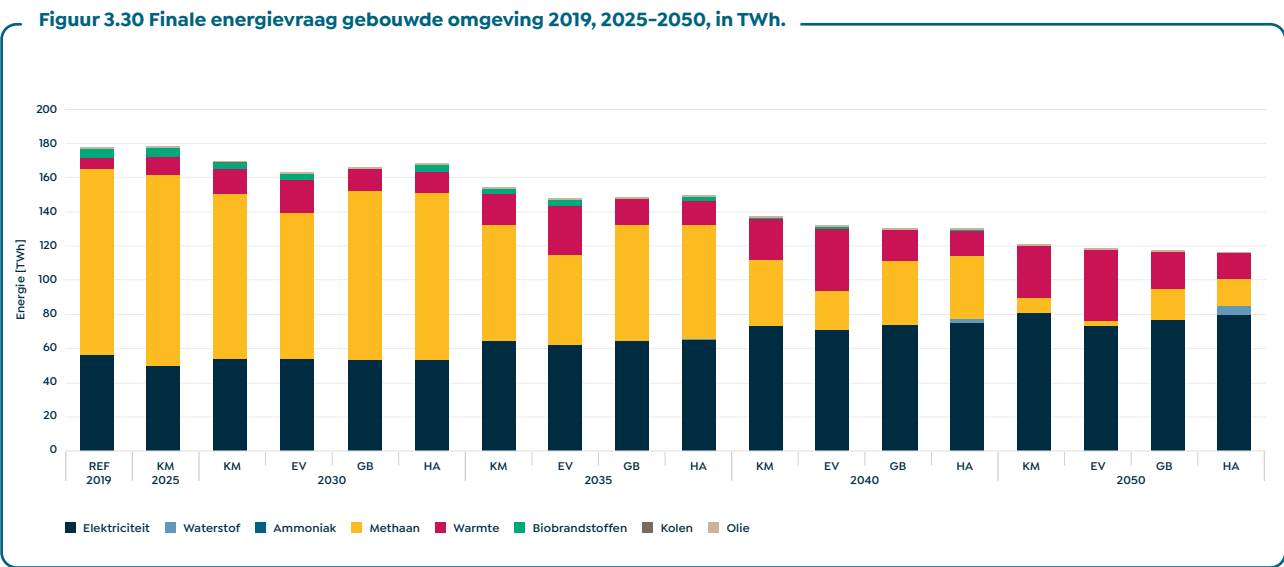
De gebouwde omgeving bestaat uit woningen en utiliteitsgebouwen. Daarbij wordt gekeken naar verduurzaming en nieuwbouw. Hoeveel woningen en utiliteitsgebouwen verwarmd gaan worden met warmtenetten, valt binnen scope van de gebouwde omgeving.

Tabel 3.3 Aannames kwantificering gebouwde omgeving.

Onderdeel	Aannames
Nieuwbouw woningen	Voor de groei van het aantal woningen sluit het scenario Koersvaste Middenweg aan bij de Primos-prognose. Voor de andere scenario's is hierop gevarieerd. Resultaat hiervan is 1,5 miljoen (GB/HA) en 2,2 miljoen (EV) nieuwe woningen in 2050.
Nieuwbouw utiliteit	De nieuwbouwprognose voor utiliteitsgebouwen groeit evenredig met die van woningen. Dit houdt in dat er tussen de 180.000 (GB/HA) en 250.000 (EV) nieuwe utiliteitsbouw wordt bijgebouwd.
Verwarming woningen	- De scenario's verschillen in de verwarmingsstrategie. Onderstaande percentages zijn opgenomen: - KM: 50% eWP, 22% hWP (groengas), 20% Warmtenet, 8% overig - EV: 55% eWP, 10% hWP (groengas), 30% Warmtenet, 5% overig - GB: 25% eWP, 55% hWP (groengas), 15% Warmtenet, 5% overig - HA: 25% eWP, 50% hWP (groengas), 10% hWP (waterstof), 10% Warmtenet, 5% overig
Verwarming utiliteitsbouw	- De scenario's verschillen in de verwarmingsstrategie. Onderstaande percentages zijn opgenomen: - KM: 45% eWP, 35% hWP (groengas), 20% Warmtenet - EV: 63% eWP, 7% hWP (groengas) 30% Warmtenet - GB: 35% eWP, 50% (groengas) , 15% Warmtenet - HA: 35% eWP, 40% hWP (groengas) , 10% hWP (waterstof), 10% Warmtenet, 5% overig
Overige onderwerpen	- Grote apparaten in huishoudens, zoals drogers, vaatwassers en koelkasten, worden tot 27 % energiezuiniger. - Het aandeel LED in de verlichting in huishoudens stijgt tot 96, % in 2050. - Huishoudens koken 100% op inductie in 2050. - Apparaten in gebouwen computers, printers worden 1,5% per jaar duurzamer - In gebouwen wordt uitgegaan van 100% LED verlichting in alle scenario's en toenemende efficiëntie rondom.

Figuur 3.30 toont dat het aandeel aardgas in de gebouwde omgeving na 2030 afneemt, met name na 2035. Vooral omdat er tussen 2030 en 2040 veel wijken worden verduurzaamd. De warmtetransitie komt op snelheid. In 2050 is er nog een deel methaan in gebruik, omdat een deel van de woningen verwarmd worden met een hybride warmtepomp die methaan gebruikt. Dit methaan is in deze scenario's groen gas. De uitstoot van de gebouwde omgeving is namelijk 0. In het scenario Horizon Aanvoer wordt gebruik gemaakt van hybride warmtepompen op waterstof. Dit houdt in dat in deze

wijken en buurten het bestaande gasnet wordt gebruikt en dat er een lokale waterstofbron is. Dit gebeurt alleen in gebieden met geen of beperkte alternatieven en/of in monumentale panden waar geen andere oplossing mogelijk is. Het aandeel warmtenetten stijgt in alle scenario's. Het scenario Eigen Vermogen heeft het grootste aandeel warmtenetten. De ontwikkeling van warmtenetten komt maar langzaam op gang. Vooral omdat het aanleggen van warmtenetten een lange aanlooptijd heeft, en de ontwikkelingen momenteel langzaam gaan vanwege onzekerheid over financiering en de eigendomssituatie.



3.5.2 Mobiliteit

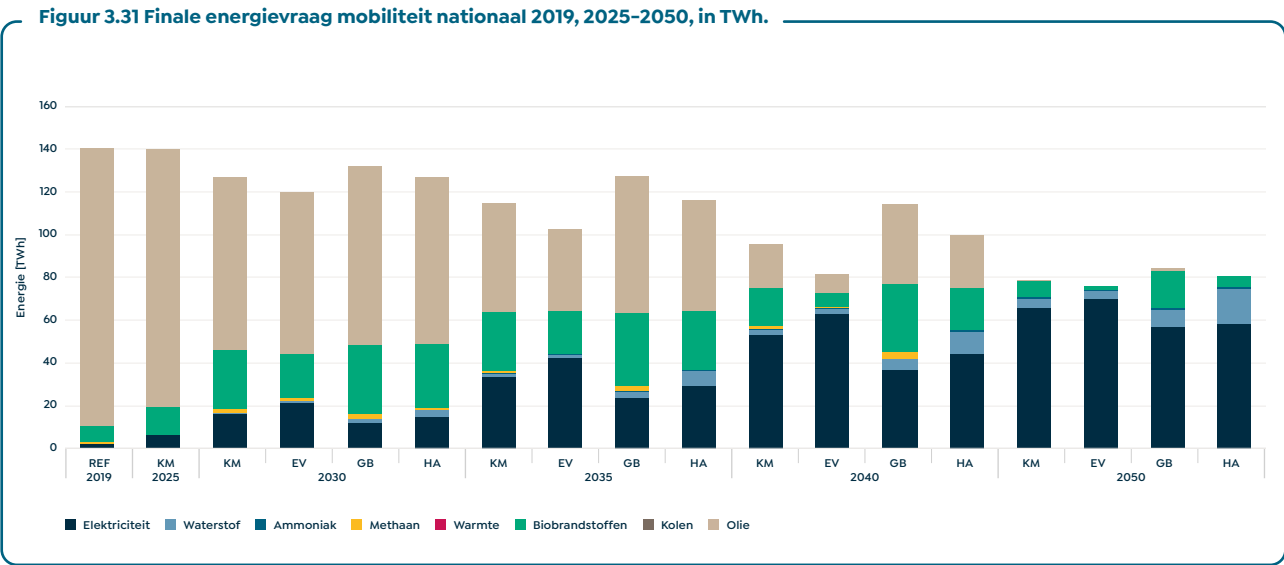
De kwantificering van de mobiliteitssector voor de scenario's tot 2050 omvat een gedetailleerde analyse van zowel personenmobiliteit als vrachtmobiliteit. Binnen deze sector wordt een onderscheid gemaakt tussen privaat en openbaar

vervoer. Personenmobiliteit betreft het verplaatsen van individuen met privévoertuigen zoals auto's, maar ook met openbaar vervoermiddelen zoals treinen, bussen en trams. Vrachtmobiliteit richt zich op het vervoer van goederen over de weg, per spoor, door de lucht en over water.

Tabel 3.4 Aannames kwantificering mobiliteitssector.	
Onderdeel	Aannames
Personenvervoer	- Groei van personenkilometers van 30% ten opzichte van 2025. - Geen significante modal shift.
Personenauto's	- Voor alle scenario's is het eindbeeld 100% elektrisch. - Bio- en synthetische brandstoffen spelen een rol als transitiebrandstof in personenvervoer, maar spelen geen rol van betekenis meer in het eindbeeld.
Openbaar vervoer	- Vanaf 2035 zijn alle ov-bussen zero emissie. Scenario's verschillen tussen 100% batterij-elektrisch (BEV) en aandeel waterstof naar batterij elektrisch. - Trein wordt 100% elektrisch, dieseltreinen verdwijnen.
Nationaal vrachtvervoer	- Groei van ladingtonkilometers stijgt mee met demografische ontwikkelingen. - Geen modal shift. - De vloot bestelauto's worden in drie scenario's volledig elektrisch (KM/EV/HA). In één scenario een kleine rol voor bestelauto's op biobrandstoffen (GB). - De brandstoffen voor trucks verschillen per scenario: - KM: 75% elektrisch, 10% Waterstof, 15% synthetische en bio-brandstoffen. - EV: 90% elektrisch, 10% waterstof. - GB: 42% elektrisch, 25% waterstof, 33% Synthetische 33% synthetische en bio-brandstoffen. - HA: 42% elektrisch, 50% waterstof en 8% synthetische en bio-brandstoffen. - Binnenvaart.
Bouwvoertuigen	In 2050 100 % elektrisch
Internationaal transport	Scheepvaart: in alle scenario's wordt zware stookolie vervangen door een mix van waterstof, ammoniak en LNH. Luchtvaart: kerosine blijft in alle scenario's dominant. Kerosine bestaat in 2050 deels uit synthetisch kerosine. Dit wordt tot 2050 in toenemende mate bijgemengd. Kerosine neemt in ieder geval 78% van de brandstof-behoefte voor zijn rekening. Er worden ontwikkelingen verwacht voor vliegen op elektriciteit of waterstof.

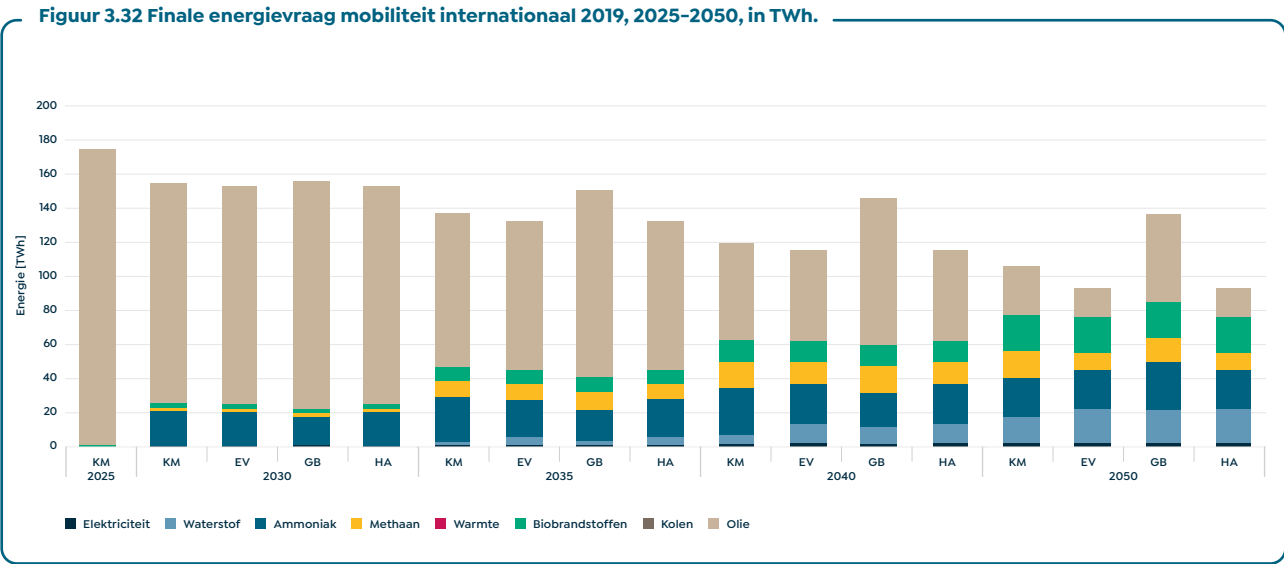
Figuur 3.31 geeft de finale energievraag van de transport sector weer. Ondanks een toename van het aantal gereisde kilometers daalt de totale finale vraag tot 2050, met name door efficiëntie en elektrificatie. Elektriciteit speelt in de scenario's in toenemende mate een belangrijke rol. Olieproducten spelen in ieder geval tot 2040 ook nog

een relevante rol in de vier scenario's. De hoeveelheid biobrandstoffen neemt toe tot 2030, maar vervolgens af tot 2050. Daarmee worden biobrandstoffen in de scenario's als transitiebrandstof beschouwd. Waterstof speelt in alle scenario's een beperkte rol, met toepassingen voor zwaar transport en mobiele werktuigen.



De kwantificering van internationaal transport omvat zowel personen- als goederenvervoer over landsgrenzen. Binnen deze sector wordt een onderscheid gemaakt tussen luchtvaart en scheepvaart. De sector is momenteel nagenoeg geheel afhankelijk van fossiele brandstoffen. De transitie naar duurzamere brandstoffen, zoals biobrandstoffen en waterstof, verloopt geleidelijk richting 2030.

richting 2050 af. Voornamelijk door efficiëntieverbeteringen en de geleidelijke overstap naar alternatieve brandstoffen. In de aanloop naar 2030 en verder speelt ammoniak als brandstof voor scheepvaart een grote rol. Olieproducten blijven tot ten minste 2040 dominant, vooral doordat elektrificatie en alternatieve brandstoffen nog niet op grote schaal beschikbaar zijn. Biobrandstoffen worden richting 2050 vaker ingezet als brandstof. In het scenario Gezamenlijke Balans is de (bio)brandstoffenproductie in Nederland het grootst. De vraag in Nederland verschilt per scenario omdat er niet in ieder scenario evenveel in Nederland gebunkerd wordt.



3.5.3 Landbouw

Het energieverbruik van de landbouwsector wordt gedomineerd door de energievraag in de glastuinbouw. De glastuinbouw gaat ervan uit in 2040 verduurzaamd te zijn. Om het energieverbruik te verduurzamen is de warmtetransitie het belangrijkste, tuinders gebruiken immers hoofdzakelijk (aard-) gas om kassen te verwarmen. Op korte termijn is daarom van belang hoe de gasprijs zich zal ontwikkelen. Daarnaast speelt de afschaffing van zowel de WKK-vrijstelling als het verlaagd belastingtarief glastuinbouw voor aardgas een belangrijke rol.

Tabel 3.5 toont de belangrijkste aannames die zijn gedaan in de glastuinbouwsector. Gedetailleerde getallen zijn te vinden in het landbouw hoofdstuk 4.5. De verwachte ontwikkeling van de overige emissies in elk scenario (methaan en lachgas afkomstig uit veeteelt) wordt in de bijlagen kort toegelicht.

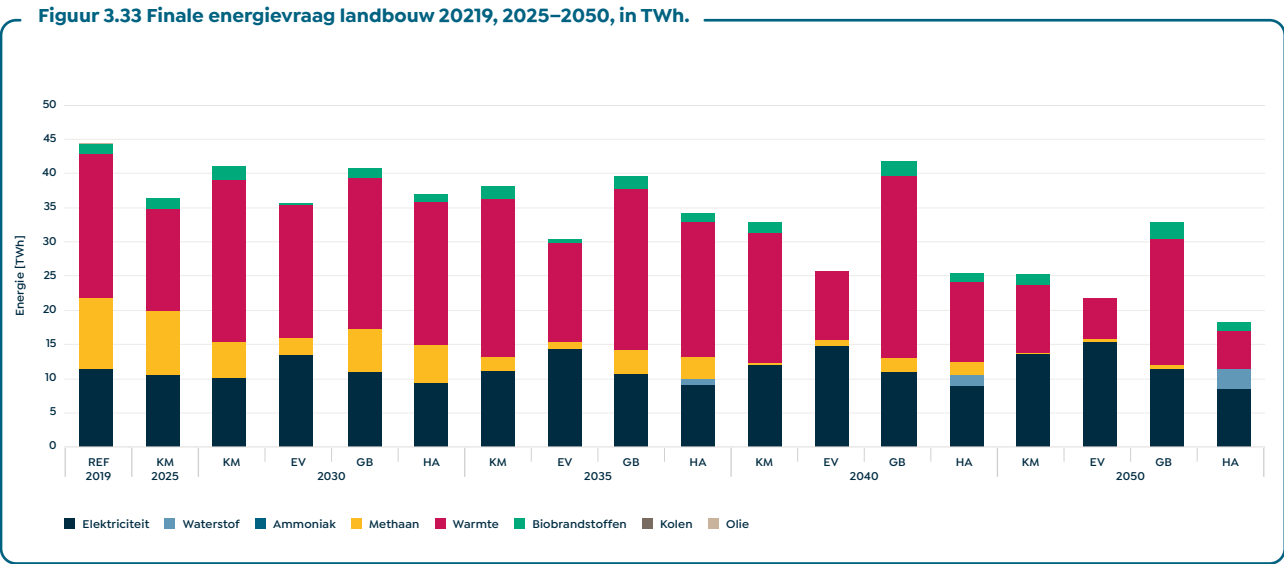
Tabel 3.5 toont de geschatte broeikasgasreductie per scenario in megaton CO₂-equivalenten en de procentuele afname ten opzichte van de huidige uitstoot die is aangehouden in dit rapport ²¹, zie ook sectie 2.1.

Tabel 3.5 Aannames kwantificering glastuinbouw.

Onderdeel	Aannames
Areaal	- KM: kleine krimp tot 2030, daarna stabilisatie tot 2050 - EV: blijft stabiel - GB: gelijk aan KM - HA: areaal krimpt (ook na 2030)
Type en intensivering	- KM: kasoppervlak wordt meer ingezet voor het verbouwen van groente, het oppervlak voor (snij)bloemen daalt - EV: teelt intensiveert met focus op belichte teelt - GB: beperkte intensivering - HA: energie-intensieve teelt verplaatst naar het buitenland, in Nederland speelt minder energie-intensieve high-tech teelt een grote rol. Accent verschuift naar export van kennis en techniek
Warmtebron	- KM: grote rol voor warmtenetten, vooral aangevuld met geothermie en warmtepompen - EV: hoge mate van elektrificatie (warmtepompen en e-boilers), gecombineerd met warmtenetten - GB: grote rol voor WKK's, aangevuld met ongeveer gelijke delen warmtenetten, geothermie en warmtepompen - HA: vergelijkbare rollen voor waterstof, warmtenetten, geothermie en warmtepompen
Ontwikkeling traditionele WKK's	- KM: focus op het leveren van flexdiensten. Na 2030 nemen zowel draaiuren als het opgesteld vermogen af - EV: gelijk aan KM - GB: meest gunstige omstandigheden voor WKK's, die op een mix van brandstoffen draaien waaronder groen gas, biogas en biomassa - HA: traditionele WKK's verdwijnen en worden vanaf 2035 in beperkte mate vervangen door waterstof-WKK's

Figuur 3.33 geeft de finale energievraag van de landbouwsector weer. In alle scenario's is sprake van een afname van het energieverbruik. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de stijgende inzet van warmtepompen die door hun hoge efficiëntie leiden tot een kleiner energieverbruik.

Dit is ook terug te zien in de sterk dalende vraag naar directe warmte in drie van de vier scenario's. Door de uitfasering van traditionele WKK's verdwijnt de vraag naar methaan grotendeels. Waterstof speelt slechts een beperkte rol.



²¹ In 2022 stoot de landbouw (excl glastuinbouw) nog 18,3 Mton CO₂eq uit, wv. 13,2 Mton methaan, 4,9 Mton lachgas en 0,3 Mton procesemissies. Hiervan is zo'n 8,5 Mton afkomstig van pens- en darm fermentatie (methaan), 4 Mton van stal- en mest opslag (methaan), 0,5 Mton stal (lachgas) en zo'n 1,5 Mton dierlijke mest uitgereden op land (lachgas). Samen komt dit neer op circa 14,5 Mton aan emissies als gevolg van de veehouderij.

3.5.4 Industrie

De kwantificering van de industriesector voor de scenario's tot 2050, omvat een gedetailleerde analyse van het energetische en niet-energetische deel van de industrievraag. Binnen deze sector wordt een onderscheid gemaakt tussen zware industrie, zoals staal-, chemische

en cementproductie, en lichtere industrieën, zoals voedselverwerking en high-tech productie. De industrie maakt gebruik van diverse energiedragers, waaronder elektriciteit, gas, waterstof en biomassa, waarbij huidige de rol van gas medio 2025 groot is, mede vanwege het omstreeks 1960 ontdekte Groningerveld.

Tabel 3.6. Aannames kwantificering industrie.

Onderdeel	Aannames			
	KM	EV	GB	HA
Aluminium	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met H ₂ en elektriciteit.	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met H ₂ en elektriciteit.	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met groen gas en elektriciteit.	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met H ₂ en elektriciteit.
Chemie	Verduurzaming via hybride elektrificatie met waterstof en groen gas.	Verduurzaming via elektrificatie in combinatie met waterstof.	Verduurzaming via hybride elektrificatie met waterstof en groen gas.	Verduurzaming via hybride elektrificatie met waterstof.
Raffinaderijen	Krimp productievolume tot 30% van omvang in referentiejaar 2021. Verduurzaming via mix van opties.	Lichte krimp productievolume tot 60% van omvang in referentiejaar 2021. Verduurzaming via elektrificatie.	Lichte krimp productievolume tot 60% van omvang in referentiejaar 2021. Verduurzaming primair via CCS.	Sterke krimp productievolume tot 15% van omvang in referentiejaar 2021. Verduurzaming met elektriciteit en H ₂ .
Metaal	Hybride verduurzaming: elektrificatie, H ₂ en (groen) gas met CCS.	Hoofdzakelijk elektrificatie, in combinatie met H ₂ .	Combinatie (groen) gas met CCS en elektrificatie.	Combinatie H ₂ en elektrificatie.
Staal	Verduurzaming middels elektrificatie en H ₂ , met kleinere rol voor biomassa en (groen) gas.	Verduurzaming middels elektrificatie en H ₂ , met kleinere rol voor biomassa en (groen) gas.	DRI met waterstof (aardgas met CCS als tussenstap).	Meeste inzet van H ₂ , in combinatie met elektrificatie en (groen) gas met CCS.
Voedselverwerking	Hybride elektrificatie.	Hybride elektrificatie.	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas.	Hybride elektrificatie i.c.m. H ₂ .
Papier	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas en H ₂ .	Scenario met meeste elektrificatie.	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas.	Hybride elektrificatie i.c.m. H ₂ .
Overig	Hoofdzakelijk elektrificatie, met kleine rol voor H ₂ en (groen) gas met CCS.	Hoofdzakelijk elektrificatie, met kleine rol voor H ₂ .	Hybride elektrificatie en (groen) gas met CCS.	Hybride elektrificatie en H ₂ .

De industriesector beleeft tot 2050 een sterke transitie in energiegebruik, die voor olie en deels voor kolen al tussen 2025 en 2030 optreedt. Processen worden eerst vervangen door methaan en elektriciteit. Kolen zijn tot en met 2035 belangrijk voor de productie van staal. Tot 2040 blijft aardgas een belangrijke energiebron in elk scenario, daarna neemt het aandeel snel af in drie van de vier scenario's. Methaan is in 2050 groen gas of aardgas in combinatie met CCS.

Waterstof en elektrificatie spelen in verschillende scenario's een groeiende rol, vooral in energie-intensieve industrieën zoals in de chemische sector, en bij staal- en metaalproductie. Warmtenetten spelen een beperkte rol in de industrie, maar kunnen een uitkomst bieden voor sectoren die restwarmte benutten. Warmtenetten worden medio 2025 voornamelijk gevoed door WKK's. Deze WKK's gaan grotendeels uit bedrijf, waardoor er minder

uitwisseling van warmte tussen bedrijven plaatsvindt. De non-energetische industrie beleeft tot 2050 een transitie in het gebruik van grondstoffen en materialen, waarbij fossiele olie vervangen wordt door biobrandstoffen en pyrolyse-olie. Tot 2030 blijft de afhankelijkheid van fossiele grondstoffen groot, met name in de chemische sector voor de productie van kunststoffen, meststoffen en andere industriële materialen. Daarna neemt het gebruik van biogebaseerde en circulaire grondstoffen toe, gedreven door strengere regelgeving en innovaties in recyclingtechnologieën. De transitie naar een duurzamer non-energetisch industrieproces verloopt echter geleidelijk. Nieuwe productiemethoden vragen om aanzienlijke investeringen en tijd.

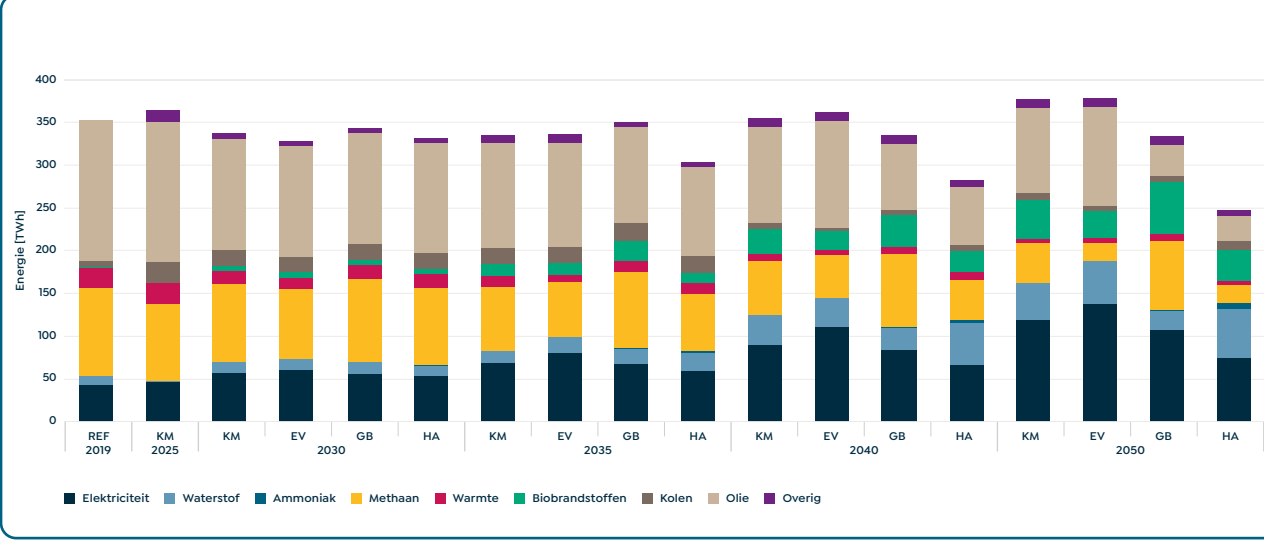
Daar waar de vier scenario's voor 2030 nog veel op elkaar lijken, worden op de langere termijn grotere verschillen tussen de scenario's zichtbaar. Dit wordt onder andere gedreven door verschillende keuzes ten aanzien van verduurzamingsopties. Zo komt er in het Eigen Vermogen scenario veel hernieuwbare energie uit zon en wind in Nederland beschikbaar, waarbij de industrie zoveel mogelijk elektrificeert waar dit kan. In de chemie wordt overgestapt op elektrisch kraken. Het aanbod van groene waterstof uit elektrolyse helpt bij de verduurzaming van onder andere kunstmest en methanol productie. De staalsector verduurzaamt door over te stappen op het direct reduceren van ijzer (DRI) in combinatie met het hergebruik van schroot, waarmee het kolenverbruik wordt vervangen door elektriciteit, aardgas en (op langere termijn) ook waterstof. Daarnaast maakt het ruime aanbod van hernieuwbare energie het ook allerlei nieuwe industriële bedrijvigheid

mogelijk, bijvoorbeeld om de brandstoffenproductie in Nederland te transformeren naar biogene en synthetische producten. Het Koersvaste Middenweg scenario gaat uit van vergelijkbare ontwikkelingen als in Eigen Vermogen, zij het in iets mindere mate.

In het Gezamenlijke Balans scenario spelen biomassa, CCS en ook aardgas een relatief grote rol. Door het ruime aanbod van biomassa kan de fossiele grondstof van de chemische industrie grotendeels vervangen worden door duurzaam. Restgassen uit raffinaderijen en stoomkrakers blijven in gebruik als energiebron voor verwarming, waarbij de CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Opslag van biogene CO₂ zorgt voor negatieve emissies ter compensatie van fossiele uitstoot elders in het energiesysteem. Methaan blijft ook op de langere termijn een rol spelen, bijvoorbeeld voor de productie van staal of voor blauwe waterstof.

In het Horizon Aanvoer scenario wordt Nederland meer afhankelijk van import. Dit maakt het onder andere mogelijk om waterstof te importeren voor gebruik binnen de industrie. Tegelijkertijd ontstaat hiermee ook de mogelijkheid om allerlei halffabricaten die nu nog in Nederland wordt gemaakt ook uit het buitenland aan te voeren. Dit heeft mede tot gevolg dat een deel van de energie intensieve industrie uit Nederland verdwijnt of delen van productieprocessen worden verplaatst naar het buitenland. Bijvoorbeeld de ammoniakproductie ten behoeve van kunstmest of de fabricage van methanol. Ook neemt de capaciteit van de stoomkrakers af in dit scenario. Dit resulteert in een fors lagere industriële energievraag in Nederland.

Figuur 3.34 Finale energievraag industrie, energetisch en non-energetisch, 2019, 2025–2050, in TWh.



3.5.5 Datacenters

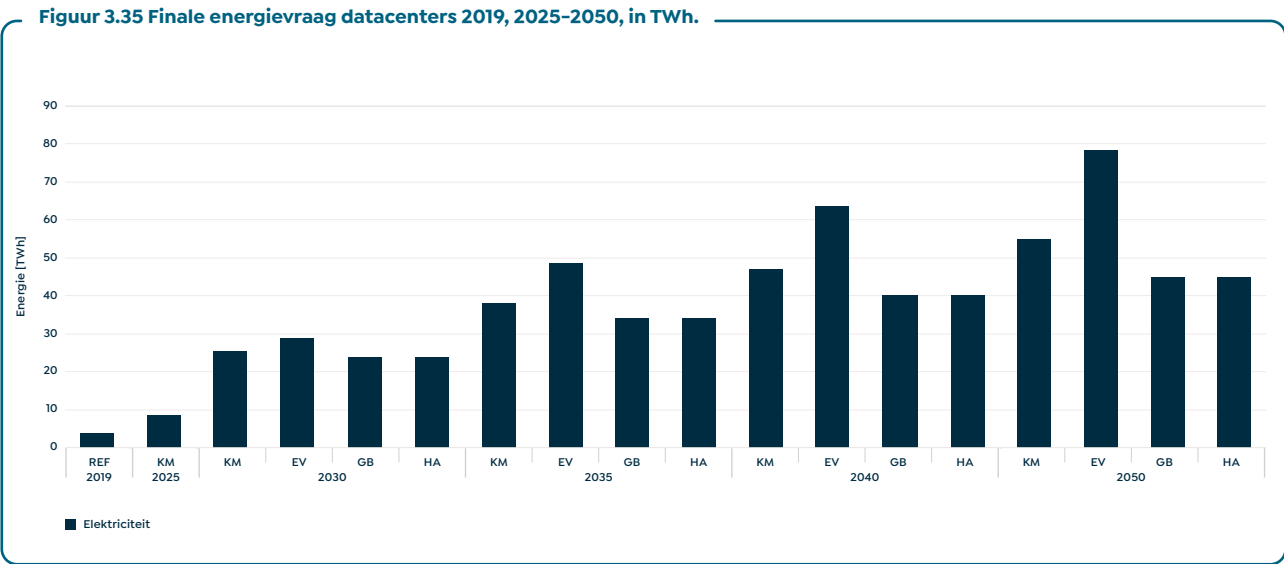
Deze sector omvat het elektriciteitsverbruik van hyperscale, colocatie datacenters en overige centrale ICT. Hyperscale datacenters van de technologie-reuzen met een aansluiting bij TenneT vertonen een snel groeiende elektriciteitsvraag. Colocatie datacenters – ook wel multi-tenant datacenters – verhuren datacenterruimte aan regionale, nationale en internationale klanten. De groei van het aantal colocatie

datacenters zet door, vooral bij Liander in de metropoolregio Amsterdam. Tevens nemen colocatie datacenters toe in omvang waardoor ze direct bij TenneT aansluiten.

De snelle groei van de sector vereist verdere ontwikkeling van duurzame energieoplossingen en slimme netwerken om netcongestie en verstoringen te voorkomen.

Tabel 3.7 Aannames kwantificering datacenters.	
Onderdeel	Aannames
Groei gecontracteerd vermogen	- Het gecontracteerd vermogen van datacenters groeit momenteel snel met projecten in realisatiefase die opgeleverd worden. In 2026 wordt de 4 GW gepasseerd. - Tot 2030 is de groei gebaseerd op aansluitaanvragen bij netbeheerders. In HA en GB worden enkel concrete aanvragen met hoge realisatiekansen opgenomen, terwijl in EV alle aanvragen zijn opgenomen. Dit leidt tot een bandbreedte van 5,4 tot 6,7 GW in 2030. - De langetermijngroeiprognose na 2030 is meer onzeker. Het gecontracteerd vermogen in 2050 varieert hierdoor van 7 GW in HA en GB tot 13 GW in EV.
Doorvertaling naar elektriciteitsverbruik	- Op basis van aannames is gecontracteerd vermogen doorvertaald naar piekvermogen en vervolgens naar de gemiddeld vermogensvraag, waar het jaarlijkse elektriciteitsverbruik uit volgt. - Na realiseren van gecontracteerde capaciteit voor een aansluiting van een datacenter groeit het piekvermogen en daarmee het elektriciteitsverbruik over een periode van enkele jaren, terwijl het datacenter wordt opgeschaald.

In 2025 bedraagt de vraag een kleine 10 TWh. Richting 2050 groeit het elektriciteitsverbruik fors, gedreven door de toenemende digitalisering en vraag naar clouddiensten. In 2030 komt dit neer op een vraag van 24-29 TWh, die stijgt naar 45-78 TWh in 2050. Het aandeel van de datasector in de totale elektriciteitsvraag neemt in alle scenario's eerst snel toe: van 5 procent huidig naar circa 15 procent in 2030. Het vlakkt vervolgens af om vanaf 2035 rond de 17 procent te blijven. Alleen in scenario Eigen Vermogen blijft het aandeel licht verder groeien, van 20 procent in 2035 naar 23 procent in 2050.



3.6. Vergelijking resultaten met andere scenario's

Deze paragraaf vergelijkt op hoofdlijnen Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met eerdere studies. Te beginnen met de Klimaat- en Energieverkenning 2024. Daarna volgen de vergelijkingen met de resultaten van de scenario's van I13050v2 voor de steekjaren 2030 en 2050. De paragraaf beschrijft tot slot hoe het NPE zich verhoudt tot de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

3.6.1 Vergelijking met PBL KEV2024

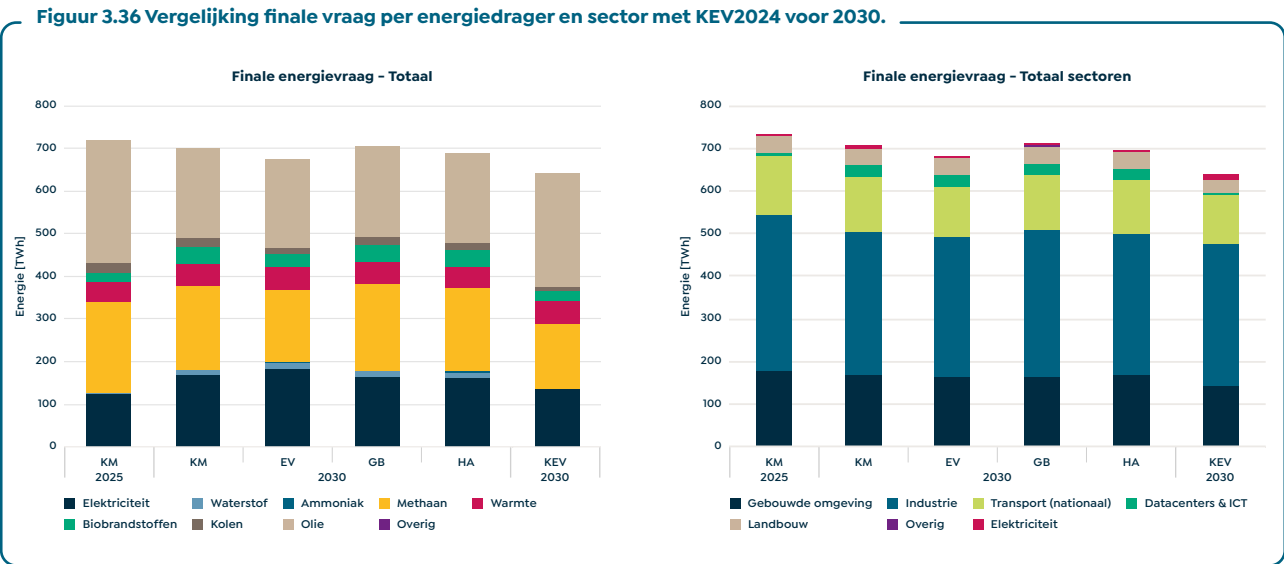
De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 worden vergeleken met resultaten van de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV) op basis van hun finale energievraag, hun primaire energievraag en het opgesteld vermogen²². De focus ligt hierbij op 2030. Het jaar 2035 staat niet in de vergelijking. Voor dat jaar is nog beperkt beleid opgesteld.

Het is belangrijk op te merken dat beide scenariostudies een ander doel hebben. In de KEV-prognose wordt de impact van vastgesteld- en voorgenomen beleid geprojecteerd op het energiesysteem van Nederland tot 2030, om te verkennen of aanvullend beleid nodig is om de doelstellingen uit de Klimaatwet te halen. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 gaan juist uit van het behalen van de doelstellingen en beschrijven elk een energiesysteem dat aan die resultaten voldoet.

Finale energievraag

Figuur 3.36 vergelijkt de finale energievraag van de 2030 scenario's met de KEV. Hierbij vallen de volgende zaken op:

- De totale finale energievraag in de KEV valt binnen het bereik van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025, maar bevindt zich wel aan de onderkant van de vraag die de KEV raamt.
- De finale elektriciteitsvraag ligt in de KEV onder de laagste waarde uit de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. De belangrijkste twee redenen hiervoor zijn: een lager tempo van elektrificatie in de KEV als gevolg van het incalculeren van congestieproblematiek en (2) wezenlijk lagere aannames in de KEV voor het verbruik in datacenters. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 rekenen congestie per definitie niet mee en maken gebruik van de meest recente inzichten in datacenterprojecten op basis van klantgegevens, zie ook H2.
- Het eindverbruik van methaan ligt in de Netbeheer Nederland scenario's Editie 2025 iets hoger dan in KEV, met name in de gebouwde omgeving. Dit heeft vooral te maken met een verschil in weeraannames. Het in het ETM gebruikte klimaatjaar is iets kouder dan het langjarige gemiddelde in KEV, wat resulteert in een hogere gasvraag voor verwarming. Daar komt nog bij dat de sectorale getallen ook door definitieverschillen ook niet één op één te vergelijken zijn. Zo is bijvoorbeeld de dienstensector in het KEV niet hetzelfde is als de bouwsector in het ETM.
- De finale olievraag in de KEV ligt boven de hoogste waarde uit de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. De KEV voorziet minder snelle verduurzaming van de industrie en een groter gebruik van oliebrandstoffen in de mobiliteit.

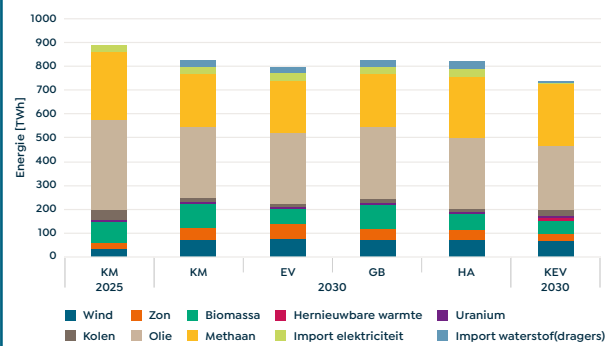


²² De KEV2024 cijfers zijn voor de vergelijking met de NBNL scenario's deels overgenomen uit een vertaling naar het ETM waardoor kleine verschillen met de oorspronkelijke publicatie kunnen optreden.

Primair aanbod

- Toont dat het primair aanbod in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 hoger uitvalt dan in de KEV2024. Dit sluit aan bij de hogere finale energievraag. Het primair energieaanbod van zon-PV is verder een factor twee tot drie groter in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 als gevolg van de hogere opgestelde vermogens.

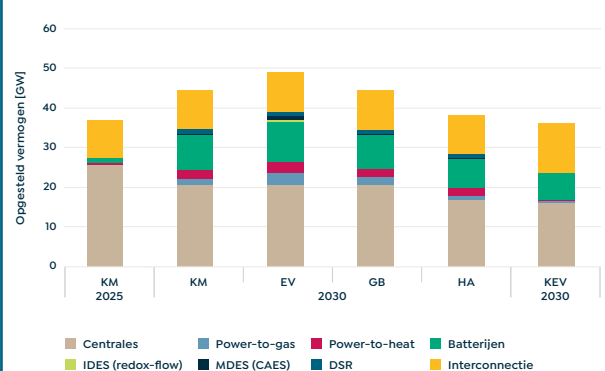
Figuur 3.37 Vergelijking primair energieaanbod, binnenland, met KEV2024 voor 2030.



Opgestelde vermogens

Figuur 3.38 toont het opgestelde flexibel vermogen. Dit neemt in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 sterker toe dan de KEV2024. Dit is een gevolg van de grotere behoefte aan flexibiliteit die ontstaat door een grotere elektriciteitsvraag en hoger geïnstalleerd vermogen aan duurzame opwek, met name zon-PV. De aannames voor batterijen liggen hierbij grotendeels met elkaar in lijn, maar de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 gaan uit van fors meer groei in power-to-heat en power-to-gas-vermogen - onder de aanname van een grotere waterstofvraag. Daarnaast wordt in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 aangenomen dat langetermijnopslag in 2030 zijn intrede heeft gedaan. Wat betreft interconnectiecapaciteit is de verwachting in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 t.o.v. eerdere scenario's licht naar beneden bijgesteld, omdat inbedrijfname van de Lion Link interconnector na 2030 is voorzien. In de KEV is deze update nog niet meegenomen, waardoor die capaciteit groter is dan in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

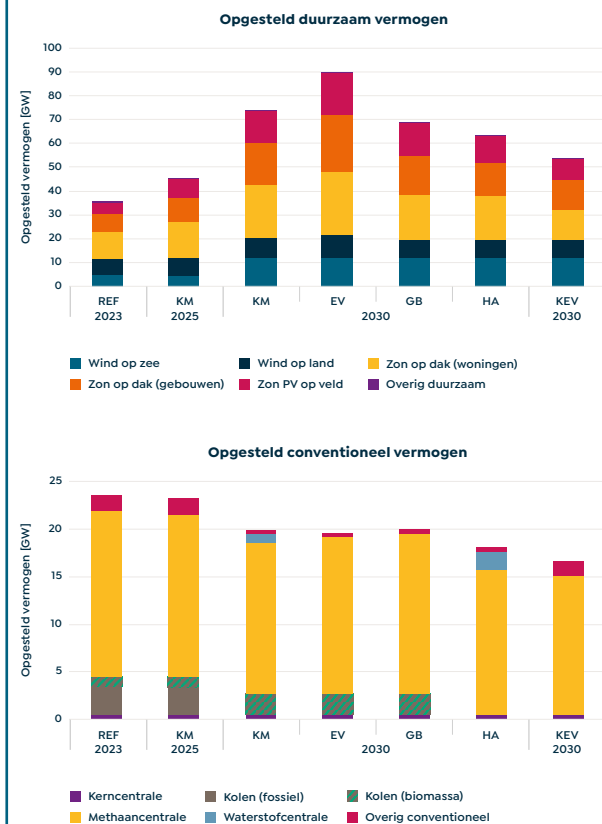
Figuur 3.38 Vergelijking opgestelde vermogens flexibiliteit met KEV2024 voor 2030.



Figuur 3.39 toont de opgestelde vermogens van duurzame opwek (boven) en conventioneel vermogen (onder). Van belang hierbij:

- De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 gaan uit van een grotere toename van opgesteld duurzaam vermogen, dit verschil komt met name door de verwachte blijvende groei van zon-PV.
- De afname van het opgesteld conventioneel vermogen in de KEV is groter dan in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Dit is in lijn met de grotere vraag en de resulterende grotere behoefte aan flexibiliteit in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025, waarin een relevant deel van de benodigde flexibiliteit door centrales geleverd wordt. Vanwege deze behoefte schakelen in drie van de vier Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 kolencentrales volledig over op biomassa, waar dat in de KEV niet gebeurt. Een andere onzekerheid is de introductie van waterstofcentrales. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 reflecteren deze onzekerheid door het opnemen van waterstofcentrales in slechts twee van de vier scenario's voor 2030. De KEV gaat ervan uit dat er in 2030 nog geen waterstofcentrales zijn.

Figuur 3.39 Vergelijking opgesteld hernieuwbaar en conventioneel vermogen per bron met KEV2024 voor 2030.



3.6.2. Vergelijking met de scenario's van II3050v2

De vergelijking van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met de scenario's van II3050v2 wordt uitgevoerd op basis van de finale energievraag, het primair energieaanbod en het opgesteld vermogen. De figuren geven telkens eerst het referentiejaar, daarna de resultaten voor de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 en tenslotte de resultaten van de scenario's van II3050v2.

2030

Voor 2030 worden de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 vergeleken met de scenario's van II3050v2, die destijds in het kader van de investeringsplannen 2024

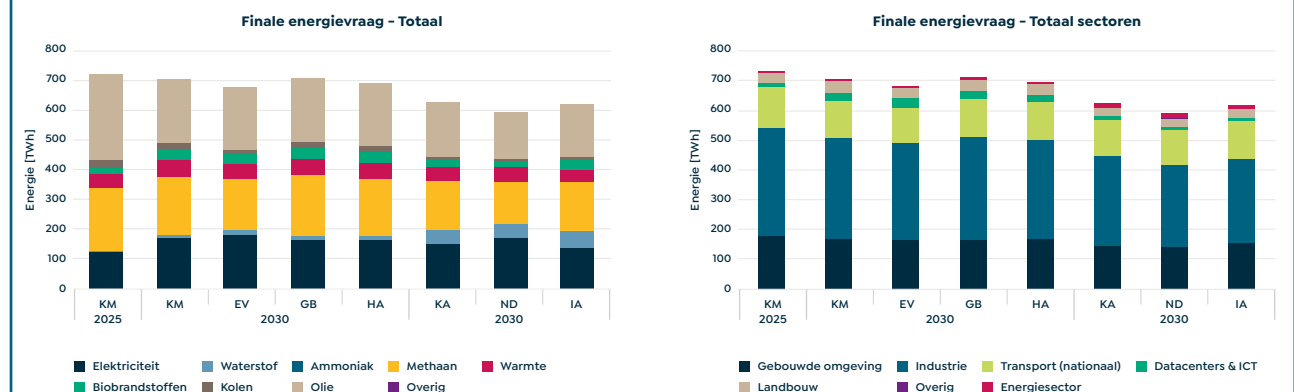
zijn uitgewerkt: Klimaatambitie (KA), Nationale Drijfveren (ND) en Internationale Ambitie (IA).

Finale energievraag

Figuur 3.40 vergelijkt de totale vraag. Belangrijk hierbij:

- De totale vraag in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is significant hoger dan in de scenario's van II3050v2, vooral gedreven door een hogere olievraag in de industrie, waarvoor in de scenario's van II3050v2 meer krimp werd aangenomen, en datacenters, grotendeels als gevolg van de sterke groei van kunstmatige intelligentie.
- Er heeft een verschuiving plaatsgevonden van de elektriciteitssector naar overig, als gevolg van gewijzigde definities.

Figuur 3.40 Vergelijking finale vraag per energiedrager en sector met vorige scenario's voor 2030.



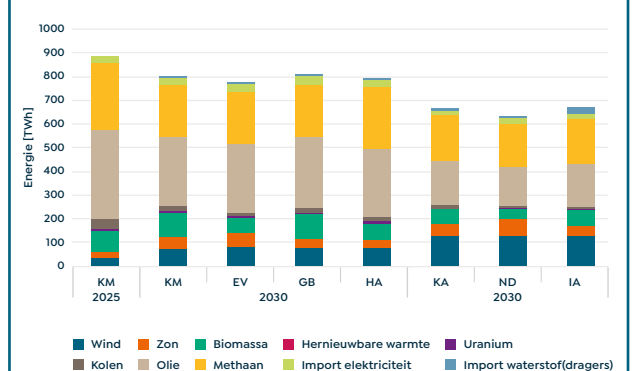
Primair energieaanbod

Figuur 3.41 toont een aantal opvallende verschillen tussen de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 vergeleken en de scenario's van II3050v2:

- In lijn met de energievraag ligt ook het primair energieaanbod van de nieuwe scenario's hoger.
- De nieuwe scenario's gaan uit van veel meer fossiel aanbod; zowel olie als methaan leveren veel meer energie dan in de scenario's van II3050v2. Grotendeels doordat de industrie in de nieuwe scenario's meer emissiereductie realiseert via afvang en opslag van CO₂.
- In twee van de vier nieuwe scenario's is het aanbod van biomassa groter dan in de scenario's van II3050v2. In de scenario's Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans wordt veel biomassa vanuit Europa geïmporteerd.
- Tegen de trend in is er juist *minder* energie beschikbaar van wind. Dit is een direct gevolg van de aangepaste routekaart wind-op-zee. In de scenario's van II3050v2

was de doelstelling circa 21 GW in 2030, inmiddels is deze verschoven naar 2032/2033. Met minder vermogen in 2030 is ook het aanbod van wind kleiner.

Figuur 3.41 Vergelijking primair energieaanbod (binnenland) met vorige scenario's voor 2030.

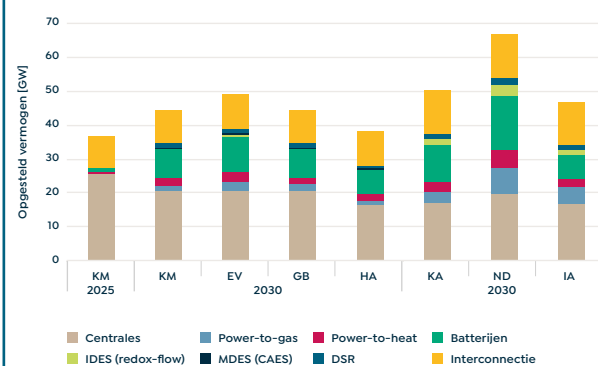


Opgestelde vermogens

Figuur 3.42 laat zien dat:

- Twee van de drie scenario's van I13050v2 qua totaal flexibel vermogen binnen de bovengrens van de bandbreedte van de nieuwe scenario's vallen.
- Het scenario met het hoogste flexibel vermogen van I13050v2, ver boven het maximum vermogen in de nieuwe scenario's uit komt. Dit is echter niet los te zien van wind- en zon-PV-vermogens die in het I13050v2-scenario Nationale Drijfveren significant hoger lagen dan in de andere scenario's, zie ook figuur 3.43 (boven).
- De verschillen zitten vooral in de middelen die geen centrale zijn:
 - De scenario's van I13050v2 waren nog duidelijk optimistischer over een snelle ontwikkeling van power-to-gas, power-to-heat en batterijen. Inmiddels is echter gebleken dat de business case voor deze flexibele middelen minder makkelijk te maken is.
 - De scenario's van I13050v2 gingen er nog van uit dat het interconnectorproject Lion Link in 2030 operationeel zou zijn. Die planning is inmiddels verschoven naar net ná 2030.

Figuur 3.42 Vergelijking opgestelde vermogens flexibiliteit met scenario's van I13050v2 voor 2030.

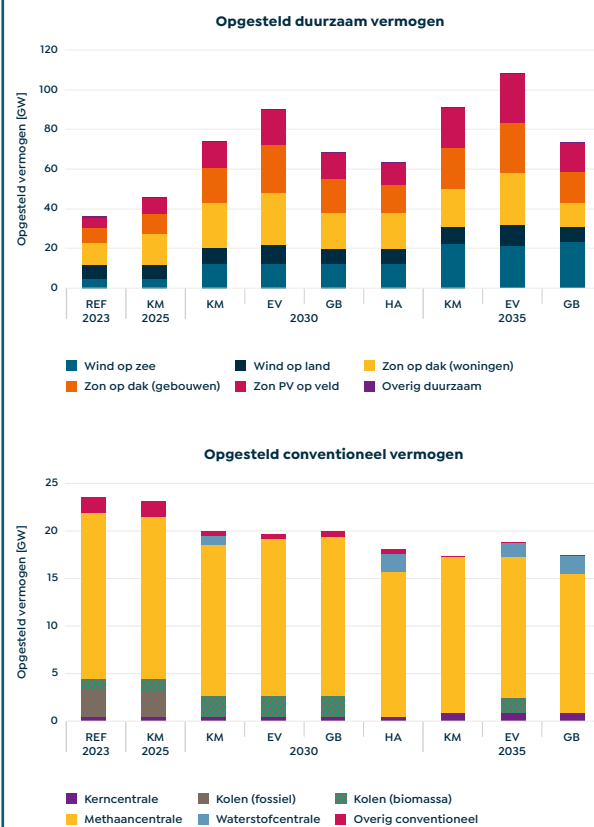


Figuur 3.43 toont dat wat betreft duurzame opwek het belangrijkste verschil tussen de vorige en nieuwe scenario's in de hoeveelheid wind-op-zee zit. Voor regelbaar vermogen zijn er een aantal verschillen te zien in figuur 3.43 (onder).

- De waarschijnlijkheid dat waterstofcentrales in 2030 operationeel zijn is afgenomen als gevolg van het trage ontwikkeltempo op het gebied van waterstof.

- Omdat er wel voldoende regelbaar vermogen benodigd wordt, stappen in drie van de vier nieuwe scenario's ongeveer de helft van de kolencentrales over op biomassa, in tegenstelling tot slechts één van de drie scenario's van I13050v2.
- Ook blijven de afvalverbrandingsinstallaties in alle nieuwe scenario's in 2030 operationeel (waarna het opwekvermogen wel afneemt als gevolg van meer recycling), in tegenstelling tot in de oude scenario's.
- In de scenario's van I13050v2 was er al in 2030 een uitbreiding van het vermogen van kerncentrales. Dit is niet haalbaar gebleken. De eerste stijging in drie van de vier scenario's vindt plaats in 2040. Tot die tijd blijft Borssele als enige kerncentrale operationeel.

Figuur 3.43 Vergelijking opgesteld RES en regelbaar vermogen met scenario's van I13050v2 voor 2030, in GW per bron.



2050

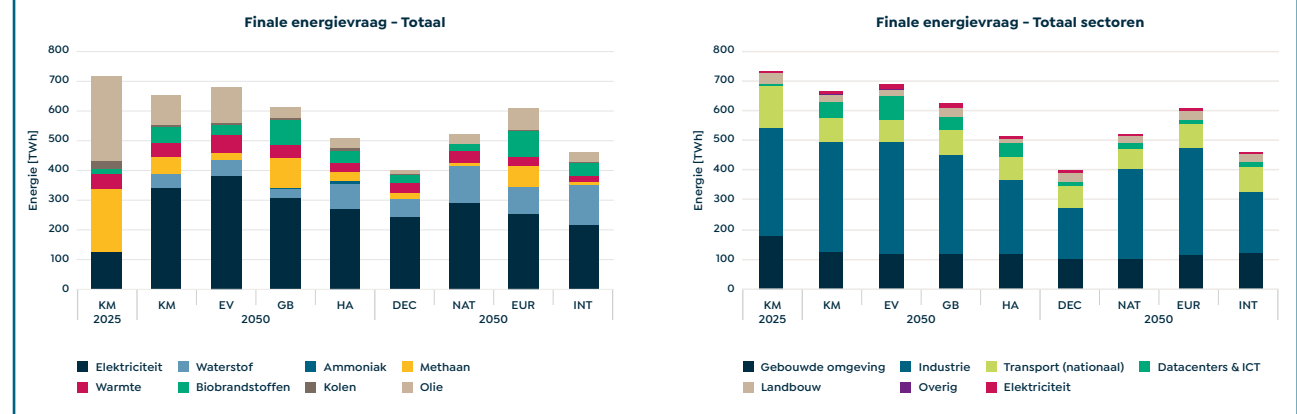
Voor 2050 worden de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 vergeleken met de langetermijnsenario's van I13050v2: Decentrale Initiatieven (DEC), Nationaal Leiderschap (NAT), Europese Integratie (EUR) en Internationale Handel (INT).

Finale energievraag

Figuur 3.44 toont de finale vraag. Duidelijke overeenkomsten tussen de scenario's van I13050v2 en de nieuwe scenario's zijn:

- In beide studies is elektriciteit in 2050 de voornaamse energiedrager.
- In beide studies heeft er één scenario nog veel methaanvraag. In de nieuwe studie is dat het scenario Gezamenlijke Balans, en in I13050v2 is dit het scenario Europese Integratie. Dit is te verwachten aangezien beide verhaallijnen veel uitgangspunten delen, zoals Europese samenwerking, relatief hoge beschikbaarheid van biomassa en hoge acceptatie voor en gebruik van CCS.

Figuur 3.44 Vergelijking finale vraag per bron en sector met scenario's van I13050v2 voor 2050, in TWh per bron.



Primair energieaanbod

Figuur 3.44 (links) toont het primaire energieaanbod van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 en de scenario's van I13050v2. voor 2050. Enkele overeenkomsten zijn:

- In beide studies is er een grote spreiding tussen de scenario's in het totale primaire aanbod.
- De rol en spreiding van windenergie is gelijk gebleven. In beide studies is de windopwek tussen 200 en 400 TWh. Op kortere termijn ontwikkelt windenergie zich minder snel dan eerder gedacht, maar deze vertraging is in 2050 weer ingelopen.

Daarnaast zijn er verschillen in het primaire energieaanbod:

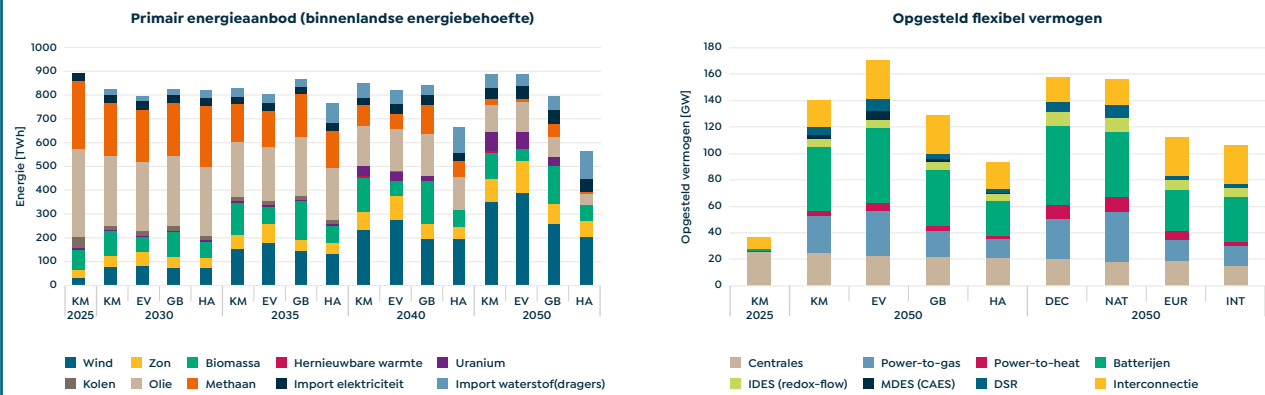
- Er zijn nu drie scenario's zijn met kernenergie. In I13050v2 waren dit nog maar twee scenario's. Daarnaast zijn in het scenario Eigen Vermogen voor het eerst Small Modular Reactors opgenomen.

- In beide studies bedraagt de finale vraag zo'n 600 TWh in het scenario met de hoogste vraag.

Daarnaast verschilt de finale vraag tussen de scenario's op een aantal punten:

- In I13050v2 is in alle scenario's de waterstofvraag hoger dan in de scenario's in de nieuwe studie. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in modellering/weergave tussen beide edities. In I13050v2 was waterstof voor hernieuwbare grond- en brandstofproductie in het eindverbruik opgenomen. In de nieuwe scenario's is dit expliciet als transformatie beschouwd en als zodanig niet opgenomen in het eindverbruik. Daardoor is de vergelijking in de figuur niet helemaal zuiver. Voor een correcte vergelijking van de waterstofvraag, wordt verwezen naar hoofdstuk 4.9 Aanbod waterstof. Daarin laten de nieuwe scenario's ruwweg dezelfde bandbreedte zien als I13050v2. Warmte speelt een grotere rol in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

Figuur 3.45 Vergelijking primair energieaanbod (binnenland exclusief doorvoer en export) en flexaanbod met scenario's van II3050v2 voor 2050, in TWh per bron.



Opgestelde vermogens

Figuur 3.45 (rechts) toont de hoeveelheid opgesteld flexibel vermogen ten behoeve van het elektriciteitssysteem. In alle scenario's is duidelijk dat de hoeveelheid flexibel vermogen enorm zal toenemen, ook al is nog zeer onzeker hoeveel precies.

- Verschillen tussen de nieuwe en de scenario's van II3050v2:
 - De spreiding tussen de scenario's is veel groter. De factor 2 verschil tussen het scenario met het laagst opgesteld vermogen en het scenario met het hoogst

opgesteld vermogen is aanzienlijk hoger dan de factor 1,5 in de scenario's van II3050v2. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zijn IDES en MDES nieuw. Ontwikkelingen op het gebied van opslag gaan razendsnel, waardoor de business case verbetert en verwacht mag worden grootschalige batterijopslag beschikbaar komt.

- De verwachtingen voor power-to-heat zijn naar beneden bijgesteld. Met name in de industrie zijn de verwachtingen voor power-to-heat getemperd, voornamelijk als gevolg van hoge netkosten.

In figuur 3.46 (links) wordt het opgesteld duurzaam opwekvermogen van elektriciteit voor 2050 vergeleken tussen de nieuwe scenario's en die van II3050v2. De grote lijnen zijn vergelijkbaar:

- In alle scenario's vindt een verveelvoudiging plaats van het medio 2025 opgesteld vermogen duurzame energie.
- De minimale en maximale waarden komen per technologie overeen. De maximale potentie van de verschillende technieken is daarmee ongeveer gelijk gebleven. Tussen scenario's is wel een groot verschil te zien.
- De scenario's die het meest op import leunen - scenario Horizon Aanvoer en scenario Internationale Handel - hebben ook het laagste opgesteld duurzaam vermogen in beide scenariostudies.

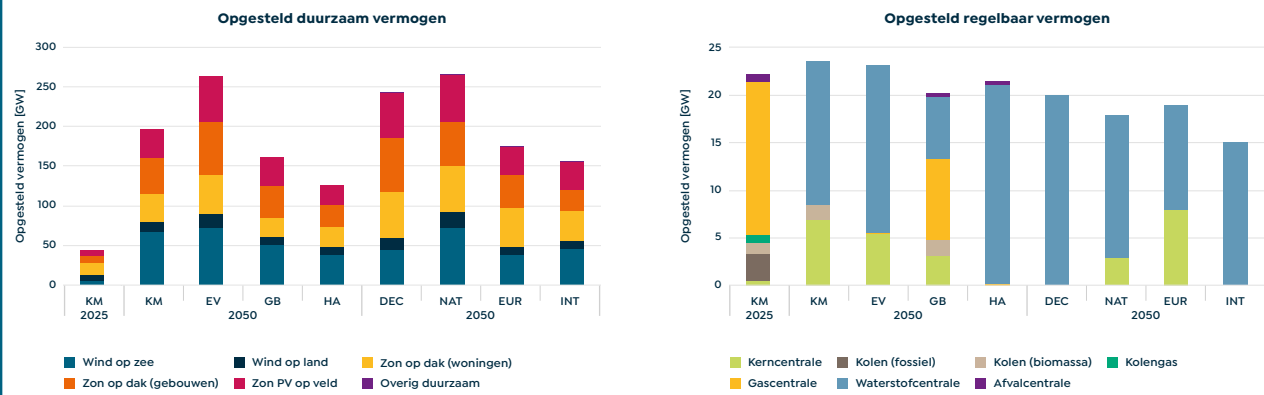
- Daarnaast verschillende de scenario's op een aantal punten:
- De nieuwe scenario's gaan gemiddeld uit van lagere vermogens duurzame opwek dan de scenario's van II3050v2.
 - De spreiding van het totale vermogen is in de nieuwe scenario's groter dan in de scenario's van II3050v2, voornamelijk als gevolg van het nog forser inzetten op import in het scenario waar import de grootste rol speelt.
 - Het totale vermogen wind-op-zee is vergelijkbaar tussen de studies, maar in de nieuwe scenario's wordt

een groter deel hybride aangesloten. Dit reflecteert de ontwikkeling in het denken over hoe wind-op-zee het beste aangesloten kan worden.

- In figuur 3.46 (rechts) wordt het conventionele (regelbare) opwek vermogen vergeleken tussen Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 en II3050v2. De scenariostudies vertonen een aantal belangrijke gelijkenissen:
- Waterstofcentrales spelen een zeer prominente rol.
 - In beide scenariostudies leunt er tenminste één scenario volledig op waterstof elektriciteitscentrales.

- Daarnaast zijn er een aantal verschillen:
- In Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 maken drie scenario's gebruik van kernenergie; in II3050v2 zijn dat er twee. Daarnaast wordt kernenergie uitgesplitst in grootschalige centrales en *small modular reactors* (SMR).
 - In de nieuwe scenario's is sprake van meer diversificatie in het conventioneel vermogen. Zo blijven er gascentrales functioneel in het scenario Gezamenlijke Balans, en wordt er in twee van de vier scenario's gebruik gemaakt van biomassacentrales. Dit illustreert het tijdens stakeholder bijeenkomsten opgemerkte besef dat inzet op één technologie riskant is, en dat verschillende transitiepaden nog open staan.

Figuur 3.46 Vergelijking opgesteld RES en regelbaar vermogen met scenario's van II3050v2 voor 2050, in GW per bron.



3.6.3 Nationaal Plan Energiesysteem

Eind 2023 is het eerste Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) gepubliceerd, met daarin richtinggevende keuzes voor het toekomstige energiesysteem en de route om daar te komen. Het NPE kent geen uitgewerkte scenario's en er kan dus ook geen vergelijking worden gemaakt met het NPE zoals voor de KEV en de II3050v2-scenario's is gedaan. In plaats daarvan wordt het langetermijnperspectief van het NPE kwalitatief vergeleken met de scenario's.

Het NPE maakt op hoofdlijnen vijf richtinggevende keuzes:

1. Maximale inzet op aanbod van duurzame energie en energie-infrastructuur.
2. Energie besparen als belangrijke hoeksteen van energiebeleid.
3. Schaarre energie en infrastructuur inzetten waar dat het meest nodig is vanuit systeemperspectief.
4. Sterke internationale samenwerking en maximaal verbonden energiesysteem.
5. Samen sturen met burgers en bedrijven, met ruimte voor participatie en initiatief.

Het NPE vertaalt deze richtinggevende keuzes naar een visie voor elektriciteit, waterstof, warmte en koolstof:

- **Elektriciteit** moet de ruggengraat vormen van het energiesysteem. Hierdoor is er sterke groei in direct elektriciteitsverbruik in alle sectoren, maar ook voor productie van groene waterstof.
- **Waterstof** moet een systeemrol voor het energiesysteem vervullen met vooral toepassingen in de industrie en internationale mobiliteit. Er wordt ingezet op een strategisch aandeel binnenlandse productie en blauwe waterstof krijgt een faciliterende transitierol.
- **Warmte** vraagt moet ingevuld worden via warmtenetten en elektrificatie. Waar mogelijk worden lokale warmte-bronnen gebruikt en warmteopslag is belangrijk als buffer voor het energiesysteem.
- **Fossiele koolstof** wordt zo snel mogelijk afgebouwd, terwijl duurzame koolstof moet worden opgeschaald. Bij schaarste van duurzame energie of koolstof wordt gestuurd op hoogwaardig gebruik.

Bij het ontwikkelen van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is het NPE een belangrijke inspiratie geweest voor het 2050 beeld van scenario Koersvaste Middenweg. Ook in de andere scenario's komen beelden uit het NPE terug, maar dat is minder consequent dan voor Koersvaste Middenweg. Bij de kwantitatieve invulling van het scenario Koersvaste Middenweg is een balans gezocht tussen enerzijds het herkenbaar laten terugkomen van de NPE gedachtelijn, en anderzijds het doel om een realistisch denkbaar 'midden' scenariopad ten opzichte van de overige

scenariooverhaallijnen uit te werken. Hierbij zijn ook andere bronnen geraadpleegd, zoals KEV, energieviesies en het coalitieakkoord. Daarnaast is voor Koersvaste Middenweg getoetst of de ambities voldoende onderbouwd en beredeneerd kunnen worden vanuit concrete beleids-, technologie en marktontwikkelingen, rekening houdend met harde beperkingen, zoals voor ruimte en acceptatie.

Resultaat van deze aanpak: de kwantificatie van het scenario Koersvaste Middenweg zijn herleidbaar naar de denkrichting van het NPE. Ook in het scenario Eigen Vermogen kent veel overeenkomsten met het NPE. De scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer kennen elementen die vermeld worden in het NPE, maar staan al al verder weg van het NPE.

Concrete voorbeelden hiervan:

- Elektrificatie is voor veel toepassingen de preferente verduurzamingsroute en CO₂-vrije elektriciteit is de grootste bron van energie.
- Scenario Koersvaste Middenweg kent een lager vermogen wind-op-zee (66 GW) in 2050 dan de ambitie van het NPE (70 GW). De ambitie van het NPE wordt wel in scenario Eigen Vermogen gerealiseerd (72 GW).
- Scenario Koersvaste Middenweg heeft in 2050 de maximale hoeveelheid kernenergie van het NPE, 7 GW, scenario Eigen Vermogen blijft met 5,5 GW precies binnen het door het NPE genoemde bereik van 3,5–7 GW. Scenario Gezamenlijke Balans blijft daar net onder en Horizon Aanvoer wijkt zonder kerncentrales duidelijk af van het NPE.
- Het NPE voorziet grootschalige binnenlandse productie van groene waterstof – 15–20 GW in 2040 – om de industrie en internationale mobiliteit van waterstof te voorzien; Scenario's Koersvaste Middenweg (16 GW) en Eigen Vermogen (22 GW) blijven aan de onder- en bovenkant van dit bereik. Scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer respectievelijk aan de boven- en onderkant van dit bereik.
- In alle Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 wordt in 2050 nog fossiele olie gebruikt als koolstofdrager. Geen van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 bereikt het niveau voor inzet van biograndstoffen uit het NPE. Scenario's Gezamenlijke Balans en Koersvaste Middenweg kennen nog het grootste gebruik van biograndstoffen.
- Voor warmte voorziet het NPE een vraag van zo'n 40 TWh, 150 PJ in 2050 in de gebouwde omgeving en landbouw. Scenario's Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans blijven hier dicht bij.
- Voor warmteoplossingen in de Gebouwde Omgeving in 2050 is het scenario Koersvaste Middenweg met all-electric warmtepompen en grootschalige warmtenetten in lijn met het NPE.

- Een grote rol voor elektrificatie in de binnenlandse mobiliteitssector, aangevuld met waterstof waar het niet anders kan, is opgenomen in zowel scenario Koersvaste Middenweg als in het NPE. Voor internationaal transport gaat het NPE uit van een sterke inzet van biobrandstoffen, in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 ligt de nadruk op de inzet van synthetische brandstoffen uit waterstof.
- De uitgangspunten en richting van het NPE voor de industrie komen grotendeels overeen met de beelden in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Onder andere dat elektriciteit altijd een grote rol speelt en Nederland ook een grote rol speelt in de doorvoer van energie. Ook het belang van CCS en import van waterstof(dragers), komen zowel in het NPE als in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 terug.
- Groei van datacenters was nog niet duidelijk zichtbaar in het NPE, de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 gaan uit van een sterke groei van datacenters en daarmee de elektriciteitsbehoefte.
- Uitwerking van de landbouwsector qua elektriciteit- en warmteverbruik in scenario Koersvaste Middenweg ligt in lijn met het NPE.

3.7. Voornaamste onzekerheden, dilemma's en overige impact

De analysereeks van scenario's die Netbeheer Nederland opstelt, levert tweejaarlijks beelden op van de transitie van het Nederlandse energiesysteem tussen nu en 2050. Elke twee jaar verwerkt de analyse nieuwe inzichten, technologische ontwikkelingen en Europese of nationale doelen. Mede hierdoor verschillen de hoekpunten van de scenario's elk jaar en worden er net iets andere keuzes gemaakt in de tussenliggende jaren. Ook ditmaal geldt dat de beelden van het energiesysteem in 2050 omringd zijn door onzekerheden; in werkelijkheid treden de situaties uit de scenario's iets meer naar links of rechts en eerder of later op dan geschetst. Dit is onontkoombaar bij elke studie die een scenarioschets van de toekomst maakt.

Onderstaande paragraaf beschrijft voor de voornaamste punten de onzekerheden en de uitdagingen, dilemma's en systeemkeuzes waarmee de netbeheer te maken heeft. Om inzicht te krijgen in het effect hiervan zijn enkele varianten voorgesteld. De variantenanalyses zijn nog niet uitgevoerd.

3.7.1 Voornaamste onzekerheden

Sociaal-maatschappelijk: een succesvolle energietransitie vereist breed maatschappelijk draagvlak. Dit is echter niet vanzelfsprekend, zeker niet als veranderingen,

zoals versterking van het elektriciteitsnet, tot overmatige overlast leidt bij de bevolking. Daarnaast moeten kwetsbare groepen niet onevenredig worden belast door de kosten van de transitie. Bovendien blijkt het een uitdaging om gedragsverandering bij burgers en bedrijven te stimuleren, al blijkt de laatste jaren uit verschillende peilingen dat steeds meer burgers zich zorgen maken over klimaatverandering en actie willen.

Infrastructureel: de huidige netcapaciteit is onvoldoende voor de grootschalige elektrificatie die nodig is voor 2050. Investerings in het elektriciteits- en waterstofnetwerk zijn essentieel, maar moeten rekening houden met regionale verschillen in opwek en verbruik. Het energiesysteem moet bovendien flexibel genoeg zijn om elektriciteit, warmte en waterstof efficiënt te integreren en om internationale uitwisseling en samenwerking mogelijk te maken via interconnecties. Verder vraagt de uitbreiding om het doorlopen van – vaak langdurige – ruimtelijke procedures om veel gespecialiseerde arbeidskracht.

Strategisch: bij de energietransitie moeten groei van vraag en aanbod in balans zijn, op internationaal, nationaal en regionaal niveau. Dit vraagt zorgvuldige afstemming van investeringen in sectoren en technologieën, terwijl ook flexibiliteit moet worden ingebouwd om te reageren op weersfluctuaties.

Technologisch: een belangrijke vraag bij de energietransitie is hoe snel technologische innovaties zich ontwikkelen en schaalbaar worden. Technologieën zoals waterstofelektrolyse, batterijopslag en koolstofafvang (CCS of CCU) spelen in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 een cruciale rol, maar hun betrouwbaarheid, veiligheid en toekomstige kosten zijn onzeker. De mate waarin grootschalige energieopslag-systemen nodig zijn en welke opslagtechnologieën optimaal zijn, is evenmin volledig duidelijk. Daarnaast speelt de verdere digitalisering van het energiesysteem een rol. Maar ook daarvoor is lastig te voorspellen met welke snelheid dit kan worden gerealiseerd.

Economisch: de energietransitie vereist aanzienlijke investeringen, maar de investeringsbereidheid van bedrijven, burgers en overheden hangt sterk af van economische omstandigheden en beleidsmaatregelen. Energieprijzen, subsidies, belastingen en internationale handelsstromen van grondstoffen, zoals groene waterstof en kritieke mineralen, zijn allemaal factoren die invloed hebben op de kosten en risico's van de transitie. Een bijkomend dilemma is de balans tussen grijs importeren versus lokaal groen produceren. Zonder goede handelskaders vertrekken internationaal opererende partijen of gaan ze failliet.

Markt: de toekomstige energievraag is lastig te voorspellen, vooral door onzekerheid over het tempo en wijze van transitie in de industrie, transport en gebouwde omgeving. De concurrentie tussen verschillende energiebronnen, zoals elektriciteit en waterstof, heeft invloed op investeringen. Een toename van variabele energieprijzen zorgt er waarschijnlijk voor dat meer partijen actief willen balanceren. Het is nog onzeker of de variabele energieprijzen ruimte bieden om investeringen rendabel te maken, bijvoorbeeld voor eigenaren van batterijen.

Klimaat- en milieu: klimaatverandering zelf heeft grote invloed op het toekomstige energiesysteem. Hogere temperaturen, zeespiegelstijging en extremere weersomstandigheden kunnen de betrouwbaarheid en capaciteit van energie-infrastructuur beïnvloeden. Tegelijkertijd is de beschikbaarheid onzeker van natuurlijke hulpbronnen, zoals materialen voor batterijen en wind-turbines. Bescherming van biodiversiteit vormt daarbij een extra uitdaging: grootschalige energieprojecten mogen de natuur niet onnodig schade toebrengen.

Geopolitiek: de geopolitieke situatie is de komende jaren zeer onzeker. Dit heeft invloed op de keuzes ten aanzien van de nationale veiligheid. Geopolitieke ontwikkelingen kunnen de toegang tot energiebronnen en grondstoffen verstoren enerzijds, anderzijds zorgen ze ervoor dat er de komende jaren meer geld naar defensie gaat. Ook zorgen recente ontwikkelingen ervoor dat er extra aandacht voor veiligheidsrisico's van bestaande en nieuwe infrastructuur is.

Scenario-afhankelijkheden: de richting van de energietransitie wordt bepaald door cruciale keuzes, zoals de mate van elektrificatie, de rol van waterstof en de snelheid van groei van hernieuwbare energie. Innovaties zoals nieuwe vormen van kernenergie kunnen ook de energiemix beïnvloeden. Elke ontwikkeling hier geschetst verandert de prijzen van energie. De prijs beïnvloedt op zijn beurt private keuzes zeer sterk.

Beleid- en regulering: voor beleid is consistentie op de lange termijn cruciaal, maar lastig te garanderen in een veranderende politieke en economische context. De samenwerking met Europese landen en de invloed van EU-regelgeving, zoals de Green Deal, het Fit for 55-pakket en de Clean Industrial Deal, creëren kansen maar ook uitdagingen bijvoorbeeld ten aanzien van het behouden van een gelijk speelveld. Daarnaast is flexibiliteit in regelgeving nodig om in te spelen op verstoringen in de marktdynamiek, de energietransitie zorgt voor de komst van nieuwe markten en/of marktmodellen en/of aanscherping van bestaande regulering om excessen te beperken en 'goed gedrag' te belonen.

3.7.2 Uitdagingen, dilemma's en systeemkeuzes

De onderscheidende factor tussen de scenario's: de structuur van de industrie

Het energiesysteem van de toekomst wordt voor een groot deel bepaald door de industriële activiteiten. Meer specifiek: door de omvang, de afhankelijkheid van import en de manier waarop de industrie in Nederland verduurzaamt. Blijft er in Nederland grote capaciteit voor olieraffinage? Of wordt die capaciteit vervangen door biogene of synthetische productie? Voor de productie van duurzame brand- en grondstoffen is veel hernieuwbare energie nodig. Het vereist ook investeringen. Maar dat vergroot wel de strategische autonomie van Nederland. Zo hebben ook keuzes door de basischemie grote impact op het energiesysteem en op de rol van Nederlandse zeehavens. Bijvoorbeeld voor al dan niet verplaatsen van energie-intensieve deelprocessen naar het buitenland. De keuzes die nu worden gemaakt voor energiebronnen en leveringszekerheid, bepalen of Nederland zich kwetsbaar maakt of juist zijn strategische autonomie vergroot.

Toekomstig energiesysteem vraagt om investeringen en financiering aan de voorkant

De kosten van een duurzaam energiesysteem zijn naar alle waarschijnlijkheid hoger dan het systeem medio 2025. Hoeveel hoger, is zeer sterk afhankelijk van het referentiejaar, de ontwikkeling van energieprijzen en de WACC die van toepassing is op het moment van financieren. De energietransitie maakt dat we van een OPEX-gedreven energiesysteem switchen naar een CAPEX-gedreven systeem. Het is sterk de vraag of de in de afgelopen decennia ontwikkelde marktmodellen en regulering geschikt zijn om publieke en private partijen aan te zetten tot investeren en financieren van deze schaa sprong. Een nadere analyse naar de financiële impact per scenario is nodig om een volledig inzicht te krijgen in de financiële impact (in ordergrootte t.o.v. nu en wat de kosten zijn van niets doen) van het toekomstig energiesysteem, alsook welk type regulering hierbij past en wie welk deel van de rekening voor zijn/haar rekening neemt.

Extra flexibiliteit nodig om het systeem te balanceren

Een duurzaam energiesysteem vereist een grote hoeveelheid aan flexibele bronnen om vraag- en aanbod van energiedragers op ieder moment in balans te brengen. Op basis van bestaande klantenassets, bekende projecten, studies en onderzoek naar markt en technologie trends is een inschatting gemaakt van de verwachte volumes en vermogens van flexibele assets in het systeem. Deze bleek in veel gevallen nog onvoldoende om het energiesysteem volledig in balans te brengen, wat betekent dat er op sommige momenten overschotten of tekorten overbleven. In de uitwerking van de scenario's zijn daarom

extra flexibiliteitsmiddelen aan het systeem toegevoegd. Dit gaat met name om: aanvullend of eerdere realisatie van vermogen in de vorm van nieuwe gas- en/of waterstofcentrales, verhoogde vraagsturing (DSR) en extra grootschalige elektriciteitsopslag (MDES, IDES). Daarmee is in bepaalde sectoren meer flexibiliteit toegevoegd dan er vanuit sectoren is aangegeven. Daarbij is het noodzakelijk om te onderzoeken de projecties in lijn te brengen zijn met wat het energiesysteem nodig heeft aan flexibiliteit. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan financiële ondersteuning van flex-systeemondersteuning, verbetering van marktcondities of aanvullende regulering.

Meer regelbaar productievermogen nodig om tekorten in het elektriciteitssysteem te voorkomen

De ontwikkeling van het aanbod van duurzame elektriciteit vertraagt, terwijl de vraag in de scenario's blijft groeien. Windprojecten op zee en land vertragen, zonneparken lopen aan tegen netcongestie en uitblijvende vergunningen, zon op dak vertraagt door afschaffing van subsidies. Zonder versnelling (gecombineerd met meer flexbronnen) moeten bestaande centrales langer operationeel blijven om in de groeiende behoefte aan elektriciteit te kunnen blijven voorzien. In de scenario's is bijvoorbeeld gekozen om in 2030 de bestaande kolencentrales open te houden, waarin biomassa wordt gestookt, om (modelmatige) tekorten op te vangen. Tevens is nieuw regelbaar gasgestookt vermogen toegevoegd, voor extra aanbod en als structurele oplossing voor flexibiliteit en netbalancering. Deze nieuwe centrales worden (natuurlijk) wel waterstof-ready opgeleverd, zodat ze in het volgend decennium kunnen omschakelen.

Andere systeemkeuzes maken om aan te sluiten bij emissiedoelstellingen

Recent valt op dat diverse verduurzamingstrends vertragen, zoals het tempo van de warmtetransitie of de uitrol van groene waterstof. Met name in scenario Horizon Aanvoer, maar ook in de andere scenario's, is onzeker of de emissiedoelstellingen daadwerkelijk gehaald worden. In de scenario's is ervoor gekozen zoveel mogelijk realistische bandbreedtes te bepalen die aansluiten bij huidige trends. Om aan te sluiten bij de emissiedoelstellingen van 2030 en 2050 zijn een aantal aanvullende systeemkeuzes gemaakt in de scenario's. Voorbeelden van de aanvullende systeemkeuzes zijn extra CO₂-afvang bij biomassacentrales, bij afvalverwerkingsinstallaties en bij groengasproductie. Daarnaast is uitgegaan van een forse groei van de biobrandstoffenproductie voor mobiliteit om aan REDIII te voldoen, toepassen van biochar en het toepassen van direct air capture. Tenslotte, is ook een versnelling van de emissiereductie van sectoren die buiten het energiesysteem

vallen verondersteld. Eventuele versnelling of vertraging hier heeft ook impact op de opgave en het tempo van de energietransitie.

Sterke en snelle groei datacenters niet baseload in te passen

Om te voorzien in de groeiende behoefte aan digitalisering, AI en clouddiensten is een wereldwijde groei van het aantal datacenters noodzakelijk. Op basis van bestaande klant-aanvragen en trends stijgt van de verwachte energievraag van datacenters in Nederland enorm, tot ca. 40 à 70 procent van het huidige elektriciteitsverbruik van Nederland. Deze hoeveelheid vraag is niet baseload in te passen, in combinatie met de groeiende elektriciteitsvraag van alle andere sectoren. In de scenario's is daarom uitgegaan van een groter aandeel flexibel stuurbare vraag (25 tot 40 procent reductie op piekmomenten) van datacenters dan vanuit de markt nu te verwachten is. Een gedegen strategie en visie is nodig zodat het energiesysteem om kan gaan met de groei en het verbruik van datacenters in Nederland. Belangrijke aspecten kunnen zijn het sturen op temporisering, locatie (binnen of buiten Nederland), en flexibiliteit van de elektriciteitsvraag.

3.7.3 Overige impact

De energietransitie heeft verstrekken financiële en ruimtelijke consequenties voor Nederland. Op financieel gebied betekent de energietransitie een duidelijke verschuiving van een OPEX-gedreven systeem, dat vooral exploitatiekosten van conventionele installaties en de kosten van fossiele brandstof als componenten kende, naar een CAPEX-gedreven systeem. De aanleg van grootschalige windparken, zonne-energiecentrales, waterstofinfrastructuren en energiebufferingssyste men vergt grote kapitaalinvesteringen vooraf en hebben zeer lage operationele productiekosten. Deze investeringen moeten terugverdiend worden gedurende een lange periode, mede vanwege de hoge financieringslasten. Dit brengt risico's met zich mee.

Eindverbruikerskosten zijn eveneens belangrijk voor technologiekeuzes. Voor het opstellen van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is logica gebruikt in de verhoudingen tussen kosten voor eindgebruik van energie per energiedrager. Kwantificering van de kosten voor de eindgebruiker is ingewikkeld. Er is namelijk verder in de toekomst steeds meer onzekerheid over prijzen; de marktmodellering in het ETM is beperkt en het ETM zich richt op groothandelsprijzen voor energie. Daarom blijft de ontwikkeling van de eindverbruikerskosten in de verschillende scenario's een grove inschatting. Die inschatting geeft weer dat er verschillen tussen de scenario's zijn, en dat de eindgebruikerskosten waarschijnlijk toenemen.

Tabel 3.8 Kosten voor eindgebruik energie per energiedrager; 0 neutraal tot ++ positief.

	Elektriciteit	Waterstof	Ammoniak	Methaan	Biomassa	Rationale
KM	++	+	0	0	+	Energie is goedkoop in Europa, elektrificatieroute vaak als preferent gekozen door overheid voor alle verbruikssectoren, internationale ketens blijven bestaan en Nederland blijft competitief daarin.
EV	++	+	0	0	0	Energie importeren uit het buitenland is duur door geopolitieke druk, maar goedkoop in Europa, met name elektriciteit door gerichte incentives van overheden.
GB	0	+	+	++	++	Bestaande energieketens blijven bestaan, bijvoorbeeld de aardgasketens. Er is voldoende inkoopkracht, fossiele energie is goedkoop en afvang van fossiele uitstoot is dat ook.
HA	0	++	++	0	+	Energie is duur voor Europa, vestigingsklimaat verslechtert, wel snelle vooruitgang op klimaat in de wereld, daardoor is waterstof en ammoniak en biomassa in grote mate beschikbaar en relatief goedkoop te importeren.

Het ETM bevat een grove doorrekening van de totale jaarlijkse kosten van het energiesysteem –de som van alle OPEX en de afschrijving van CAPEX – en kan ook dienen als ruwe indicatie. De jaarlijkse kosten van het energiesysteem bedragen volgens het ETM in 2019 circa 40 en in 2025 circa 70 miljard euro. Hiervan is circa 25 miljard afkomstig van de import van olie en gas. Deze cijfers geven aan dat inschattingen van de jaarlijkse kosten van het energiesysteem erg onzeker zijn en van veel factoren afhankelijk.

Het ETM geeft voor 2050 ook een indicatie van de jaarlijkse energiesysteemkosten. Die zijn onderhevig aan grote onzekerheden, zoals toekomstige energieprijzen. Er kunnen wel enkele algemene trends worden onderscheiden:

- De afschrijvingskosten van gebouwen en installaties nemen toe.
- De kosten van fossiele import nemen aanzienlijk af.
- De kosten van systemen voor flexibiliteit en opslag die vraag en aanbod balanceren nemen toe.
- De jaarlijkse afschrijving van energie-infrastructuur groeit.
- Er zijn grote verschillen in jaarlijkse kosten tussen de vier scenario's.

De kosten van een duurzaam energiesysteem zijn dus naar alle waarschijnlijkheid hoger dan van het huidige systeem. Hoeveel hoger is zeer sterk afhankelijk van het referentiejaar, de ontwikkeling van (energie)prijzen en de WACC die van toepassing is op het moment van financieren. Een nadere analyse naar de financiële impact per scenario is nodig, om een volledig inzicht te krijgen in de financiële impact van het toekomstig energiesysteem.

De energietransitie brengt een ruimtelijke herverdeling van energieproductie met zich mee. In het scenario Eigen Vermogen staat een spreiding van regionale energie-eenheden centraal, met offshore wind, zon-PV, batterijen en kerncentrales. Dat vraagt in beleid bijvoorbeeld meer biedzones. Het scenario Koersvaste Middenweg richt zich daarentegen op grootschalige en strategisch geplaatste installaties, met een sturende rol voor de overheid. Het scenario Gezamenlijke Balans legt de nadruk op grensoverschrijdende netwerken en interconnectie, zodat de energiemarkt optimaal samenwerkt op Europees niveau. Het meest marktgerichte scenario Horizon Aanvoer gaat uit van kostenoptimalisatie. Import van ammoniak is hier aanzienlijk. Daarbij is het dan noodzakelijk om ruimte te maken voor aanlanding, opslag en ammoniakkrakers. De ruimtelijke keuzes bepalen mede de keuze voor een energiesysteem en het tempo waarin dat systeem gerealiseerd kan worden. Voor elk van de scenario's geldt dat het van belang is om tijdig ruimte te reserveren en voortvarend vergunningen te verlenen.

3.7.4 Varianten Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025

De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zijn samengesteld op basis van een groot aantal uitgangspunten en aannames rond vraag, aanbod en flexibiliteit. Het is daardoor niet goed mogelijk om de impact van heel specifieke ontwikkelingen en beleidskeuzes goed te verbinden aan deze scenario's. In aanvulling op de vier scenario's zijn daarom ook diverse varianten op de scenario's mogelijk. Met dergelijke varianten kunnen gevoeligheidsanalyses uitgevoerd worden op diverse relevante ontwikkelingen en keuzes.

De analyses van de vier scenario's leveren namelijk veel aanknopingspunten op om een visie te ontwikkelen op mogelijke toekomstige knelpunten in de huidige infrastructuur. Echter, sommige aannames hebben fundamentele impact. Ontwikkelen ze zich anders dan aangenomen in Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025, dan kan dat leiden tot substantieel andere uitkomsten.

De varianten zijn samengesteld aan de hand van input van stakeholders tijdens één van drie stakeholdersessies, aangevuld met input vanuit de scenariowerkgroep. Tabel 3.9 geeft een overzicht van mogelijke varianten. Deze analyses c.q. vervolgonderzoeken zijn nog niet uitgevoerd en worden verder verkend.

Tabel 3.9 Variantenoverzicht.

#	Naam variant	Toelichting op de varianten en voorstellen nader onderzoek
Technologische ontwikkelingen en adoptie: hoe snel verloopt de energietransitie?		
1	Opschaling grootschalige batterijen	Analyse van de gevolgen voor netinvesteringen en alternatieve flexibiliteitsopties, wanneer de groei van grootschalige batterijen achterblijft.
2	Opschaling elektrolyse	Onderzoek naar de impact op netinfrastructuur wanneer elektrolyse minder snel opschaaft, wat leidt tot een grotere elektriciteitstransportbehoefte (directe inzet) en/of meer curtailment.
3	Beschikbaarheid back-upcentrales	Inzicht in het benodigde vermogen (GW) aan back-upcentrales in 2035 en 2040 en het effect van beperkte beschikbaarheid van dit vermogen om de leveringszekerheid te waarborgen.
4	Opschaling flexibiliteitsopties	Analyse van de impact bij beperkte flexibiliteitsopties, waardoor regelbare energiebronnen en import een grotere rol krijgen in het energiesysteem.
5	Opschaling waterstofopslag	Onderzoek naar de gevolgen van een beperkte beschikbaarheid van waterstofopslag en de verminderde inzetbaarheid voor seizoensopslag.
6	Verhouding kernenergie en windenergie	Analyse naar de effecten van grootschalige kernenergie-uitbreiding op infrastructuurbehoeften, i.v.m. hogere vollasturen, het geïnstalleerd vermogen wind-op-zee en de bijbehorende vollasturen, en inzet andere flexibiliteitsopties.
Doelstellingen: wat willen de netbeheerders bereiken met deze scenario's?		
7	Behind target scenario Opleveren na geplande realisatie	Analyse van een minimaal haalbaar scenario dat inzicht geeft in de basisvereisten voor het energiesysteem, rekening houdend met tempo van de daadwerkelijke emissiereductie en transitie op korte termijn, dat lager ligt dan beoogd volgens de verschillende sectorale doelen.
8	Lokaal optimaal scenario	Onderzoek naar de ideale inrichting van het energiesysteem per regio, zodat netbeheerders beter kunnen bepalen hoe zij hierop moeten sturen.
9	Beperkte reductie in veehouderij en landgebruik	Inzicht in de extra reductieopgave binnen het energiesysteem in 2050, wanneer de emissies uit veehouderij en landgebruik onvoldoende dalen.
Omvang vraagsectoren: hoe groot is de Nederlandse samenleving en economie?		
10	Impact klimaatverandering op woningbouw	Analyse van de impact van warmer klimaat, vooral in de winter, op de totale energievraag, inclusief effecten op de glastuinbouw.
11	Gedrag en gebruik van mobiliteit	Onderzoek naar de rol van deelmobiliteit en openbaar vervoer in regionale mobiliteitsplannen en de mogelijke impact hiervan op de energievraag.
12	Omvang industrie	Inzicht in het belang van duidelijke beleidskeuzes voor de industrie en de gevolgen van vertraging realisatie van de gewenste/gevraagde infrastructuur (langer fossiel, vertrek, en overige).
13	Omvang datacenters	Analyse van de impact van sterkere groei van datacenters op de elektriciteitsvraag en hun mogelijke rol in systeemstabiliteit.
Markt: hoe sterk worden keuzes beïnvloed door prijzen?		
14	Energieprijzen & Systeemkosten	Onderzoek naar de effecten van hoge gasprijzen op energiebesparing en op de versnelling van verduurzaming. Onderzoek naar de systeemkosten en de financiering van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.
15	Beschikbaarheid CO ₂ -vrije brandstoffen	Inzicht in de impact van beperkte importmogelijkheden van waterstof, ammoniak, biomassa en e-methanol op de energietransitie.

Hoofdstuk 4.

Kwantificatie

per sector

4.1 Gebouwde omgeving

4.1.1 Samenvatting

De gebouwde omgeving bestaat uit woningen en utiliteitsgebouwen. Daarbij wordt gekeken naar nieuwbouw en verduurzaming van bestaande bouw. Hoeveel woningen en utiliteitsgebouwen verwarmd gaan worden met warmtenetten, valt binnen de scope van de gebouwde omgeving. Met welke bronnen de warmtenetten

van warmte worden voorzien, is beschreven in H4.10 Warmtenetten over het aanbod van warmte.

Dit hoofdstuk beschrijft eerst de verhaallijnen en trends die invloed hebben op de gebouwde omgeving. Uit de trends volgt de kwantificatie van de verschillende technologieën en ontwikkelingen. Vervolgens geeft het uitleg over gebruik van de sectorale data en de regionalisatie gemaakt en vergelijkt het de scenario's met IP2024, II3050v2, KEV2024 en het NPE.

Tabel 4.1.1 en tabel 4.1.2 geven een samenvatting van de kwantificatie van de gebouwde omgeving voor de jaren 2030 en 2050.

Tabel 4.1.1 Gebouwde omgeving 2030.

	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
Nieuwbouwwoningen				
# Nieuwbouw woningen	648.000	680.000	592.000	592.000
# Nieuwbouw utiliteitsgebouwen	75.100	78.900	68.700	68.700
Warmte woningen				
Warmtoplossingen bij bestaande woningen	641.000 All-electric warmtepompen	717.000 All-electric warmtepompen	577.000 All-electric warmtepompen	577.000 All-electric warmtepompen
	600.000 Hybride warmtepompen	310.000 Hybride warmtepompen	845.000 Hybride warmtepompen	845.000 Hybride warmtepompen
	677.000 Warmtenetten	1.015.000 Warmtenetten	614.000 Warmtenetten	600.000 Warmtenetten
Warmte nieuwbouw	80% op all-electric warmtepompen, 20% op MT-warmtenetten			
Utiliteiten				
	10,5% Bodemwarmtepomp	11,5% Bodemwarmtepomp	9,5% Bodemwarmtepomp	10% Bodemwarmtepomp
	4,5% All-electric warmtepompen	5,9% All-electric warmtepompen	3,5% All-electric warmtepompen	3% All-electric warmtepompen
	15,3% Hybride warmtepompen	9,4% Hybride warmtepompen	20,5% Hybride warmtepompen	20,5% Hybride warmtepompen
	9,8% Warmtenetten	12,7% Warmtenetten	8,7% Warmtenetten	8,7% Warmtenetten
	59,9% HR-ketel op gas	60,5% HR-ketel op gas	57,8% HR-ketel op gas	57,8% HR-ketel op gas

Tabel 4.1.2 Gebouwde omgeving 2050.

	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
Nieuwbouwoningen				
# Nieuwbouw woningen	1.845.000	2.136.000	1.555.000	1.555.000
# Nieuwbouw utiliteitsgebouwen	214.000	248.000	180.000	180.000
Warmte woningen				
Warmte oplossingen alle woningen	50% All-electric warmtepompen	55% All-electric warmtepompen	25% All-electric warmtepompen	25% All-electric warmtepompen
	22% Hybride warmtepompen	10% Hybride warmtepompen	55% Hybride warmtepompen	60% Hybride warmtepompen
	20% Warmtenetten	30% Warmtenetten	15% Warmtenetten	10% Warmtenetten
	8% Overig	5% Overig	5% Overig	5% Overig
Verdeling warmtenetten bij nieuwbouw	25% LT-warmtenet 75% MT-warmtenet	75% LT-warmtenet 25% MT-warmtenet	100% MT-warmtenet	100% MT-warmtenet
Utiliteiten				
Warmte oplossingen utiliteitsbouw	13,5% Bodemwarmtepomp	19% Bodemwarmtepomp	10,5% Bodemwarmtepomp	10,5% Bodemwarmtepomp
	31,5% All-electric warmtepompen	44% All-electric warmtepompen	24,5% All-electric warmtepompen	24,5% All-electric warmtepompen
	30% Hybride warmtepompen	7% Hybride warmtepompen	50% Hybride warmtepompen	40% Hybride warmtepompen
	20% Warmtenetten	30% Warmtenetten	15% Warmtenetten	10% Hybride warmtepompen met waterstof
	5% Overig	0% Overig	0% overig	10% Warmtenetten 5% Overig

4.1.2 Verhaallijn en trends in de sector

In de afgelopen jaren is er veel gebeurd in de gebouwde omgeving. Toen de scenario's voor het IP2024 werden ontwikkeld, september tot december 2022, werden veel maatregelen opgetuigd om verduurzaming van de gebouwde omgeving te versnellen en was er een stijging van de gasprijzen. Dit heeft ertoe geleid dat in de gebouwde omgeving het aandeel warmtepompen versneld toenam, ook in de bestaande bouw. Ook op het gebied van isolatie zijn er stappen gezet. Ogenschijnlijk voornamelijk de makkelijk uit te rollen maatregelen met een korte terugverdientijd. Daarnaast nam het gasverbruik tijdelijk af door zuiniger stookgedrag omwille van de hogere gasprijzen.

Inmiddels zijn de omgevingsfactoren veranderd. Voorgenomen maatregelen voor warmtepompen zijn ingetrokken²³, de gasprijs is gestabiliseerd, wetgeving rondom warmtenetten is nog steeds niet goedgekeurd²⁴ en vanaf 2027 gaat de Kaderrichtlijn Water in²⁵. Dit zijn veelal vertragende factoren waardoor de klimaat- en woningbouwdoelstellingen van de overheid voor 2030 verder uit zicht raken. Met deze vertragende factoren zal, om de klimaatdoelstellingen te behalen, een versnelling van de verduurzaming moeten plaatsvinden.

In de utiliteitsbouw is de afgelopen vijf jaar het aandeel warmtepompen gegroeid; het valt op dat de aantallen hybride warmtepompen de afgelopen jaren relatief fors zijn toegenomen. Ook stijgt het aantal all-electric warmtepompen; vaker wordt gekozen voor een lucht-water warmtepomp, terwijl dat vóór 2019 nog meestal een water-water warmtepomp was, ook wel een bodemwarmtepomp (met WKO) genoemd.

De verhaallijnen voor de gebouwde omgeving bevat de hierboven beschreven trends. Ze houden ook rekening met de grote onzekerheid over de ontwikkeling van de gebouwde omgeving de komende jaren.

Scenario Koersvaste Middenweg zet de huidige trends voort. Dit scenario ligt qua tempo van de ontwikkelingen tussen de andere scenario's. In de eerste jaren groeit de inzet van hybride warmtepompen sterker dan all-electric warmtepompen. Richting 2050 gaan meer woningen over op all-electric warmtepompen na verdere isolatiestappen. De isolatie van woningen volgt daarbij het pad van het NPE.

Warmtenetprojecten komen deels van de grond in situaties waar de kosten voor bewoners beperkt blijven. Kunnen woningen niet met een warmtenet of een all-electric warmtepomp verwarmd worden, dan biedt hybride warmtepomp die brandt op groen gas uitkomst. Nieuwbouw groeit volgens het huidige beleid.

In het scenario Eigen Vermogen vindt sterke elektrificatie van de gebouwde omgeving plaats. Dit betekent dat veel woningen de overstap maken naar een all-electric warmtepomp. Dat gaat hand-in-hand met verdere isolatiestappen voor de bestaande woningen. Ook worden waar mogelijk warmtenetten uitgerold, aangezien de overheid bereid is stevige keuzes te maken en grootschalige projecten te realiseren. In de bestaande bouw zijn middentemperatuur-warmtenetten (MT-warmtenetten) maatgevend, bij nieuwbouw zijn dat ook lagetemperatuur-warmtenetten (LT-). Door een betere toegang tot grondstoffen en versoepelde vergunnings- en besluitvormingsprocedures, groeit nieuwbouw harder dan met het huidige beleid.

Scenario Gezamenlijke Balans vliegt de energietransitie pragmatisch aan met weinig maatschappelijke veranderingen. Dit zorgt voor een sterke positie van de hybride warmtepomp op groen gas; de leidende technologie binnen de gebouwde omgeving. Isolatie speelt ook in dit scenario een belangrijke rol om de gasvraag te beperken. Grootschalige projecten vinden met mate doorgang, waardoor warmtenetprojecten beperkt van de grond komen. All-electric warmtepompen worden alleen ingezet bij woningen die hiervoor geschikt zijn. Nieuwbouw is in dit scenario beperkt.

In het scenario Horizon Aanvoer is er sprake van individualisme met beperkte aandacht voor de energietransitie. Dit leidt tot een sterke groei van het aantal hybride warmtepompen. De rol van waterstof in de gebouwde omgeving blijft beperkt, al maakt een klein deel van de woningen en gebouwen met een hybride warmtepomp gebruik van waterstof. Grootschalige projecten komen niet van de grond, waardoor het aandeel warmtenetten niet veel stijgt ten opzichte van de huidige situatie. All-electric warmtepompen worden alleen ingezet bij woningen die hiervoor geschikt zijn. Ook nieuwbouw blijft beperkt door de impact van vergunningsprocedures en beperkte instroom van arbeidskrachten.

²³HOOP, LEF EN TROTS – Hoofdlijnenakkoord 2024–2028 van PVV, VVD, NSC en BBB (2024)

²⁴Plan kabinet: meer huizen en gebouwen aansluiten op collectieve warmte | Energie thuis | Rijksoverheid.nl

²⁵Uitvoering Kaderrichtlijn Water

4.1.3 Nationale kwantificatie

Nieuwbouw

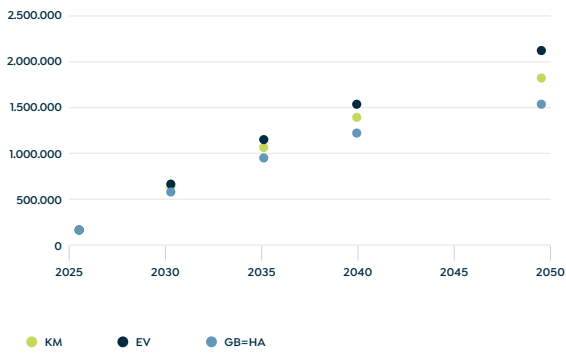
Woningen

Als basis van de prognoses voor nieuwbouwwoningen is de openbare versie van de Primos-prognose²⁶ van ABF Research gebruikt. In het scenario Koersvaste Middenweg zijn geen verdere aanpassingen doorgevoerd ten opzichte van de Primos-prognose, aangezien dit scenario uit gaat van geagendeerd en verwacht beleid.

In het scenario Eigen Vermogen is een actieve overheid bereid om stevige keuzes te maken. Dat versoepelt en versnelt procedures voor vergunningen en besluitvorming. Dit leidt tot meer nieuwbouwwoningen. In dit scenario zijn de aantallen nieuwbouwwoningen groter dan in de Primos-prognose. Voor 2026 is de afwijking 5 procent, om ieder jaar daarna met een procentpunt te stijgen. Met andere woorden: voor 2027 wordt er 6 procent bij de Primos-prognose opgeteld, voor 2028 7 procent, etc.

De scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer gaan uit van lagere aantallen nieuwbouwwoningen dan de Primos-prognose. Met een overheid die geen centrale keuzes maakt is het lastiger om grootschalige projecten te ontwikkelen; vergunningsprocedures duren langer. Zo heeft bijvoorbeeld in dit scenario de Kaderrichtlijn Water²⁷ een grote impact op de nieuwbouwsector. Concreet kan dit betekenen dat bouwprojecten niet of met veel vertraging door kunnen gaan ondanks een bouwvergunning. Er is namelijk ook een vergunning nodig voor het tijdelijk droogpompen van de bouwput en het lozen van het water daaruit. De nieuwbouwprognose voert hiervoor een sterke neerwaartse afwijking door, van 2027 tot ongeveer 2035, ten opzichte van de situatie waarbij de Kaderrichtlijn Water geen rol speelt. Deze daling wordt in de jaren daarna wel ingehaald, maar vergeleken met de Primos-prognose blijft het een verlaging. Dit risico werd ook in gesprekken met deskundigen onderschreven. Onderstaande figuur toont de prognoses in de genoemde scenario's.

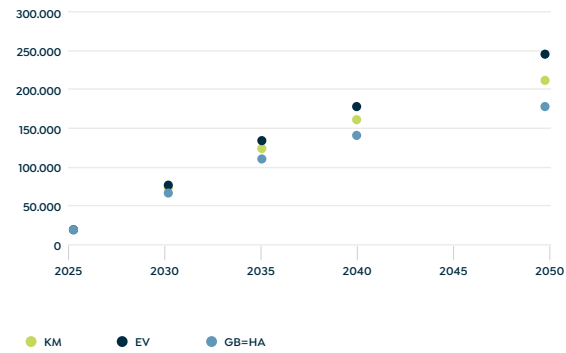
Figuur 4.1.1 Nieuwbouwwoningen cumulatief vanaf 2025.



Utiliteiten

De nieuwbouwprognose voor utiliteitsgebouwen groeit evenredig met die van woningen. Dit houdt in dat de verhouding tussen het aantal woningen en utiliteitsgebouwen hetzelfde blijft. De reden hiervoor is dat veel utiliteitsgebouwen zich rond woonbuurten bevinden; een voorziening als een school of supermarkt heeft vooral nut als er ook woningen in de buurt zijn, en andersom.

Figuur 4.1.2. Nieuwbouw utiliteitsgebouwen cumulatief vanaf 2025.



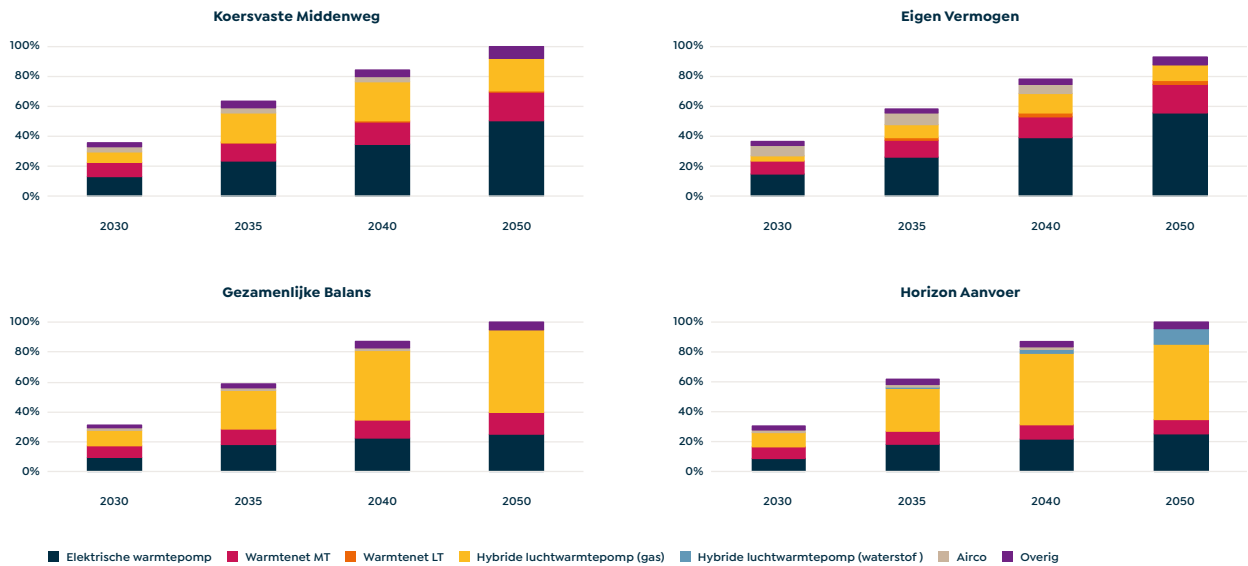
Warmte

Woningen (nieuwbouw en bestaande bouw)

Bij warmte voor woningen is er een onderscheid tussen nieuwbouw en bestaande bouw. Een nieuwbouwwoning heeft nu al geen gasaansluiting meer en wordt verwarmd door een all-electric warmtepomp of een warmtenet. Een bestaande woning, meestal met een CV-ketel, moet de

overstap naar een alternatieve warmteoplossing nog maken. Op de korte termijn leidt stabilisatie van de gasprijzen en onduidelijkheid omtrent warmtenetten tot vertraging. Voor het eindbeeld in 2050 betreft de volledige woningvoorraad, incl. bestaande bouw en nieuwbouw. Figuur 4.1.3 geeft de verdeling van warmteoplossingen weer. Per technologie wordt hieronder toegelicht hoe die verhoudingen zijn ontstaan.

Figuur 4.1.3 Verdeling warmteoplossingen in de verschillende scenario's (excl. CV-ketel).



Onderbouwing van de kwantificatie per warmteoplossing voor 2030 en 2050. Voor 2035 en 2040 zijn aan de hand van de S-curve²⁸ de waarden voor warmteoplossing bepaald. De hybride warmtepomp kan ook als een tussenoplossing gezien worden, daarom is voor de hybride warmtepomp afgeweken van de S-curve in Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen. Een woning gaat hierbij eerst over op

een hybride warmtepomp en later (vóór 2050) naar een all-electric warmtepomp of een warmtenet. Dit betekent dat in Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen het aandeel hybride warmtepompen na 2040 afneemt. In Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer neemt het aandeel hybride warmtepompen wel toe.

Warmtenetten

Tabel 4.1.3

	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
2030				
Warmtenetten bestaande bouw	677.000 warmtenetten	1.015.000 warmtenetten	614.000 warmtenetten	600.000 warmtenetten
Warmtenetten nieuwbouw	20% op warmtenetten			
2050				
Warmtenetten alle woningen	20% warmtenetten	30% warmtenetten	15% warmtenetten	10% warmtenetten

²⁶primos.abfresearch.nl/iive

²⁷ Dit is een Europese richtlijn met betrekking tot de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater. In uiterlijk 2027 moeten EU-lidstaten hieraan voldoen; Nederland voldoet hier momenteel niet aan.

²⁸ Een S-curve toont hoe de adoptie van een nieuwe technologie zich door jaren heen ontwikkelt. Het begint met een langzame groei door pioniers, versnelt aanzienlijk wanneer early adopters het oppikken, en bereikt een piek wanneer de meerderheid het accepteert. Uiteindelijk vlakkt de groei af als de markt verzadigd raakt. Dit resulteert in een S-vorm. De S-curve helpt te begrijpen hoe snel een technologie geaccepteerd zal worden.

Voor warmtenetten in bestaande bouw in 2030 is een bandbreedte opgesteld tussen de KEV2024 en de doelstelling van de overheid. Daarnaast is ook gekeken naar bekende plannen bij de 'regionale netbeheerders voor warmtenet aansluitingen. In het scenario Eigen Vermogen piekt het aantal warmtenetten, waarbij uitgegaan wordt van 500.000 warmtenetaansluitingen extra ten opzichte van 2021²⁹. In het scenario Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer wordt ongeveer de KEV-ondergrens aangehouden. Voor het scenario Koersvaste Middenweg is gekeken naar bekende plannen, waarbij ervan uit is gegaan dat niet al deze plannen doorgang zullen vinden³⁰. In alle scenario's wordt uitgegaan van MT-warmtenetten in de bestaande bouw.

Tabel 4.1.4 Verdeling lagetemperatuur- en middentemperatuur-warmtenetten bij nieuwbouwwoningen.

	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans & Horizon Aanvoer
2030			
Aandeel LT-warmtenetten	0%	0%	0%
Aandeel MT-warmtenetten	100%	100%	100%
2035			
Aandeel LT-warmtenetten	25%	50%	0%
Aandeel MT-warmtenetten	75%	50%	100%
2040			
Aandeel LT-warmtenetten	25%	75%	0%
Aandeel MT-warmtenetten	75%	25%	100%
2050			
Aandeel LT-warmtenetten	25%	75%	0%
Aandeel MT-warmtenetten	75%	25%	100%

In het scenario Eigen vermogen wordt 30 procent van alle woningen aangesloten op een warmtenet. Voor scenario Koersvaste Middenweg is dit 20 procent, voor scenario Gezamenlijke Balans is dit 15 procent en voor scenario Horizon Aanvoer 10 procent.

Voor nieuwbouw geldt voor alle scenario's dat het aandeel warmtenetten 20 procent is. Afhankelijk van het scenario varieert het aandeel warmtenetten met midden temperatuur en lage temperatuur voor nieuwbouw zoals weergegeven in tabel 4.1.4

All-electric warmtepomp

Tabel 4.1.5

	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
2030				
All-electric warmtepompen bestaande bouw	641.000 All-electric warmtepompen	717.000 All-electric warmtepompen	577.000 All-electric warmtepompen	577.000 All-electric warmtepompen
All-electric warmtepompen nieuwbouw	20% op warmtenetten			
2050				
All-electric warmtepompen alle woningen	50% All-electric warmtepompen	55% All-electric warmtepompen	25% All-electric warmtepompen	25% All-electric warmtepompen

De ontwikkeling van warmtepompen varieert sterk tussen de scenario's richting 2030. Op basis van input van de experts gaat het scenario Koersvaste Middenweg uit van een gemiddeld verwachte groei van 50.000 warmtepompen per jaar, waarvan eenderde all-electric. Ongeveer 10 procent van de all-electric warmtepompen in de bestaande bouw zijn bodemwarmtepompen³¹. De groei van all-electric warmtepompen is in de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer met circa 5.550 per jaar slechts eenderde van de groei in scenario Koersvaste Middenweg. In scenario Eigen Vermogen gaat de ontwikkeling van all-electric warmtepompen juist sneller, wat leidt tot veel meer all-electric warmtepompen³².

Voor nieuwbouw is in alle scenario's het aandeel all-electric warmtepompen 80 procent, waarbij 40 procent van de nieuwbouwwoningen een all-electric bodemwarmtepomp krijgt.

In 2050 hebben tussen de 25 procent en 55 procent van alle woningen een all-electric warmtepomp. Voor het scenario Koersvaste Middenweg is het NPE leidend. Dat komt overeen met scenario Nationaal Leiderschap van II3050-editie 2.³³ In het scenario Eigen Vermogen is de bovengrens van 55 procent gehanteerd, in de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer wordt slechts 25 procent van alle woningen van een all-electric warmtepomp voorzien.

Hybride warmtepomp

Tabel 4.1.6

	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
2030				
Hybride warmtepompen bestaande bouw	600.000 hybride warmtepompen	310.000 hybride warmtepompen	845.000 hybride warmtepompen	845.000 hybride warmtepompen
2050				
Hybride warmtepompen alle woningen	22% hybride warmtepompen	10% hybride warmtepompen	55% hybride warmtepompen	60% hybride warmtepompen

²⁹ Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving & open.overheid.nl/documenten/ae2241ee-b13f-4e57-b494-14dd5d2c250f/file

³⁰ Intern bij de regionale netbeheerders is gekeken naar warmtenet plannen voor de gebouwde omgeving. Dit is vermenigvuldigd met een 70% ervanuitgaande dat niet alle plannen doorgang zullen vinden.

³¹ Vereniging Warmtepompen heeft input geleverd over groei van warmtepompen p/j en het aandeel bodem warmtepompen.

³² open.overheid.nl/documenten/2f5cbb52-0631-4aad-b3dd-5088fab859c5/file

³³ open.overheid.nl/documenten/2f5cbb52-0631-4aad-b3dd-5088fab859c5/file & Rapport II3050 Scenario's I Netbeheer Nederland

Met input van de experts is de gemiddeld verwachte groei gesteld op 50.000 warmtepompen per jaar, waarvan tweederde hybride warmtepompen²⁹. Deze groei is aangenomen voor het scenario Koersvaste Middenweg 2030. De scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer hebben een groter aandeel gas, waardoor daar met name hybride warmtepompen voorkomen. Deze scenario's gaan in 2030 uit van de doelstelling van de overheid: 1 miljoen hybride warmtepompen in de bestaande bouw³⁴. Een deel daarvan wordt ingevuld door airco's in combinatie met CV-ketels. In het scenario Eigen Vermogen worden er juist een stuk minder hybride warmtepompen geïnstalleerd, in lijn met de ondergrens van KEV2024.³⁵

In 2050 ligt het percentage hybride warmtepompen in woningen tussen de 10 en de 60 procent, met variatie in de brandstof van groen gas en waterstof. In het scenario Horizon Aanvoer heeft 10 procent van de woningen een hybride warmtepomp op waterstof, 50 procent heeft een hybride warmtepomp op groen gas. Het scenario Gezamenlijke Balans is het hoogste groengasscenario, waarbij 55 procent van de woningen voorzien is van een hybride warmtepomp op groen gas. In het scenario Eigen Vermogen gaan woningen voor het grootste deel over op all-electric warmtepompen en warmtenetten. Alleen in de woningen waar dit geen oplossing is, komen nog hybride warmtepompen voor (10 procent). In het scenario Koersvaste Middenweg heeft 22 procent van de woningen een hybride warmtepomp.

Groei van airco's voor koeling en verwarming

De afgelopen vijf jaar is de markt met airco's voor huishoudens echt van de grond gekomen in Nederland, met jaarlijks zo'n twee- tot driehonderdduizend vaste airco installaties, terwijl er daarvoor nog geen grote aantallen airco's waren. Een vergelijking door TNO laat zien³⁶ dat schattingen van CBS, TNO en Motivaction over het huidige aantal geïnstalleerde airco's, uiteenlopen. Er is aangenomen dat de vraag naar airco's nog tot 2026 driehonderdduizend per jaar blijft, en daarna jaarlijks met 10 procent afneemt. Hieruit volgt dat het aantal woningen met een vaste airco toeneemt tot ruim drie miljoen of grofweg 40 procent van de woningen in 2030. Daarna blijft dat aantal ruwweg gelijk tot 2035, om vervolgens licht af te nemen. Deze afname wordt veroorzaakt door het eind van de levensduur van de airco's. Een kwart van de apparaten gaat 10 jaar mee, de helft 15 jaar en nog eens een kwart 20 jaar, zo is de aanname. Huishouders stappen daarna in enkele gevallen over naar

koelen met een all-electric warmtepomp met vloerkoeling of Lage Temperatuur-convectoren.³⁷ Daarmee blijft de afname beperkt.

In eerste instantie zijn deze airco's geplaatst voor koeling, maar ze kunnen ook gebruikt worden om ruimtes te verwarmen.³⁸ In toenemende mate zal dit gebeuren in woningen die nu nog alleen met een CV-ketel worden verwarmd. In alle scenario's wordt daarom een deel van de vraag naar hybride warmtepompen ingevuld door deze airco-CV-ketel-combinatie. In 2030 wordt in het scenario Koersvaste Middenweg uitgegaan van 10 procent van de woningen die de airco hiervoor gebruiken, in het scenario Eigen vermogen is dit 20 procent en in de scenario's Gezamenlijke balans en Horizon Aanvoer 5 procent. In 2050 zijn vrijwel alle woningen overgegaan op één van de andere oplossingen. Het resterende deel dat deze oplossing nog heeft, valt dan onder overig.

Overig

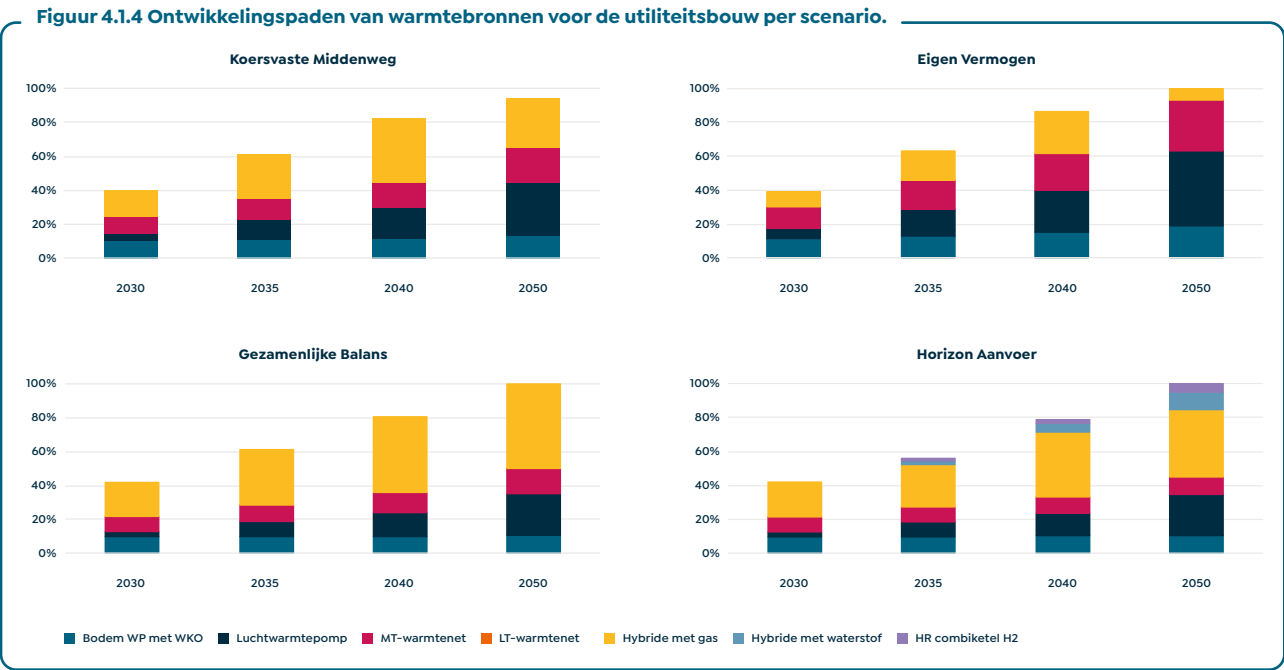
Voor het overige deel gaat 5 procent van de woningen over op een andere warmteoplossing. In deze categorie gaat het om alternatieve verwarmingsoplossingen. Alleen in het scenario Koersvaste Middenweg is dit aandeel 8 procent, omdat wordt uitgegaan van een groeiend aandeel van weerstandsverwarming (+3 procent).

Utiliteitsbouw

Over utiliteitgebouwen is beperkt informatie beschikbaar, zeker vergeleken met woningen. Dat komt mede doordat de utiliteitsbouw een grote diversiteit aan gebouwen omvat en daardoor onder verschillende segmenten valt. Daarom is voor de warmtetechnieken in de utiliteit de volgende methode toegepast: eerst is globaal een bandbreedte geïdentificeerd (laag, midden, hoog) aan de hand van verschillende scenariostudies uit het verleden (NPE, IP24 en II3050). In de daaropvolgende verdieping van de cijfers is gebruik gemaakt van landelijk en Europees beleid, ambities en doelen. Vervolgens zijn de cijfers getoetst in meerdere gesprekken met experts uit de sector, met daarin een vertegenwoordiging van ministeries en landelijke brancheorganisaties. Voor koeltechnieken en koelvraagontwikkeling bij utiliteitgebouwen zijn de standaardwaarden uit het ETM aangehouden. Voor utiliteitgebouwen wordt beperkte groei in de vraag naar koeling verwacht omdat veel gebouwen al een koelingssysteem hebben. Eventuele groei in de vraag wordt gecompenseerd door efficiëntieverbetering bij vervanging.

Bij nieuwbouwutiliteitsgebouwen worden hoge eisen gesteld aan isolatie, dat geldt voor alle scenario's. Tussen de scenario's wordt gedifferentieerd, de hoogste isolatiegraad komt voort uit het scenario Eigen Vermogen en de kleinste – maar nog steeds significante – stap wordt gemaakt in de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer.

De kleinverbruikersaansluitingen van utiliteitsgebouwen volgen de verdeling van de warmtetechnieken voor woningen. Het uitgangspunt daarbij is dat deze kleinverbruikers-aansluitingen in dezelfde buurten staan als de woningen.



Utiliteitsbouw: Aannames per warmtetechniek		Bron:
Bodemwarmtepomp met WKO	30% van alle warmtepompen is een bodemwarmtepomp.	Gesprekken met Vereniging Warmtepompen over de utiliteitsgebouwen.
HR-combiketel met waterstof	Waterstof wordt in beperkte mate in het scenario Horizon Aanvoer ingezet.	
HT-warmtenet	Geen HT-warmtenetten voor utiliteitsgebouwen, overeenkomstig aannames voor woningen.	
MT-warmtenet	Door de grote onzekerheid rond de Wet Collectieve Warmte is gekozen voor: - laag scenario: 10 tot 15%. - midden scenario 20%. - hoog scenario 30%. Het hoog scenario heeft een vergelijkbaar niveau als het II3050v2 Nationale scenario.	Stakeholderssessies; cijfers in lijn met II3050; KEV-raming 2024; NPE Verdiepingsdocument C.
LT-warmtenet	Geen LT-warmtenetten voor utiliteitsgebouwen, grote panden nemen dan een bodemwarmtepomp met WKO.	Dit inzicht komt voort uit de stakeholderssessies.
Luchtwarmtepomp	70% van alle warmtepompen is een luchtwarmtepomp.	Gesprekken met de warmtepompbranche; 2024-2025 Warmtepomp Trendrapport, Vereniging Warmtepompen.
Hybride met gas	In het II3050 Europese scenario is 50% van alle warmtepompen een hybride wp. Dit is opgenomen in GB en HA als een S-curve. In KA en EV komt de hybride wp ook voor als tussenoplossing, deze pieke in 2040.	Bandbreedte uit de scenario's NPE Verdiepingsdocument C meegenomen.
Hybride met waterstof	- Hoog scenario 10%. - In anders scenario's komt dit niet voor.	II3050 scenario's; NPE scenario's (verdiepingsdocument C).
HR-combiketel gas	Alleen in het scenario Koersvaste Middenweg 5% in 2050. In de andere scenario's wordt uitfasering verondersteld.	
Biomassaketel	Uitfasering na 2030.	

³⁴Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving

³⁵pbl.nl/system/files/document/2025-01/pbl-2024-klimaat-en-energieverkenning-2024-5490.pdf

³⁶Koelbehoefte en gebruik van airco's en bodemwarmtepompen in woningen in 2022.

³⁷Airco's in het ETM: Al met al leidt dit tot een sterke groei in koelvraag voor huishoudens, waardoor tot met 2035 het ETM schuifje voor de jaarlijkse groei ten opzichte van de 2019 referentie op de maximale waarde van 15% groei per jaar gezet moest worden, daarna afnemend 12% in 2040 en 9% in 2050.

³⁸TNO-2021-R12657.pdf

Realisatie

De warmtetechnieken die in 2019 voornamelijk in de utiliteitsbouw werden toegepast zijn de HR-combiketel, gestookt met aardgas (ruim 82 procent), warmtenetten (6 procent) en bodemwarmtepompen (9 procent).

Hybride warmtepompen

De aantallen hybride warmtepompen zijn de afgelopen jaren relatief hard gestegen. In de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen piekt het aandeel hybride warmtepompen rond 2040: in deze twee scenario's is de hybride warmtepomp voor een deel van de utiliteitsgebouwen een tussenstap naar volledige elektrificatie. In de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer blijft het gebruik van de hybride warmtepomp toenemen richting 2050: circa de helft van de toegepaste warmtetechnieken in utiliteitsspanen is dan hybride.

All-electric warmtepompen

Het aantal all-electric warmtepompen is in de afgelopen jaren gestegen, en er wordt vaker gekozen voor een lucht-water warmtepomp, terwijl dat voor 2019 nog

meestal een water-water warmtepomp (WKO) was. Dit wordt ook bevestigd door de sector. Er wordt vanuit gegaan dat 30 procent van de utiliteitsgebouwen een bodemwarmtepomp krijgt, en 70 procent een lucht-water warmtepomp.

De all-electric warmtepompen nemen in alle scenario's toe. Het scenario Eigen vermogen heeft het hoogste aandeel met 63 procent elektrische warmtepompen. In het scenario Koersvaste Middenweg krijgt 45 procent van alle utiliteitsgebouwen een all-electric warmtepomp. De scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer laten een groei zien van deze warmtetechniek tot een aandeel van 35 procent.

Warmtenetten

De warmtenetten volgen in alle scenario's de woningen. Utiliteiten die in een buurt liggen met woningen, volgen vaak de warmteoplossing in deze buurt. Als er in een buurt een warmtenet aangelegd wordt, zullen de desbetreffende utiliteiten hier ook op aangesloten worden. Verder vergroten een aantal grotere afnemers (utiliteiten) aangesloten op een warmtenet de financiële haalbaarheid van een warmtenet.

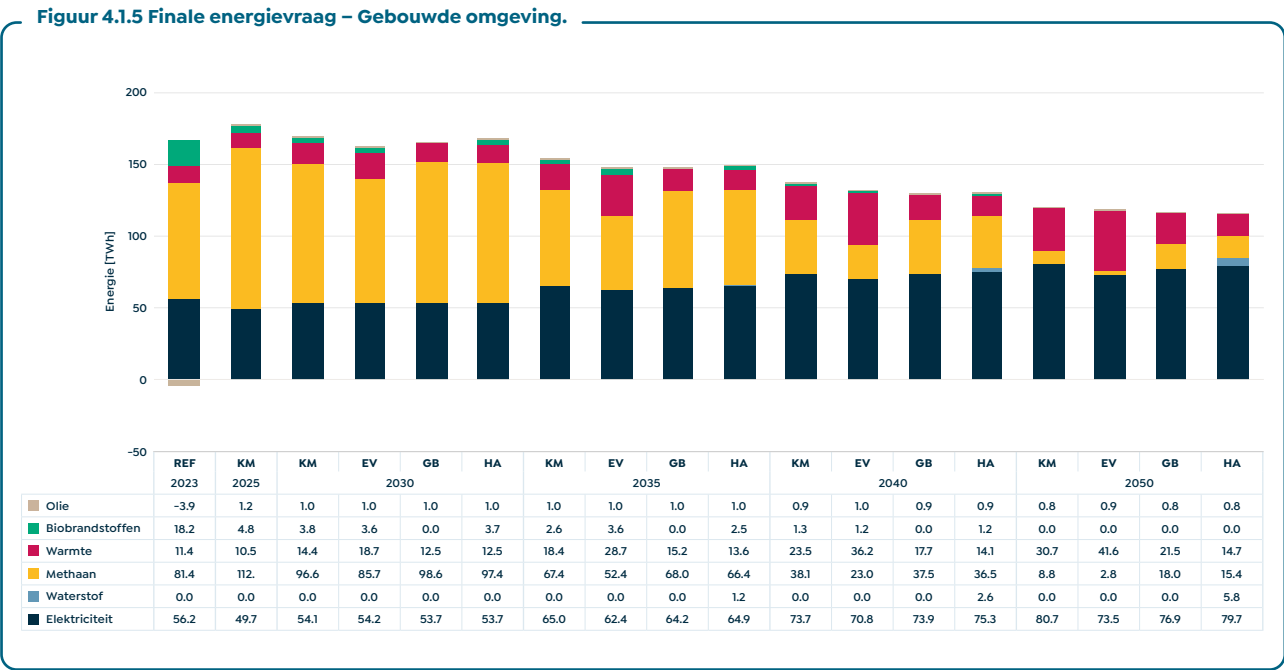
Overige onderwerpen

In de scenario's zijn standaard parameters opgenomen voor koken, apparaten, verlichting, vraagontwikkeling en gedrag. Deze parameters zijn in alle scenario's gelijk gehouden. Vraagontwikkeling en gedrag zijn niet gewijzigd.

Tabel 4.1.8

		2030	2035	2040	2050	Onderbouwing
Apparaten huishoudens (verbetering efficiëntie in %)	Droger, Vaatwasser, koelkast / vriezer, stofzuiger, wasmachine & overig	10%	15%	19%	27%	Geen concrete cijfers te vinden, maar 1-2% per jaar klinkt aannemelijk. Op een gegeven moment zal de rek er wat meer uit zijn en de efficiëntieverbetering kleiner worden.
	Computer / media & televisie	15%	21%	27%	37%	Geen concrete cijfers te vinden, maar door strengere wetgeving voor tv's en computers t.o.v. andere apparaten, is de verwachting dat efficiëntieverbeteringen in dit segment sneller toenemen.
Apparaten gebouwen	Gebouwen apparaat efficiëntie per jaar	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	Geen concrete cijfers te vinden; het is ook een erg diverse groep. Gemiddeld zo'n 1,5% jaarlijkse efficiëntieverbetering klinkt aannemelijk.
Verlichting gebouwen	Aandeel LED	90%	99%	100%	100%	
	Aandeel tl-buizen	10%	1%	0%	0%	Sinds 2023 wordt de verkoop van CLF-spaarlampen en tl-buizen uit gefaseerd, alleen oude voorraden mogen nog worden opgemaakt.
	Adoptiepercentage Daglicht afhankelijke regeling	33,3%	39,2%	45%	62%	
	Adoptiepercentage Bewegingsdetectie	38,3%	43,6%	49%	69%	Geen concrete cijfers beschikbaar. Bedrijven zijn verplicht energiebesparende maatregelen door te voeren die een terug-verdientijd van 5 jaar of minder hebben. Bewegingsdetectie is een erkende maatregel (bron: erkende-maatregelenlijst 2023)
Verlichting huishoudens	Aandeel Spaarlampen	8,5%	6,5%	5,5%	3,5%	
	Aandeel LED	91,5%	93,5%	94,5%	96,5%	
Koken	Gas	40%	20%	0%	0%	Op dit moment koken nog veel huishoudens op gas. Inductie heeft al een groot marktaandeel. De verwachting is dat dit richting 2040 100% van de huishoudens zal zijn.
	Elektrisch	7%	4%	0%	0%	
	Halogeen	3%	1%	0%	0%	
	Inductie	50%	75%	100%	100%	

Energievraag gebouwde omgeving



De totale vraag van de gebouwde omgeving neemt af richting 2050 door energiebesparing, isolatiemaatregelen en toenemende efficiëntie van apparaten (figuur 4.1.5). In alle scenario's groeit de vraag naar elektriciteit, maar het aandeel van de totale vraag verschilt per scenario, afhankelijk van de warmteoplossing en de totale energievrage. Naast elektriciteit zijn warmte en methaan, inclusief groen gas, belangrijke energiebronnen voor de gebouwde omgeving. De warmtevrage is in het Eigen Vermogen-scenario relatief hoog door een grote rol voor warmtenetten. In de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer is het aandeel methaan een stuk hoger dan in de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen, door grootschaliger toepassing van hybride warmtepompen. In Horizon Aanvoer is een klein deel waterstof te zien.

4.1.4 Gebruik sectorale data nationale programma's (NAL, CES, NPRES, TVWs)

Het gebruik van sectorale data is beperkt gebleven. Wel is er gebruik gemaakt van data die door gemeenten en provincies is gedeeld met de regionale netbeheerders. Voor warmteoplossingen is dat de transitievisie warmte. Deze data is vaak niet direct bruikbaar voor het opstellen van scenario's. Doordat er voor veel buurten nog geen warmteprogramma is vastgelegd, kiezen relatief veel huishoudens voor een individuele warmteoplossing, wat impact heeft op zowel de korte als lange termijn.

Concrete plannen bij gemeenten, met name voor warmtenetten, zijn vaak bekend bij de regionale netbeheerders. Deze plannen zijn gebruikt voor het opstellen van de scenario's. Overigens geven die plannen vooral inzicht in de ontwikkelingen op korte- en middellange termijn, en minder in de langetermijnontwikkelingen. Voor de lange termijn zijn concrete plannen nog niet beschikbaar en kunnen dus nog niet meegenomen worden.

4.1.5 Regionalisering Nieuwbouwwoningen

In de regionalisatie voor nieuwbouw wordt de nieuwbouw geregionaliseerd naar regionale netbeheerder. De openbare Primos-prognose is op gemeenteniveau beschikbaar. Van elke gemeente is bekend welke netbeheerders er actief zijn. De indeling van nieuwbouwwoningen naar regionale netbeheerder is dan ook op basis van de Primos-data uitgevoerd. Zijn in een gemeente meerdere netbeheerders actief, dan zijn de aantallen onderling afgestemd.

Warmte woningen

Voor de regionalisatie van warmte bij bestaande woningen is eerst naar warmtenetten gekeken. Voor het jaar 2030 zijn de warmtenetten geregionaliseerd naar regionale netbeheerder, gebaseerd op de bestaande warmtenetaansluitingen. Voor 2050 is gekeken naar de regionalisatie van de startanalyse 2020³⁹. Voor de tussenliggende jaren 2035-2040 zijn er

lineaire groeipaden gemaakt tussen de regionalisatie van 2030 en 2050. Alleen het Horizon Aanvoer-scenario wijkt hiervan af. Voor alle jaren wordt daarin geregionaliseerd op de bestaande warmtenetten, aangezien met de andere methode het aantal warmtenetaansluitingen bij een aantal regionale netbeheerders zou dalen.

Vervolgens is voor de woningen zonder warmtenet de verhouding hybride warmtepompen en all-electric gehanteerd uit de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Deze verhouding is voor alle regionale netbeheerders gelijk. De overige warmteoplossingen zijn geregionaliseerd naar het aandeel aansluitingen per regionale netbeheerder ten opzichte van het nationale aandeel van aansluitingen.

Voor de utiliteitsbouw volgt de regionalisatie van warmtenetten het pad van de woningbouw, omdat anders de financiële haalbaarheid van warmtenetten in het geding kan komen.

4.1.6 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE

Vergelijking met IP2024 voor het jaar 2030

- **Warmte bestaande bouw:** voor de ontwikkelingen van warmtetechnologieën in de bestaande bouw is ten opzichte van IP2024 een sterke vertraging zichtbaar richting 2030. Waar voorheen doelstellingen van de overheid in het Klimaat Ambitie-scenario werden overgenomen, worden deze doelen nu juist gebruikt in de flankerende scenario's van het IP2026 en zijn juist eerder aanwezig in de scenario's Eigen Vermogen, Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer.
- **Nieuwbouw:** net als voor IP2024 is de Primos-prognose aangehouden als basis voor de prognoses. Deze isnets hoger dan de cijfers van twee jaar geleden.
- **Utiliteit:** naar 2035 wordt de gasketel in IP2026 langzamer uitgefaseerd dan in IP2024, met name doordat de all-electric warmtepomp en de bodem-warmtepomp minder snel marktaandeel winnen.

Vergelijking met II3050 v2 voor het jaar 2050

- **Warmte bestaande en nieuwbouw:** het eindbeeld voor warmtetechnologieën in woningen is tussen de II3050 v2 en het IP2026 zeer vergelijkbaar. De II3050 v2 geeft ruime bandbreedte mee, die met de huidige onzekerheid nog steeds relevant zijn. Grote verschillen zijn de volgende:
 - CV-ketels zijn niet meer opgenomen in 2050 in de IP2026 scenario's. In de II3050 v2 lag dit tussen de 0 tot 10 procent.

- De rol van waterstof in de gebouwde omgeving is beperkter. In de II3050 v2 werden in scenario's 0 procent, 10 procent en 50 procent opgenomen. In IP2026 wordt alleen in het Horizon Aanvoer een adoptie van 10 procent waterstof-hybride warmtepompen bij woningen opgenomen.
- **Isolatie:** de bandbreedte van de II3050 v2-scenario's zijn vergelijkbaar met de aannames voor isolatie van de vier scenario's in Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 voor de woningbouw en de utiliteitsbouw.
- **Nieuwbouw:** in de II3050 v2 wordt gesproken van 9,2 miljoen huishoudens in 2050. De prognoses liggen in alle scenario's iets hoger, met als ondergrens de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer met 9,4 miljoen woningen.
- **Utiliteit:** de scenario's beschreven in Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zijn anders dan de II3050 v2-scenario's, maar de bandbreedte is wel vergelijkbaar. De belangrijkste verschillen zijn:
 - Elektrische warmtepompen zijn opgesplitst naar bodemwarmtepompen en luchtwarmtepompen, de bandbreedte is vergelijkbaar. Alleen het scenario Eigen Vermogen komt met 63 procent hoger uit dan de bandbreedte in II3050 v2.
 - Hybride warmtepompen groeien naar 2040 het snelst, waarna de groei afneemt of zelfs het aandeel hybride warmtepompen daalt. De bandbreedte is vergelijkbaar met die van II3050 v2.
 - Het groeitempo van warmtenetten is wel vertraagd ten opzichte van II3050 v2.

Vergelijking met de KEV2024

- **Warmte bestaande bouw:** de bandbreedte uit de KEV2024 zijn gebruikt als referentie voor de scenario's van warmtetechnologieën voor de bestaande bouw in 2030. Het scenario Koersvaste Middenweg valt altijd binnen de bandbreedte van de KEV2024 voor all-electric warmtepompen en hybride warmtepompen. Voor warmtenetten is de KEV2024 gebruikt voor de groei in het scenario Gezamenlijke Balans. De ondergrens van de hybride warmtepomp in KEV2024 is gebruikt voor het scenario Eigen Vermogen.
- **Nieuwbouw:** de KEV2024 verwacht gemiddeld ongeveer 70.000 nieuwbouwwoningen per jaar in de periode van 2023 t/m 2029. De prognoses voor de periode van 2025 t/m 2030 liggen in alle II3050 v3-scenario's hoger, met als ondergrens de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer, met gemiddeld bijna 84.000 woningen per jaar.

³⁹De startanalyse van het Planbureau voor de Leefomgeving geeft gemeenten inzicht in verschillende technische mogelijkheden om gebouwen zonder aardgas te verwarmen, en in de nationale kosten daarvan, ter ondersteuning van keuzes voor de warmtetransitie.

Vergelijking met het NPE

- **Warmte bestaande bouw en nieuwbouw:** voor warmteoplossingen in 2050 is het scenario Koersvaste Middenweg voor all-electric warmtepompen en warmtenetten in lijn met het NPE voor zowel bestaande bouw als nieuwbouw. Het grootste verschil zit in de verdeling tussen de technologieën, CV-ketels en hybride warmtepompen, en de brandstoffen, waterstof en groen gas. Hierbij komt in het scenario Koersvaste Middenweg alleen de hybride warmtepomp met groen gas voor, terwijl in het NPE uitgegaan wordt van een mix tussen CV-ketels en hybride warmtepompen met groen gas en waterstof.
- **Isolatie:** het scenario Koersvaste Middenweg komt overeen met het NPE voor woningen, de andere drie scenario's maken net wat grotere stappen in isolatie.

- **Nieuwbouw:** het NPE telt 9 miljoen woningen in 2050. De prognoses liggen in alle scenario's hoger, met als ondergrens de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer met 9,4 miljoen woningen.
- **Utiliteit:** het NPE ligt voor alle warmteoplossingen binnen de range van de scenario's. Er wordt in het NPE uitgegaan van een hoog aantal elektrische warmtepompen, inclusief bodemwarmtepompen, wat overeenkomt met het scenario Eigen Vermogen in het IP2026. Voor hybride warmtepompen wordt er, zoals ook in het NPE, aangenomen dat hybride voor twee van de vier scenario's de tussenoplossing is. De hybride warmtepomp komt in het scenario Eigen Vermogen overeen met het NPE. Alleen in scenario Horizon Aanvoer komt het aandeel van warmtenetten overeen met het NPE. In de andere scenario's wordt dat aandeel hoger geraamd dan het NPE.

4.2 Mobiliteit

4.2.1 Samenvatting

Dit hoofdstuk beschrijft de macro-ontwikkelingen en de wijze van verduurzaming van de mobiliteitssector. Die beslaat diverse modaliteiten, ingedeeld in drie categorieën:

Personenvervoer

Binnen personenvervoer is personenauto's veruit de grootste categorie, gevolgd door het openbaar vervoer (bus, trein, metro, trams). Verder vallen binnen deze categorie de kleinere vervoersmiddelen zoals motoren en fietsen en het relatief beperkte aandeel binnenlandse vluchten.

Binnenlands vrachtvervoer

In deze categorie komt de grootste energievraag van trucks en bestelbussen, gevolgd door de binnenvaart. De eveneens significante energievraag van bouwmaterieel wordt ook in deze categorie vrachtvervoer behandeld.

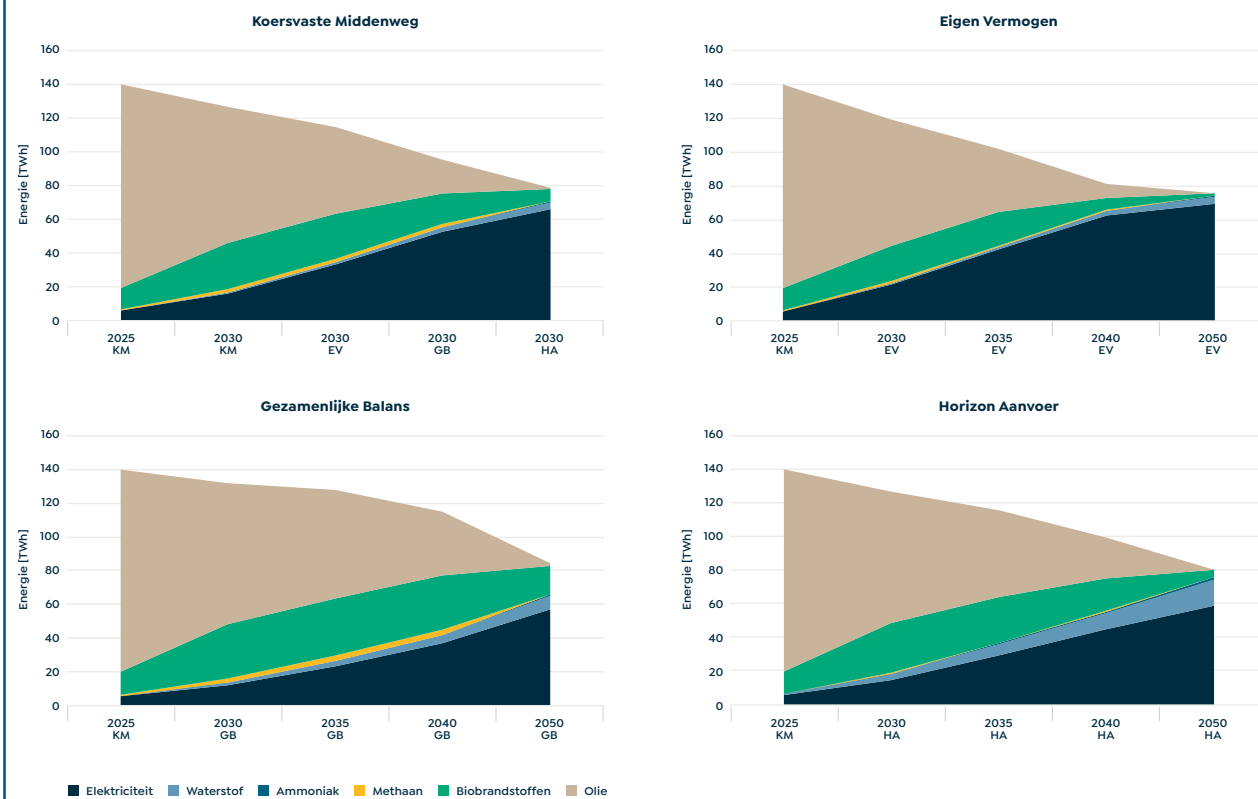
Internationale lucht- en scheepvaart

Deze hebben een zeer grote energievraag maar zijn ook onderhevig aan andere richtlijnen dan de binnenlandse modaliteiten vanwege het internationale karakter. Daarom worden ze apart beschouwd.

Tabel 4.2.1 geeft een kort overzicht van mobiliteit.

Tabel 4.2.1 Overzicht belangrijkste indicatoren mobiliteit.				
Thema	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
Personen-vervoer	• Groei van personenkilometers van 30% ten opzichte van 2025 • Geen significante modal shift			
Personenauto's	• Voor alle scenario's is het eindbeeld in 2050 100% elektrisch • Bio- en synthetische brandstoffen spelen een rol als transitiebrandstof in personenvervoer, maar hebben naar verwachting geen rol van betekenis meer in het eindbeeld			
	2030: 27% elektrisch	2030: 35% elektrisch	2030: 22% elektrisch	2030: 27% elektrisch
OV-bussen	2030: 19% CNG, 80% E, 1% H2	2030: 19% CNG, 80% E, 1% H2	2030: 39% CNG, 60% E, 1% H2	2030: 15% CNG, 80% E, 5% H2
	2050: 99% E, 1% H2	2050: 100% E	2050: 99% E, 1% H2	2050: 90% E, 10% H2
Trein	100% elektrisch, dieseltreinen verdwijnen			
Klein personen-vervoer	• Aandeel elektrische fietsen blijft op 43% • Elektrische motoren groeit naar 40% in 2050			
Trucks	2030: 79% diesel, 16% E, 2% H2, 2% bioLNG	2030: 71% diesel, 26% E, 2% H2	2030: 81% diesel, 10% E, 5% H2, 4% bioLNG	2030: 80% diesel, 10% E, 10% H2
	2050: 5% biodiesel, 75% E, 10% bioLNG, 10% H2	2050: 90% E, 10% H2	2050: 13% biodiesel, 42% E, 20% bioLNG, 25% H2	2050: 8% biodiesel, 42% E, 50% H2
Bestelauto's	2030: 75% diesel, 20% E, 3% benzine, 2% LPG	2030: 65% diesel, 31% E, 3% benzine, 1% LPG	2030: 82% diesel, 13% E, 3% benzine, 2% LPG	2030: 75% diesel, 20% E, 3% benzine, 2% LPG
	2050: 100% elektrisch	2050: 100% elektrisch	2050: 100% elektrisch	2050: 100% elektrisch
Mobiele werktuigen bouw	2030: 40% elektrisch	2030: 53% elektrisch	2030: 31% elektrisch	2030: 31% elektrisch
	2050: 100% elektrisch	2050: 100% elektrisch	2050: 97% elektrisch	2050: 97% elektrisch
Binnenvaart	2030: 2% ammoniak, 70% diesel, 3% E, 5% H2, 20% LNG	2030: 5% ammoniak, 55% diesel, 15% E, 5% H2, 20% LNG	2030: 2% ammoniak, 75% diesel, 5% E, 3% H2, 15% LNG	2030: 5% ammoniak, 55% diesel, 5% E, 15% H2, 20% LNG
	2050: 25% ammoniak, 10% diesel, 25% E, 25% H2, 15% LNG	2050: 18% ammoniak, 0% diesel, 60% E, 22% H2, 0% LNG	2050: 15% ammoniak, 25% diesel, 15% E, 15% H2, 30% LNG	2050: 30% ammoniak, 0% diesel, 20% E, 50% H2, 0% LNG
Internationale scheepvaart	2030: 2% ammoniak, 80% olie, 3% H2, 15% LNG	2030: 5% ammoniak, 80% olie, 5% H2, 10% LNG	2030: 2% ammoniak, 80% olie, 3% H2, 15% LNG	2030: 5% ammoniak, 80% olie, 5% H2, 10% LNG
	2050: 30% ammoniak, 25% olie, 20% H2, 25% LNG	2050: 40% ammoniak, 10% olie, 30% H2, 25% LNG	2050: 27% ammoniak, 30% olie, 18% H2, 25% LNG	2050: 40% ammoniak, 10% olie, 30% H2, 20% LNG
Internationale luchtvaart	2030: ca. 6% (bio/syn-)kerosine			
	2050: 23% H2, 2% E, 14% biokerosine, 33% syn-kerosine, 28% kerosine			

Figuur 4.2.1 Ontwikkelpaden energievraag voor nationaal personen- en vrachtovervoer per scenario.



De ontwikkelpaden voor de energievraag voor het totaal van binnenlands personen- en vrachtovervoer zijn weergegeven in figuur 4.2.1. De ontwikkeling van de energievraag per vervoersmiddel wordt verderop in dit hoofdstuk toegelicht.

Dit hoofdstuk licht eerst de verhaallijnen en trends toe die invloed hebben op de mobiliteitssector. Uit de trends volgt vervolgens de kwantificatie van de verschillende technologieën en ontwikkelingen. Na de kwantificatie volgt nog hoe sectorale data is gebruikt, de regionalisatie is gemaakt en worden de scenario's vergeleken met de verwachtingen uit eerdere rapporten, nl. IP2024, II3050v2, KEV2024 en het NPE.

4.2.2 Verhaallijnen en trends in de sector

Trends voor mobiliteit

De mobiliteitssector bevindt zich in de vroege fase van verduurzaming. In alle modaliteiten zijn er inmiddels concrete verduurzamingsstappen, waarbij fase en tempo per modaliteit nog erg verschilt.

Diverse trends en ontwikkelingen bepalen de transitie in de mobiliteitssector. Europese wet- en regelgeving is een zeer belangrijke sturende factor. EU Richtlijnen zoals de Renewable Energy Directive III⁴⁰ (REDIII en voorgaande RED's) stellen duidelijke en bindende doelen, voor onder andere hernieuwbare brandstoffen. De Alternative Fuels Instruction (AFIR⁴¹) stuurt op de brede beschikbaarheid

van laadinfrastructuur voor elektriciteit en waterstof en in het Fit-for-55-pakket zijn doelstellingen geformuleerd voor de CO₂-emissies van voertuigen⁴². Tegelijk zijn in Nederland subsidies stopgezet of afgebouwd⁴³. Er is onzekerheid over de verdere vormgeving van Europees beleidimplementatie daarvan in Nederland plaatsvindt.

Prijzontwikkeling is eveneens een belangrijke factor. Daarbij gaat het zowel om prijzen van diverse brandstoffen, als van nieuwe voertuigen en batterijpakketten. Niet alleen de absolute prijzen, maar ook de relatieve verschillen tussen vergelijkbare mobiliteitsopties, bepalen mede de keuzes van bedrijven en consumenten voor aanschaf, mobiliteitsgedrag en de energiebehoefte.

Belangrijk voor de impact op het energiesysteem is de mate van elektrificatie, gebruik van biobrandstoffen, waterstof of andere alternatieve brandstoffen in de mobiliteitssector. Keuzes daarover zijn vooral een gevolg van beleid, prijs en beschikbaarheid. Beschikbaarheid van grondstoffen en aandacht voor ruimtelijke kwaliteit zijn ook van invloed op die keuzes.

Op de korte en middellange termijn spelen ook de gevolgen van netcongestie. Die dempt op korte termijn de groei door lokale belemmeringen en vergroot de noodzaak voor alternatieven en flexibilisering van de elektriciteitsvraag, met de bijbehorende technologische en regulatoire veranderingen.

Verhaallijn scenario's

Deze paragraaf beschrijft kort de algemene richting voor de gehele mobiliteitssector per scenario. De volgende paragrafen gaan dieper in op specifieke ontwikkelingen per modaliteit.

Het scenario Eigen Vermogen kenmerkt zich door een hoge beschikbaarheid van duurzame elektriciteit. Technologische ontwikkeling van o.a. batterijen en aandrijftechnieken zet door en wordt niet beperkt door schaarste aan grondstoffen (metalen). Hierdoor wordt elektrificatie veruit de meest

aantrekkelijke en daarmee dominante techniek voor de binnenlandse mobiliteitssector. Ondersteund door stimulerend en normerend overheidsbeleid vindt een snelle elektrificatie plaats, die noodgedwongen deels flexibel wordt ingevuld.

In scenario Gezamenlijke Balans verduurzaamt de mobiliteitssector vooral gedreven door kostendaling en EU-beleid; stimulering in Nederland blijft wat achter. Elektrificatie is in veel modaliteiten dominant, maar vanwege schaarste aan metalen blijven elektrische voertuigen relatief duur. Daarnaast is er een grotere beschikbaarheid van alternatieve (voornamelijk bio-) brandstoffen en in mindere mate waterstof, die in sommige gevallen kan concurreren op totaalprijs per kilometer. Dit leidt tot een wat langzamer verduurzamingspad dan in de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen, en een grotere behoefte aan en inzet van alternatieve brandstoffen.

In scenario Horizon Aanvoer voltrekt verduurzaming zich niet zozeer door sturing vanuit beleid, maar voornamelijk als gevolg van kostendaling. De groeiende beschikbaarheid van geïmporteerde, betaalbare waterstof zorgt ervoor dat deze brandstof in vooral het truck- en scheepsvervoer wordt ingezet als aantrekkelijk alternatief. In de overige modaliteiten blijft het eindbeeld dominant elektrisch, maar die ontwikkeling verloopt wat langzamer door de afwezigheid van additionele stimulering.

Scenario Koersvaste Middenweg kent een gemiddelde tot snelle transitie voor de mobiliteitssector. Verduurzaming wordt actief gestimuleerd met beleid, bijvoorbeeld in de vorm van subsidies en normering en het scheppen van de juiste markcondities. De inzet is op een mix van brandstoffen waar die beter toepasbaar zijn, en elektrificatie waar dat het meeste efficiënt is.

In de volgende paragrafen worden per categorie en per modaliteit de ontwikkelingen binnen de verschillende scenario's beschreven.

⁴⁰ EC2023, Renewable Energy Directive, energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

⁴¹ EC2023b, Alternative Fuels Infrastructure, transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure_en

⁴² EC, Fit for 55 package, www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55

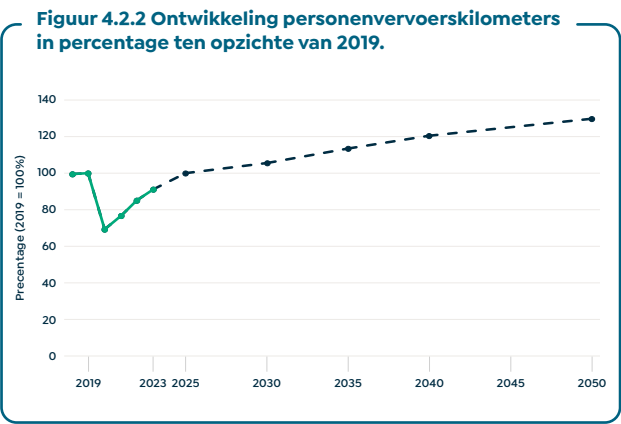
⁴³ www.rvo.nl/subsidies-financiering/sepp

4.2.3 Personenvervoer

4.2.3.1 Algemene ontwikkelingen

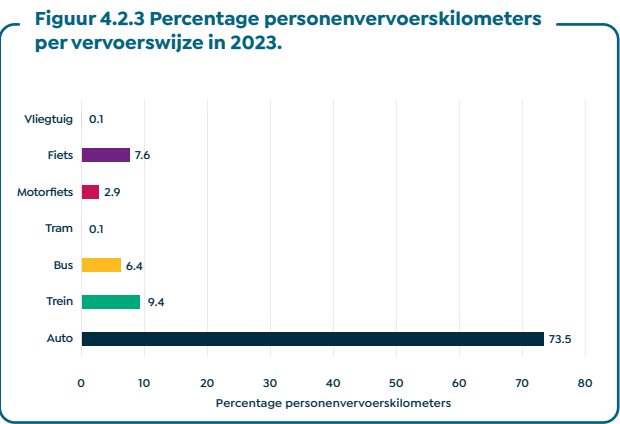
Het totale energieverbruik van personenvervoer wordt sterk bepaald door de ontwikkeling van het aantal kilometers en het gebruikte transportmiddel. De scenario's gebruiken steeds gelijke parameters, zodat de resultaten voor verschillende mate van elektrificatie en brandstofmix tussen de scenario's zuiver beoordeeld kunnen worden.

De landelijke groei van personenvervoer die wordt aangenomen in alle scenario's, is weergegeven in figuur 4.2.2 Deze groei is geijkt aan het basisscenario van Toekomstbeeld Mobiliteit⁴⁴ en het gemiddelde van het hoog- en laagscenario van de Integrale Mobiliteits Analyse 2021 (update 2023)^{45, 46}. De sterke dip van 2019 naar 2020 is een gevolg van de coronapandemie. In 2023 lag het niveau van het totale aantal kilometers personenvervoer op ca. 91 procent van het niveau in 2019, met de verwachting dat dit in 2025 weer op ca. 100 procent zal liggen. Richting 2035 groeit het aantal vervoerskilometers met ca. 13 procent en richting 2050 met totaal ca. 30 procent ten opzichte van 2025.



Personenvervoer vindt plaats met diverse modaliteiten. Figuur 4.2.3 geeft weer welk percentage van de personenvervoerskilometers in 2023 met welke modaliteit werd afgelegd⁴⁷. Alle scenario's gaan ervan uit dat de modaliteiten op nationaal niveau niet significant veranderen. Redenen:

- De toename van elektrische personenauto's samen met Europese beleidsmaatregelen, zorgt voor een daling van de gemiddelde kosten van autogebruik en kosten per kilometer (KIM2021). Dit zorgt ervoor dat vervoer per auto aantrekkelijk blijft ten opzichte van andere vervoersmiddelen.
- De recente toename in thuiswerken heeft op de korte termijn een relatief groter effect op OV-forenzen dan op de woonwerkkilometers die met auto of fiets worden afgelegd. De groei in OV-kilometers blijft hierdoor op korte termijn achter. De effecten op lange termijn zijn nog onzeker.
- Maatregelen voor stimulering van alternatieve vervoerwijze in mobiliteitspakketten, o.a. in relatie met NOVEX⁴⁸ en geconcentreerd bouwen, zorgen ervoor dat deze voldoende aantrekkelijk blijven. NB: Als maatregelen uitblijven of gekozen wordt voor meer gespreid bouwen, leidt dat tot een verdere toename van het autogebruik.



Opmerking: de ontwikkeling van vervoer kent regionaal sterke verschillen. Binnenstedelijk worden de e-bike en het OV aantrekkelijker door toenemende drukte op de wegen. Voor verplaatsingen in meer rurale gebieden, of van en naar de steden, wordt de auto relatief aantrekkelijker vanwege een groeiend verschil in kilometerkosten tussen auto en OV. Ook zijn alternatieve vervoerswijzen hier minder vaak een gelijkwaardig alternatief. In deze scenario's wordt dit regionale onderscheid niet expliciet gemaakt, de ElaadNL Outlooks kennen wel een regionaal onderscheid op basis van de huidige vervoersbewegingen. Via deze regionalisering worden de regionale toch meegenomen in de impactanalyses van de netbeheerders.

Personenauto's

Voor alle scenario's is het eindbeeld 100 procent elektrisch. Met beleid streven zowel de nationale als de Europese overheden naar zero-emissiepersonenvervoer, met het daarbij behorende verbod op de verkoop van nieuwe auto's met een verbrandingsmotor vanaf 2035. Daarnaast wordt de rol van waterstof in personenvervoer, het enige alternatief naast de elektrische auto en de traditionele verbrandingsmotor, als nihil beschouwd. Biobrandstoffen en synthetische brandstoffen spelen een rol als transitie-brandstof in personenvervoer, maar zullen naar verwachting geen rol van betekenis meer spelen in het eindbeeld. In scenario's met een hogere beschikbaarheid van alternatieve brandstoffen, is de verwachting dat deze eerst in sectoren en modaliteiten worden ingezet die moeilijker te elektrificeren zijn dan personenauto's. De scenario's variëren daarom vooral in de snelheid van elektrificatie, in lijn met de Elaad-scenario's.

Scenario Koersvaste Middenweg volgt het huidige pad voor elektrificatie. Dit sluit aan bij het midden scenario van de Elaad Outlook Personenauto's (2024)⁴⁹.

Scenario Eigen Vermogen is een meer individualistisch scenario met sterke technologische ontwikkeling en stimuleren van de energietransitie. Dit leidt tot een snelle toename van elektrisch auto's. Dat sluit aan bij het hoog scenario van Elaad Outlook Personenauto's (2024).

In scenario Gezamenlijke Balans blijft verder stimuleren van verduurzaming van de mobiliteitssector achter, wat leidt tot een lager tempo van elektrificatie van personenvervoer. Dit sluit aan bij het laag scenario Elaad Outlook Personenauto's (2024).

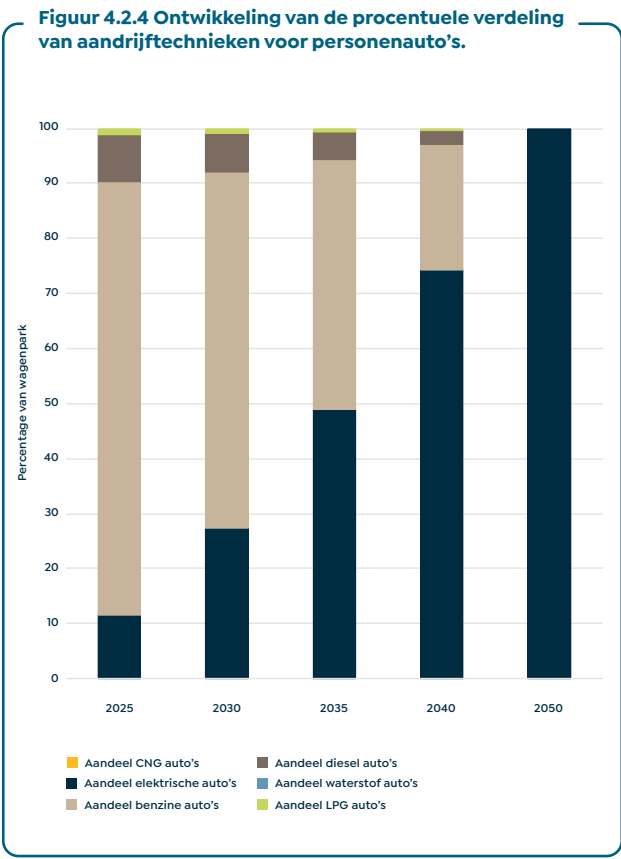
In Horizon Aanvoer wordt er wel ingezet op verduurzaming richting zero-emissiepersonenauto's. Naar verwachting spelen alternatieve brandstoffen geen significante rol bij personenauto's, dus wordt hier ook ingezet op elektrificatie. Dit sluit aan bij het midden scenario Elaad Outlook Personenauto's (2024).

Het aandeel elektrische personenauto's groeit op dit moment al snel. In 2035 zijn tussen de ca. 30-60 procent

van alle personenauto's die rondrijden elektrisch aangedreven. Groeiend naar 55-75 procent in 2040 en uiteindelijk 100 procent in 2050.

Het uitgangspunt voor alle scenario's is 10 miljoen elektrische personenauto's in 2050.

De overige brandstoftypes dalen naar rato van hun huidige aandeel in de mix, en zijn in 2050 uitgefaseerd. De scenario's verschillen in de snelheid van EV-adoptie: door tragere kostendalingen en minder stimulerend beleid blijven consumenten in sommige scenario's langer rijden in auto's met verbrandingsmotoren en duurt het langer voor het volledige wagenpark geëlektrificeerd is. De scenario's Horizon Aanvoer en Gezamenlijke Balans bereiken in 2049 een 100 procent elektrisch wagenpark, het scenario Koersvaste Middenweg in 2044 en het scenario Eigen Vermogen in 2041.



⁴⁴ KIM2023, Mobiliteitsbeeld 2023, www.kimnet.nl/publicaties/publicaties/2023/11/14/mobiliteitsbeeld-2023

⁴⁵ KIM2021, Integrale Mobiliteitsanalyse 2021, www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/06/29/integrale-mobiliteitsanalyse-2021

⁴⁶ KIM2023, Update Integrale Mobiliteitsanalyse, www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/18/bijlage-2-update-integrale-mobiliteitsanalyse

⁴⁷ NBNL2023, IP2024 scenario rapportage, www.netbeheernederland.nl/publicatie/ip2024-scenario-rapportage

⁴⁸ www.ruimtelijkeordening.nl/onderwerpen/themas/novex

⁴⁹ Elaad2024, Outlook Personenauto's, elaad.nl/update-elaad-outlook-personenautos-versnelling-groei-elektrische-autos-na-2030-verwacht

Energievraag personenauto's

Figuur 4.2.5 geeft de energievraag van personenauto's weer. In alle scenario's daalt de energievraag voor personenauto's sterk. De sterkste driver achter deze daling is de transitie naar elektrische voertuigen. Het aangenomen energieverbruik van een elektrische auto bedraagt ongeveer 0,5 MJ per kilometer voor personenvervoer, terwijl die van diesel- en benzineauto's

op respectievelijk 1,4 en 1,6 MJ per personenvervoerskilometer ligt. Door de transitie naar elektrische voertuigen daalt dus het totale energieverbruik, ondanks een aangenomen lichte stijging van het aantal gereden kilometers. De olie-gebaseerde brandstoffen in de figuur bevatten ook een deel biobrandstoffen. Het aandeel biobrandstoffen in de mix wordt toegelicht in paragraaf 4.2.6.

Figuur 4.2.5 Ontwikkelpaden energievraag van personenauto's per scenario.



4.2.3.2 Openbaar vervoer

Bus

In het Bestuursakkoord Zero Emissie Bussen (BAZEB) is afgesproken dat vanaf 2025 alle nieuwe OV-bussen zero-emissie zijn, en vanaf 2030 alle OV-bussen. Eind 2024 zijn er in Nederland 1.760 zero-emissiebusen in het OV, ongeveer 30 procent van het totaal⁵⁰.

Hoewel Nederland vaart maakt met de verduurzaming van OV-bussen, staan de doelstellingen van de BAZEB in 2024 onder druk. Naast lange levertijden van bussen is netcongestie een knelpunt. Door lange wachttijden van netaansluitingen is omschakeling naar batterij-elektrisch lastig en vaak ook onhaalbaar. Waterstof-elektrisch speelt een marginale rol gezien de hoge kosten. In een aantal concessies is de eis om in 2030 volledig zero-emissie te rijden al losgelaten.

Uitgangspunt in alle scenario's is – gezien voorgaande – dat de doelstelling van een OV volledig met zero-emissiebusen,

pas in 2035 volledig gehaald wordt. Vanaf 2030 wordt geen diesel meer gebruikt en tot 2035 blijft CNG (groen gas) als transitiebrandstof bestaan. Het tempo verschilt per scenario:

Koersvaste Middenweg: grootste deel batterij-elektrisch in 2035 en een klein deel waterstof-elektrisch, zonder groei ten opzichte van de huidige situatie. In 2030 geen diesel meer, maar nog wel een deel CNG (groen gas) als transitiebrandstof. Sluit aan bij Elaad Outlook – midden scenario.

Eigen Vermogen: 100 procent batterij-elektrisch in 2035, snellere groei dan Koersvaste Middenweg. In 2030 geen diesel meer, maar wel een klein deel CNG (groen gas). Sluit aan bij Elaad Outlook – hoog scenario.

Gezamenlijke Balans: grootste deel batterij-elektrisch in 2035 en een klein deel waterstof-elektrisch, zonder groei ten opzichte van de huidige situatie. CNG (groen gas) heeft een groter aandeel als transitiebrandstof. Sluit aan bij Elaad Outlook – laag scenario.

Horizon Aanvoer: waterstof behoudt in dit scenario een groter aandeel dan in de andere scenario's, naast batterij-elektrische bussen. Ook dit scenario sluit aan bij Elaad Outlook – laag scenario.

Energievraag OV-bussen

Figuur 4.2.6 toont de ontwikkelpaden van de energievraag

van OV-bussen. Richting 2035 treedt een sterke daling op van de totale energievraag, als gevolg van overstap naar energie-efficiëntere elektrische aandrijving. Daarna blijft de totale energievraag ongeveer gelijk doordat de groei gecompenseerd wordt door toenemende efficiëntie.

Figuur 4.2.6 Ontwikkelpaden energievraag voor OV-bussen per scenario.



4.2.3.3 Trein

Eind 2024 is het grootste deel van het treinverkeer voor personen en goederen elektrisch. Er is nog een klein aandeel van 6 procent diesel op enkele trajecten. Deze treinen worden komende jaren vervangen door een duurzaam alternatief. ProRail en de spoorvervoerders experimenteren op sommige trajecten met batterijtreinen en waterstof-elektrische treinen waar een bovenleiding te hoge kosten met zich meebrengt. De beoogde elektrificatie voor treinen is volgens ProRail 100 procent vanaf 2030, hoofdzakelijk met bovenleiding, en dit is onveranderd ten opzichte van de vorige scenario's voor het IP2024.

Vanaf 2030 is in alle scenario's het treinverkeer 100 procent elektrisch – zonder verschillen tussen de scenario's. Omdat het aandeel waterstof-elektrisch relatief erg klein is en naar verwachting blijft in de toekomst, is waterstof niet in de scenario's opgenomen.

4.2.3.4 Klein personenvervoer

E-bikes

Ruim 4 op de 10 Nederlanders is in het bezit van een elektrische tweewieler in 2024: het percentage bezitters van e-bikes, e-scooters en Light Electric Vehicles's (LEV) – zoals e-steps – is 43 procent. Voor het grootste deel gaat het om een e-bike (96 procent). Daarna komt de e-scooter (3 procent) en de LEV (1 procent). Vanaf 2022 nam het percentage Nederlanders dat in bezit is van een e-bike toe met slechts 1 procent. De markt voor e-bikes lijkt verder te stagneren en meer een vervangingsmarkt te worden⁵¹.

In alle scenario's blijft het aandeel E-bikes 43 procent tot aan 2050 – zonder verschillen tussen de scenario's. In de praktijk zijn er wijzigingen, bijvoorbeeld door de verdere groei van de e-bikeleasemarkt in Nederland. Maar de energievraag hiervan is relatief klein en ook nog te onzeker om in de scenario's op te nemen.

⁵⁰ CROW, kwartaalmonitor zero-emissiebusen

⁵¹ Multiscope, toelichting E-bike monitor 2024, www.multiscope.nl/diensten/marktcijfers/e-bike-monitor.html

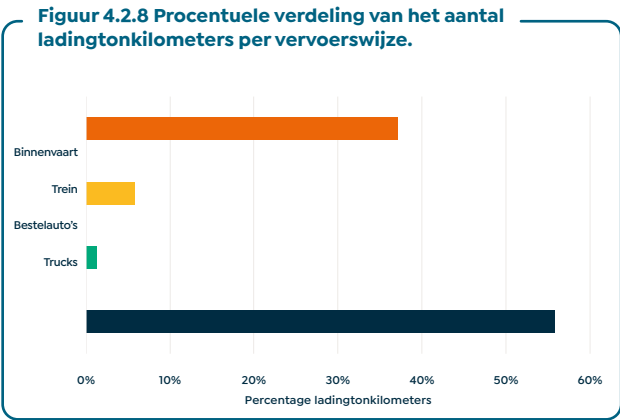
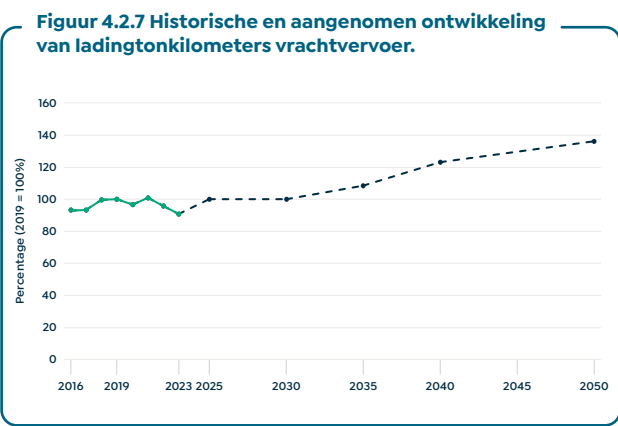
Motoren

Het groeicijfer van de elektrificatie van motoren is zeer onzeker. Eind 2024 is het aandeel elektrische motorfietsen in Nederland beperkt, zo'n 0,2 procent. Komende jaren wordt geen grote groei verwacht, maar tegelijkertijd komen er allerlei innovatieve motorfietsen op de markt, die wellicht populair kunnen worden. Met name in dichtbevolkte steden hebben elektrische motorfietsen veel potentie. Alle scenario's zijn gebaseerd op de aanname van 40 procent elektrische motorfietsen in 2050, met een lineaire groei vanaf 2025. Er zijn geen verschillen tussen de scenario's.

4.2.4 Nationaal vrachtvervoer

Algemene parameters van het nationaal vrachtvervoer zijn de totale omvang, vervoersprestatie, uitgedrukt in ladingtonkilometers, en de transportwijze (weg, spoor, water). Er zijn geen verschillen tussen de scenario's in figuur 4.2.7. Het mobiliteitsbeeld 2023⁵² gaat uit van een lichte daling (-1 procent) naar 2028. Voor de jaren tot 2030 schommelen de vervoersprestatie van vrachtvervoer rond het niveau van de afgelopen jaren. De transportvraag in de logistieke sector groeit na 2030, als gevolg van demografische ontwikkelingen: een groeiend aantal inwoners leidt tot een groeiende behoefte aan goederen. Deze ontwikkeling ligt net iets onder scenario hoog uit de Integrale Mobiliteitsanalyse 2021⁵³ en de bijbehorende update eind 2023⁵⁴.

In de scenario's blijft nationaal de verdeling van vrachtvervoer tussen de verschillende modaliteiten (trucks, binnenvaart, trein, bestelauto's) gelijk aan de huidige niveaus. Dit is in lijn met de (update) IMA. Figuur 4.2. 8 geeft de verdeling weer.



4.2.4.1 Trucks en bestelauto's

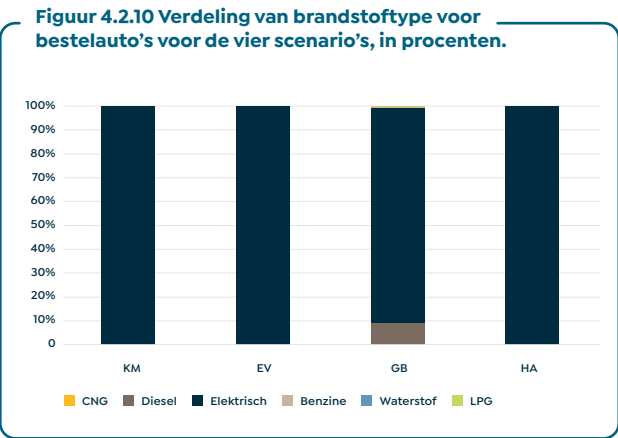
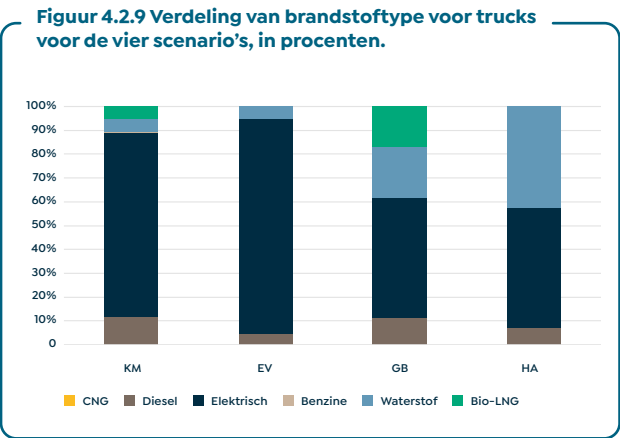
Het eindbeeld voor alle scenario's is klimaatneutraal vrachtvervoer over de weg in 2050. De scenario's verschillen in de snelheid van elektrificatie, en de verdeling van biobrandstoffen, waterstof en synthetische brandstoffen over de resterende vloot. Cijfers zijn gebaseerd op CBS-cijfers⁵⁵ en de Elaad Outlook Logistiek & Bedrijventerreinen⁵⁶.

In 2025 rijdt 95 procent van alle trucks nog op diesel. Daarna neemt in aantallen vooral elektrisch transport een vlucht naar 10-20 procent in 2030 afhankelijk van het scenario. Na 2030 krijgen ook waterstof- en lng-trucks een significanter aandeel in de vloot. In 2035 rijdt 50 procent van de trucks duurzaam, deels via bijmengen biobrandstoffen. Voor bestelbussen is elektrificatie de gangbare verduurzamingsroute. Alleen in het scenario Gezamenlijk Balans rijdt in 2050 nog ca. 10 procent die op biobrandstof. Figuur 4.2.9 en figuur 4.2.10 tonen de verdeling voor trucks en bestelbussen.

Het scenario Eigen Vermogen kenmerkt zich door elektrificatie in alle modaliteiten. Ook in de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer speelt elektrificatie een belangrijke rol, maar aanzienlijk langzamer. In Horizon Aanvoer rijden met name trucks vaker op waterstof, aangevuld met synthetische brandstoffen. In Gezamenlijke Balans rijden met name trucks juist op synthetische en biobrandstoffen, aangevuld met waterstof. Tabel 4.2.2 beschrijft de belangrijkste kenmerken per scenario en per modaliteit.

Tabel 4.2.2 Overzicht van invulling per scenario per modaliteit voor trucks en bestelauto's.

Scenario	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
Algemeen	De huidige groeipaden van elektrificatie zetten door. Voor de aantallen elektrische voertuigen wordt daarom het middenscenario uit de Elaad Outlook Logistiek & Bedrijventerreinen gevolgd (Elaad, 2022).	Zowel bij bestelauto's als bij trucks wordt een sterke groei verwacht van technologische ontwikkelingen op het gebied van elektrische aandrijflijnen. Dat leidt tot snellere groei van elektrificatie, en weinig ruimte voor andere brandstoffen. Dit scenario gaat daarom uit van het hoge scenario uit de Elaad Outlook Logistiek & Bedrijventerreinen (Elaad, 2022).	Zowel bij trucks als bestelauto's wordt ingezet op biobrandstoffen, synthetische biobrandstoffen en waterstof. De ontwikkeling van elektrische voertuigen volgt het lage scenario uit de Elaad Outlook Logistiek & Bedrijventerreinen gevolgd (Elaad, 2022).	In dit scenario wordt sterk ingezet op emissievrij rijden, en er is een relatief grote hoeveelheid waterstof beschikbaar, maar die wordt niet zomaar in elke sector ingezet.
Trucks	Ongeveer 75% van de transportvraag wordt in 2050 ingevuld met elektrische voertuigen. Van de overige 25% van de transportvraag wordt 10% door waterstof vervuld, 10% door biobrandstoffen, en 5% door synthetische brandstoffen.	In 2050 wordt 90% van de binnenlandse transportvraag met trucks ingevuld met elektrische voertuigen. De resterende 10% van de vraag wordt ingevuld met waterstof.	In lijn met het lage scenario uit de Elaad Outlook wordt 42% van de transportvraag in 2050 met elektrische trucks ingevuld. Waterstof voorziet in 25% van de vraag, biobrandstoffen voor 20% en synthetische brandstoffen 13%.	Vanwege de lange afstanden die worden afgelegd door trucks, is dit één van de sectoren waar waterstof beschikbaar is: waterstof voorziet in 50% van de transportvraag. Elektrificatie ligt bij trucks lager dan in andere scenario's en volgt het lage scenario uit de Elaad Outlook (2022), leidend tot 42% elektrificatie in 2050. De overige 8% wordt ingevuld met synthetische brandstoffen.
Bestelauto's	100% van de bestelauto's is in 2050 elektrisch. In het groeipad naar 2050 toe blijft de verhouding van de resterende brandstoftypes gelijk aan de huidige verhouding (CBS, bestelauto's naar brandstofsoort, 2024).	100% van de bestelauto's is in 2050 elektrisch. Het groeipad verloopt sneller dan bij Koersvaste Middenweg. Op weg naar 2050 blijft de verhouding van de resterende brandstoftypes gelijk aan de huidige verhouding (CBS, bestelauto's naar brandstofsoort, 2024).	90% van de bestelauto's in 2050 is elektrisch. Waterstof speelt in bestelvoertuigen geen rol van betekenis, dus de overige voertuigen rijden op biobrandstoffen.	In lijn met het middenscenario uit de Elaad (2022) Outlooks, rijdt in 2050 100% van de bestelbussen elektrisch. In het groeipad worden fossiele brandstoffen vervangen door synthetische en biobrandstoffen. Waterstof speelt geen rol bij bestelbussen.



De olie-gebaseerde brandstoffen in de figuur bevatten ook een deel biobrandstoffen. Het aandeel biobrandstoffen in de brandstofmix wordt toegelicht in paragraaf 4.2.6.

⁵² www.kimnet.nl/publicaties/publicaties/2023/11/14/mobiliteitsbeeld-2023

⁵³ Dat.mobility, Districon, Achtergrondrapportage IMA – goederenvervoer integraal, www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/06/29/bijlage-5-achtergrondrapport-4-goederenvervoer-integraal

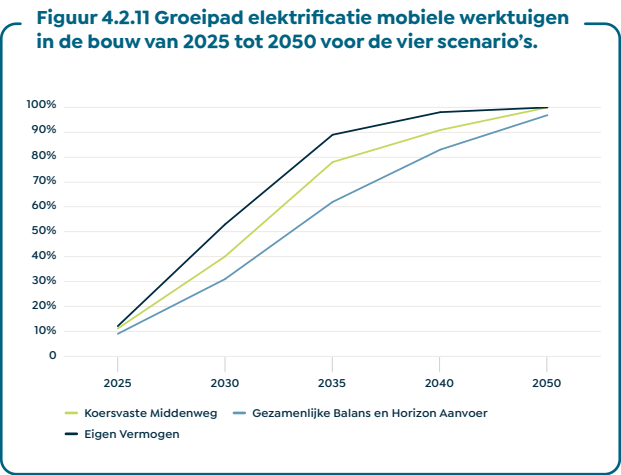
⁵⁴ KIM2023, Update Integrale Mobiliteitsanalyse, www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/18/bijlage-2-update-integrale-mobiliteitsanalyse

⁵⁵ CBS Statline, Bedrijfsvoertuigen naar brandstofsoort, opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85239NED/table?dl=2FE9D

⁵⁶ Elaad2022, Outlook Logistiek & Bedrijventerreinen, elaad.nl/wp-content/uploads/downloads/2022/04/Outlook_Bedrijventerreinen_in_Beweging.pdf

4.2.4.2 Mobiele werktuigen in de bouw

In de bouw zijn twee soorten materieel te onderscheiden: mobiele werktuigen en bouwtransport met trucks en bestelauto's. Trucks en bestelauto's zijn beschreven in de vorige paragraaf; deze paragraaf gaat over mobiele werktuigen. Voor mobiele werktuigen in de bouw is er nu al een sterke trend naar elektrificatie. Het uitgangspunt in alle scenario's is een emissievrije bouwsector in 2050 (Elaad Outlook Bouw, 2024)⁵⁷. In de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer is dan 97 procent van de mobiele werktuigen elektrisch. De overblijvende 3 procent rijdt op een mix van synthetische en biobrandstoffen. In de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen is 100 procent van de mobiele werktuigen in 2050 elektrisch, met het sterkste groeipad voor Eigen Vermogen. Figuur 4.2.11 geeft deze groeipaden weer.



In de modellering in het Energietransitiemodel is er nog geen aparte input voor mobiele werktuigen. Daarom zijn de mobiele werktuigen opgeteld bij de trucks, zoals beschreven in paragraaf 4.2.4.1. De aantallen trucks per brandstoftype (gebaseerd op Bedrijfsvoertuigen naar brandstofsoort, CBS Statline, 2024)⁵⁵ en de aantallen mobiele werktuigen per brandstoftype zijn bij elkaar opgeteld. Vervolgens is aangenomen dat de gemiddelde energievraag van trucks en mobiele werktuigen van dezelfde orde grootte is. De inputcijfers voor trucks en mobiele werktuigen in het Energietransitiemodel zijn daardoor met ongeveer 15 procent verhoogd.

4.2.4.3 Nationale scheepvaart
Scenario's nationale scheepvaart

Nationale scheepvaart betreft binnenvaartschepen die goederen over de binnenwateren in Nederland vervoeren en veerponten voor het verplaatsen van personen en voertuigen. De horizon voor het elektrisch varen op grote schaal ligt verder in de toekomst in vergelijking tot bijvoorbeeld wegtransport. De transitie naar een duurzaam alternatief is mede door de hoge vermogensvraag van schepen uitdagend. Daarnaast bevinden ontwikkelingen zich in de testfase waardoor er nog weinig praktijkervaring is. Voor nationale scheepvaart bestaan er daardoor redelijk grote verschillen tussen de vier verschillende scenario's. De verhaallijnen voor de nationale scheepvaart in de scenario's zijn gebaseerd op een verdere uitwerking van de Routekaart van CCR (2018)⁵⁸ en Klimaatneutrale Binnenvaart 2050⁵⁹ van PBL (2024). Deze zijn gebruikt om meer context te geven aan de keuzes tijdens de kwantificatie.

- 1. Business-as-usual:** in dit scenario vaart meer dan de helft van de vloot tegen 2050 nog steeds op fossiele brandstoffen, een gematigd transitietraject. In dit scenario is het lastiger om innovaties te implementeren, door schaarste en extreem hoge kosten. Het is een laag scenario voor nationale scheepvaart, dat past bij de verhaallijn van Gezamenlijke Balans.
- 2. Conservatief transitietraject:** in dit scenario kunnen alternatieve brandstoffen en technieken vrij gemakkelijk en zonder al te hoge kosten op korte termijn geïmplementeerd worden. Het gaat daarbij om brandstoffen en technieken met een hoog technology readiness level, zoals moderne biodiesel. Het is een *midden* scenario voor nationale scheepvaart, dat past bij de verhaallijn van het scenario Koersvaste Middenweg.
- 3. Innovatief transitietraject:** in dit scenario is een meer innovatieve benadering het vertrekpunt. Daarbij gaat het om brandstoffen en technieken die nu nog in de kinderschoenen staan, met een laag technology readiness level, zoals elektrische voortstuwingen met batterijen of voortstuwingen met waterstof. Het is een hoog scenario voor nationale scheepvaart, dat past bij de scenario's Eigen Vermogen en Horizon Aanvoer.

Kwantificatie groeiscenario

Koersvaste Middenweg

Koersvaste Middenweg is een midden scenario met een conservatief transitietraject. Daarin kunnen alternatieve brandstoffen en technieken vrij gemakkelijk en zonder al te hoge kosten op korte termijn geïmplementeerd worden.

Figuur 4.2.12 geeft aan dat de scheepvaart in 2025 en 2030 nog grotendeels vaart op fossiele brandstoffen. Voor diesel: 94 procent in 2025 en 70 procent in 2030. Tussen 2035 en 2040 neemt dit al meer af en beweegt de binnenvaart naar lagere emissies. In dit midden scenario zijn alternatieve brandstoffen en technieken beschikbaar, met op het eindpunt een mix aan alternatieve brandstoffen, met het grootste aandeel voor waterstof, elektriciteit en ammoniak. De scheepvaartsector ziet momenteel ammoniak en methanol als kansrijke transitiebrandstoffen. Op methanol heeft ammoniak het voordeel dat het geen koolstof bevat en dus geen CO₂-uitstoot veroorzaakt. Groot nadeel is echter de toxiciteit; er zijn nog geen beproefd veilige motoren voor ammoniak. De eerste (dual fuel) methanol schepen varen echter al. Op langere termijn kan ook ammoniak een rol gaan spelen, maar vanwege de hoge toxiciteit is dat waarschijnlijker bij de internationale scheepvaart in combinatie met uitvoerige veiligheidsmaatregelen. In het Energietransitiemodel is ammoniak wel, maar methanol niet beschikbaar als brandstof. Zodoende stelt de gemodelleerde ammoniak ook methanol voor.

Eigen Vermogen

Eigen Vermogen is een hoog scenario, innovatief transitietraject. Vertrekpunt is een meer innovatieve benadering. Het scenario gaat uit van belangrijke mogelijkheden voor elektrische voortstuwingen in de toekomst.

Figuur 4.2.12 toont verwacht in 2030 al een aandeel elektrische voortstuwingen in de nationale scheepvaart. Het aandeel fossiele brandstoffen daalt van 95 procent in 2025 naar ongeveer 60 procent in 2030. In 2050 heeft naar verwachting elektrische voortstuwing het grootste aandeel in nationale scheepvaart en is de gehele binnenvaartvloot emissievrij.

Gezamenlijke Balans

Gezamenlijke Balans is een laag scenario, business-as-usual. In 2050 bestaat nog altijd het grootste aandeel van de brandstofmix voor voortstuwing in nationale scheepvaart uit fossiele brandstoffen. In dit scenario kunnen alternatieve brandstoffen en technieken met hoge kosten dus niet gemakkelijk op korte termijn geïmplementeerd worden. Er worden geen innovaties toegepast, maar meer gebruik gemaakt van bestaande alternatieve overgangsbrandstoffen zoals LNG.

Figuur 4.2.12 toont dat er in 2030 al bijna 20 procent van de brandstofmix bestaat uit LNG. Dit is een gemakkelijke overgangsbrandstof, ruim beschikbaar in dit scenario. Figuur 4.2.11 toont ook een langzame krimp in de brandstofmix voor diesel. Uiteindelijk bestaat in 2050 het grootste aandeel uit LNG en diesel.

Horizon Aanvoer

Horizon Aanvoer is een hoog scenario, met een innovatief transitietraject. Met een meer innovatieve benadering ontstaan er grote mogelijkheden met waterstofvoortstuwing.

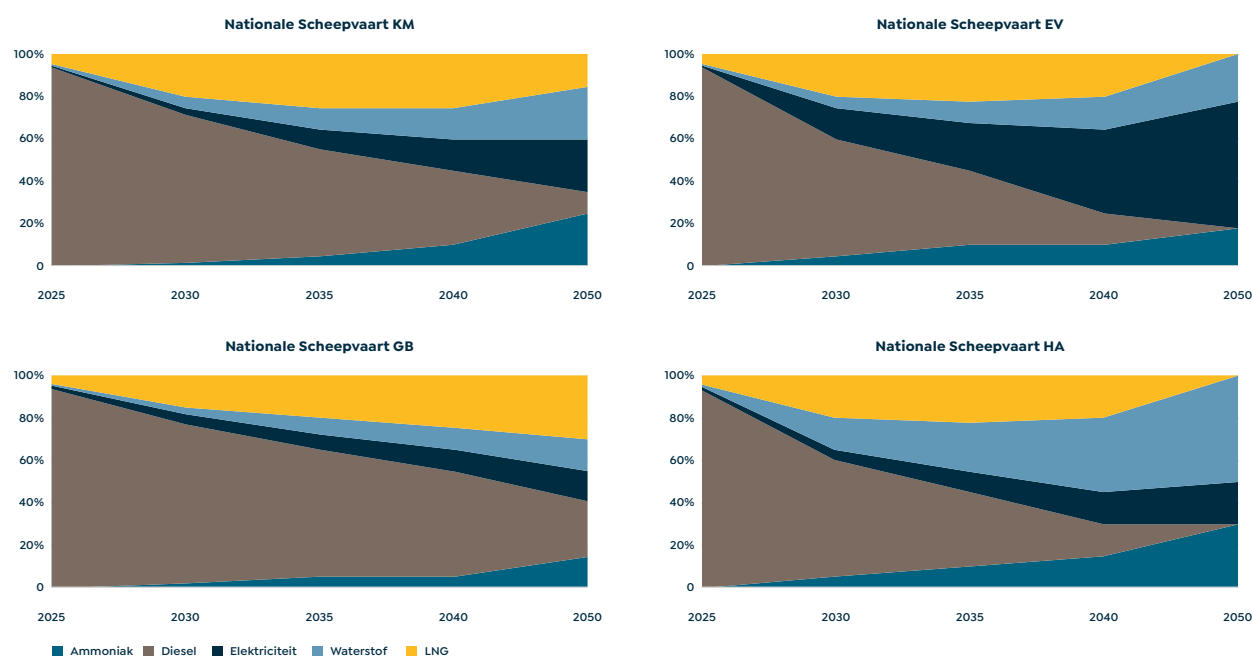
Figuur 4.2.12 toont dat in 2030 al meer dan 10 procent van de voortstuwing met waterstof wordt bereikt. En dat het aandeel fossiele brandstoffen in 2030 al met meer dan 30 procent is gedaald ten opzichte van 2025. In 2050 bestaat het grootste aandeel in nationale scheepvaart uit waterstofvoortstuwingen en is de gehele binnenvaart emissievrij. De scheepvaartsector ziet momenteel ammoniak en methanol als kansrijke transitiebrandstoffen. Op methanol heeft ammoniak het voordeel dat het geen koolstof bevat en dus geen CO₂-uitstoot veroorzaakt. Groot nadeel is echter de toxiciteit; er zijn nog geen beproefd veilige motoren voor ammoniak. De eerste (dual fuel) methanol schepen varen echter wel al. Op langere termijn kan ook ammoniak een rol gaan spelen, maar vanwege de hoge toxiciteit is dat waarschijnlijker bij Internationale Scheepvaart in combinatie met uitvoerige veiligheidsmaatregelen. In het Energietransitiemodel is ammoniak wel, maar methanol niet beschikbaar als brandstof. Zodoende stelt de gemodelleerde ammoniak ook methanol voor.

⁵⁷ Elaad2024, Outlook Bouw, elaad.nl/wp-content/uploads/2024/07/ElaadNL-Outlook-Bouw-2024.pdf

⁵⁸ CCR2018, Routekaart terugdringen van de emissies in de binnenvaart, [Roadmap_nl.pdf](https://roadmap.nl/pdf)

⁵⁹ PBL/TNO2024, Klimaatneutrale binnenvaart 2050, www.pbl.nl/publicaties/klimaatneutrale-binnenvaart-in-2050

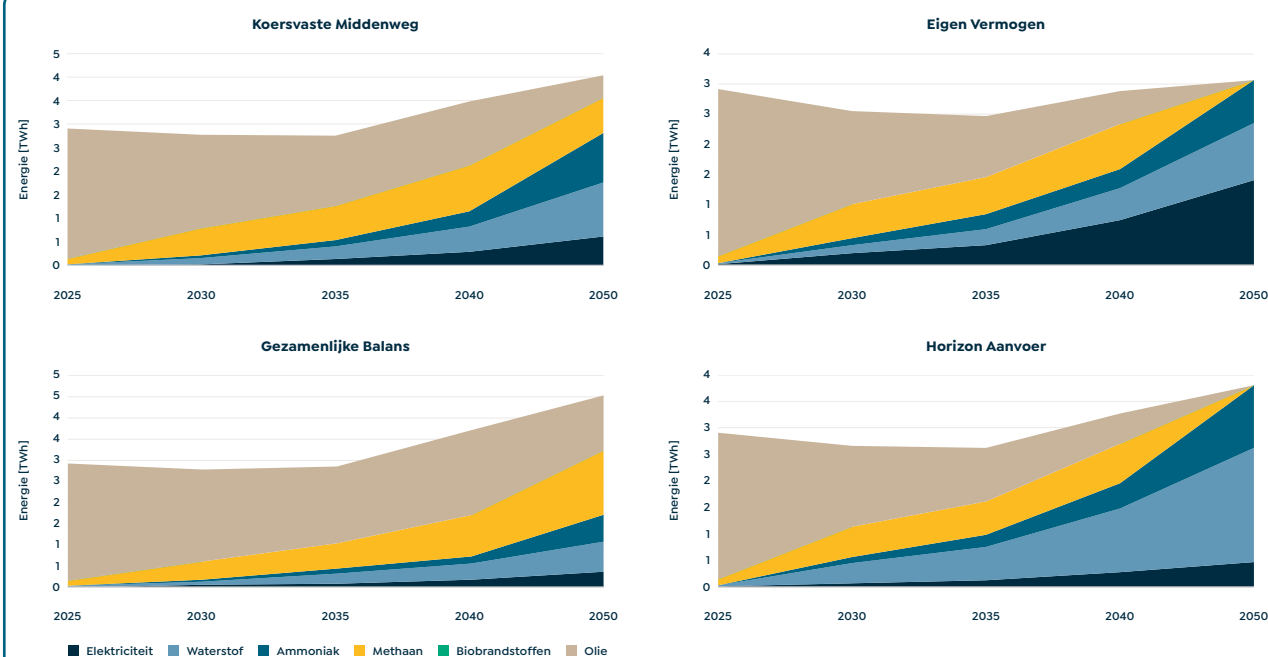
Figuur 4.2.12 Ontwikkelpad procentuele verdeling brandstoftypes van binnenvaartschepen per scenario.



Figuur 4.2.12 toont de kwantificatie van nationale scheepvaart per scenario. In het Energietransitiemodel zijn vijf verschillende energiedragers beschikbaar, ammoniak, diesel, elektriciteit, waterstof en LNG. Over het algemeen zijn in de hoge scenario's Horizon Aanvoer en Eigen Vermogen, waterstof en elektriciteit veelbelovende energiedragers die ook kunnen zorgen voor een emissievrije vloot in 2050. In het midden scenario Koersvaste Middenweg is er in 2050 een echte mix in brandstoffen. In het laag scenario vaart in 2050 het grootste deel van de vloot nog op fossiele brandstoffen diesel en LNG.

Energievraag (output)

Figuur 4.2.13 Ontwikkelpad van de energievraag van binnenvaartschepen per scenario.



Figuur 4.2.13 toont de energievraag in de verschillende scenario's voor Nationale Scheepvaart. In elk scenario stijgt de totale vraag naar energie, vooral door de toename van het aantal transportkilometers. De verschillen in totale energievraag tussen de scenario's worden hoofdzakelijk bepaald door efficiëntiewinst door elektrificatie en efficiëntieverlies door waterstof en ammoniak. Dit leidt tot een bandbreedte van 3-4,5 TWh, waarin scenario Eigen Vermogen de laagste en Gezamenlijke Balans de hoogste energievraag heeft.

4.2.5 Internationale Lucht- en Scheepvaart

4.2.5.1 Internationale scheepvaart Scenario's internationale scheepvaart

Het vervoer per zeeschip is de afgelopen decennia wereldwijd aanzienlijk toegenomen en naar verwachting blijven de vervoersvolumes in de toekomst toenemen. Momenteel maakt bijna 99 procent van de zeeschepen gebruik van stookolie of dieselolie als brandstof. Toch zijn er de afgelopen jaren aanzienlijke investeringen gedaan in schepen die op LNG varen, en is er een groeiende vraag naar dual fuel-schepen die zowel op diesel als methanol kunnen varen. Deze schepen bieden flexibiliteit om duurzamere brandstoffen te gebruiken. Daarnaast winnen batterij-elektrische en hybride aandrijvingen terrein, vooral bij kleinere schepen die vaste routes varen, zoals veerboten. Die vallen daarom onder de modaliteit nationale scheepvaart (PBL, 2024)⁶⁰.

Hoewel het aantal schepen met alternatieve aandrijvingen wereldwijd nog beperkt is, markeert deze investeringen wel een belangrijke stap in de verduurzaming van de sector. Echter, de levensduur van schepen, gemiddeld 25-30 jaar, zorgt ervoor dat de vernieuwing van de wereldwijde vloot langzaam verloopt. Daarnaast is de infrastructuur ook een belangrijke factor; tussenstops moeten infrastructuur bieden aan scheepvaart om alternatieve brandstoffen te tanken op de route. De levensduur en infrastructuur kunnen remmende factoren zijn voor de transitie naar klimaatneutrale zeescheepvaart (PBL, 2024)⁶¹.

Verschiedende mogelijke transitietrajecten zijn uitgewerkt en gekoppeld aan de scenario's van deze studie, zoals ook voor nationale scheepvaart is gedaan. Deze transitietrajecten zijn gebaseerd op de Routekaart van CCR (2018)⁶² en Klimaatneutrale Binnenvaart 2050 van PBL (2024), deze trajecten zijn gebruikt om context te geven in de keuzes tijdens de kwantificatie.

1. Business-as-usual: in dit transitietraject vaart meer dan de helft van de vloot tegen 2050 nog steeds op fossiele brandstoffen. Het is dus een gematigd transitietraject. Dit is een *laag* scenario voor de nationale scheepvaart, vergelijkbaar met Gezamenlijke Balans.

2. Conservatief transitietraject: in dit transitietraject kunnen de alternatieve brandstoffen en technieken

vrij gemakkelijk en zonder al te hoge kosten op de korte termijn geïmplementeerd worden. Het gaat hierbij om brandstoffen en technieken met een hoog technology readiness level, zoals moderne biodiesel. Dit scenario is een *midden* scenario voor nationale scheepvaart, vergelijkbaar met Koersvaste Middenweg.

3. Innovatief transitietraject: vertrekpunt in dit traject is een meer innovatieve benadering. Met brandstoffen en technieken die nu nog in de kinderschoenen staan met een laag technology readiness level, zoals elektrische voorstuwingen met batterijen of voorstuwingen met waterstof. Dit is een hoog scenario voor nationale scheepvaart, vergelijkbaar met Eigen Vermogen en Horizon Aanvoer.

Kwantificatie groeiscenario

Voor de kwantificatie van groeiscenario's voor internationale scheepvaart is gebruik gemaakt van verschillende bronnen die ingaan op de decarbonisatie van de internationale scheepvaart. Zoals IRENA (2021)⁶³, een organisatie die landen helpt in de ontwikkeling van de energietransitie, gaat dieper in op het terugdringen van uitstoot van de gehele zeevaartsector en spreekt verwachtingen uit over veelbelovende duurzame brandstoffen. Daarnaast Shell & Deloitte (2024)⁶⁴ die een tweede 'all hands on deck' uitbrachten over de impact van assets en technologieën in de internationale scheepvaart op de wereldwijde CO₂-uitstoot. En Argus (2021)⁶⁵, waar verschillende uitspraken worden gedaan door specialisten over de verschillen tussen methanol en ammoniak.

Het Energietransitiemodel (ETM) kent een beperkt aantal opties voor brandstofmixen, daarom zijn sommige brandstoffen bij elkaar opgeteld. De scheepvaartsector ziet momenteel ammoniak en methanol als kansrijke transitiebrandstoffen. Op methanol heeft ammoniak het voordeel dat het geen koolstof bevat en dus geen CO₂-uitstoot veroorzaakt. Groot nadeel is echter de toxiciteit; er zijn nog geen beproefd veilige motoren voor ammoniak. De eerste (dual fuel) methanol schepen varen echter wel al. Op langere termijn kan ook ammoniak een rol gaan spelen. Het ETM is echter beperkt tot de brandstoffen, ammoniak, zware stookolie, waterstof, LNG en elektriciteit. Omdat methanol geen onderdeel van het ETM is en ammoniak wel, is in de gemodelleerde ammoniak ook een aandeel verwacht methanol meegenomen.

⁶⁰ PBL (2024) [Klimaatneutrale binnenvaart in 2050 | Planbureau voor de Leefomgeving](#)

⁶¹ PBL (2024) [Klimaatneutrale zeescheepvaart in 2050](#)

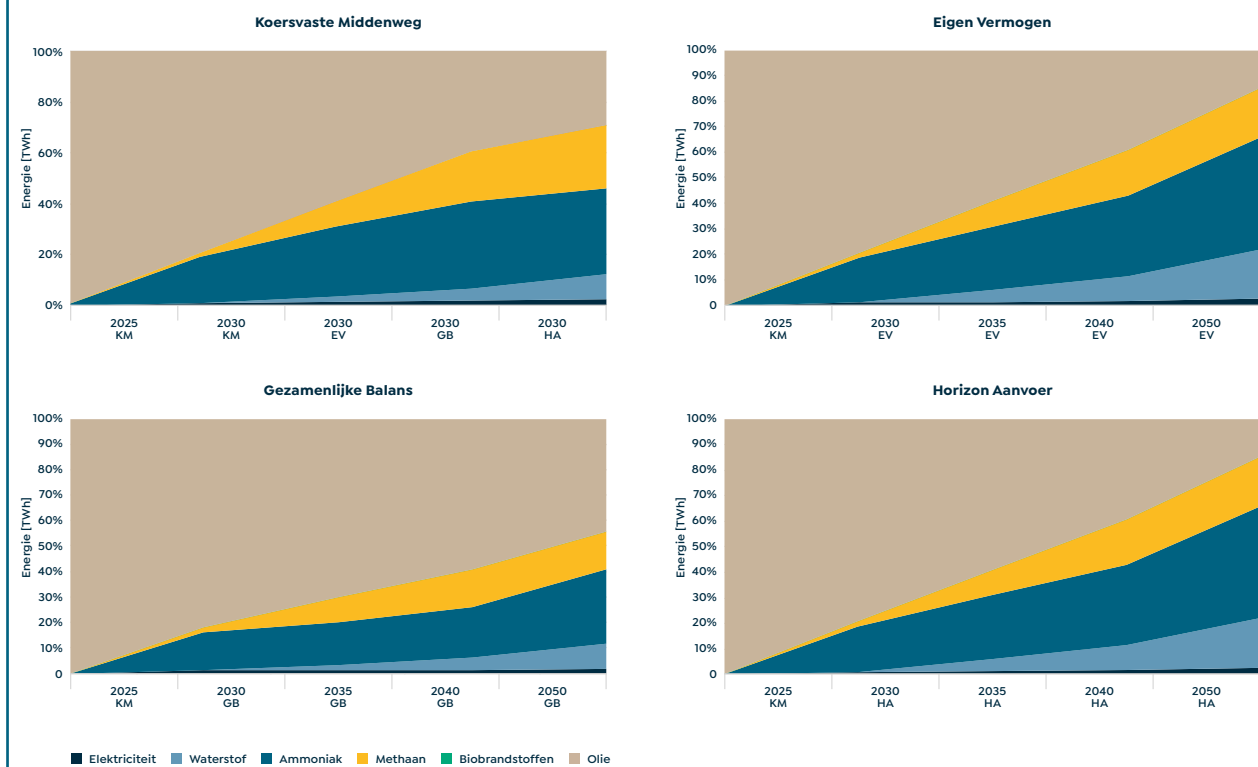
⁶² CCR (2018) [Roadmap_nl.pdf](#)

⁶³ IRENA (2021) [A pathway to decarbonise the shipping sector by 2050](#)

⁶⁴ Deloitte (2024) [Deloitte Report R4](#)

⁶⁵ Argus (2021) [MethanolvsGreenAmmoniaEbook_ammonia 03.09 Final.pdf](#)

Figuur 4.2.14 Ontwikkelpad procentuele verdeling brandstoftypes van zeeschepen per scenario.



Koersvaste Middenweg

Scenario Koersvaste Middenweg verwacht niet dat de internationale scheepvaart emissieloos is in 2050. Wel dat ammoniak en methanol, onder de noemer ammoniak, gemakkelijk en zonder al te hoge kosten op de korte termijn geïmplementeerd kunnen worden. Het verwacht ook dat in 34 procent van de brandstofvraag voorzien kan worden door ammoniak en methanol in 2050 (figuur 4.2.14). Dit scenario zet ook in om de transitie op gang te brengen.

Eigen Vermogen

Scenario Eigen Vermogen verwacht niet dat de gehele internationale vloot emissieloos is in 2050. Het scenario zet vol in op innovaties zoals aandrijvingen op waterstof, ammoniak en methanol, waarvan sommige nu nog in de kinderschoenen staan. In 2050 bestaat de brandstofverdeling voor meer dan de helft (44 procent ammoniak en 19 procent waterstof, zie figuur 4.2.14) uit duurzame brandstoffen.

Gezamenlijke Balans

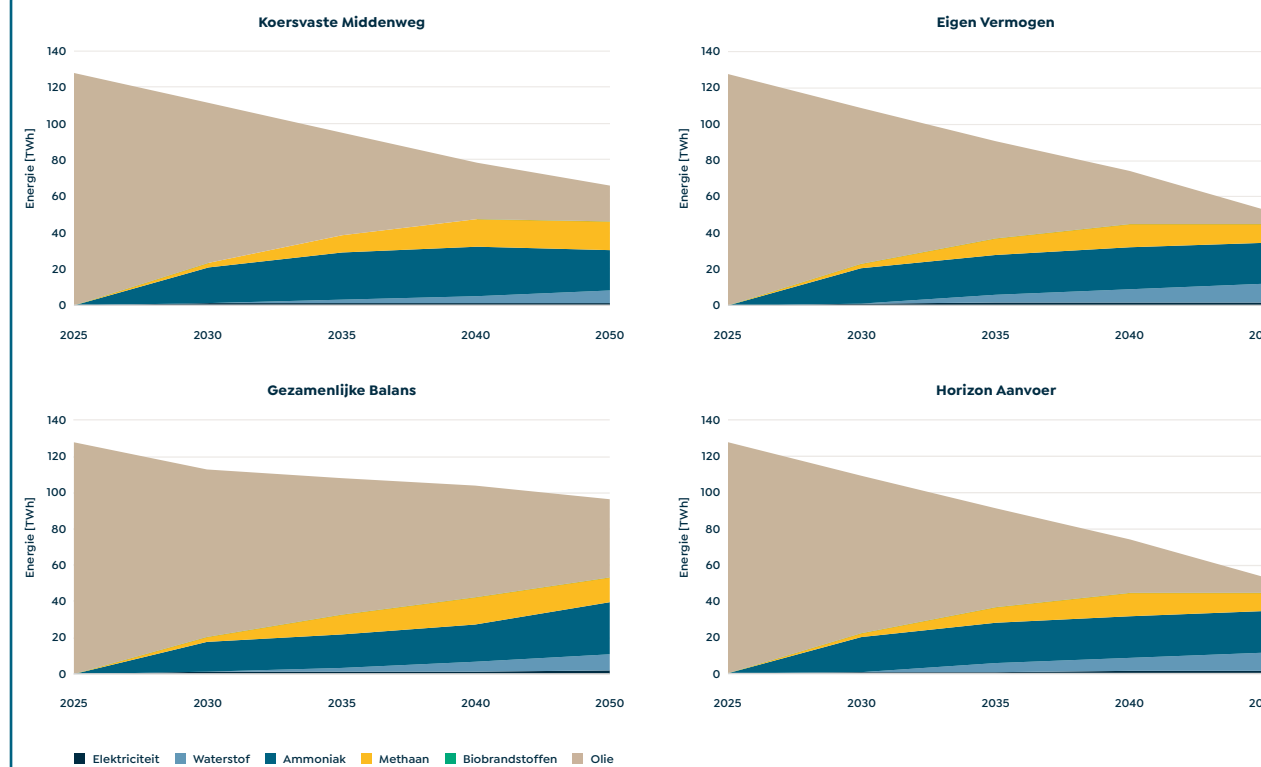
Scenario Gezamenlijke Balans verwacht dat het grootste deel van de vloot (40 procent, zie figuur 1.1.14) nog vaart op zware stookolie. Dit scenario schetst het meest gematigde transitietraject, oftewel: het is in dit scenario lastig om de innovaties bij te benen. De eerste stappen richting duurzame internationale scheepvaart worden gezet in gebruik van LNG, ammoniak en methanol.

Horizon Aanvoer

Scenario Horizon Aanvoer verwacht niet dat de gehele internationale vloot emissieloos is in 2050. Maar er wordt wel vol op ingezet op innovaties zoals waterstof, ammoniak en methanol, waarvan sommige nu nog in de kinderschoenen staan. In 2050 bestaat de brandstofverdeling voor meer dan de helft (44 procent ammoniak en 19 procent waterstof, zie figuur 4.2.14) uit duurzame brandstoffen.

Energievraag (output)

Figuur 4.2.15 Ontwikkelpad energievraag van internationale scheepvaart per scenario.



Figuur 4.2.15 toont de energievraag in de verschillende scenario's voor internationale scheepvaart. In elk scenario daalt de totale vraag naar energie, vooral door de afname van fossiele brandstoffen en de toename van ammoniak, waterstof en LNG in de brandstofmix.

4.2.5.2 Walstroom

Deze paragraaf beschrijft de elektriciteitsvraag van zeeschepen, die voor anker liggen in de havens. De elektriciteitsvraag van binnenvaart is separaat behandeld in paragraaf 4.2.4.3. Zeehavens in Europa moeten uiterlijk op 31 december 2029 ten minste 90 procent van de schepen van meer dan 5000 brutoton, voorzien van walstroom. Dat betekent een forse stijging in vermogens- en energievraag in de Nederlandse zeehavens^{66, 67, 68}. Voor walstroom is nu enkel uitgegaan van stationaire energiebehoefte van het schip en niet van het opladen van (hybride) batterij-elektrische schepen. Daarom is er geen onderscheid tussen de vier scenario's; voor elk scenario is eenzelfde energievraag voor walstroom opgenomen als elektriciteitsvraag voor de zeescheepvaart.

Kwantificatie groeiscenario en regionalisatie

De vermogensverwachting aan walstroom is berekend

op basis van de jaarlijkse kilotonnen overslag in de grootste zeehavens van Nederland, in tabel 4.2.3 *Verwachting walstroomvermogen in MW in 2030 op basis van kilotonnen overslag in havens van 2023*. En in tabel 4.2.4 *Verwachting walstroomvermogen in MW in 2050 op basis van kilotonnen overslag in havens van 2023*. Het groeipad is evenredig over de steekjaren 2030, 2035, 2040, 2050 verdeeld.

De kwantificatie is berekend op basis van de verwachting voor walstroomvermogens in de Haven van Rotterdam. Rotterdam is de basis geweest voor de andere havens in de doorrekening. De elektriciteitsvraag van bijvoorbeeld veerponten en ferry's zijn niet opgenomen in deze walstroomvraag. Dat valt namelijk buiten scope van internationale scheepvaart. Deze walstroomvraag valt binnen de scope van nationale scheepvaart, daar is het opladen van (hybride) batterij-elektrische binnenvaartschepen opgenomen als elektriciteitsvraag van nationale scheepvaart.

Tabel 4.2.3 Verwachting walstroomvermogen in MW in 2030 op basis van kilotonnen overslag in havens van 2023.

Havengebied	Overslag 2023 in kiloton	% totaal	Inschatting MW walstroom 2030 o.b.v. % overslag
Groningen Seaports	14.100	2,29	8,67
Amsterdam	63.000	10,24	38,77
Rotterdam	438.800	71,31	270
Overige zeehavens	33.500	5,44	20,60
Zeeland Seaports	65.900	10,72	40,59
Totaal	615.300	100	378,63

Tabel 4.2.4 Verwachting walstroomvermogen in MW in 2050 op basis van kilotonnen overslag in havens van 2023.

Havengebied	Overslag 2023 in kiloton	% totaal	Inschatting MW walstroom 2030 o.b.v. % overslag
Groningen Seaports	14.100	2,29	11,23
Amsterdam	63.000	10,24	50,26
Rotterdam	438.800	71,31	350
Overige zeehavens	33.500	5,44	26,7
Zeeland Seaports	65.900	10,72	52,57
Totaal	615.300	100	490,76

4.2.5.3 Internationale luchtvaart

4.2.5.3.1 Trend

De omvang van de internationale luchtvaart in Nederland kent volgens de scenario's geen groei. Dit ligt tussen het midden en lage pad, beschreven in Klimaatneutrale Luchtvaart 2050⁶⁹ waar het aantal vluchten in 2050 weer rond het niveau van 2019 ligt. De ontwikkeling van de energievraag in de internationale luchtvaart wordt daarmee gedreven door technologische verandering en groei van efficiëntie.

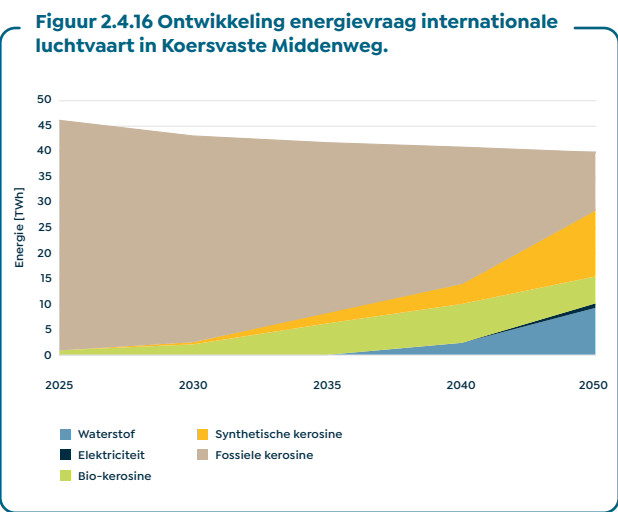
Het grootste deel van verduurzaming van de internationale luchtvaart vindt plaats door bijmenging of vervanging van fossiele kerosine voor een duurzame luchtvaartbrandstoffen, Sustainable Aviation Fuels (SAF). Op basis van een Europese verordening ReFuelEU Luchtvaart⁷⁰, is er voor de kerosine een bijmengplicht voor SAF's. Dit percentage loopt op van 2 procent vanaf 1 januari 2025, tot 70 procent in 2050. Biokerosine, synthetische kerosine en waterstof worden als SAF onder deze verordening beschouwd, elektriciteit niet. Voor synthetische kerosine geldt een aparte bijmengverplichting.

De ontwikkeling van de technologie van de luchtvaart maakt volgens de scenario's een heel langzame groei door van waterstof en elektriciteit. Deze keuzes zijn sterk gebaseerd op een onderzoek⁷¹ van Arcadis, gemaakt voor het ministerie van Infrastructuur. Aangenomen is dat tot en met 2035 verduurzaming enkel plaatsvindt met bijmenging van bio- en synthetische kerosine. Vanaf 2040 wordt ca. 5-10 procent van de kilometers op waterstof gevlogen, en in scenario's Eigen Vermogen, Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer ook ca. 1 procent elektrisch.

In 2050 maakt in alle scenario's waterstof 20 procent en elektriciteit 2 procent uit van de energiemix.

Elektrisch vliegen is nog in ontwikkeling, maar voor regionale vluchten van ca. 150–800 kilometer kunnen elektrische vliegtuigen op termijn een kansrijk alternatief zijn. Bovendien zijn deze vliegtuigen energie-efficiënter per personenvervoerskilometer dan elektrisch rijden met een personenauto⁷².

De ontwikkeling van de energievraag van de internationale luchtvaart is weergegeven in figuur 2.4.16. De totale energie-vraag daalt tot ca. 40 TWh, voornamelijk als gevolg van efficiëntere vliegtuigen. In totaal wordt ca. 30 TWh kerosine gebruikt, waarvan fossiel, bio en synthetisch respectievelijk 11, 5 en 13 TWh.



⁶⁶ PBL2024, Klimaatneutrale Zeescheepvaart 2050, [Klimaatneutrale zeescheepvaart in 2050](#)

⁶⁷ RHDHV2024, Walstroom inventarisatie 2024, [open.overheid.nl/documenten/dadddbb1-1c18-4ebf-9fde-6a5d58cbadfe/file](#)

⁶⁸ Elaad2023, Quickscan Walstroom, [elaad.nl/wp-content/uploads/downloads/ElaadNL_Quickscan_Walstroom_2023_def.pdf](#)

⁶⁹ PBL/TNO 2024, Klimaatneutrale Luchtvaart 2050, pg. 45, [www.pbl.nl/system/files/document/2024-03/pbl-2024-klimaatneutrale-luchtvaart-in-2050-5227.pdf](#)

⁷⁰ RefuelEU Luchtvaart – januari 2024 – [www.emissieautoriteit.nl/binaries/nederlandse-emissieautoriteit/documenten/brief/2024/01/22/verordening-eu-2023-2405---18.10.2023/OJ_L_202302405_NL_TXT.pdf](#)

⁷¹ Arcadis 2024 – Onderzoek infrastructuur duurzame energiedragers luchtvaart Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat 13 februari 2024 – [www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2024DI2142](#)

⁷² E-laad – quickscan elektrische luchtvaart – september 2023 – [elaad.nl/wp-content/uploads/downloads/ElaadNL_Quickscan_Luchtvaart_def.pdf](#)

4.2.6 Brandstofmix

Een deel van de voertuigen maakt nu en in de toekomst gebruik van op olie-gebaseerde brandstoffen, zoals benzine en diesel(-varianten). Deze brandstoffen zijn nu grotendeels fossiel, maar bestaan op weg naar de toekomst voor een steeds groter deel uit alternatieve brandstoffen, zoals bio- of synthetische brandstoffen. Deze paragraaf beschrijft het aandeel alternatieve vloeibare brandstoffen in het totaal aanbod van vloeibare brandstoffen.

4.2.6.1 RED-III en alternatieve brandstoffen

Belangrijke drijfveer voor de groei van alternatieve brandstoffen is de Europese richtlijn Renewable Energy Directive III (RED-III). Voor de sector vervoer houdt de RED-III in dat het aandeel hernieuwbare energie moet worden verhoogd van 14 procent naar 29 procent. Een lidstaat kan ook kiezen voor een CO₂-ketenemissiereductie van 14,5 procent in 2030. Nieuw ten opzichte van de vorige RED is, dat een reductie moet worden behaald over de gehele transportbrandstoffenplas, dus ook over de lucht- en zeevaartbrandstoffen.

De RED-III vraagt van lidstaten dat in 2030 minstens 2,75 procent van de energie wordt gerealiseerd door geavanceerde (Annex IXa-lijst) brandstoffen, of hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong, RFNBO's. Daarvan moet minstens 0,5 procentpunt worden gerealiseerd uit RFNBO's.

4.2.6.2 Implementatie RED-III in Nederland

De implementatie in Nederland wordt gerealiseerd door sturing op ketenemissiereducties. Die worden gekwantificeerd met emissiereductie-eenheden, ERE'n, waarbij één ERE staat voor één kilo bespaarde ketenemissies.⁷³

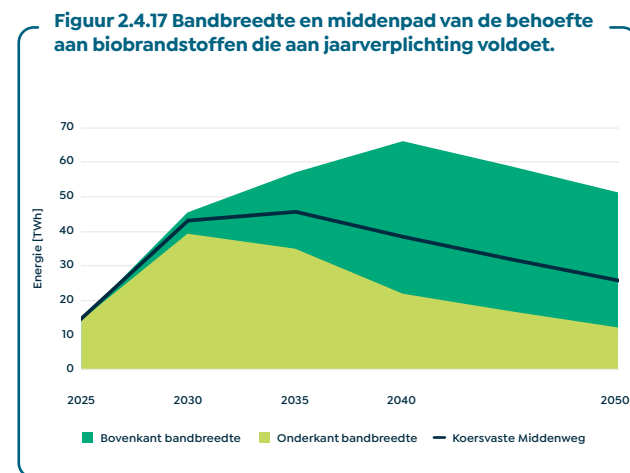
Brandstofleveranciers zijn verplicht om aan verschillende reductiedoelen te voldoen voor de energie die zij leveren aan de vier sectoren: (i) land (weg, mobiele- en landbouwmachines, pleziervaart), (ii) binnenvaart, (iii) zeevaart en (iv) luchtvaart. Niet alle sectoren krijgen hierbij een even hoog reductiedoel. De sector land krijgt een hogere verplichting (22,5 procent in 2030) om zo ook de nationale klimaatdoelen te kunnen halen. De sector luchtvaart kan geen hogere verplichting krijgen dan gesteld in de ReFuel-EU-verordening.

Elektrificatie van voertuigen, vaartuigen en luchtvaartuigen kan credits genereren. Deze kunnen, ook door particulieren en kleine ondernemingen, aan brandstofleveranciers worden verkocht.

Het gebruik van hernieuwbare waterstof in raffinageprocessen om transportbrandstoffen te produceren, telt mee bij de subdoelen voor RFNBO's in de sectoren land, binnenvaart en luchtvaart. Mede als extra stimulans om elektrolysecapaciteit in Nederland op te schalen.

4.2.6.3 Kwantitatieve implementatie scenario's

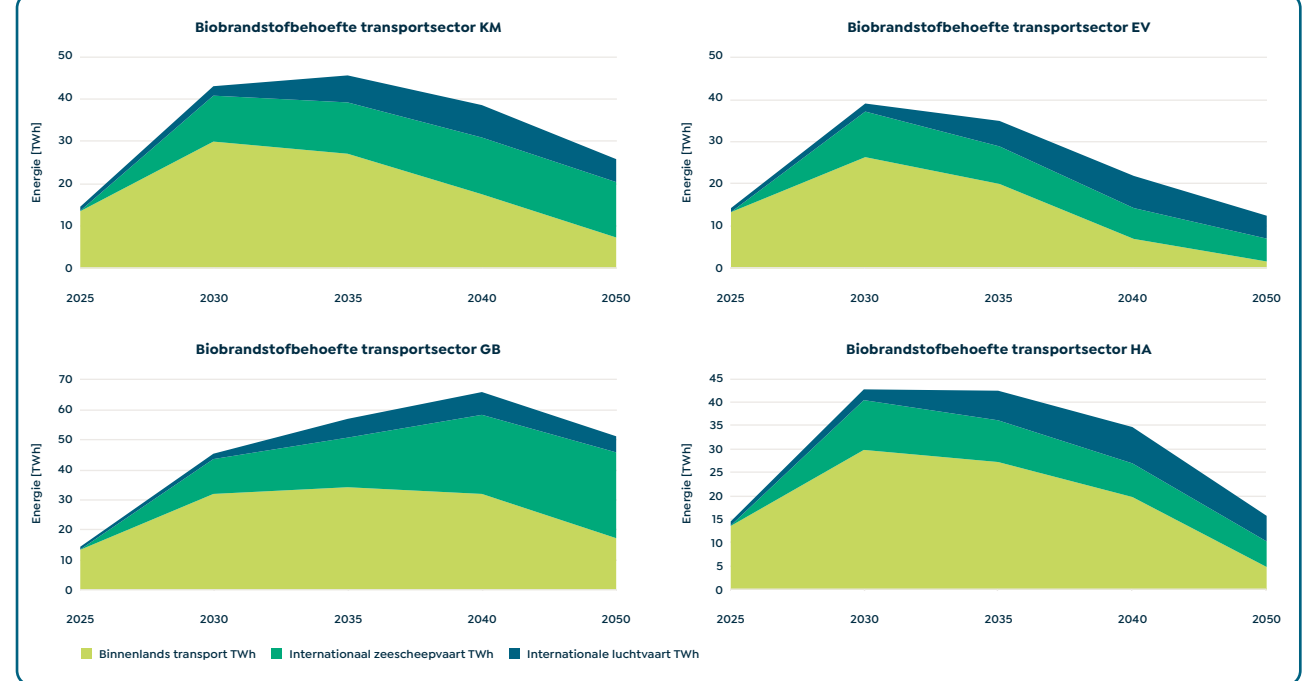
In de scenario's is eerst voor de diverse modaliteiten bepaald welk deel van een alternatieve aandrijfwijze gebruik maakt (bv. elektrisch, waterstof), en welk deel op olie-gebaseerde brandstoffen. Vervolgens wordt het aandeel biobrandstoffen bepaald aan de hand van het voorkeursscenario van de studie naar Jaarverplichting Energie Vervoer⁷⁴, die nodig is om aan de RED-III verplichting te voldoen. De bijbehorende biobrandstofbehoefte voor de transportsector is weergegeven in figuur 4.2.17.



Het ontwikkelpad laat een sterke groei zien in de behoefte van biobrandstoffen tussen 2025 en 2030, die daarna afvlakt richting 2035/2040. In 2030 is er voor de hele transportsector een behoefte tussen de 40-45 TWh. Afhankelijk van het scenario ligt de piek in deze behoefte tussen 2030 en 2040. De groei neemt daarna af, naarmate elektrificatie – en voor sommige vervoerswijzes – ammoniak, waterstof en synthetische brandstoffen als gebruikte energiedrager groeien. In 2040 is de bandbreedte 12-66 TWh, en in 2050 is er nog 12-50 TWh nodig.

In figuur 4.2.18 is de behoefte aan biobrandstoffen uitgesplitst tussen binnenlands transport, en internationale lucht en scheepvaart. In de periode tot 2035 wordt het grootste deel van biobrandstoffen ingezet in de binnenlandse transportsector. De inzet in de internationale transportsector komt wat later op gang en groeit langer door, maar neemt uiteindelijk in de meeste scenario's ook weer af.

Figuur 4.2.18 Biobrandstofbehoefte transportsector uitgesplitst in binnenlands transport en internationale lucht- en scheepvaart.



Er is een sterke samenhang tussen de inzet van biobrandstoffen en snelheid van de elektrificatiepaden. Wanneer elektrificatie sneller gaat, is er relatief minder biobrandstof nodig om aan regulering te voldoen. Hierdoor kent het scenario Eigen Vermogen veruit de laagste inzet van biobrandstoffen, terwijl scenario Gezamenlijke Balans in alle jaren de hoogste inzet heeft.

De binnenlandse transportsector heeft de grootste inzet van biobrandstoffen in het wegvervoer zijn. Het lijkt aannemelijk dat de meeste inzet plaatsvindt via biodiesel in vrachtvervoer, waar de bestaande motoren vaak al geschikt zijn voor brandstoffen die grotendeels of volledig van biologische oorsprong zijn.⁷⁵ Voor hogere bijmenging in benzineauto's zijn in de meeste gevallen aanpassingen noodzakelijk. Dit voert echter buiten de scope van deze studie. Daarom wordt de aangenomen totale behoefte aan biobrandstoffen gelijkmatig verdeeld.

4.2.7 Regionalisering

Voor de mobiliteitsscenario's zijn de ElaadNL Outlooks gebruikt. Sinds 2024 is afgesproken dat ElaadNL bij de totstandkoming van alle Outlooks samenwerkt met de Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL), de Rijksoverheid, provincies, gemeenten en netbeheerders. Daarmee fungeren de Outlooks als gezamenlijke NAL-prognoses. ElaadNL streeft ernaar de scenario's voor elke vervoersmodaliteit minstens elke twee jaar te updaten.

Voor het regionaliseren van de landelijke mobiliteitsprognoses

maakt deze verkenning gebruik van de laadlocatiemodellen uit diverse ElaadNL Outlooks. Met behulp van deze laadlocatiemodellen wordt per type locatie de laadbehoefte in kaart gebracht van verschillende modaliteiten, personenauto's, bestelauto's, trucks, OV-bussen, binnenvaart en mobiele werktuigen.

Het model berekent het benodigde aantal laadpunten per CBS-buurt (ruime 14.000 verschillende CBS-buurt anno 2025) op basis van de verwachte laadbehoefte van elektrische voertuigen en de ruimtelijke kenmerken van een buurt. Het houdt daarbij rekening met:

- het potentieel aantal elektrische voertuigen/ werktuigen met laadbehoefte per jaar en per scenario;
- de beschikbaarheid van fysieke ruimte voor het realiseren van laadinfrastructuur.

De resultaten van de laadlocatiemodellen worden uitgedrukt in de volgende parameters:

- Het aantal laadpalen dat nodig is om aan de verwachte laadvraag te voldoen.
- Elektriciteitsvraag: de benodigde volume aan elektriciteitsvraag om de laadpunten te voorzien van stroom.
- Laadvermogen: het vermogen van de laadpunten, afgestemd op de behoeften van verschillende modaliteiten en laadsnelheden.

De regionalisering van de landelijke prognoses gebeurt op basis van het aantal benodigde laadpunten per CBS-buurt.

⁷³ Rijksoverheid 2024, Kamerbrief over voortgang implementatie RED-III vervoer, 26-4-2024, open.overheid.nl/documenten/dpc-a827f2d98f081c56c97f99b5a97217af26bae602/pdf

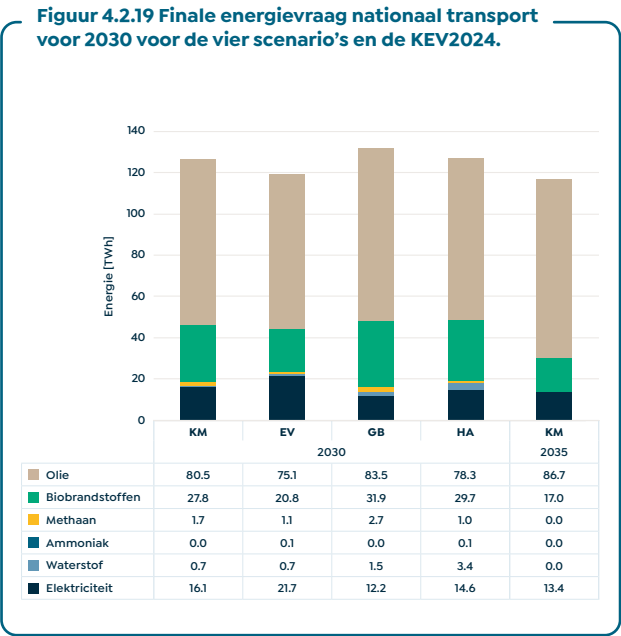
⁷⁴ Guidehouse 2023, Kwalitatieve impact analyse Jaarverplichting Energie Vervoer 2025-2030, 22-12-2023, open.overheid.nl/documenten/dpc-c4a7af2de90b1bec0ceba6eaacd89d6b40cc3c87/pdf

⁷⁵ PBL 2024, Klimaatneutraal wegverkeer in 2050 – Een verkenning van beelden en paden daar naartoe.

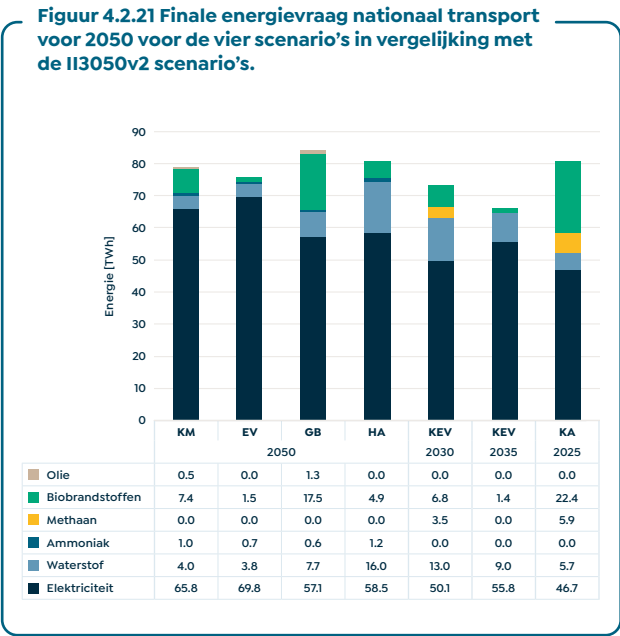
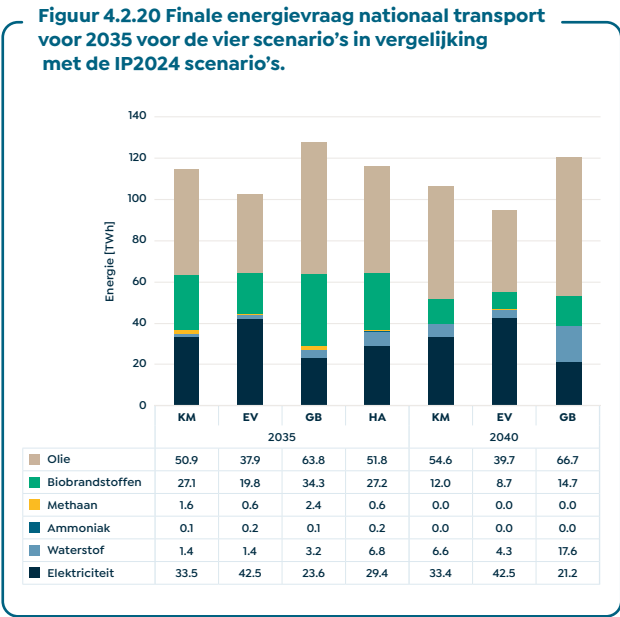
4.2.8 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024, en NPE

Deze paragraaf gaat in op een vergelijking op enkele relevante factoren met de KEV2024, het NPE, en de vorige netbeheerdersscenario's voor het IP2024 en de II3050v2.

Figuur 4.2.19 toont dat de totale energievraag van nationaal transport in de scenario's iets hoger ligt dan de verwachtingswaarde van de KEV2024. Het grootste verschil in de modaliteit bestelauto's, waar de scenario's in dit rapport uitgaan van 19-21 TWh, is dat in de KEV2024 ca. 13 TWh. Qua invulling van de energievraag is in de meeste scenario's de hoeveelheid en aandeel elektriciteit en biobrandstoffen hoger, alleen in scenario Gezamenlijke Balans is de elektriciteitsvraag iets lager. In de KEV2024 worden in 2030 verhoudingsgewijs nog meer (fossiele) oliebrandstoffen gebruikt, en is er daarnaast geen rol voor waterstof, methaan en ammoniak opgenomen.



Figuur 4.2.20 vergelijkt de energievraag voor het jaar 2035 van de nieuwe scenario's met die van het IP2024. De totale energievraag in de nieuwe scenario's heeft een vergelijkbare bandbreedte maar ligt in totaliteit iets hoger. De rol van elektrificatie is iets zekerder geworden, de onderkant van de bandbreedte van elektriciteitsvraag ligt 11% hoger, de bovenkant van de bandbreedte is hetzelfde gebleven. Er is een minder grote rol voor waterstof weggelegd in de nieuwe scenario's, en juist een grotere rol voor biobrandstoffen.



In figuur 4.2.21 wordt een vergelijking gemaakt met de II3050v2 scenario's voor het jaar 2050. De nieuwe scenario's laten een smallere bandbreedte zien voor de totale energievraag, een grotere rol voor elektriciteit en de maximale bandbreedte van de waterstofvraag is ongeveer gehalveerd, van 34,6 naar 16 TWh. Voornamelijk door de aanname dat elektrificatie het eindbeeld is voor de modaliteiten personenauto's, OV-bussen en bestelbusjes.

4.2.8.1 Vergelijking Nationaal Plan energiesysteem

In tabel 4.2.5 wordt per modaliteit een vergelijk gemaakt tussen de scenario's en het Nationaal Plan Energiesysteem betreffende het beeld van de energiemix voor de mobiliteitssector in 2050.

Tabel 4.2.5 Vergelijking van het beeld van de energiemix tussen de scenario's en het Nationaal Plan Energiesysteem.		
Modaliteit	Nationaal Plan Energiesysteem	Scenario's
Personenauto's	Stuurt aan op 100% elektrificatie in 2050.	Alle scenario's gaan uit van 100% elektrificatie in 2050.
Openbaar Vervoer (trein, bus, tram, metro)	Primaire route is elektrificatie, kleine rol voor waterstof met ca. 7%. Wordt als relevant alternatief gezien in scenario's met hoge demografische en economische groei.	Primaire route is elektrificatie met een kleinere rol voor waterstof (<1%), vanwege efficiëntievoordelen.
Bestelauto's	Primaire route is elektrificatie, maar ook nog relevante rol voor biobrandstoffen met 25%.	Drie scenario's gaan uit van 100% elektrificatie van bestelvervoer, vanwege efficiëntievoordelen. In Gezamenlijke Balans rijdt ca. 10% op biobrandstoffen.
Zwaar wegtransport	55% elektrificatie, overige deel evenredig verdeeld over waterstof, biobrandstoffen en e-fuels.	Mate van elektrificatie varieert van 42-90%. Met 75% in Koersvaste Middenweg. NPE ligt qua eindbeeld tussen de scenario's Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans in.
Mobiele werktuigen	100% elektrisch	100% elektrisch
Binnenvaart	Mix van energiedragers redelijk gelijk verdeeld over elektriciteit, waterstof, biobrandstoffen en e-fuels.	Varieert tussen de scenario's. Ten opzichte van NPE over het algemeen een grotere rol voor waterstof en kleinere rol voor elektriciteit (m.u.v. scenario Eigen Vermogen). Naast methanol ook een rol voor ammoniak.
Zeevaart	Uitgangspunt gelijkblijvend bunkervolume. Verdeling energiedragers ca. 2/3 biobrandstof, 1/3 e-fuels en een klein aandeel elektrisch (walstroom voor in- en uitvaren van de haven en schepen aan de kade).	Gaan uit van afnemend bunkervolume als gevolg van verplaatsingseffecten door lagere energiedichtheid van alternatieve brandstoffen. Gaan uit van een resterend deel op stookolie (10-40%). Verder gelijk verdeelde ingroei van bio- en synthetische brandstoffen (waaronder naast methanol ook een rol voor ammoniak). Walstroom voor schepen aan de kade.
Luchtvaart	Ca. 60% bio-kerosine, 25% e-kerosine, 15% waterstof.	Gaan uit van nog ca. 30% fossiele kerosine. Grotere rol voor synthetische kerosine, en minder bio-kerosine, aandeel waterstof is vergelijkbaar. Scenario's nemen ook een beperkt deel (2%) elektrisch vliegen mee.

4.3 Industrie

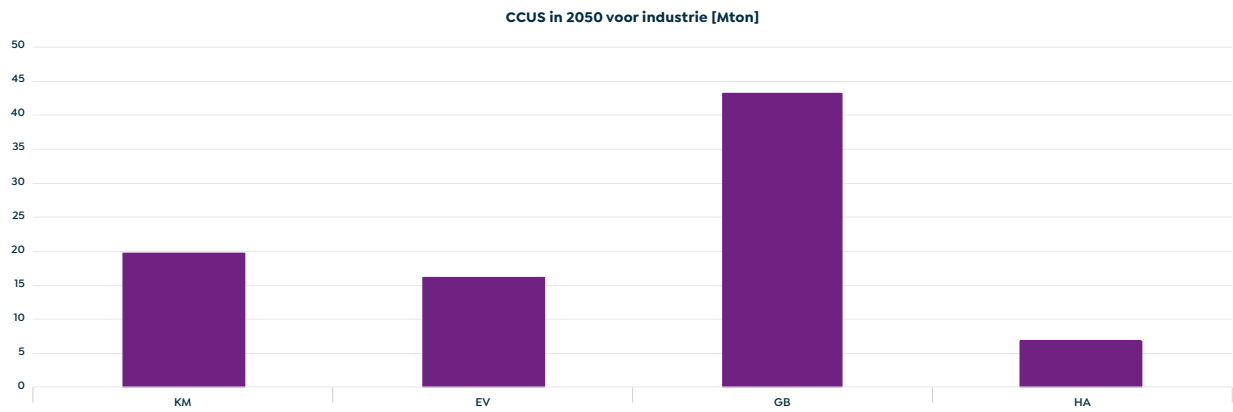
4.3.1 Samenvatting

De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 voor de industrie zijn opgebouwd vanuit bekende sectorplannen en prognoses. Vanuit de wereldbeelden van vier scenario's is een uitvraag gedaan naar plannen van de partijen binnen de vijf grote industriële clusters en delen van cluster 6. Deze data-uitvraag was onderdeel van de Cluster Energie Strategieën (CES) en is een belangrijke basis voor de kwantificering van de scenario's. Als aanvulling op deze data hebben de regionale netbeheerders data aangeleverd over de toekomstige energievraag van bedrijven en sectoren die niet binnen de CES vallen. Voor overige industrie zijn aanvullende schattingen gemaakt, de zogenaamde cluster completion. Zo ontstaat een zo volledig mogelijk beeld van zowel de vijf grote clusters als van cluster 6. De bundeling van deze data geeft een zo volledig mogelijk en kwantitatief beeld van de toekomst van de industrie in verschillende scenario's. Deze vorm van data-uitvraag is een significante verbetering van het scenarioproces ten opzichte van de voorgaande scenario-ontwikkeling voor de investeringsplannen en verkenningen.

Gedurende het scenarioproces hebben vertegenwoordigers van de industrie feedback gegeven op de scenario's. Dit heeft geleid tot een divers aanbod van energiedragers en grondstofverbruik in verschillende scenario's. Figuur 4.3.1 schetst de variatie in energiedragers per scenario in 2050. Naast een andere mix aan energiedragers is afvang, opslag en gebruik van CO₂ (CCUS) een belangrijke verduurzamingsroute voor de industrie. Figuur 4.3.1 toont ook de toepassing van CCUS over de verschillende scenario's.

Dit hoofdstuk gaat eerst in meer detail in op de scenario-verhaallijnen voor de industrie in Nederland. Het beschrijft vervolgens de methodiek voor de kwantificering, en gaat daarbij ook in op het gebruik van sectorale documenten. Daarna presenteert dit hoofdstuk de nationale kwantificering, met een uitsplitsing naar de energievraag van de grootste sectoren binnen de industrie. Daarin wordt een verdeling van energiedragers per scenario beschreven. Als laatste vergelijkt dit hoofdstuk de uitkomsten van deze Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met voorgaande scenariostudies, de KEV2024 en het NPE. Mogelijke verschillen tussen deze scenario's publicaties worden beschreven en verklaard.

Figuur 4.3.1 Kernparameters van de industrie kwantificering.



4.3.2 Verhaallijn en trends in de sector

Door de verschillende trends ontwikkelen de verduurzamingsroutes en omvang van de individuele industrie sectoren zich elk in een andere richting. Dit levert onzekerheid op richting de toekomst.

Onderstaande tabel geeft de belangrijkste trends en ontwikkelingen weer om invulling te geven aan deze onzekerheid. Voor een meer uitgebreide beschrijving van de scenario verhaallijnen wordt verwezen naar hoofdstuk 2.

Tabel 4.3.1 Overzicht van belangrijkste trends voor de industrie per scenario.

Scenario	Samenvatting belangrijkste trends
Koersvaste Middenweg	De nationale overheid maakt structurerende keuzes in het belang van de energietransitie. Er is mogelijkheid om fossiele brandstoffen te blijven gebruiken, zolang de CO ₂ -emissies gecompenseerd worden. De belangrijkste industrie sectoren worden ondersteund met overheidsbeleid, terwijl nieuwe industrie ook de ruimte krijgt vanuit de overheid. Maatschappij, arbeidsmarkt, innovatiekracht en wetgeving blijven dicht bij de wereld van nu. Er wordt een balans gezocht tussen de energietransitie en andere belangen die om dezelfde schaarse middelen vragen, zoals geld en ruimte. Hierbij wordt gestreefd naar een relatief groot energieaanbod, vanuit diverse energiebronnen. Grootchalige energieprojecten kunnen daarbij ontwikkeld worden.
Eigen Vermogen	Nederland zet met strategische partners energieketens en grondstofketens op en beschermt slechts de belangrijkste huidige industrie sectoren. Nieuwe industrie wordt ondersteund in zijn ontwikkeling. De nationale overheid is bereid stevige keuzes te maken en grootschalige projecten te realiseren of mogelijk te maken. De Nederlandse samenleving wordt steeds meer individualistisch; bij onzekerheid kiezen burgers en bedrijven meer voor het eigen belang en blijven consumeren zoals dat ook nu gebruikelijk is. Er is draagvlak voor de energietransitie vanuit de samenleving, maar met name om onafhankelijk te zijn binnen (noordwest) Europese context. De consequenties qua impact op de leefomgeving zijn we bereid te accepteren.
Gezamenlijke Balans	De overheid probeert alle belangen af te wegen in een relatief instabiele wereld, terwijl we zonder grote maatschappelijke verandering richting 2050 gaan. Bij het ontwikkelen van projecten voor de energievoorziening wordt gezocht naar een afweging tussen meerdere belangen waardoor grootschalige projecten met mate doorgang vinden. Er wordt nadrukkelijk gekeken naar pragmatische routes voor verduurzaming, via gas en groen gas, blauwe waterstof en biomassaproductie. In 2050 vinden we het nog acceptabel als er fossiele brandstoffen gebruikt worden, mits emissies elders gecompenseerd worden.
Horizon Aanvoer	De internationale verhoudingen komen in rustiger vaarwater in de loop naar 2050. De internationale handel groeit. De overheid laat andere belangen voor gaan op de energietransitie en maakt geen centrale keuzes. Inzet op import van hernieuwbare energie(dragers) en halffabricaten is daarom een belangrijke route om klimaatneutraal te worden. Het blijkt vanwege impact op de leefomgeving, vergunningprocedures en het afzwakkende draagvlak lastiger om grootschalige projecten te ontwikkelen.

Ingegeven door bovenstaande trends en bijbehorende beschikbaarheid en prijsniveaus⁷⁶ van energiedragers, variëren de transitiepaden om de energievraag te verduurzamen per industriële sector. De uitkomsten hiervan staan op hoofdlijnen beschreven in tabel 4.3.2, verderop in dit hoofdstuk zijn ze in meer detail uitgewerkt.

⁷⁶ Zie hoofdstuk 3 voor meer informatie over de veronderstelde prijsontwikkelingen.

Tabel 4.3.2 Overzicht van transitiepaden op hoofdlijnen per sector en scenario.

Sector	Scenario	Overzicht resulterend transitiepad op hoofdlijnen per sector
Papier	KM	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas en H ₂ .
	EV	Scenario met meeste elektrificatie.
	GB	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas.
	HA	Hybride elektrificatie i.c.m. H ₂ .
Voedsel	KM	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas en H ₂ .
	EV	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas en H ₂ .
	GB	Hybride elektrificatie i.c.m. groen gas.
	HA	Hybride elektrificatie i.c.m. H ₂ .
Raffi- naderijen	KM	Krimp productievolume tot 30% van omvang in referentiejaar 2021. Verduurzaming via mix van opties.
	EV	Lichte krimp productievolume tot 60% van omvang in het referentiejaar 2021. Verduurzaming via elektrificatie.
	GB	Lichte krimp productievolume tot 60% van omvang in referentiejaar 2021. Verduurzaming primair via CCS.
	HA	Sterke krimp productievolume tot 15% van omvang in referentiejaar 2021. Verduurzaming met elektriciteit en H ₂ .
Chemie	KM	Verduurzaming via hybride elektrificatie met waterstof en groen gas.
	EV	Verduurzaming via elektrificatie in combinatie met waterstof.
	GB	Verduurzaming via hybride elektrificatie met waterstof en groen gas.
	HA	Verduurzaming via hybride elektrificatie met waterstof.
Metaal	KM	Hybride verduurzaming: elektrificatie, H ₂ en (groen) gas met CCS.
	EV	Hoofdzakelijk elektrificatie, in combinatie met H ₂ .
	GB	Combinatie (groen) gas met CCS en elektrificatie.
	HA	Combinatie H ₂ en elektrificatie.
Aluminium	KM	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met H ₂ en elektriciteit.
	EV	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met H ₂ en elektriciteit.
	GB	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met groen gas en elektriciteit.
	HA	Sterke krimp, resterende energievraag ingevuld met H ₂ en elektriciteit.
Staal	KM	DRI: elektrificatie en H ₂ (via aardgas), met kleinere rol voor biogrondstoffen en (groen) gas en tijdelijk CCS.
	EV	DRI: elektrificatie en H ₂ (via aardgas), met kleinere rol voor biomassa, (groen) gas en tijdelijk CCS.
	GB	DRI: elektrificatie en grote rol voor aardgas met CCS (ook in 2050), kleinere rol voor H ₂ en groen gas.
	HA	DRI: elektrificatie en snelste omschakeling naar H ₂ , geen CCS, met kleinere rol voor biomassa en groen gas.
Overig	KM	Hoofdzakelijk elektrificatie, met kleine rol voor H ₂ .
	EV	Hoofdzakelijk elektrificatie, met kleine rol voor H ₂ en (groen) gas met CCS.
	GB	Hybride elektrificatie en (groen) gas met CCS.
	HA	Hybride elektrificatie en H ₂ .

4.3.3 Methode en gebruik van sectorale data

De kwantificatie van de industrie is zoveel mogelijk gebaseerd op informatie van de industrie zelf. Relevante informatie is via verschillende wegen door de netbeheerders verkregen:

- 1. Informatie uit Cluster Energie Strategie (CES) 3.0.
- 2. Klantinformatie van regionale netbeheerders.
- 3. Voor de overige industrie waarvoor geen informatie is verkregen, hebben de netbeheerders zelf sectorspecifieke inschattingen gemaakt van de verduurzamingsroutes.

4.3.3.1 Cluster energie strategie 3.0

De netbeheerders hebben data verkregen van de data-uitvraag voor de Cluster Energie Strategie (CES) 3.0⁷⁷. Voor cluster Rotterdam-Moerdijk is deze data verzameld en vastgelegd in het Data Safe House (DSH)⁷⁸. Voor de overige clusters (Noord Nederland, Noordzeekanaalgebied, Zeeland, Chemelot en cluster 6⁷⁹) is daarom gewerkt met een uniform dataformat⁸⁰, omdat het Data Safe House niet tijdig operationeel was. Hiermee hebben de netbeheerders inzicht verkregen in de verduurzamingsplannen van de industrie in de verschillende clusters. Voor de grootste bedrijven zijn daarnaast ook voor de langere termijn (2040 en 2050) verschillende transitiepaden verstrekt aan de hand van scenario verhaallijnen. Hiervoor zijn in beginsel de scenarioverhaallijnen uit II3050-editie 2 (II3050v2) gebruikt⁸¹.

De verhaallijnen van de nieuwe scenario's zijn voor de industrie goed vergelijkbaar met de verhaallijnen die in de CES data-uitvraag zijn gebruikt. De energiebalansen, door de industriepartijen opgegeven, zijn gebruikt in de kwantificering van de nieuwe scenario's. Waarbij het meest

gelijkende scenario uit de CES is gebruikt:

- Het scenario Koersvaste Middenweg volgt de eigen visie van de bedrijven.
- Het scenario Eigen Vermogen volgt de energiebalans zoals opgegeven voor het scenario Nationaal Leiderschap (II3050v2, maximale elektrificatie).
- Het scenario Gemeenschappelijke Balans gebruikt de energiebalans van het scenario Europese Integratie (II3050v2, focus op groen gas en afvang van CO₂).
- Het scenario Horizon Aanvoer gebruikt de opgave voor het scenario Internationale Handel (II3050v2, veel import van waterstof).

Voor bepaalde sites is afgewezen van deze standaard werkwijze. Bijvoorbeeld als een bedrijf geen eigen visie had opgegeven, is het meest gemiddelde scenario gebruikt. Soms was niet in het scenario Nationaal Leiderschap (II3050v2) de hoogste elektriciteitsvraag voorzien, maar in één van de andere scenario's. In deze gevallen volgt het scenario Eigen Vermogen de energiebalans met de hoogste elektriciteitsvraag.

De data uit het Data Safe House en de ontvangen dataformats zijn zoveel mogelijk 'as is' overgenomen in de nieuwe scenario's. Hierbij zijn ontbrekende data, bijvoorbeeld voor non-energetisch grondstoffengebruik, door de netbeheerders zelf aangevuld. Daarnaast is voor de oliaffinaderijen aanvullende krimp aangenomen, om het beeld van de energievraag beter te laten aansluiten bij de nieuwe scenario verhaallijnen. Deze aannames zijn ook afgestemd met vertegenwoordigers vanuit de industrie tijdens de verschillende dialoogsessies.

⁷⁷ www.verduurzamingindustrie.nl/actueel/nieuws/2885697.aspx

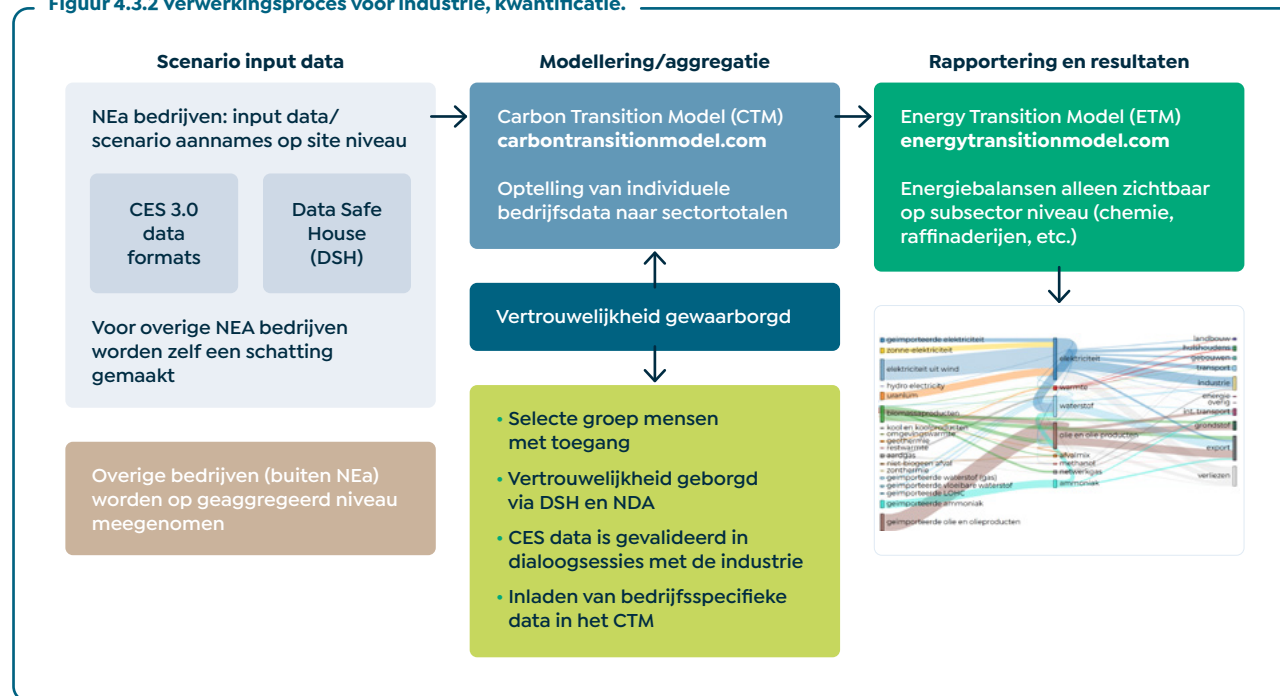
⁷⁸ datasafehouse.org

⁷⁹ Cluster 6 betreft alle industrie die zich niet in één van de vijf grote Nederlandse industrieclusters bevindt.

⁸⁰ www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/05/17/cluster-energie-strategieen-uitvraagmethodiek

⁸¹ www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/04/06/het-energiesysteem-van-de-toekomst-de-ii3050-scenarios

Figuur 4.3.2 Verwerkingsproces voor industrie, kwantificatie.



CES-informatie is op het niveau van de netaansluitingen beschikbaar gesteld aan de netbeheerders. Deze bedrijfsspecifieke en vertrouwelijk informatie is verder verwerkt door een selecte groep mensen die hiervoor via Non-Disclosure Agreements (NDA) en door de landelijke databoard (DSH) geautoriseerd waren. Data op aansluitingsniveau is ingevoerd in het Carbon Transition Model (CTM)⁸², waarin het is geaggregeerd tot op sectorniveau (chemie, raffinage, papier, voedsel, etc.). De tot op sectorniveau geaggregeerde cijfers zijn vervolgens in het Energy Transition Model (ETM)⁸³ ingevoerd. Hierbij is vertrouwelijke bedrijfsspecifieke informatie niet langer zichtbaar.

Deelnemende bedrijven:

- Cluster Rotterdam-Moerdijk:** Air Products, ADM, Air Liquide, Alco Energy, BP, Cabot, Cargill, Ducor, ExxonMobil, Gunvor, Huntsman, Hutchinson Ports, Koole, Lanxess, LyondellBasell, Nobian, Shin-Etsu, Tronox, VPR Energy, Westlake.
- Cluster Zeeland:** Air Liquide, Cargill, Sabic, Lamb Weston, Dow Benelux, Synthomer, Yara Sluiskil, Zeeland Refinery.
- Cluster Chemelot:** OCI, Sabic, USG (data ontvangen

geaggregeerd op clusterniveau).

- Cluster Noordzeekanaalgebied:** Bunge, Cargill, Crown Van Gelder, Tata Steel, Tate & Lyle.
- Cluster Noord-Nederland:** Nobian, OCI Methanol, ESD-SIC, Getec park, PPG Industries.
- Cluster 6:** Ardagh Glass, AVEBE, FrieslandCampina, Nedmag, Nobian, Nyrtar, O-I, Rockwool.

4.3.3.2 RNB-data

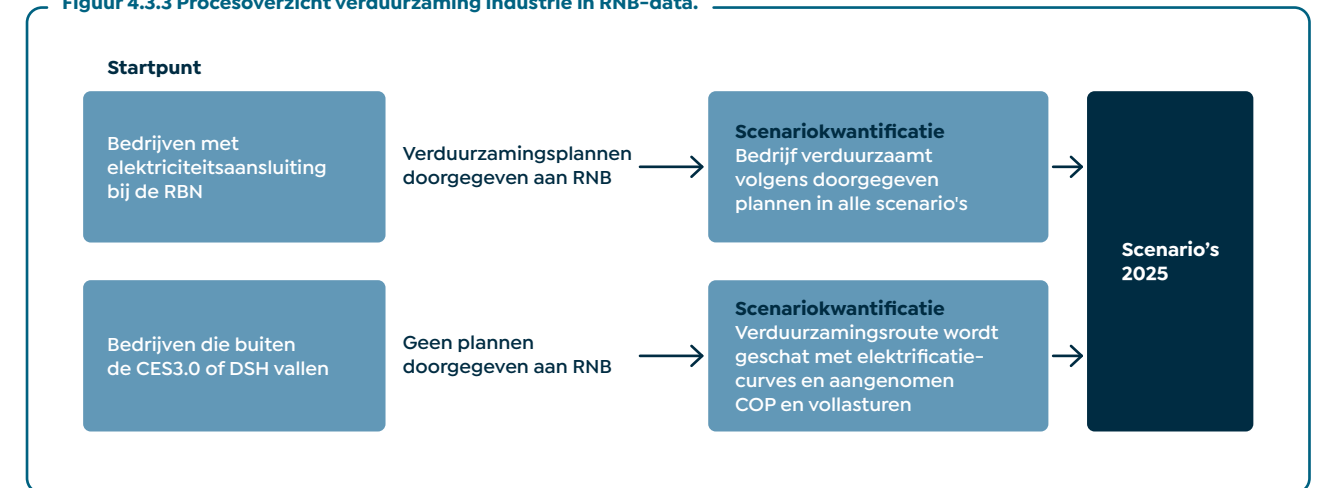
De tweede input is data van regionale industrieën die is opgehaald in samenwerking met de drie regionale netbeheerders: Enexis, Liander en Stedin. Door de drie regionale netbeheerders is vanuit prognoses op het niveau van de netaansluitingen een geaggregeerd beeld ontstaan over de toekomstige energiebehoefte, als gevolg van de verduurzaming van de bestaande industrie. Deze prognoses bepalen op basis van bedrijfsprocessen, op welke manier het huidige aardgasverbruik vervangen kan worden door schonere energievormen zoals elektriciteit, waterstof en groen gas. Naast de verduurzaming van de huidige industrie, wordt er ook gekeken naar de groei binnen sectoren in de vorm van nieuwe bedrijven.

Verduurzaming bestaande industrie

De netbeheerders schatten de toekomstige verduurzaming van de bestaande industrie in, volgens het proces gevisualiseerd in figuur 4.3.3 Dit betekent in de praktijk dat aardgas wordt vervangen door schonere energiedragers. De verduurzaming van een bedrijfsproces is sterk afhankelijk van de proceswarmte en de verduurzamingsopties die daarvoor beschikbaar zijn. Om deze reden zijn drie transitiepaden voor elektrificatie opgesteld die de verduurzaming van

een bedrijfsproces weergeven. Aan de hand van deze elektrificatiecurves wordt bepaald in welk jaar hoeveel procent van de huidige aardgasvraag geëlektrificeerd zal zijn. Aan de hand van het bedrijfsproces wordt bepaald onder welke curve een bedrijf valt. Aan de hand het bedrijfsproces wordt vervolgens ook bepaald wat de coefficient of performance (COP) zal zijn van de meest aannemelijke verduurzamingstechniek en hoeveel draaiuren deze techniek zal maken.

Figuur 4.3.3 Procesoverzicht verduurzaming industrie in RNB-data.

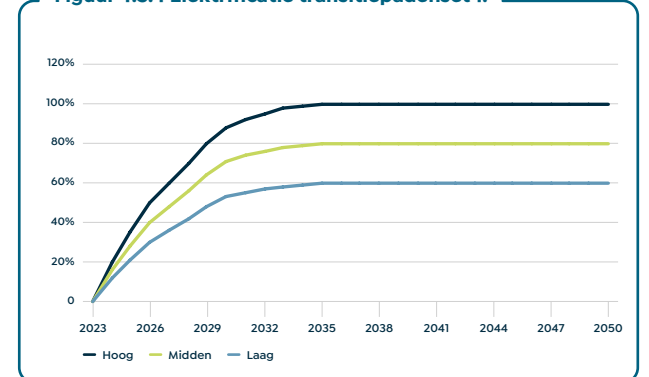


In onderstaande figuren staan de eerdergenoemde elektrificatiecurves. Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie transitiepadensets voor elektrificatie:

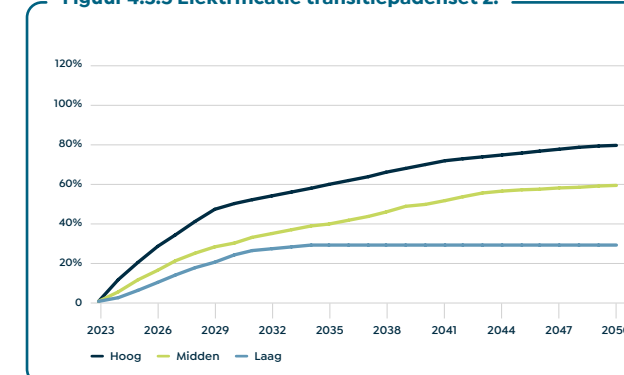
- Transitiepadenset 1:** snelle elektrificatie, lage temperatuur warmtevraag.
- Transitiepadenset 2:** combinatie, processen met lage temperatuur en hoge temperatuurwarmtevraag.
- Transitiepadenset 3:** langzaam, hoge temperatuur warmtevraag).

De toewijzing van deze elektrificatiecurves aan de hand van de verdeling wordt weergegeven in tabel 4.3.3.

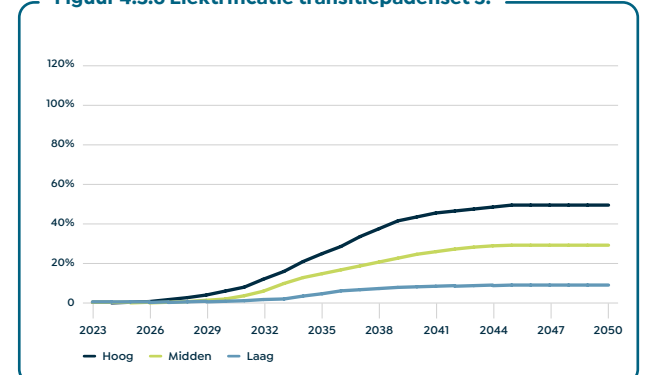
Figuur 4.3.4 Elektrificatie transitiepadenset 1.



Figuur 4.3.5 Elektrificatie transitiepadenset 2.



Figuur 4.3.6 Elektrificatie transitiepadenset 3.



⁸² carbontransitionmodel.com

⁸³ energytransitionmodel.com

Tabel 4.3.3 Gebruikte transitiepadensets per sector.

Sector	Transitiepadenset elektrificatie
Asfalt	1
Bierbrouwerij	1
Biochemie en farmacie	1
Bouwmaterialen	2
Chemie	3
Diervoeder	1
Energie	1
Glas	2
Keramiek	2
Maakindustrie	1
Metaal	3
Papier en karton	1
Plastic en rubber	3
Steenwol	3
Textiel	1
Voedsel	1
Zuivel	1

Nadat een elektrificatiecurveset is toegewezen aan een bedrijf, wordt de elektriciteitsvraag bepaald ter vervanging van het aardgas. Dit wordt bepaald door het jaarlijks aardgasverbruik om te rekenen naar een jaarlijks elektriciteitsverbruik. Om dit te berekenen is voor elk bedrijfsproces een COP en aantal draaiuren ingeschat die verband houdt met de meest aannemelijke verduurzamingsmethode van de sector. Zie de toewijzing van de COP's en draaiuren in tabel 4.3.4. De keuze voor bepaalde verduurzamingsmethodes komt zowel uit extern onderzoek⁸⁴ als uit intern bekende verduurzamingsplannen.

Aan de hand van de bepaalde elektrificatiecurve, COP en aantal draaiuren kan het aardgasverbruik worden omgerekend in een elektriciteitsverbruik. Hieronder een voorbeeld.

Voorbeeldberekening energieverbruik, ter illustratie:

Een klant in de zuivelindustrie gebruikt 5 PJ gas en 0,3 PJ elektriciteit in 2019. Volgens de elektrificatiecurve is in 2050 80 procent van deze aardgasvraag elektrisch waarbij we een COP van 1,6 verwachten.

$$\text{elektriciteitsvraag in 2050 (PJ)} = 0,3 + \frac{4}{1,6} * 0,8 = 2,8 \text{ PJ}$$

$$\text{gasvraag in 2050 (PJ)} = 5 * 0,2 = 1 \text{ PJ}$$

Tabel 4.3.4 Vollasturen en coefficient of performance per sector.

Sector	Aangenomen vollasturen	Aangenomen COP	Sector	Aangenomen vollasturen	Aangenomen COP
Asfalt	3.000	1	Maakindustrie	4.500	4
Bierbrouwerij	4.500	1,9	Metaal	3.000	1
Biochemie en farmacie	5.500	3	Papier en karton	4.000	1,6
Bouwmaterialen	4.000	1	Plastic en rubber	4.500	1
Chemie	4.500	1	Steenwol	6.000	1
Diervoeder	4.500	2	Textiel	3.500	2
Energie	2.500	1	Voedsel	5.000	2,5
Glas	5.000	1	Zuivel	4.000	1,6
Keramiek	4.000	1,3			

Energievraag nieuwe industrie

De energievrage van verschillende sectoren in het ETM zijn opgebouwd via een bottom-up methode op bedrijfsniveau. Die resulteert in de energievrage na transitie van bestaande bedrijven. Naast deze groei of krimp van energievrage op bestaande aansluitingen kan er uiteraard ook groei zijn door nieuwe bedrijven. De veranderende energievrage, veroorzaakt door de groei van sectoren is gevat in het ETM aan de hand van een rapport van CE Delft⁸⁵.

Dit rapport geeft de verwachte groei van verschillende sectoren tot 2050. Op basis van deze getallen is een groeicurve voor sectoren in het ETM bepaald. De groei van nieuwe bedrijven wordt geregionaliseerd op basis van een verdeelsleutel, die is bepaald aan de hand van de huidige regionalisatie van sectoren. Bij een aantal sectoren zijn deze groeipercenages overschreven door een grotere krimp. Het gaat dan specifiek om raffinaderijen en bepaalde chemiesectoren. Aan de hand van de ontwikkelingen in het scenario is daar een grotere krimp aangenomen.

4.3.3.3 Cluster completion

Via Data Safe House, dataformats en klantinformatie van de netbeheerders is een groot deel van de Nederlandse industriële energiegebruik in de scenario's betrokken. Maar niet alle industrie is hiermee in beeld, er blijft een klein deel over, waarvoor nog aanvullende schattingen moeten worden gemaakt. Dit is gedaan in de zogeheten cluster completion. Op basis van het referentiejaar 2021⁸⁶ is gekeken welk deel van de industrie al in beeld is via de beschreven routes en welk deel nog ontbreekt. Voor het deel dat ontbreekt, is vervolgens een scenario specifiek transitiepad aangenomen. Voor de bedrijven die onder het regime van het Europese emissiehandelssysteem (ETS) vallen, is dit op siteniveau gedaan, door gebruik te maken van informatie van de Nederlandse Emissieautoriteit (NEA)⁸⁷. Voor overige bedrijven is de cluster completion op SBI-sectorniveau uitgevoerd.

Per bedrijf of per sector is een inventarisatie gemaakt van de beschikbare relevante verduurzamingsopties. Welke opties relevant of aantrekkelijk zijn, hangt o.a. van de het type proces. Vervolgens is per scenario een keuze

gemaakt voor het meest logische verduurzamingsoptie en het moment waarop deze operationeel wordt. Hierbij is ook meegewogen dat er naar verwachting vanaf 2040 geen nieuwe uitstootrechten meer worden uitgeven. In het scenario Eigen Vermogen ligt de focus op elektrificatie, waar mogelijk. In het scenario Gemeenschappelijke Balans blijft een rol bestaan voor (groen) gas. In het scenario Horizon Aanvoer wordt in bepaalde sectoren met voldoende betalingsbereidheid, gekozen voor waterstof. Ten aanzien van de rol van waterstof in cluster 6 is ook gekeken naar de bevindingen van HyRegions⁸⁸.

In de cluster completion is ook gekeken naar de rol van hernieuwbare, biogene en synthetische brandstoffen-productie in Nederland. De rol die dit gaat spelen is per scenario verschillend en wordt bepaald door aantal factoren, waaronder:

- Beschikbaarheid van noodzakelijke bestanddelen voor de productie van brand- en grondstoffen, waaronder biomassa⁸⁹, duurzame elektriciteit, (plastic) afval en biogene koolstof.
- De vraag naar hernieuwbare brand- en grondstoffen in de chemie en) mobiliteit, in Nederland en omliggende landen.
- Krimp van de olieraffinaderijen.

Allereest is een inventarisatie gemaakt van de beschikbaarheid van noodzakelijke bestanddelen en de eerlijke verdeling daarvan voor de industrie in Nederland. Hiervoor is gebruikt gemaakt van diverse studies waaronder van CE Delft⁹⁰, KPMG⁹¹, OECD⁹² en PBL⁹³. In veel gevallen zijn verschillende scenario's beschikbaar, waarmee een bepaalde bandbreedte zichtbaar wordt. Bovendien is de beschikbaarheid voor Nederland sterk afhankelijk van de vraag of import mogelijk is. Per scenario zijn specifieke keuzes gemaakt, zoals weergegeven bijgaande tabel. Daarnaast is hernieuwbare elektriciteit en waterstof nodig, de beschikbaarheid daarvan volgt uit de scenariodoorrekening in het ETM. Dit alles resulteert in een specifiek aanbodpotentieel in de verschillende scenario's, waarmee meer of minder producten kunnen worden gemaakt.

⁸⁵ cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/05/CE_Delft_200301_Groeiprojecties_energie-intensieve_industrie_DEF_.pdf

⁸⁶ 2021 is gebruikt als referentiejaar in het Data Safe House en in de CES dataformats. Als zodanig is dit referentiejaar ook gebruikt als basis voor de cluster completion. Voor de grafieken in dit rapport wordt voor de industrie veelal 2019 als referentiejaar getoond, omdat dit het referentiejaar is in het ETM.

⁸⁷ www.emissieautoriteit.nl

⁸⁸ www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/05/30/bijlaage-3-trinomics-blueterra-2024-hyregions-definitief-pdf-definitief

⁸⁹ Zie hoofdstuk 4.8 (Groen gas en biobrandstoffen) voor meer informatie over de beschikbaarheid van biomassa.

⁹⁰ ce.nl/publicaties/bio-scope-toepassingen-en-beschikbaarheid-van-duurzame-biomassa

⁹¹ plasticseurope.org/nl/wp-content/uploads/sites/6/2023/11/20231013-Plastic-feedstock-for-recycling-in-the-Netherlands-KPMG-Final-version.pdf

⁹² www.oecd.org/en/publications/global-plastics-outlook_aaledf33-en.html

⁹³ www.pbl.nl/publicaties/trajectverkenning-klimaatneutraal-2050

Tabel 4.3.5 Grondstofpotentie ten behoeve van synthetische en biogene brandstoffenproductie⁹⁴.

Sector	Klimaat ambitie	Eigen vermogen	Gezamenlijke balans	Horizon aanvoer
Biomassa	Duurzame import uit EU mogelijk	EU lidstaten gebruiken vrijwel alleen eigen potentieel	Duurzame import, ook van buiten EU	
Plastic afval	Import van niet-opgewerkte pyrolyse olie vanuit EU (voor opwerking in NL); eerlijke verdeling o.b.v. relatieve capaciteit van stoomkrakers in Nederland			Import, ook van buiten EU
Gemengd afval	Geen import Uitfasering AVI's Vergassing 50/50	Geen import, uitfasering AVI's, vooral vergassing naar methanol	Huidig import x2 halvering AVI's Vergassing 50/50	Geen import Halvering AVI's Vooral vergassing naar waterstof
(Biogene) koolstof ⁹⁵	Sequestratie	Sequestratie en DAC	Sequestratie	Geen synthetische brandstofproductie

De productie van synthetische brand- en grondstoffen (nafta voor stoomkrakers) is gemodelleerd in het Carbon Transition Model (CTM). Voor biogene producten is per scenario een verhouding gekozen tussen biomassavergassing en pyrolyse. Bij vergassing is minder energie (o.a. waterstof) nodig dan bij pyrolyse, maar nadeel hiervan is dat per eenheid biomassa minder producten gemaakt kunnen worden. In het scenario Horizon Aanvoer, met veel beschikbare waterstof, wordt vooral pyrolyse ingezet, in de andere scenario's vooral vergassing.

Bij de productie van syngas worden alle procesemissies,

de enige emissies in dit proces, volledig afgevangen. Deze kunnen weer worden ingezet voor andere producten, ofwel worden opgeslagen ten behoeve van negatieve emissies.

Voor synthetische producten wordt primair Fischer-Tropsch synthese aangenomen, met uitzondering van gepubliceerde plannen van bedrijven die hiervoor een andere technologie inzetten. CO₂ voor de Fischer-Tropsch synthese wordt verkregen door reverse water-gas-shift (e-RWGS) toe te passen op CO₂. Deze techniek gebruikt waterstof voor de reactie en elektriciteit voor de benodigde warmte.

4.3.4 Nationale kwantificatie

De industrie kent een grote energie- en grondstofvraag en wordt daarnaast gekenmerkt door een sterke heterogeniteit: er zijn grote verschillen tussen de energie- en grondstofvraag per subsector. De basisindustrie voor staal, chemie, kunstmest en raffinage, bestaat uit een klein aantal bedrijven dat gezamenlijk het grootste deel van de energie en grondstoffen van de industrie vraagt. Er bestaat ook een heterogene energievraag tussen bedrijven binnen een subsector. Dit geeft per bedrijf een andere vertreksituatie. Bedrijven hebben soms ook niet dezelfde mogelijkheden om hun emissies te reduceren. De industrie kent daarnaast vaak een internationaal speelveld: er wordt geconcentreerd met bedrijven in het buitenland en veel producten worden internationaal verhandeld. De vier scenario's, zoals beschreven veronderstellen uiteenlopende trends en ontwikkelingen (tabel 4.3.1), met invloed op het type industrie, alsook op de dominante verduurzamingsroutes (tabel 4.3.2). Eventuele verschuivingen binnen de industrie - wie wanneer hoe verduurzaamt - hebben een grote invloed op de toekomstige energievraag.

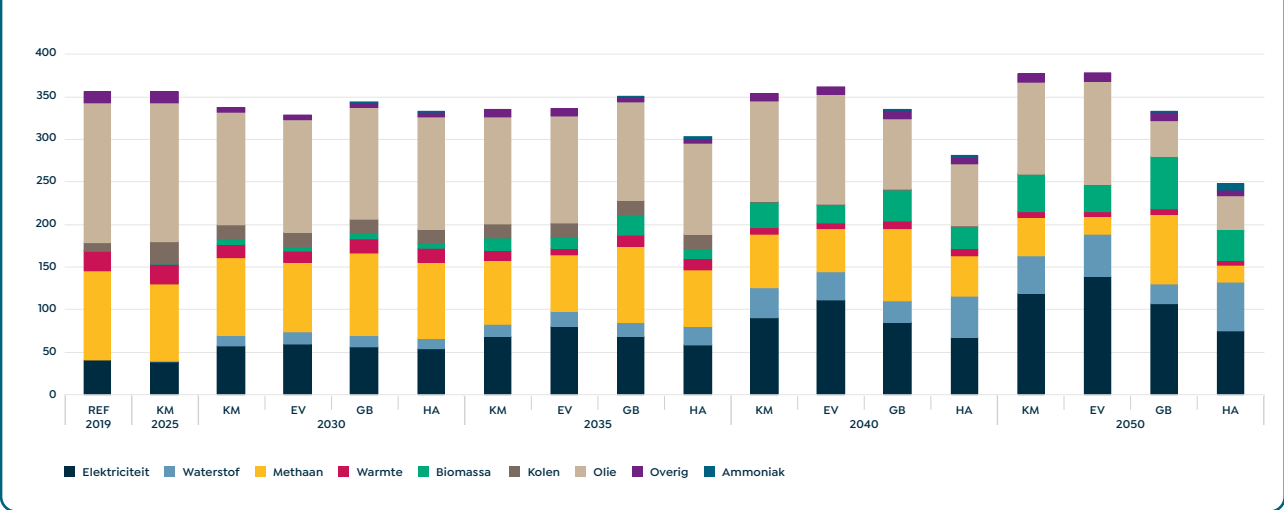
Figuur 4.3.7 toont de toekomstige energie- en grondstoffen-vraag van de industrie als geheel⁹⁶. Ten opzichte van referentiejaar 2019 laten de scenario's een lichte stijging van het verbruik zien⁹⁷, maar het beeld in de verschillende scenario's is nog redelijk vergelijkbaar. Vanaf 2035 worden grotere verschillen tussen de scenario's zichtbaar. Dit wordt door verschillende ontwikkelingen veroorzaakt, waaronder energiebesparing en efficiencyverbeteringen. Daarnaast

kan een aanzienlijk deel van de daling in verbruik worden toegeschreven aan afnemende bedrijvigheid in de petrochemische industrie, bij olieraffinage en stoomkrakers. De sterkste afname van de industriële vraag is voorzien in het scenario Horizon Aanvoer, waarin bepaalde energie-intensieve productiestappen naar elders verplaatst worden en Nederland meer halffabricaten, bijvoorbeeld ammoniak, importeert.

In de energievraag is er verder een verschuiving van fossiele dragers zoals methaan, olie en kolen, naar elektriciteit, waterstof en biomassa. Kolen ten behoeve van staalproductie is na 2035 verdwenen. Fossiele nafta (olie) in stoomkrakers voor de productie van basischemicaliën wordt (deels) vervangen door biogene en gerecyclede grondstoffen. Dat neemt niet weg dat er in 2050 nog steeds fossiele koolstof nodig is voor bijvoorbeeld de productie van plastics, door beperkingen in de beschikbaarheid van duurzame alternatieven.

De vraag naar methaan neemt af, met name in het de scenario's Eigen Vermogen en Horizon Aanvoer. Bovendien wordt hiervoor steeds minder aardgas en steeds meer groen gas gebruikt. Duurzame elektriciteit en waterstof neemt toe in alle scenario's, met wel duidelijke accentverschillen tussen de scenario's. In het scenario Eigen Vermogen wordt de grootste groei van de elektriciteitsvraag voorzien, gedreven door het grote aanbod uit zon en wind. Het scenario Horizon Aanvoer voorziet de meeste waterstoftoepassingen, vanwege relatief goedkoop waterstofaanbod uit het buitenland.

Figuur 4.3.7 Energetische en non-energetische vraag van de Nederlandse industrie.



⁹⁴ De tabel toont alleen de grotere grondstof categorieën. Daarnaast is er in de scenario's ook beperkt gebruikt van andere grondstoffen, zoals bijvoorbeeld methanol.

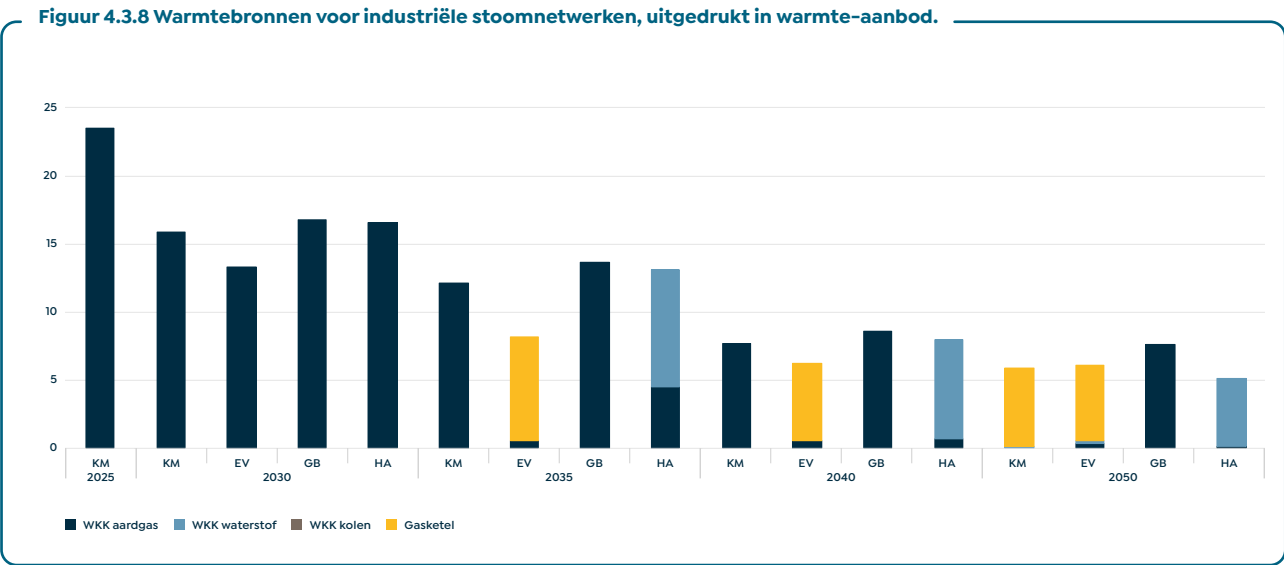
⁹⁵ Fossiele koolstof kan alleen worden gebruikt in producten met lange levensduur en/of producten die gerecycled kunnen worden.

⁹⁶ Energetisch en non-energetisch verbruik in de chemie is samengenomen, omdat de gebruikte informatie uit het Data Safe House en de CES dataformats alleen een beeld geeft van het totaalverbruik, zonder uitsplitsing in een energetisch en non-energetisch deel. Voor de olieraffinaderijen is eveneens het onderscheid tussen eindverbruik en transformatie (grondstoffen) niet bekend. Daarom is alle energieverbruik van olieraffinaderijen als transformatie gelabeld, met uitzondering van het elektriciteitsverbruik. Transformatie input van raffinage is niet meegeteld in de grafiek.

⁹⁷ In de grafiek is alleen de netto energievraag getoond, d.w.z. de energie die van buiten de site aangeleverd wordt. Gebruik van eigen restgassen voor warmteproductie zijn niet inbegrepen. Verschuiving van on-site energie (o.a. restgassen) naar extern geleverde energie (elektriciteit, waterstof, etc.) zorgt daarmee voor een groei van de vraag.

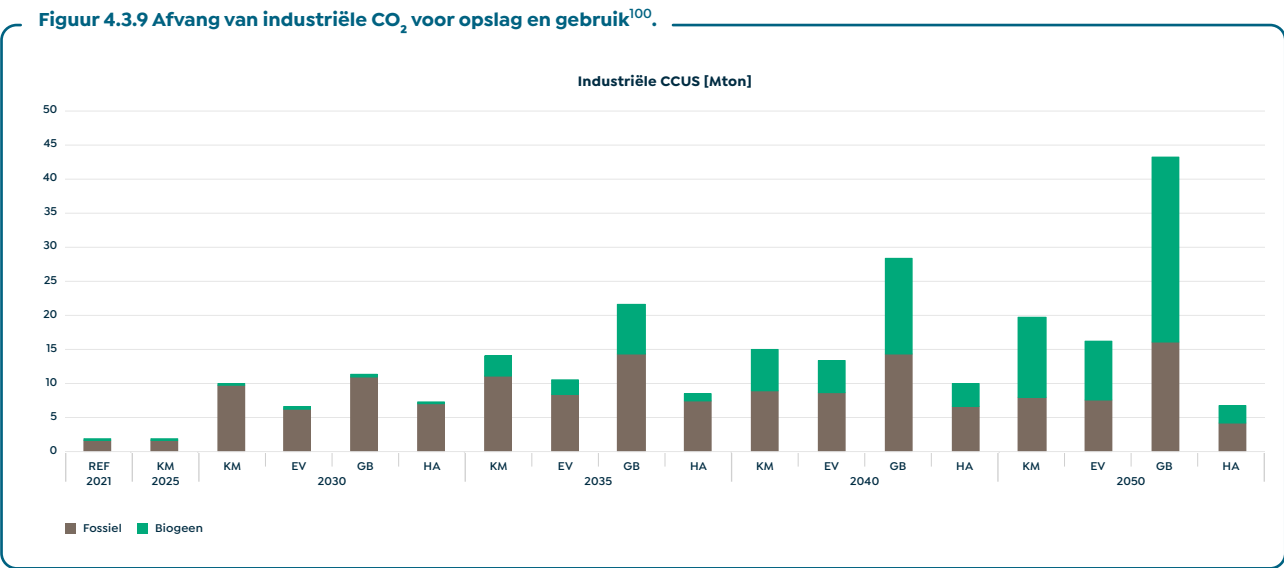
Warmtelevering via industriële stoomnetwerken neemt in alle scenario's af. Dit hangt samen met de voorgenomen sluiting van verschillende warmte-kracht-koppeling-eenheden (WKK)⁹⁸. Daarmee verdwijnt ook een groot deel van de hoge temperatuur restwarmte die aan nabijgelegen industrie kan worden geleverd.

In de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer blijft een deel van het WKK-vermogen in bedrijf, waarbij de brandstof wordt vervangen door groen gas of waterstof. In de andere scenario's gaan vrijwel al het WKK-vermogen op termijn uit bedrijf. Hierbij nemen gasketels een deel van de warmteproductie over.



Naast de verduurzaming van het energiegebruik is ook CO₂-afvang (CCUS) een belangrijk instrument voor de emissiereductie van de industrie. Figuur 4.3.9 geeft een overzicht van de industriële afvang van fossiele en biogene CO₂ voor opslag op zee of voor gebruik in producten. Op dit moment is er al beperkte afvang van CO₂, onder andere voor gebruik in frisdranken en voor de bemesting in de glastuinbouw. In 2030 groeit de afvang fors, primair voor opslag onder de zeebodem. In de industrie gaat

het om in totaal 6,5 tot ruim 11 Mton in 2030⁹⁹. In de jaren daarna nemen de afvangvolumes verder toe, met name in het scenario Gemeenschappelijke Balans, onder andere gekoppeld aan afvang bij de productie van biobrandstoffen. In 2050 wordt tot 43 Mton afgevangen in de Nederlandse industrie, een groot deel hiervan betreft biogene afvang. Deze biogene koolstof kan weer worden gebruikt in synthetische producten, of worden opgeslagen voor negatieve emissies.



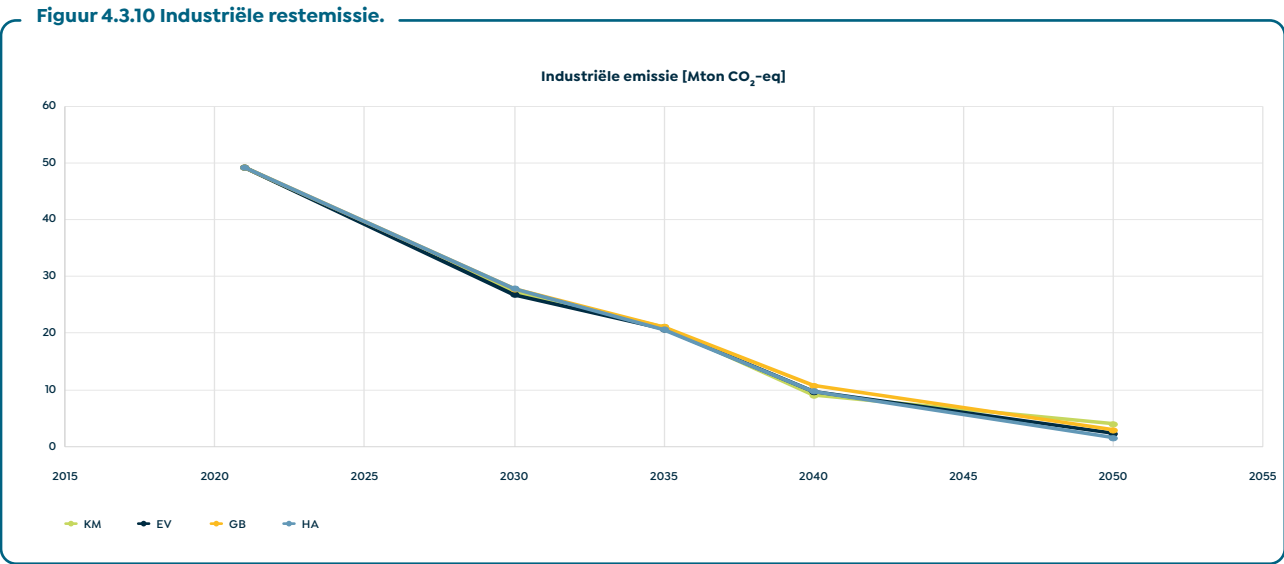
⁹⁸ Zie hoofdstuk 4.6 (Aanbod elektriciteit) voor meer informatie over de uitgangspunten en ontwikkelingen inzake WKK.

⁹⁹ Exclusief afvalverbrandingsinstallaties en nieuwe blauwe waterstoffabrieken.

¹⁰⁰ Naast de industrie wordt er ook nog CO₂ afgevangen in andere sectoren, zoals bij afvalverbranding en biomassa centrales. Zie hoofdstuk 3 voor een totaaloverzicht van de CO₂ afvang voor opslag en gebruik.

De scenario's gaan uit van een sterke reductie van de industriële emissie in Nederland. Figuur 4.3.10 geeft hiervan een overzicht. In 2030 ligt de emissie van de industrie net onder het indicatieve industriedoel van 29,1 Mton CO₂-equivalenten¹⁰¹. In de jaren daarna neemt de emissie

verder af. Rond 2040 is de emissie in alle scenario's rond de 10 Mton. In 2050 is er nog 1,5 tot 4 Mton aan industriële restemissie, die gecompenseerd kunnen worden in andere sectoren, bijvoorbeeld via CCS bij elektriciteitsproductie met biomassa (BECCS).



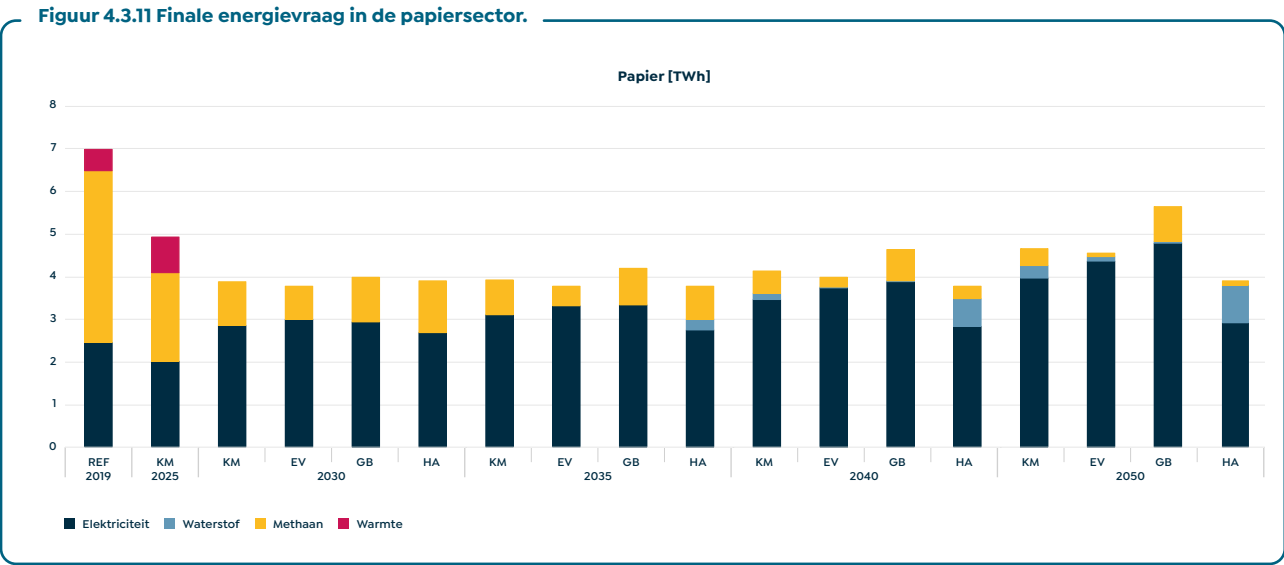
4.3.5 Kwantificering per sector

In deze paragraaf wordt de nationale kwantificatie uitgesplitst naar acht sectoren: papier, voedsel, raffinaderijen, chemie, aluminium, staal en overig metaal. In eerdere scenario's uitgebracht door Netbeheer Nederland werd ook de kunstmestsector apart uitgelicht. Deze is nu onderdeel geworden van de chemie sector, omdat het niet haalbaar is gebleken een zuivere scheiding tussen de twee sectoren te hanteren in de nieuwe aanpak.

4.3.5.1 Papier

De papiersector heeft door de jaren heen beperkte variatie in de energievraag. Verduurzaming vindt voornamelijk plaats via hybride elektrificatie, met accentverschillen tussen

de verhaallijnen. In drie van de vier verhaallijnen loopt het energiegebruik licht op richting 2050, met de grootste groei in het scenario Gezamenlijke Balans. In dit scenario krijgt de bestaande industrie vanuit de overheid de meeste steun. Dat leidt tot extra groei. Alleen in het scenario Horizon Aanvoer is er geen sprake van groei, de energievraag blijft daarin van 2030 tot 2050 nagenoeg constant. Wel vindt er in dit scenario de grootste omschakeling naar waterstof plaats, waarbij aardgas in 2030 bijna volledig vervangen wordt door waterstof in 2050, met een eerste introductie van waterstof al in 2035. In de drie andere scenario's wordt het gebruik van aardgas vooral verminderd door elektrificatie. Alleen in het scenario Gezamenlijke Balans neemt het gebruik van methaan nauwelijks af na 2030, in lijn met de relatief hoge beschikbaarheid van groen gas in dit scenario.



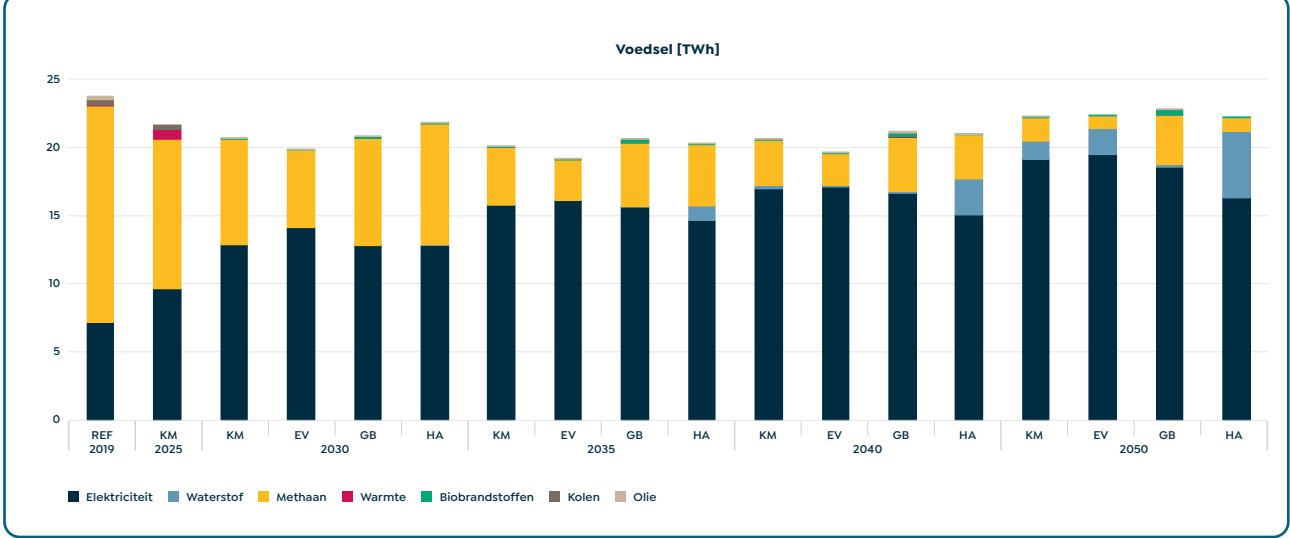
¹⁰¹ zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32813-1291.html

4.3.5.2 Voedsel

Het totale energiegebruik van de voedselsector is bijna constant tot 2040, met daarna een lichte stijging naar 2050¹⁰². De belangrijkste trend is die van elektrificatie. WKK's worden uit bedrijf gehaald en vervangen door e-boilers en warmtepompen, waarmee hybride warmtesystemen worden gecreëerd. Niet alle vraag wordt echter geëlektrificeerd, in het scenario Gezamenlijke Balans resteert in 2050 nog een significante methaanvraag, die met groen gas – in hoge

mate beschikbaar in dit scenario – verduurzaamd wordt. Elektrificatie wordt het meest toegepast in het scenario Eigen Vermogen, waarin in 2050 ook een significante rol is weggelegd voor waterstof als vervanger van methaan. In het scenario Horizon Aanvoer vindt de hybride elektrificatie plaats in combinatie met een overstap naar waterstof. Daarmee krijgt dit scenario het hoogste verbruik van waterstof. Het scenario Koersvaste Middenweg zit tussen Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer in.

Figuur 4.3.12 Finale energievraag in de voedselsector.

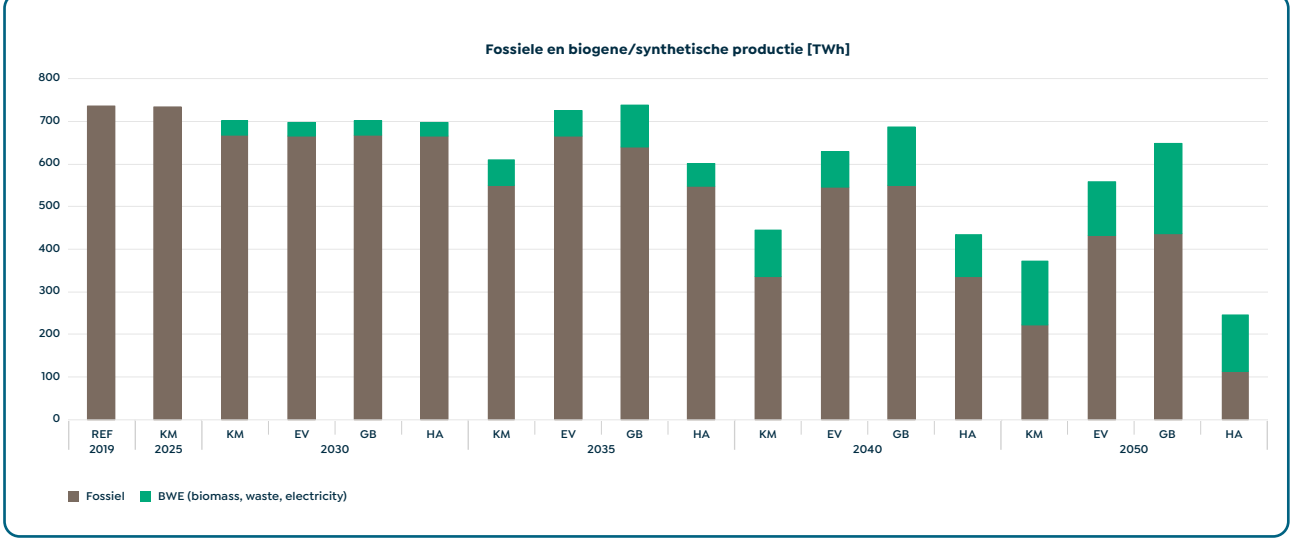


4.3.5.3 Raffinaderijen

Voor de raffinagesector verandert de energievoorziening al sterk tussen nu en 2030. Waar nu hoofdzakelijk restgassen uit aardolie ingezet worden, worden deze in 2030 voor

een belangrijk deel gebruikt om waterstof te produceren, waarbij de emissies afgevangen en opgeslagen worden. Na 2030 worden substantiële verschillen tussen de scenario's zichtbaar, zoals geïllustreerd in figuur 4.3.13¹⁰³.

Figuur 4.3.13 Fossiele, biogene en synthetische productie van grond- en brandstoffen.

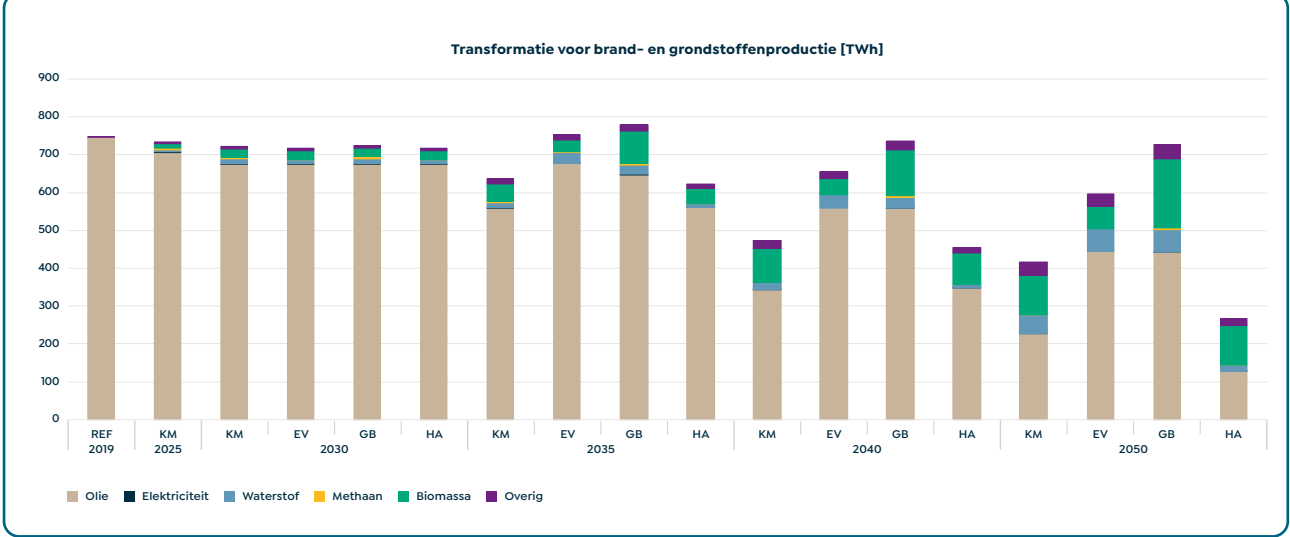


In alle scenario's is een zekere mate van krimp voorzien van de productie door olieraffinaderijen. Dit houdt verband met de daling van de vraag naar olieproducten, bijvoorbeeld door elektrificatie van de mobiliteit. Tot aan 2030 blijft productie van fossiele brandstoffen min of meer op niveau, maar in de daaropvolgende jaren gaat de productie afnemen. In het scenario Horizon Aanvoer blijft slechts een klein deel van de bestaande raffinage-capaciteit bestaan, in 2050 is deze nog zo'n 15 procent van het huidige niveau. In het scenario Eigen Vermogen blijft de afname van de productiecapaciteit relatief beperkt, vanwege het streven naar zelfvoorziening in Noordwest-Europa blijft ongeveer 60 procent van de huidige capaciteit in stand. Het scenario Gemeenschappelijke Balans laat een vergelijkbaar beeld zien, zij het met een andere achtergrond. In dit scenario blijft er in de wereld namelijk een relatief grote vraag naar brandstoffen

bestaan door een lagere elektrificatie, waarbij Nederlandse raffinaderijen meer voor het buitenland gaan produceren. Het scenario Koersvaste Middenweg neemt qua fossiele brandstoffenproductie een middenpositie in.

Daar waar de fossiele productie sterk krimpt, voorzien alle scenario's een groei in duurzame productie. Dit betreft biobrandstoffenproductie uit biomassa – al dan niet met hydro cracking – chemische recycling van plastic afval, vergassing van gemengd afval of synthetische producten vervaardigd uit duurzame waterstof en koolstof. Deze productie van duurzame grond- en brandstoffen wordt aangeduid als raffinaderijen voor biomassa, waste and electricity (BWE). BWE-productie leidt tot een forse verhoging van de vraag naar duurzame energie, zoals waterstof, elektriciteit en biomassa, zoals geïllustreerd in onderstaande grafiek¹⁰⁴.

Figuur 4.3.14 Transformatie input voor brand- en grondstoffenproductie in Nederland.



Het scenario Gemeenschappelijke Balans voorziet een groot potentieel van biomassa, wat het mogelijk maakt om relatief veel biogene brand- en grondstoffen te produceren. Synthetische brandstoffenproductie is het hoogst in het scenario Eigen Vermogen, vanwege de beschikbaarheid van duurzame energie in Nederland en de focus op zelfvoorziening in dit scenario. Het scenario Koersvaste

Middenweg ligt wat tussen beide uitersten in. In het scenario Horizon Aanvoer worden duurzame brandstoffen hoofdzakelijk geïmporteerd. Productie van synthetische brandstoffen komt in dit scenario helemaal niet op gang in Nederland. Wel voorziet dit scenario een zekere mate van biogene productie, onder andere als grondstof voor de stoomkrakers.

¹⁰² Aanname gebaseerd op groeiprojecties van CE Delft: ce.nl/publicaties/groeiprojecties-energie-intensieve-industrie-referentiescenario's-voor-impactanalyse-klimaatbeleid

¹⁰³ Nafta voor de stoomkrakers wordt ook de raffinaderijen geproduceerd en is inbegrepen in de cijfers.

¹⁰⁴ In de gebruikte informatie uit het Data Safe House en de CES dataformats is geen onderscheid tussen eindverbruik en transformatie (grondstoffen) voor olieraffinaderijen bekend. In de grafiek is daarom alle energieverbruik bij de transformatie inbegrepen, met uitzondering van de elektriciteitsvraag. Voor BWE is de grondstofinput meegenomen, maar is het energetisch gebruik buiten beschouwing gelaten. Deze cijfers kunnen afwijken van de modellering in het ETM, waarin ook energetisch gebruik bij de transformatie is inbegrepen. Ook de aardgasvraag voor blauwe waterstofproductie is niet meegeteld in de grafiek.

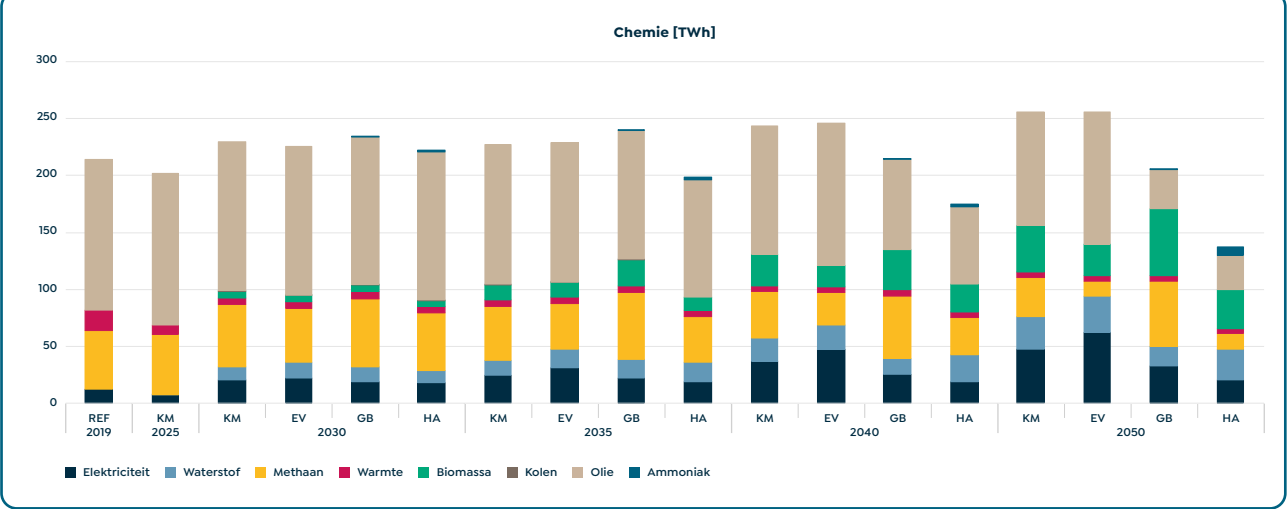
4.3.5.4 Chemie

De chemische industrie is een breed scala aan bedrijven, waarbij de bulk van de energie verbruikt wordt bij kunstmest-productie (OCI Geleen en Yara Sluiskil) en stoomkrakers (Dow Terneuzen, Shell Moerdijk en Sabic Geleen)¹⁰⁵. Figuur 4.3.15 toont het energetisch en non-energetisch verbruik van de chemiesector. Vanaf 2030 vertonen de scenario's een groei van de energievraag. Dit houdt onder andere verband met een groei van blauwe waterstofproductie¹⁰⁶. Vanaf 2040 lopen de verschillende scenario's verder uit elkaar. Met name in het scenario Horizon Aanvoer daalt het verbruik, door sluiting van fabrieken. In plaats daarvan worden de basischemicaliën geïmporteerd en hier verder verwerkt. In het scenario Eigen Vermogen en scenario Koersvaste Middenweg groeit de vraag ten opzichte van 2019. Oorzaak: in deze scenario's worden minder eigen restgassen verbruikt, waardoor

meer energie van buiten moet worden aangeleverd.

Qua energievraag vindt met name een sterke tot zeer sterke elektrificatie plaats, met in sommige scenario's een grote rol voor waterstof. Een substantieel deel van de vraag komt van de stoomkrakers, die in veel scenario's overgaan op elektrische fornuizen. Hierdoor krijgen de restgassen uit het proces een andere bestemming. In bepaalde gevallen wordt dit aan derden geleverd via het aardgasnet. De meeste elektrificatie vindt plaats in het scenario Eigen Vermogen. Daarin wordt bovendien meer waterstof gebruikt. Het scenario Horizon Aanvoer kent het grootste aandeel voor waterstoftoepassingen, onder andere geproduceerd uit eigen restgassen. Door krimp van de sector leidt dit echter niet tot de hoogste waterstofvraag. Die is voorzien in het scenario Eigen Vermogen, vanwege de grote elektrolysecapaciteit.

Figuur 4.3.15 Energetische en non-energetische vraag in de chemie, inclusief kunstmest.



Binnen het niet-energetische verbruik van de chemie is er vanaf 2030 een toename in het gebruik van biogene en gerecyclede moleculen¹⁰⁷. In het scenario Gezamenlijke Balans wordt het non-energetisch verbruik grotendeels verduurzaamd, wat mogelijk wordt door de grote potentie van biomassa. Horizon Aanvoer geeft een vergelijkbaar beeld, al is de sector in dit scenario wel aanzienlijk kleiner dan in het referentiejaar. In de scenario's Eigen Vermogen en Koersvaste Middenweg houdt fossiele nafta tot aan 2050 een dominante rol. Dit wordt met name gedreven door beperkingen in de beschikbaarheid van duurzame alternatieven, zoals biomassa en waterstof, die primair voor andere toepassingen worden ingezet. Dit betekent dat er in 2050 nog fossiele koolstof in bijvoorbeeld plastics wordt gebruikt. Maar door de hoge mate van hergebruik en

chemische recycling is de klimaatbelasting hiervan beperkt. De kunstmestsector gaat in alle scenario's minder aardgas gebruiken. In plaats daarvan wordt meer ingezet op de import van ammoniak¹⁰⁸, die in Nederland verder wordt verwerkt tot kunstmest. De route via import wordt het grootst in scenario Horizon Aanvoer, maar is ook voorzien in de andere scenario's, zij het in mindere mate. In bepaalde scenario's – met name Gezamenlijke Balans – blijft daarbij de waterstofproductie uit aardgas, zogeheten steam methane reforming, deels in bedrijf voor levering aan het landelijk waterstofnetwerk. De daarbij ontstane CO₂ wordt afgevangen. Daarnaast wordt ingezet op duurzame waterstof uit bijvoorbeeld elektrolyse, geleverd via het landelijk net, ofwel via lokale productie uit afval. Deze route is het meest prominent in het scenario Eigen Vermogen.

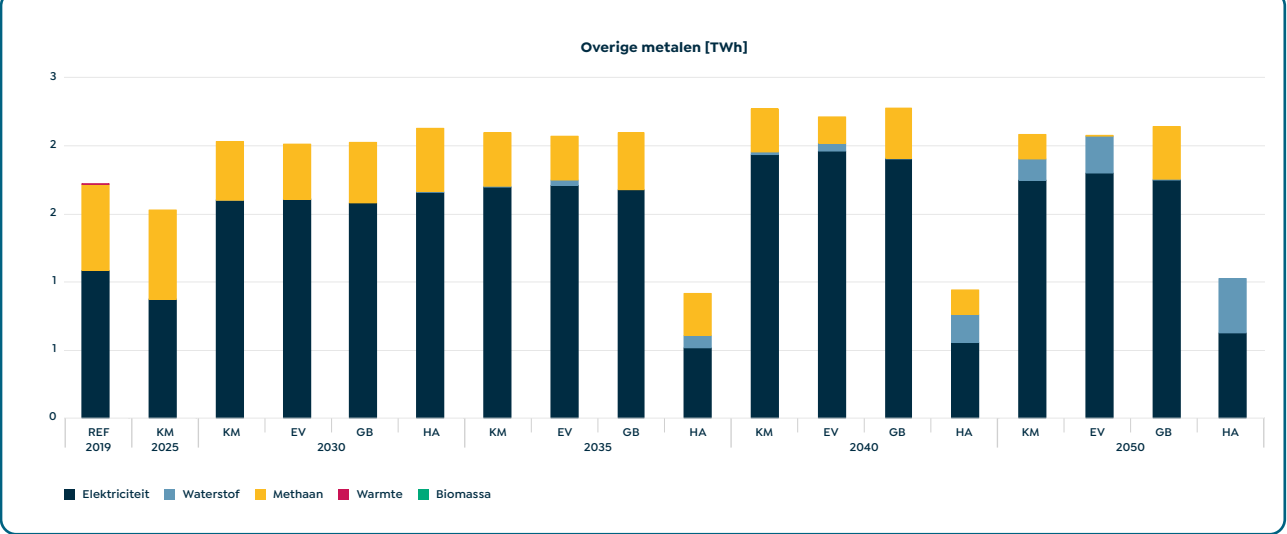
4.3.5.5 Metaal

In drie van de vier scenario's is het energiegebruik in de metaalsector, buiten staal en aluminium, behoorlijk constant. Alleen in het scenario Horizon Aanvoer is een forse krimp voorzien, die al in 2035 plaatsvindt. Deze krimp is direct gerelateerd aan het sluiten van vestigingen die in het scenario Horizon Aanvoer de concurrentie met de goedkopere energie in het buitenland niet meer aankunnen. In de scenario's Eigen Vermogen en Horizon Aanvoer is er

in 2050 geen vraag naar methaan meer, deze is dan volledig vervangen door elektrificatie en waterstof. In het scenario Koersvaste Middenweg wordt in 2050 ongeveer de helft van de methaanvraag uit 2030 vervangen door elektrificatie.

Opvallend is verder dat er in 2040 sprake is van een lichte stijging van de energievraag ten opzichte van 2030 en 2035 in alle scenario's, behalve Horizon Aanvoer. Die stijgende vraag neemt in 2050 weer af.

Figuur 4.3.16 Finale energievraag in overige metalen.



4.3.5.6 Aluminium

Na de definitieve sluiting van Aldel en Zalco is er geen sprake meer van significant verbruik door de aluminiumsector in Nederland. Er blijft een zeer beperkte methaan- en elektriciteitsvraag in de sector.

Het methaanverbruik wordt in de scenario's verder verduurzaamd. In het scenario Gezamenlijke Balans wordt dit grotendeels ingevuld met groen gas. In de andere scenario's wordt aardgas vervangen door waterstof.

¹⁰⁵ Kunstmest en overige chemie is niet uitgesplitst zoals in de scenario's van het vorige IP2024 en tweede editie van II3050. Reden hiervoor is dat sites die kunstmest produceren veelal ook andere chemicaliën maken. Daarnaast zijn kunstmest- en chemiefabrieken soms in hoge mate geïntegreerd, zoals bijvoorbeeld in cluster Chemelot. Als zodanig is het niet mogelijk om een zuivere splitsing te maken.

¹⁰⁶ In de grafiek is alleen de netto energievraag getoond, d.w.z. de energie die van buiten de site aangeleverd wordt. Gebruik van eigen restgassen voor warmteproductie zijn niet inbegrepen. Verschuiving van on-site energie (o.a. restgassen) naar extern geleverde energie (elektriciteit, waterstof, etc.) zorgt daarmee voor een groei van de vraag.

¹⁰⁷ Omdat het merendeel van de gerecyclede moleculen een fossiele oorsprong heeft, wordt dit gecategoriseerd als olie.

¹⁰⁸ Niet alle bedrijven hebben volledige inzage gegeven in hun grondstoffenbalans. Als zodanig is de vraag naar ammoniak (via import) in de grafiek onvolledig.

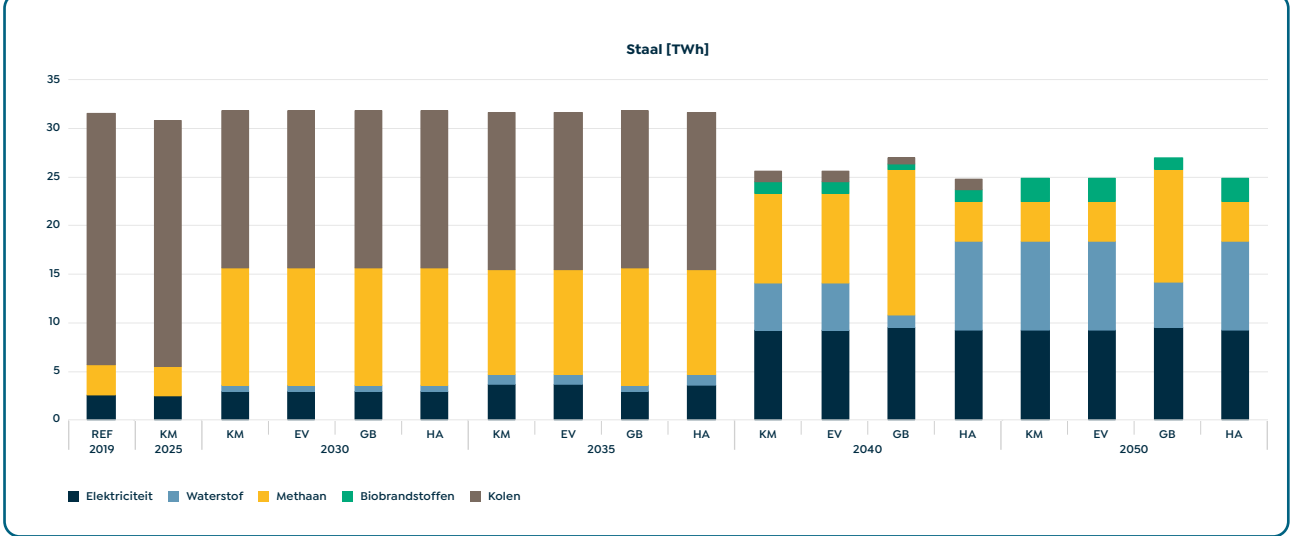
4.3.5.7 Staal

Voor staal ontstaan er grote veranderingen in het energieverbruik. Waar in 2030 en 2035 nog ongeveer de helft van het totale energieverbruik geleverd wordt door kolen, wordt het gebruik van kolen in alle scenario's drastisch afgebouwd tussen 2035 en 2040. In 2050 zijn kolen zelfs verdwenen in alle scenario's. De drastische reductie van het gebruik van kolen is een direct gevolg van project HeraCless van Tata Steel, waarbij een overstap gemaakt wordt naar Direct Reduced Iron (DRI) technologie, in combinatie met het hergebruik van schroot in Electric Arc Furnaces (EAFs). Dit betekent dat de Kooks- en Gasfabrieken kunnen sluiten, evenals de Hoogovens¹⁰⁹.

Figuur 4.3.17 laat zien dat er niet veel verschil is in de energievraag van de staalsector, tussen de vier scenario's. Dit is een direct gevolg van de hoeveelheid geproduceerd staal, die in alle scenario's gelijk is, en het behoud van de hele

productieketen. Ook de stijging in verbruik van schroot, van nu 17 procent naar 30 procent vanaf 2030 is in alle verhaallijnen gelijk. Het totale energieverbruik daalt naar zo'n 25 TWh, en het voornaamste verschil wordt veroorzaakt door de brandstof die wordt gebruikt in het DRI-proces. In het scenario Horizon Aanvoer is er voldoende waterstof beschikbaar om al in 2040 gebruik te maken van ruim 9 TWh aan waterstof. Voor de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen wordt deze hoeveelheid waterstof pas in 2050 bereikt, nadat in 2040 eerst ongeveer de helft hiervan wordt ingezet, terwijl methaan de rest van het verbruik invult. In het scenario Gezamenlijke Balans ligt het verbruik van waterstof het laagst. In 2050 ligt het op het niveau van Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen in 2040. Gezamenlijke Balans is vanwege de grote beschikbaarheid van CCS ook het enige scenario waarin in 2050 nog aardgas wordt gebruikt, alle methaanvraag in de andere drie scenario's in 2050 bestaat uit groen gas.

Figuur 4.3.17 Finale energievraag in de staalsector.

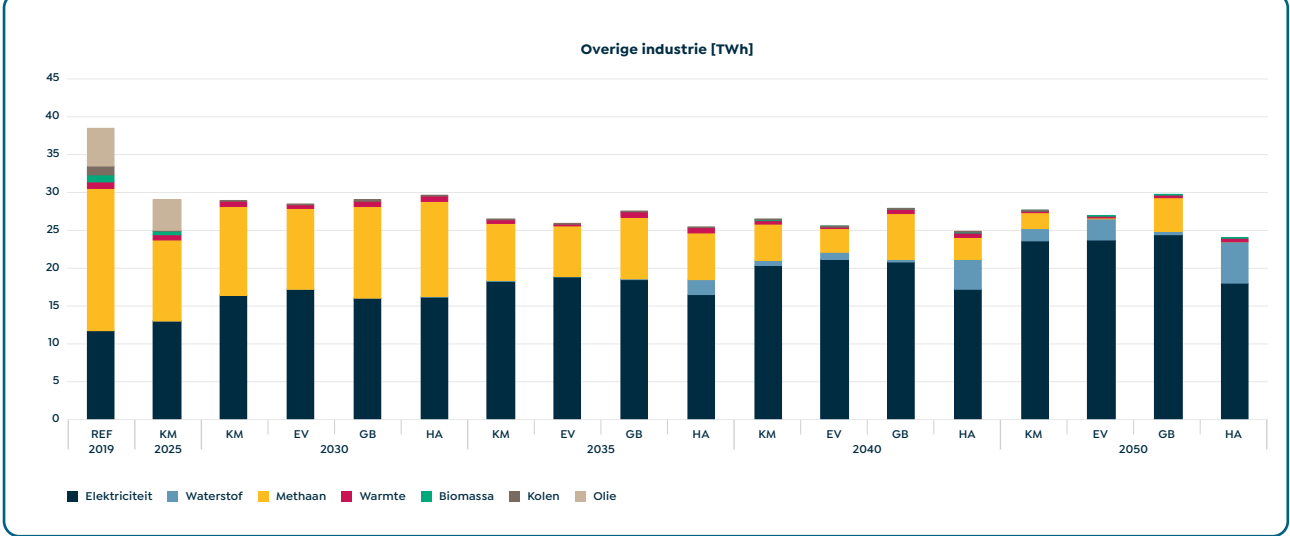


4.3.5.8 Overige industrie

De overige industrie beslaat de sectoren die hierboven niet expliciet zijn vermeld. Dit zijn bijvoorbeeld keramiek en glas. In deze sectoren zijn over het algemeen de specifieke (verduurzaming)technologieën niet bekend, en is alleen maar een verdeling van energiedragers uitgewerkt. De opbouw voor de verduurzamingspaden voor de overige industrie bestaat uit twee bronnen. Dat zijn voornamelijk sectorspecifieke elektrificatie

curves zoals eerder beschreven in hoofdstuk 4.3.3.2. Er is tevens gebruik gemaakt van informatie over verduurzamingsroutes uit de CES. De focus voor de overige industrie ligt vooral op elektrificatie in alle scenario's. Ook zal hierbij over de tijd energie-efficiënte toenemen. Bovendien wordt er op de korte termijn verschillende energiebesparende maatregelen genomen, wat leidt tot een lager energieverbruik.

Figuur 4.3.18 Energetische en non-energetische vraag van overige industrie.

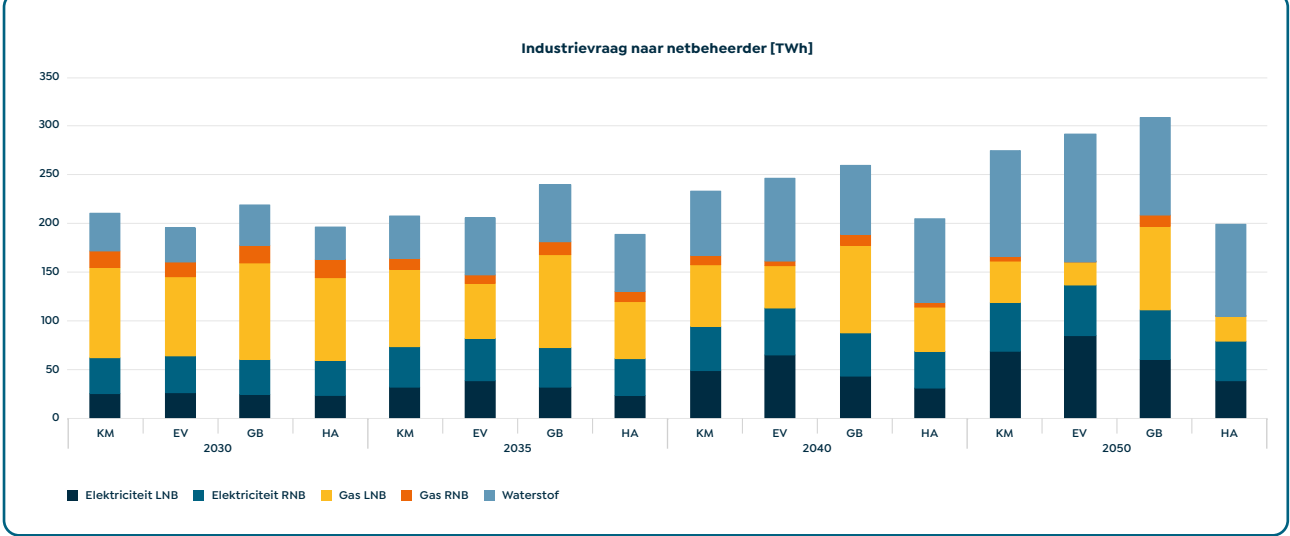


4.3.6 Regionalisering

Bij regionalisatie van de toekomstige energievraag van de industrie wordt aangenomen dat bedrijven verduurzamen op hun huidige locatie en dat de aanvullende energievraag bij de huidige netbeheerder terecht komt. Bij sterke groei van de (duurzame) gas- of elektriciteitsvraag kan de schaal-sprong te groot zijn voor een aansluiting bij de regionale netbeheerder en een aansluiting op het landelijk net van

TenneT, GTS of HyNetwork Services benodigd zijn, waardoor de energievraag verschuift van de regionale naar landelijke energie infrastructuur. Onderstaande figuur 4.3.19 illustreert hoe de elektriciteit, gas en waterstofvraag is verdeeld over de landelijke en de regionale netbeheerders. Tabel 4.3.6 beschrijft per industriesector de spreiding over Nederlandse industrieclusters.

Figuur 4.3.19 Industrierivraag naar netbeheerder.



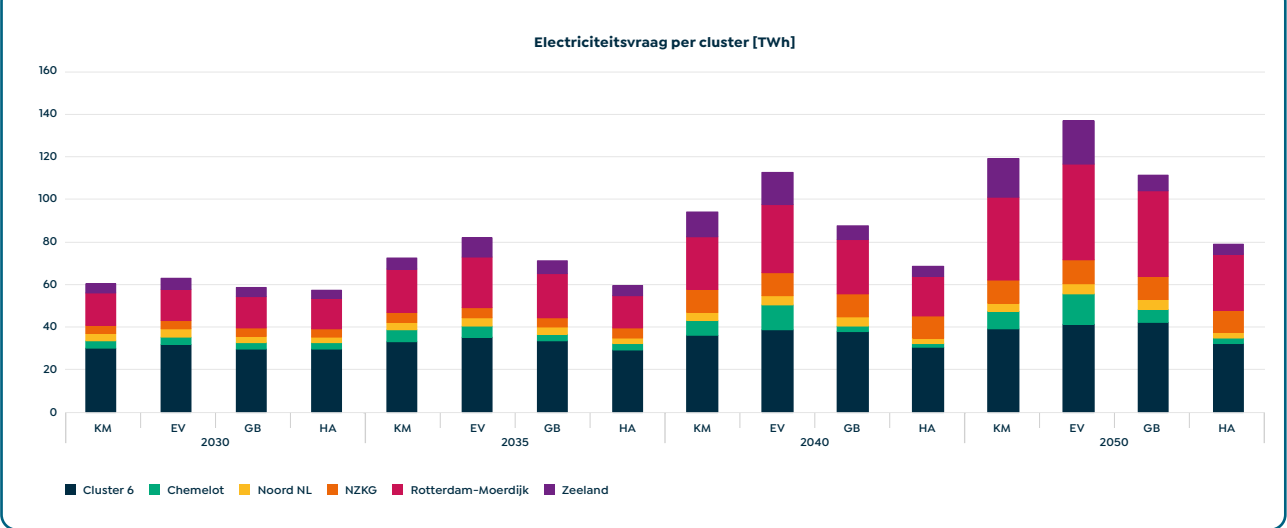
¹⁰⁹ Significant minder uitstoot met groen staal route Tata Steel

Tabel 4.3.6 Spreiding industrievraag over Nederlandse industrieclusters.

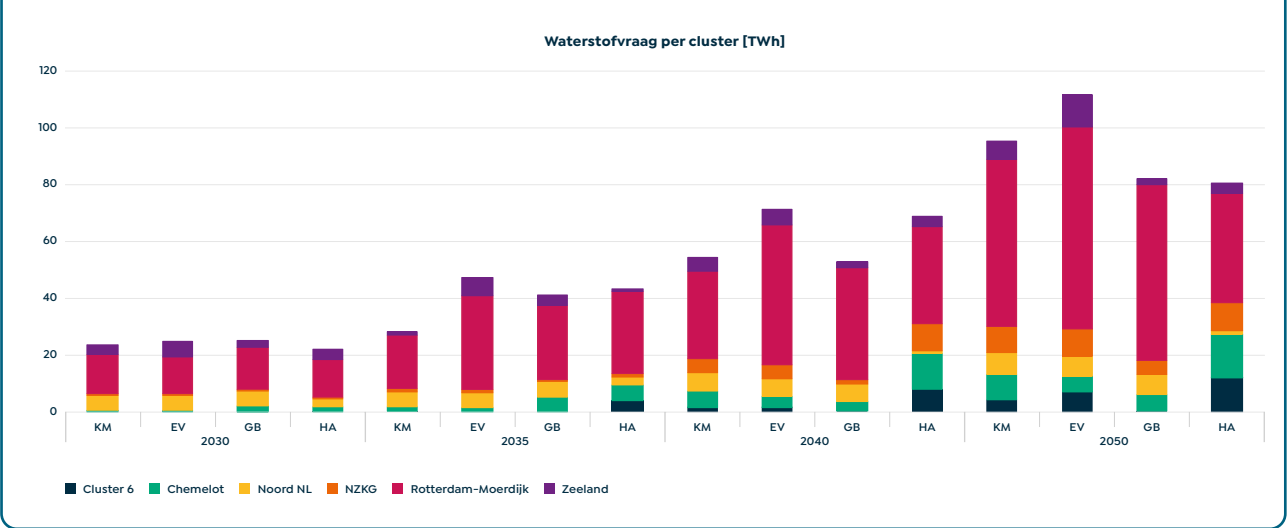
Sector	Spreiding over Nederlandse industrieclusters
Papier	Hoofdzakelijk decentrale industrie in Cluster 6
Voedsel	Voornamelijk decentrale industrie in Cluster 6, met aanwezigheid in clusters Noordzeekanaalgebied (NZKG) en Zeeland
Raffinaderijen	Cluster Rotterdam-Moerdijk en Zeeland
Chemie	Clusters Zeeland, Chemelot, Rotterdam-Moerdijk en Noord-Nederland en ook decentrale industrie in Cluster 6
Metaal	Voornamelijk decentrale industrie in Cluster 6, met ook aanwezigheid in andere clusters
Aluminium	Sterke krimp en daardoor niet substantieel meer
Staal	Cluster Noordzeekanaalgebied (NZKG)
Overig	Hoofdzakelijk decentrale industrie in Cluster 6

Ongeveer de helft van de elektriciteitsvraag bevindt zich in de vijf grote industrieclusters, de andere helft in cluster 6. In de latere jaren verschuift het zwaartepunt wat meer naar de grote clusters. Dit houdt verband met de elektrificatie van stoomkrakers, waarvoor veel elektriciteit nodig is. De meeste vraag naar waterstof bevindt zich in cluster Rotterdam-Moerdijk. In de latere jaren neemt het aandeel van dit cluster in de waterstofvraag in de meeste scenario's verder toe. Dit wordt veroorzaakt door de productie van biogene en synthetische grond- en brandstoffen, welke primair in cluster Rotterdam-Moerdijk zijn aangenomen.

Figuur 4.3.20 Elektriciteitsvraag per industriecluster.



Figuur 4.3.21 Waterstofvraag per industriecluster.

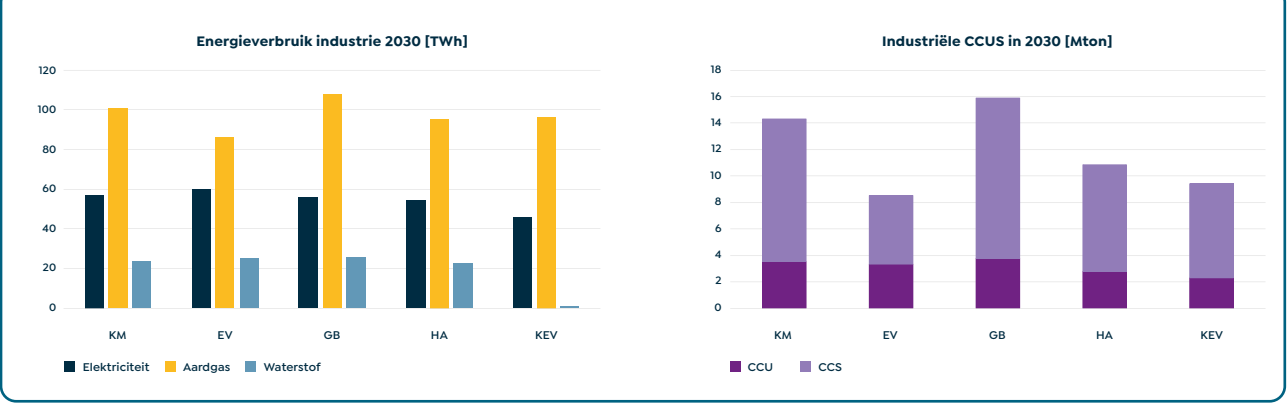


Vergelijking met KEV 2024

Hieronder volgt een overzicht van een aantal vergelijkingen voor 2030 van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 en het scenario 'vastgesteld en voorgenomen beleid' uit de meeste recente editie van Klimaat- en Energieverkenning (KEV 2024)¹¹⁰. Grosso modo voorzien de scenario's van de netbeheerders meer verregaande verduurzaming en emissiereductie dan de KEV 2024. Een belangrijke algemene

verklaring voor de verschillen is dat in het KEV-scenario alleen vastgesteld en voorgenomen beleid wordt opgenomen, terwijl in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 ook geagendeerd of geanticipeerd beleid is opgenomen. Daarnaast zijn de scenario's in dit rapport gericht op het halen van de klimaatdoelen in 2030 en daarna, terwijl de KEV 2024 juist is bedoeld om te kijken of die doelen met het vastgestelde en voorgenomen beleid haalbaar zijn.

Figuur 4.3.22 Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 in vergelijking met de KEV 2024 voor industrieel verbruik en CCUS.



De elektriciteitsvraag ligt in alle netbeheerdersscenario's hoger dan in de KEV. Dit ligt in lijn met de minder verregaande verduurzaming die in de KEV wordt voorzien ten opzichte van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Het verschil is het grootst in het scenario Eigen Vermogen, waarin de elektriciteitsvraag ruim 30 procent hoger ligt dan in de KEV.

De KEV 2024 voorziet bijna 10 Mton afvang van CO₂ voor gebruik en opslag in 2030. Qua ordegrootte is dit vergelijkbaar met het scenario Eigen Vermogen. In de andere netbeheerder scenario's ligt CCUS aanmerkelijk hoger, vooral in de scenario's Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans.

De KEV ligt qua vraag naar aardgas binnen de bandbreedte van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025¹¹¹. In scenario Eigen Vermogen ligt de gasvraag onder die van de KEV, wat samenhangt met de hogere elektrificatie

in dit scenario. De gasvraag in het Gezamenlijke Balans scenario is hoger dan in KEV, wat primair samenhangt met een hogere productie van blauwe waterstof binnen de industrie.

De KEV 2024 voorziet duidelijk lagere waterstofvraag dan de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. In de basis voorziet de KEV enkele honderden megawatt aan elektrolysecapaciteit, die primair door de industrie wordt gebruikt. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 voorzien een grotere elektrolysecapaciteit¹¹², waarmee een grotere vraaggroei van onder andere de industrie mogelijk wordt gemaakt. Daarnaast hebben de netbeheerders rekening gehouden met een groeiend gebruik van blauwe waterstof die tussen industrieën wordt getransporteerd. Hoewel de KEV ook een groei van blauwe waterstofproductie rapporteert, is dit niet in de bijbehorende kwantificatie verwerkt. Door dit verschil in scope ligt de waterstofvraag in KEV fors lager.

¹¹⁰ Naast de publicaties van PBL is tevens gebruik gemaakt van de KEV 2024 versie zoals beschikbaar in het ETM: energytransitionmodel.com/saved_scenarios/18836

¹¹¹ Voor een juiste vergelijking tussen KEV 2024 en de Netbeheer Nederland scenario's Editie 2025 is ook het verbruik van industriële WKK inbegrepen. Dit maakt dat de energiehoeveelheid af kan wijken van de grafieken elders in dit rapport.

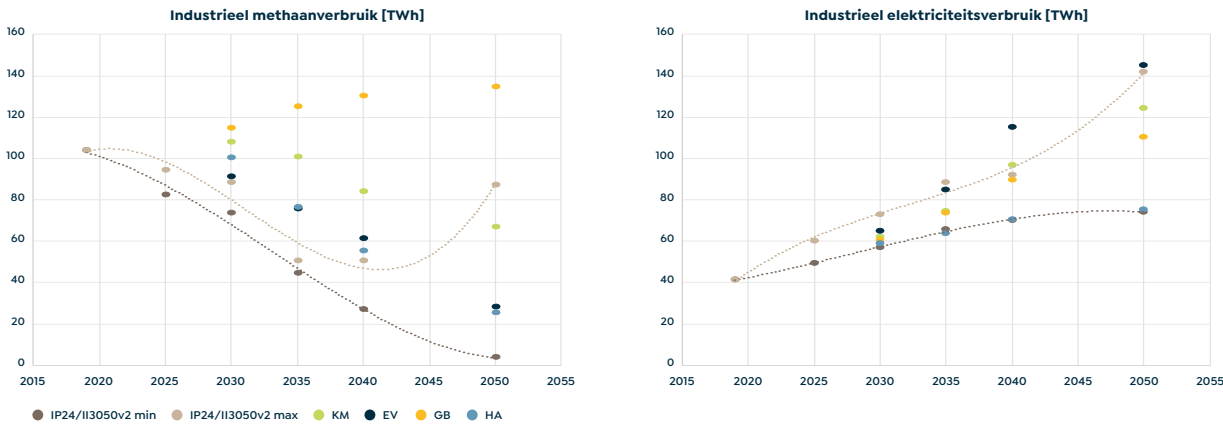
¹¹² Zie ook hoofdstuk 4.9 (Aanbod waterstof) voor meer informatie voor elektrolyse aannames van de netbeheerders, ook in vergelijking met de KEV.

Vergelijking IP2024/II3050v2

Hieronder een overzicht van een aantal vergelijkingen van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met de scenario's van het IP2024 en de tweede editie van II3050. Belangrijke algemene verklaring voor de verschillen is dat

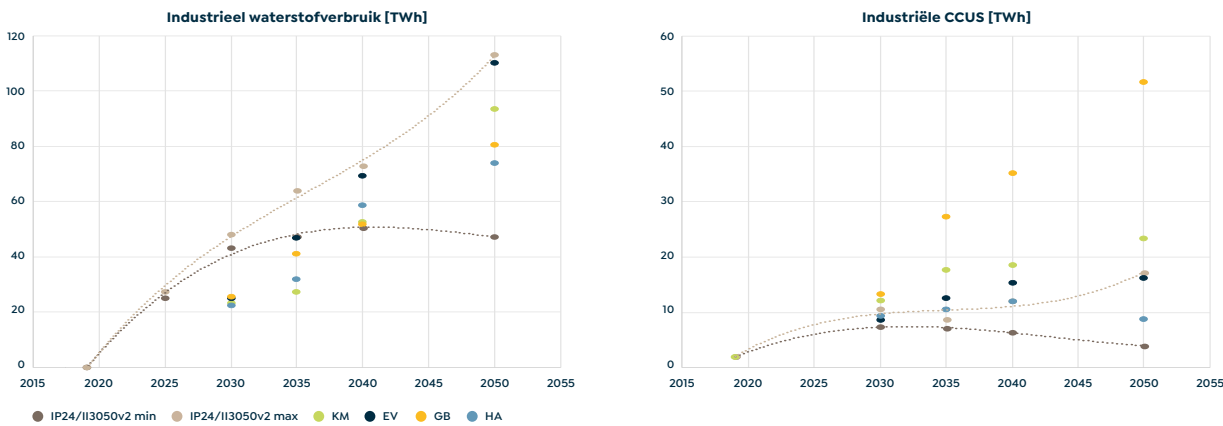
de methode anders is. Waar in II3050 editie 2 prognoses zijn gemodelleerd, zijn ze in deze Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 vooral vanuit bedrijfsplannen opgesteld. Dat levert soms een substantieel ander beeld op.

Figuur 4.3.23 Vergelijking Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met II3050v2 voor industriële vraag naar methaan en elektriciteit.



In vergelijking met eerdere scenario's valt de vraag naar methaan buiten de bandbreedte van eerdere studies. De bedrijfsplannen tonen dat bedrijven toch nog meer methaan - in combinatie met CCS - verwachten te gebruiken¹¹³. Dit houdt ook verband met een grotere rol van blauwe waterstof ten opzichte van waterstofproductie uit elektrolyse.

Figuur 4.3.24 Vergelijking Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met II3050v2 voor industrie waterstofvraag en CCUS.



De vraag naar waterstof toont vooral een vertraging ten opzichte van II3050v2 en komt in de nieuwe scenario's later op gang. Voortschrijdend inzicht in ontwikkeling van investeringsbesluiten laat zien dat de grote groei en schaal pas verder in de tijd ontstaat.

CCS is in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 veel hoger ingeschat dan in de scenario's van II3050v2. Een verklaring hiervoor is het uitblijven van zekerheid over prijs, aansluiting en beschikbaarheid van elektriciteit en waterstof, waardoor methaan in combinatie met CCS belangrijker is geworden.

Vergelijking met NPE

Het Nationaal Programma Energiesysteem (NPE) geeft richting aan het energiesysteem van de toekomst. De uitgangspunten en richting komen grotendeels overeen met de beelden in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Onder andere dat elektriciteit altijd een grote rol speelt en Nederland ook een grote rol speelt in de doorvoer van energie. Ook het belang van CCS en import van waterstof(dragers) komen terug in zowel het NPE als in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

¹¹³ Voor een correcte vergelijking met de scenario's van IP2024 en II3050v2 is ook de gasvraag en de CCS van nieuwe blauwe waterstofproductie inbegrepen. Dit maakt dat de cijfers kunnen afwijken van de grafieken elders in dit rapport.

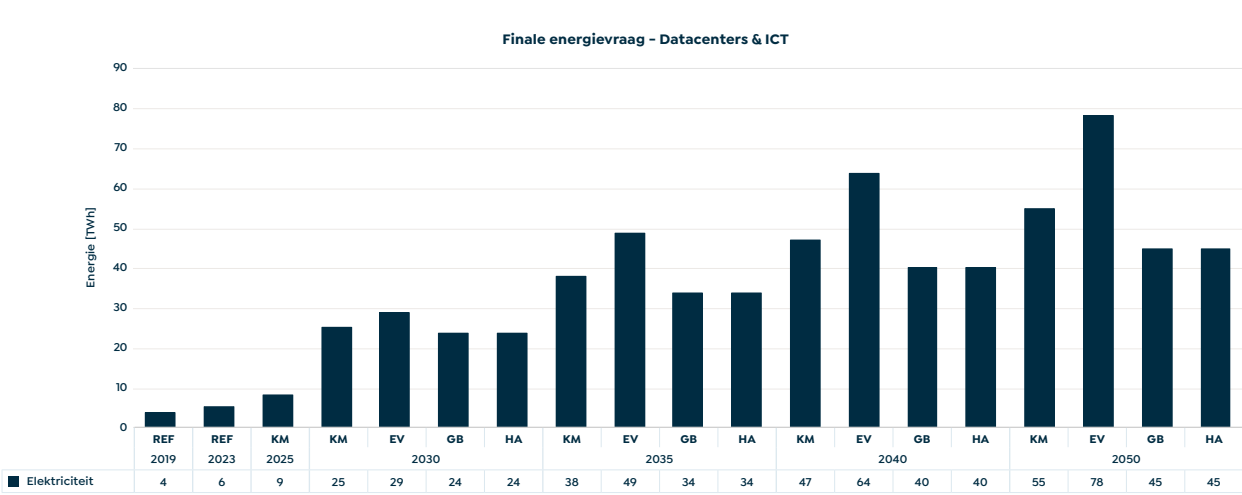
4.4 Datacenters

4.4.1 Samenvatting

De scenario's tonen een sterke groei in de elektriciteitsvraag van de datasector, zowel in de komende vijf jaar als voor de lange termijn. Figuur 4.4.1 toont de jaarlijkse elektriciteitsvraag van de datasector voor de verschillende scenario's voor de jaren 2030, 2035, 2040 en 2050. Hierin is een sterke groei zichtbaar richting 2030, met een bandbreedte van 24 tot

29 TWh vanwege de datacentercapaciteit die momenteel in de realisatiefase is. Maar de vraag neemt ook daarna nog flink toe, naar 45 tot 78 TWh in 2050. Het aandeel van de datasector in de totale elektriciteitsvraag neemt in alle scenario's eerst snel toe: van 5 procent in 2023 naar circa 15 procent in 2030. Het vlakt vervolgens af om vanaf 2035 rond de 17 procent te blijven. Alleen in scenario Eigen Vermogen blijft het aandeel licht verder groeien, van 20 procent in 2035 naar 23 procent in 2050.

Figuur 4.4.1 Groei van energievraag van de datasector in staafdiagram per scenario en steekjaar incl. tabel.



4.4.2 Verhaallijnen en trends in de sector

De datasector: kenmerken en trends

De datasector omvat alle gecentraliseerde ICT-services. De voornaamste onderdelen hiervan zijn datacenters en telecom. Er zijn verschillende typen en groottes van datacenters, die op verschillende netvlakken zowel op de regionale als landelijke stroomnetten worden aangesloten. Binnen de scenario's worden twee soorten datacenters onderscheiden:

1. Colocatie datacenters die ICT-diensten voor een groot aantal verschillende klanten aanbieden, met een aansluitvermogen tot maximaal zo'n 200 MW.
2. Hyperscale datacenters met in de regel maar één klant, vaak Big Tech-bedrijven, met een aansluitvermogen van enkele honderden MW.

Bedrijven zijn afgelopen jaren hun lokale datacenter of serverruimte gaan uitbesteden naar colocatie datacenters. Door de schaal en door de expertise van colocatie datacenters is deze opslag goedkoper en efficiënter. De efficiëntieslag van centralisatie heeft afgelopen jaren een dempend effect gehad op het elektriciteitsverbruik voor datadiensten, ondanks de toename van de datadiensten zelf.

Door schaalvergroting bij datacenters vindt de grootste vermogensgroei plaats op het hoogspanningsnet van TenneT. Voor de hyperscale datacenters geldt dat de reeds ingezette groei door o.a. clouddiensten verder doorzet als gevolg van de toenemende datavraag door AI-toepassingen.

Verhaallijnen voor vermogensgroei datacenters

De elektriciteitsvraag van datacenters heeft een grote impact op toekomstige ontwikkeling van infrastructuur voor elektriciteit. Op de korte termijn wordt een sterke groei verwacht van gecontracteerde datacentercapaciteit. Die verwachting is vrij zeker; de capaciteit bevindt zich al grotendeels in de realisatiefase. De lange termijn prognose na 2030 is veel onzekerder en varieert tussen de scenario's

Eigen Vermogen, Koersvaste Middenweg, Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer – afhankelijk van de mate waarin overheden verdere groei toestaan of beperkend beleid voeren. Bovendien is onzeker hoe de groei zich op lange termijn ontwikkelt, vanwege onzekerheid in de vraag van o.a. AI en technische ontwikkeling die bepalen hoe efficiënt deze vraag ingevuld kan worden. In tabel 4.4.1 staan de belangrijkste ontwikkelingen per verhaallijn.

Tabel 4.4.1 Onderbouwing van aangenomen vermogensgroei in de datasector per scenario.

Scenario	Vermogensgroei	Onderbouwing voor de aangenomen vermogensgroei
Koersvaste Middenweg	Midden	Door beperkend beleid worden tot 2030 met name de reeds bekende projectaanvragen gerealiseerd, waarvan de groei is ingeschat door het aangevraagde vermogen te vermenigvuldigen met een realisatiekans. Na 2030 komt er beperkte ruimte voor groei van datacenters in Nederland. Naast de op projectaanvragen gebaseerde groei is er voor zowel de regionale netbeheerders als TenneT een lange termijn prognose. Voor TenneT betreft deze +100 MW/jaar vanaf 2030.
Eigen Vermogen	Hoog	Tot 2030 worden alle bekende projectenaanvragen ongeacht realisatiekans gerealiseerd en enkele nieuwe projecten. Op lange termijn ziet Nederland een groot strategisch belang in het voorzien van de eigen databehoeft. Er wordt na 2030 geen nieuw beperkend beleid ingevoerd, waardoor de groei op lange termijn stabiel doorzet. De langetermijnprognose na 2030 voor TenneT betreft +200 MW/jaar.
Gezamenlijke Balans	Laag	Op korte termijn wordt beperkend beleid voor datacenters verder aangescherpt. Alleen concrete projecten met hoge realisatiekans vinden doorgang. De groei van datacenters verplaatst zich hierdoor naar omliggende landen, waardoor er ook op lange termijn slechts beperkte groei plaatsvindt in Nederland. De langetermijnprognose na 2030 voor TenneT betreft +50 MW/jaar.
Horizon Aanvoer		

4.4.3 Nationale kwantificatie

Kwantificatie vermogensgroei met klantenaanvragen en groeiprognose

Het elektriciteitsgebruik van datacenters wordt door een aantal factoren bepaald. Vertrekpunt voor alle scenario's zijn de bestaande datacenters in Nederland en toekomstige datacenterprojecten die bekend zijn volgens klantdata van de netbeheerders. Uit de klantaanvragen blijkt per project het aangevraagde gecontracteerd vermogen, jaartal van inbedrijfname en de aansluitlocatie. Tabel 1 beschrijft hoe de netbeheerders klantaanvragen hebben opgenomen in de scenario's. Daarnaast hebben alle netbeheerders een groeiprognose gemaakt voor de scenario's hoog (Eigen Vermogen), midden (Koersvaste Middenweg) en laag (Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer). De regionale netbeheerders gaan in de eerste jaren na 2030 nog van een steile groei uit, die afvlakt tussen 2035 en 2040. TenneT heeft gekozen voor een groeiprognose voor de lange termijn na 2030 van +200 MW/jaar in Eigen Vermogen, +100 MW/jaar in Koersvaste Middenweg en +50 MW/jaar in Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer.

Voor de kortetermijngroei op basis van klantaanvragen heeft TenneT afhankelijk van het scenario een correctie gedaan, door voor elke klantaanvraag het aangevraagde vermogen te vermenigvuldigen met een realisatiekans. De door accountmanagers ingeschatte realisatiekansen nemen toe, naarmate klantaanvragen verder zijn in het aanvraagproces.

Van gecontracteerd vermogen naar elektriciteitsverbruik

Het daadwerkelijk geobserveerde piekvermogen van datacenters is in praktijk duidelijk lager dan het gecontracteerde vermogen. Een reden hiervoor is dat nieuwe datacenters niet direct op vol vermogen draaien, maar over een periode van maanden tot jaren opschalen. Omdat er bij colocatie en met name bij hyperscale datacenters in de eerste jaren veel nieuwe aansluitingen worden gerealiseerd, is aangenomen dat als gevolg hiervan

de factor piekvraag gedeeld door het contractvermogen in 2030 nog laag ligt maar daarna toeneemt om vanaf 2040 op een constante waarde af te vlakken. De waarden voor het groeipad voor de piekvraag/contractvermogen zijn weergegeven in onderstaande tabel 4.4.2 en is gelijk voor alle scenario's. De lange termijn piekvraag/contractvermogen ligt voor colocatie datacenters met lager omdat daar klanten de benutting bepalen en soms ook capaciteit reserveren die ze niet volledig benutten.

Tabel 4.4.2 Overzicht rekenfactoren piekvraag/contractvermogen en gemiddelde benutting/piekvraag.

Scenario	2030	2035	2040	2050
Piekvraag/contractvermogen colocatie datacenters	60%	70%	75%	75%
Piekvraag/contractvermogen hyperscale datacenters	50%	70%	80%	80%
Gem. benutting/piekvraag colocatie datacenters	85%	85%	85%	85%
Gem. benutting/piekvraag colocatie datacenters	90%	90%	90%	90%

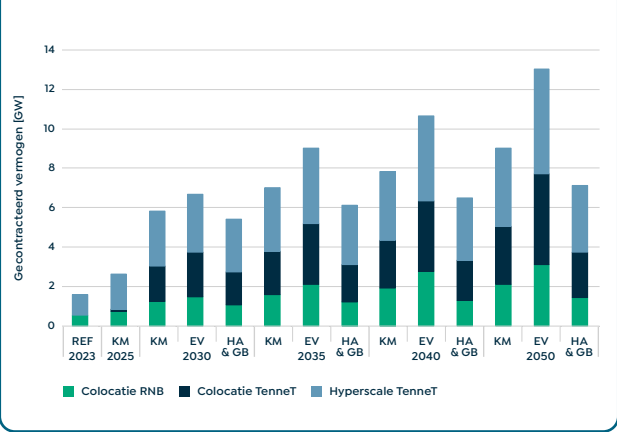
Omdat datacenters niet continu in alle uren van het jaar het piekvermogen vragen, wordt er verder een gemiddelde benuttingsfactor t.o.v. de piekvraag toegepast. Dit betreft zowel een dagelijks verbruiksprofiel dat in de nacht lager ligt, alsook een seizoenseffect omdat in de zomer de koelvraag hoger ligt. Voor colocatie datacenters is op basis van de meetdata steekproef uitgegaan van een gemiddelde benuttingsfactor van 85 procent; voor hyperscale datacenters van gemiddeld 90 procent benutting ten opzichte van het piekvermogen.

In de afgelopen jaren zijn er flinke technische efficiëntieverbeteringen gerealiseerd in de datacentersector, zodat de elektriciteitsvraag ondanks de forse toename aan data-diensten niet in dezelfde mate is toegenomen. Daarbij leidde het verplaatsen van inefficiënte lokale servers bij bedrijven naar colocatie datacenters en cloudservices in moderne datacenters ook tot grote efficiëntiewinst. Door centralisatie nam de elektriciteitsvraag binnen de bedrijfssector dus meer af, dan de toename in gecentraliseerde datacenters in de datasector. Dit dempende effect op de landelijke elektriciteitsvraag komt nu langzaam ten einde. Daar komt de groeiende vraag door AI nu bovenop. Er komt dus een golf van vraaggroei in datacenters aan, waarbij het onzekere effect van efficiëntieverbeteringen vooral zit in de afvlakking van deze vraaggroei voor de lange termijn. Aangenomen is dat efficiëntieverbeteringen binnen een bestaand datacenter worden opgevangen door plaatsing van extra rekencapaciteit, waardoor het energieverbruik van dat datacenter gelijk blijft. Wel is het gevolg dat de behoefte voor nieuwe datacenters afneemt en daarmee de vermogensgroei op lange termijn afvlakt. Het effect

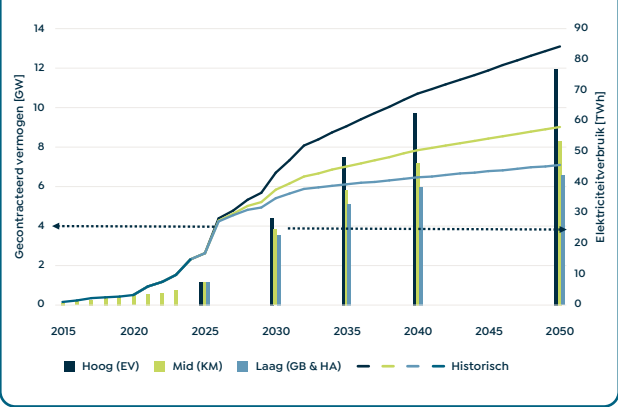
van hogere efficiëntieverbeteringen zou dus kunnen zijn dat de vermogensgroei op lange termijn laag is, zoals in Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer.

Terwijl de gecontracteerde vermogens volgens bekende datacenterplannen vooral in de komende twee jaar toenemen, wordt de effectief verwachte groei van de elektriciteitsvraag met enkele jaren vertraagd, door de geleidelijke groei van piekvraag en contractvermogen. Om dit in perspectief te zetten toont figuur 4.4.3 de lijnen van een sterke groei van gecontracteerde capaciteit, die in 2026 de 4 GW passeert en daarna minder steil toeneemt, en de lijnen die uiteengaan in een meer onzekere hoge, gemiddelde en lage groeiprognose voor de lange termijn. De groeigolf van elektriciteitsverbruik volgt met enkel jaren vertraging, waarbij de groei het steilst is wanneer deze rond 2030 de 24 tot 29 TWh passeert om daarna nog significant te groeien richting 45 tot 78 TWh in 2050.

Figuur 4.4.2 Gecontracteerde capaciteit en de verwachte piek- en gemiddeld verbruik per scenario.



Figuur 4.4.3 Groeilijnen voor gecontracteerde capaciteit en staafdiagram van elektriciteitsverbruik voor de datasector voor de verschillende scenario's.



4.4.4 a Gebruik sectorale data nationale programma's

Afstemming met de datasector

Het trendrapport¹¹⁴ van de Dutch Datacenter Association (DDA) verwacht gemiddeld 10 procent jaarlijkse vermogensgroei¹¹⁵ voor colocatie datacenters voor de periode 2024 tot 2029. Deze scenario-update voorziet een vergelijkbare vermogensgroei van colocatie datacenters, wanneer alleen naar de vermogensgroei bij de regionale netbeheerders wordt gekeken. Echter, wanneer ook de groei van colocatie datacenters bij TenneT wordt meegeteld, komt deze scenario-update aanzienlijk hoger uit. Voor hyperscale datacenter wordt in het DDA-trendrapport geen groeiverwachting afgegeven.

Sectorvertegenwoordigers en -experts en onder andere de DDA, NLdigital en Pb7 Research hebben enkele malen input en feedback geleverd op de scenario's. Sectorvertegenwoordigers geven aan dat de gevolgde methode op basis van aangevraagde netcapaciteit door datacenterklanten en daarnaast een langetermijnprognose, een goede manier is om de gewenste vraaggroei door de datasector in beeld te brengen. De onderkant van de bandbreedte van de scenario-update, met enkel zeer concrete aanvragen en aanvragen in de realisatiefase, zou een goede manier moeten zijn om de minimaal te verwachten groei van de datasector in te schatten. De sectorvertegenwoordigers verwachten echter dat de vraag tegen 2030 in de praktijk toch wat lager zal uitpakken. Ze verwachten dat sommige projecten vertraging zullen oplopen ten opzichte van het aangenomen jaartal voor inbedrijfname.

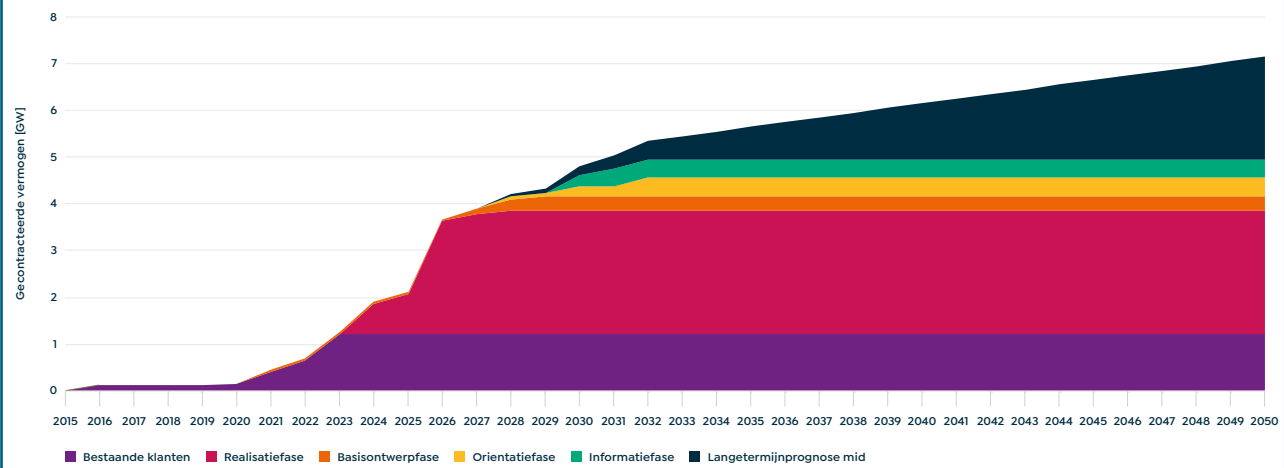
Vertraging kan ontstaan als vergunningtrajecten toch langer duren door gebrek aan capaciteit of zelfs door tegenwerking bij gemeenten. Hoewel de jaartallen voor inbedrijfname een inschatting betreffen voor het moment waarop de netbeheerder de aansluiting kan realiseren, verwachten de sectorvertegenwoordigers dat ook hier vertraging zal ontstaan. Voor de transportovereenkomst bij de aansluiting kan, bijvoorbeeld vanwege netcongestie, toch meer maatwerk nodig blijken voor het gezamenlijk vormgeven en realiseren van congestiemanagementafspraken. Denk hierbij aan het inzetten van de noodstroomvoorziening op momenten met netcongestie.

Aangezien er momenteel een groeigolf van datacenters gaande is, kan te veel vertraging ook tot afstel leiden. Als datacenterklanten in andere Europese landen sneller kunnen bouwen, zullen ze mogelijk hun groei behoeft daar invullen. Dat zal dan de groei in Nederland dempen.

Onderbouwing concreetheid met status van aanvragen bij TenneT

Figuur 4.4.4 laat de vermogensgroei van datacenters bij TenneT over de tijd zien in het Koersvaste Middenweg-scenario, waarbij klantaanvragen zijn uitsplitst naar hun status in het aanvraagproces. Dit onderbouwt de stelling dat het grootste deel van de groei tot 2030 komt uit klantaanvragen die al in de realisatiefase zijn bij TenneT. Aanvragen in de basisontwerpfase, oriëntatiefase en informatiefase zijn voornamelijk verantwoordelijk voor groei tussen 2027 en 2032. De groei daarna komt niet uit klantaanvragen maar betreft een groeiprognoze.

Figuur 4.4.4 Ontwikkeling gecontracteerd vermogen door datacenter bij TenneT voor bestaande klanten, klantaanvragen uitsplitst naar status en groeiprognoze voor de lange termijn voor het middenscenario Koersvaste Middenweg.

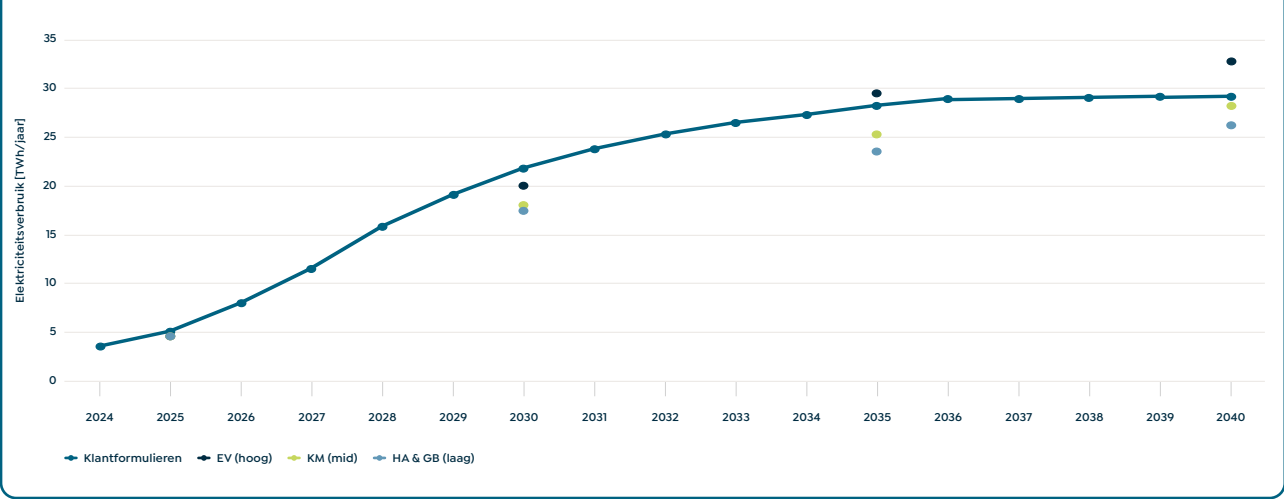


Verificatie elektriciteitsvraaggroei

Omdat er onzekerheid bleef bestaan over het groeipad voor de doorvertaling van gecontracteerd vermogen naar jaarlijks elektriciteitsverbruik, is er nog een verificatie gedaan op basis van klantformulieren bij bestaande datacenterklanten en aansluitaanvragen bij TenneT. Deze klanten hebben hun inschatting van hun energieverbruik voor de komende

jaren opgegeven. De optelsom van deze klantformulieren, zoals weergegeven in figuur 4.4.5 bleek goed binnen de scenariobandbreedte te liggen, en voor 2030 zelfs nog iets hoger. De scenario-aannames waarmee vergeleken wordt, betreffen alleen de aansluitingen bij TenneT en zijn exclusief de langetermijnprognose.

Figuur 4.4.5 Elektriciteitsvraag o.b.v. klantformulieren bij bestaande datacenterklanten en aansluitaanvragen bij TenneT, vergeleken met scenario-aannames voor TenneT excl. groeiprognoze.



Verschuiving van vraag en flexibiliteit bij datacenters

De intentie was om verschuiving van vraag in te schatten op basis van het Dialogic rapport “Hoe flexibel zijn datacenters?”¹¹⁶. Hieruit bleek, en dit werd bevestigd door gesprekken met de sector en datacenterklanten, dat op de huidige koers datacenters hun vraag slechts enkele procenten verschuiven bij hoge prijzen. Dit was aanvankelijk ook uitgangspunt in de scenario's, maar omwille van capaciteitstekorten is besloten om in de finale scenario's hogere percentages verschuiving van vraag bij datacenters aan te nemen. De hoogst aangenomen verschuiving van vraag is in scenario Eigen Vermogen met tot 40 procent lagere vraag bij zeer hoge prijzen (300 €/MWh). Scenario Eigen Vermogen heeft de hoogste groeiprognoze voor de lange termijn voor datacentercapaciteit. Onderdeel van de verhaallijn is dat hoge groei alleen draagvlak te verwachten valt bij overheden als nieuwe datacenters meer flexibel gaan opereren om minder negatieve impact te hebben op netcongestie en leveringszekerheid. In scenario's Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans is aangenomen dat het percentage vraagreductie oploopt tot 30 procent in 2050 en voor Horizon Aanvoer was 25 procent voldoende. Toename van vraag om deze uitgestelde vraag later weer

in te halen, is in alle scenario's op 10 procent gezet. Ruimte om de vraag verder toe te laten nemen is er niet, omdat het reguliere vraagprofiel gemiddeld al 85 tot 90 procent is ten opzichte van het piekvermogen.

Deze aanname van hoge flexibiliteit wijkt af van het huidige beeld van de sector, die maar enkele procenten voorziet. Meer flexibiliteit komt dus niet vanzelf van de grond. Wel is er in theorie potentie van o.a. het schuiven van vraag tussen datacenters op Europees niveau¹¹⁷. Tevens kan vraagrespons ingevuld worden door inzet van batterij- en langetermijnopslag en duurzame back-up-generatoren achter de meter van datacenters. Dat is in lijn met de ambitie van 24/7 CO₂-vrije elektriciteit van enkele Big Tech-bedrijven¹¹⁸. Als deze potentie ontsloten kan worden, kan dat een bijdrage leveren aan zowel leveringszekerheid, verduurzaming en minder netcongestie. Uit de gesprekken met de sector blijkt dat het vooralsnog niet aannemelijk is dat de datacenters deze potentie op eigen initiatief ontsluiten. Er is echter wel een Intentieovereenkomst Datacentersector in de maak tussen de sector, netbeheerders en de overheid die een eerste aanzet kan zijn om deze flexpotentie te ontsluiten.

¹¹⁴ State of the Dutch Data Centers 2024 – Dutch Data Center Association

¹¹⁵ Op basis van onderzoek door Pb7 Research, Mei 2024

¹¹⁶ Hoe flexibel zijn datacenters? Dialogic

¹¹⁷ Spatio-temporal load shifting for truly clean computing

¹¹⁸ 24/7 carbon-free electricity matching accelerates adoption of advanced clean energy technologies

4.4.4 b Regionalisering

Figuur 2 toont dat, over de scenario's en jaartallen heen, het grootste deel van de capaciteit voor datacenter (70-80 procent) colocatie of hyperscale bij TenneT is aangesloten. Het overige deel bestaat uit colocatie bij regionale netbeheerders. Niet zichtbaar in deze figuur is dat ca. 90 procent van de aansluitingen bij regionale netbeheerders een aansluiting betreft bij Liander, met name in en rond Amsterdam.

De inschatting van de capaciteitsgroei is bottom-up gemaakt o.b.v. aanvragen voor netcapaciteit. Het is zodoende bekend op welk station deze aanvraag aangesloten gaat worden. Elke netbeheerder heeft ook een beperkte groeiprognose voor de lange termijn gemaakt, waarbij op voorhand niet bekend is op welk station deze aansluitingen terechtkomen. Er is aangenomen dat ze in dezelfde regio nodig zijn waar ook nu de datacenters(aanvragen) staan. Zo heeft TenneT zijn groeiprognose voor de lange termijn 50/50 verdeeld over hyperscale en colocatie. Daarbinnen is hyperscale 50/50 verdeeld over Middenmeer en Eemshaven en colocatie over stations rond Amsterdam.

4.4.4 c Vergelijking met IP2024, I13050v2, KEV2024 en NPE

Toen in 2022 de scenario's voor de Investeringsplannen van 2024 (IP2024) werden opgesteld zagen netbeheerders al veel capaciteitsaanvragen, maar die waren toen nog in een vroeg stadium van het aanvraagproces. Zodoende was het dus onduidelijk of deze aanvragen tot realisatie zouden leiden. Bij actualisatie van de scenario's bleek dat veel van deze aanvragen inmiddels in de realisatiefase waren beland: er lag inmiddels een getekende offerte voor een nieuwe aansluiting of uitbreiding van een bestaande aansluiting. Tevens zijn er nieuwe aanvragen bijgekomen.

Actualisatie aannames in IP2024 rekenmethode

In deze scenario-actualisatie is dezelfde rekenmethode gebruikt als bij IP2024, maar zijn enkele aangenomen factoren aangepast. Daardoor volgt er een hoger elektriciteitsverbruik uit een hoeveelheid gecontracteerd vermogen. Zo was de factor piekvraag/contractvermogen bij IP2024 op 50 procent ingeschat voor alle datacenters en alle jaartallen, dus zonder aanname van ontwikkeling naar toekomstige jaren. Deze scenario-actualisatie verschaftte het inzicht dat het niet realistisch is dat gecontracteerde capaciteit ook op langere termijn onbenut blijft, gezien de schaarste aan capaciteit van zowel datacenters als in het elektriciteitsnet.

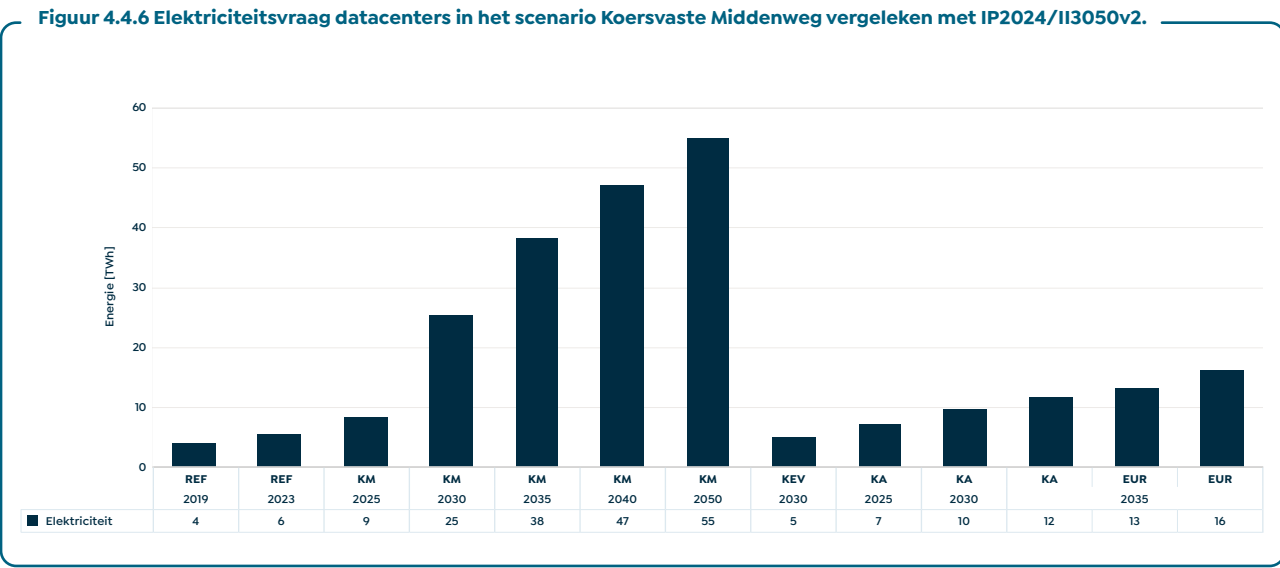
Daarnaast is op basis van de recente meetdata de aanname voor de benutting van het piekvermogen verhoogd van 60 procent naar 85 procent voor colocatie datacenters, en voor hyperscale datacenters van 80 procent naar 90 procent. Tot slot werd in IP2024 nog aangenomen dat efficiëntieverbetering zou zorgen voor 15 procent vraagafname bij bestaande datacenters. Ditmaal is er echter aangenomen is dat efficiëntieverbeteringen binnen een bestaand datacenter worden opgevangen door plaatsing van extra rekencapaciteit, waardoor het energieverbruik van dat datacenter gelijk blijft.

Deze drie aanpassingen tezamen betekenen dat in IP2024 voor alle jaartallen uitging van gemiddeld 29 procent benutting van gecontracteerd vermogen. In deze actualisatie is dat 48 procent in 2030, met een groeipad naar 61 procent in 2035 dat daarna afvlakt tot 67 procent. Met name in de latere jaren zorgen deze aanpassingen voor een ruime verdubbeling van het elektriciteitsverbruik bij eenzelfde aangenomen hoeveelheid gecontracteerd vermogen. Dit groeipad wordt bekrachtigd door uitgevoerde analyse op basis van de uitgevraagde klantformulieren zoals eerder getoond in figuur 4.4.5.

Vergelijking van het elektriciteitsverbruik

Deze aanpassingen leiden tot een kleine verdrievoudiging van de bandbreedte voor het elektriciteitsverbruik, in de geactualiseerde scenario's naar 24 tot 29 TWh in 2030 (was 8 tot 13 TWh in IP2024). Voor 2035 leiden ze zelfs tot een ruime verdrievoudiging naar 34 tot 49 TWh (was 9 tot 16 TWh in IP2024). In I13050v2 is aangenomen dat richting 2050 alle scenario's geleidelijk naar een bovengrens gaan van 16 TWh.

In de geactualiseerde scenario's wordt die waarde al voor 2030 gepasseerd, met een groei naar 45 tot 77 TWh in 2050. Daarmee geeft de actualisatie dus een factor 3 tot 5 hoger resultaat. Figuur 4.4.6 laat een vergelijking zien tussen het geactualiseerde scenario Koersvaste Middenweg en de scenario's Klimaat Ambitie en Europese Integratie uit IP2024/I13050v2. Het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) sluit aan bij dit middenscenario uit de IP2024/I13050v2.



Afstemming met de Klimaat- en Energieverkenning (KEV)

De Klimaat- en Energieverkenning (KEV) uit 2024 noemt geen specifieke getallen over de elektriciteitsvraag voor datacenters, behalve dat het een groeisector is. Navraag bij PBL en TNO leert dat in de KEV 2024 een datasectorvraag is aangenomen van 8 TWh in 2030, met een bandbreedte van 6 tot 11 TWh. Dit is met name gebaseerd op statistieken van het CBS en op sectorrapporten zoals die van de DDA. De analyse van deze scenario-update is besproken met de auteurs van de KEV. Zij nemen de inzichten van deze scenario-update mee in hun prognoses voor KEV 2025.

4.5 Kwantificatie per sector – Landbouw

4.5.1 Samenvatting

Energetisch wordt de landbouw gedomineerd door de energievraag in de glastuinbouw. De ontwikkelingen van de gasprijs en de afschaffing van het verlaagd tarief van belasting voor de glastuinbouw, zijn op de korte termijn belangrijke ontwikkelingen. De glastuinbouw gaat ervan uit in 2040 verduurzaamd te zijn. Met een focus op de glastuinbouw wordt er tussen de scenario's onderscheid gemaakt in het opgesteld vermogen van de warmtekrachtkoppeling installaties (WKK), de groei en krimp van de warmte- en elektriciteitsvraag en de invulling van de warmtebehoefte.

In alle scenario's is een daling van het finale energieverbruik zichtbaar, met name gedreven door energie-efficiëntie en een areaalkrimp, variërend over de scenario's. Elektriciteit zal de dominante warmtebron zijn voor de glastuinbouw, waar aardgas dat nu is. In sommige scenario's, zoals Eigen Vermogen, is elektriciteit in 2030 al de dominante warmtebron. In andere scenario's, zoals Gezamenlijke Balans, vindt dit pas richting 2050 plaats. De belangrijkste andere warmtebronnen zijn geothermie, restwarmte via warmtenetten, groen gas en biograndstoffen. In alle scenario's zal het opgesteld vermogen en de inzet van de WKK afbouwen richting 2040, waarbij de inzet harder daalt ten opzichte van het opgesteld vermogen. De WKK als warmtebron heeft in 2050 alleen in Gezamenlijke Balans nog een rol voor de invulling van de warmtebehoefte, draaiend op groen gas.

In de praktijk is het mogelijk dat de afname in WKK-vermogen later plaatsvindt dan in de scenario's geprognostiseerd, omdat de WKK's nog lange tijd ingezet worden voor balanshandhaving van het elektriciteitssysteem.

4.5.2 Verhaallijnen en trends in de sector

De overstap naar duurzame energie in 2050 heeft ook invloed op de landbouwsector. Met name voor de glastuinbouwsector is de warmtetransitie een belangrijk vraagstuk in de verduurzamingsopdracht. De hoge gasprijzen van afgelopen jaren leidden tot een uitdaging om in de warmtevraag van glastuinbouw te voorzien. Met als gevolg onder andere een motivatie tot verduurzamen en eventuele aanpassingen in mate van intensivering. Voor de glastuinbouw zijn er veel verschillende opties voor deze warmtetransitie: warmte- en elektriciteitopwek via een WKK, aansluiten op een (bestaand)

warmtenet(project), geothermie, gebruik van boilers. Per scenario zijn bepaalde vormen van warmtetransitie en energievraag hieronder uitgelicht.

Koersvaste Middenweg

Het scenario Koersvaste Middenweg heeft redelijk gunstige condities voor de glastuinbouw, onder andere door de blijvende rol van Nederlandse glastuinbouw in de wereldhandel. Een van de grote uitdagingen is om van elektriciteitsproductie naar elektriciteitsafname te gaan. Doordat in dit scenario grootschalige energieprojecten van de grond kunnen komen, wordt een overstap naar warmtenetten interessant voor de glastuinbouw.

Dit scenario gaat uit van een kleine krimp van het areaal tot 2030, waarna het stabiliseert tot 2050. Tegelijk wordt een mate van intensivering verwacht: kasoppervlak wordt meer ingezet voor verbouwen van groente, in lijn met huidige ontwikkelingen, en het kasoppervlak voor (snij)bloemen daalt. De trend van opschalen van bedrijfsgrootte, onder andere door clustering en opkoping, zet door.

In dit scenario is op korte termijn nog een rol te vinden voor traditionele WKK's, voornamelijk in het bieden van flexdiensten. Na 2030 nemen zowel de draaiuren als het opgesteld vermogen van WKK's af.

Eigen Vermogen

Ook het scenario Eigen Vermogen is relatief gunstig voor de glastuinbouwsector. Vanuit de strategische autonomiegedachte is er maatschappelijk belang voor intensivering van de voedselteelt in Nederland. Het grootste deel van de warmtevoorziening komt vanuit elektrificatie, gecombineerd met warmtenetten – vergelijkbaar aan de gebouwde omgeving. Omdat de energietransitie op de voorgrond staat, krijgen grootschalige projecten immers de kans om te ontwikkelen.

Er wordt geen grootse groei in areaal verwacht, gezien de verwachte verminderde wereldeconomie en internationale handel in dit scenario. De teelt wordt intensiever en er is ten opzichte van andere scenario's ook meer focus op intensieve en belichte teelt.

Vanwege de wens voor energie-autonomie blijven traditionele WKK's staan. Het aantal draaiuren neemt echter af met de jaren; de focus bij WKK-gebruik ligt op leveren van flexdiensten. Na 2030 nemen zowel de draaiuren als het opgesteld vermogen van WKK's af.

Gezamenlijke Balans

Het scenario Gezamenlijke Balans legt de focus op ontwikkeling van veel beleid en internationale samenwerking. Voor de glastuinbouw leidt dit tot pragmatische verduurzaming.

Er wordt uitgegaan van een kleine krimp in areaal tot 2030, gelijk aan het scenario Koersvaste Middenweg, en stabilisering van areaal tot 2050. De intensivering van de sector is gematigd, omdat energiehandel lucratief is als alternatieve inkomstenbron.

In dit scenario is de inzet van WKK's dan ook gunstig, vooral gecombineerd met de beschikbaarheid en betaalbaarheid van groen gas en de lagere opwek door middel van zon en wind. WKK's draaien op een mix van brandstoffen, waaronder groen gas, biogas en biomassa, die in dit scenario relatief goed beschikbaar zijn. Van die brandstoffen zal er onvoldoende beschikbaar zijn om de gehele glastuinbouw te verwarmen. Daarom zullen andere bronnen worden ingezet, zoals geothermie en warmtenetten, waar lokale potentie is.

Horizon Aanvoer

Het scenario Horizon Aanvoer legt de focus op internationale wereldhandel, waardoor in de glastuinbouwsector enkele grote verschuivingen plaatsvinden. De energie-intensieve teelt verplaatst naar het buitenland, waar gunstiger condities verwacht worden. De minder energie-intensieve high-tech teelt speelt in Nederland een grote rol. Het accent van de glastuinbouw verschuift naar het exporteren van kennis en techniek en importeren van energie-intensieve producten.

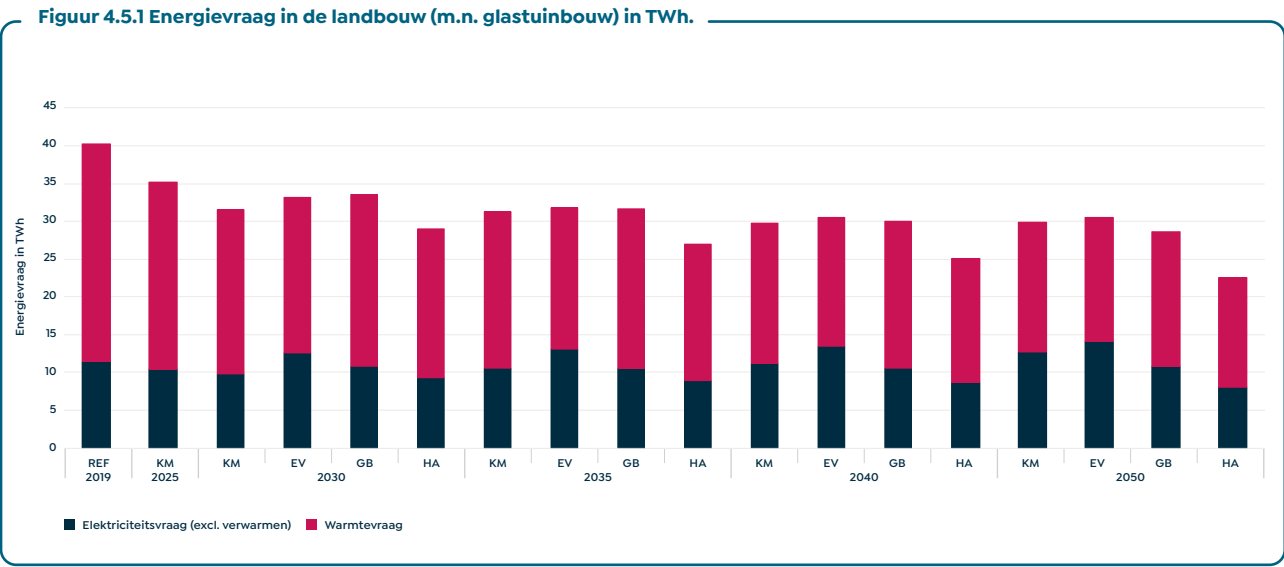
Er wordt uitgegaan van een krimp in areaal aangezien kleinere bedrijven niet snel genoeg kunnen investeren en zullen stoppen. Daarnaast zullen de grotere, innovatieve

en technologisch vooruitstrevende tuinbouwbedrijven kleinere bedrijven overnemen.

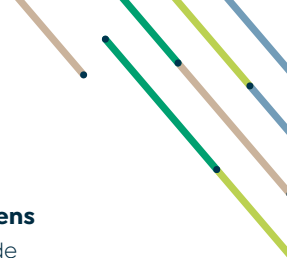
In dit scenario wordt ervan uitgegaan dat de traditionele WKK's geleidelijk verdwijnen bij de glastuinbouwsector. Hiervoor in de plaats komen in beperkte mate waterstof-WKK's, die voorzien in de warmtevraag van de glastuinbouwsector. Deze drager is binnen het door waterstof gedomineerde wereldbeeld ruim voorhanden. Toch wordt in de glastuinbouw geen grootschalige transitie naar waterstof-WKK's verwacht, doordat de vraag naar waterstof ook bij andere sectoren hoog zal zijn. De behoefte aan regelbare opwek in dit scenario zorgt ervoor dat de waterstof-WKK's financieel wel uitkomen, door elektriciteitsopwekking en systeemdiensten. Vanuit deze behoefte aan regelbare opwek wordt verwacht dat ook groengas-WKK's een aandeel zullen hebben.

4.5.3 Nationale kwantificatie

De energievraag vanuit de landbouwsector wordt gedomineerd door de glastuinbouw en bestaat uit een elektriciteitsvraag en een warmtevraag. Hierbij komt de huidige elektriciteitsvraag met name vanuit verlichting van kassen, terwijl in de toekomst ook de elektrificatie van de warmtevraag een grote rol gaat spelen. Naast elektrificatie hebben tuinders verschillende andere opties in de warmtetransitie, o.a. via eigen WKK's, aansluiting op een warmtenet en geothermie. De mogelijkheden voor tuinders kunnen lokaal verschillen, afhankelijk van de aanwezigheid van diverse bronnen. In de volgende paragrafen is per scenario uitgewerkt hoe de elektriciteitsvraag, warmtevraag en bronnenmix er in verschillende steekjaren uit ziet voor de landbouwsector. In figuur 4.5.1 is af te lezen hoe de energievraag per scenario en steekjaar voor de landbouwsector eruit ziet¹¹⁹.



¹¹⁹ Figuur 4.5.2 kijkt af van figuur 3.33, waar de finale energievraag in de landbouw wordt getoond. De twee grafieken tonen dan ook verschillende doorsneden van de vraag. De verschillen komen grotendeels voort uit de efficiëntie van warmtepompen, deze zorgt ervoor dat het deel van de warmtevraag zoals getoond in figuur 3.33 wat door de warmtepompen wordt ingevuld geleverd wordt door een kleinere finale elektriciteitsvraag. Een tweede verschil wordt veroorzaakt door het gebruikte klimaatjaar onderliggend aan de grafieken. Figuur 3.33 is gebaseerd op het standaard klimaatjaar in het ETM, terwijl de scenario's (gerepresenteerd in figuur 4.5.1) gebaseerd zijn op het iets koudere klimaatjaar 2012.



Algemene opmerking voorafgaand aan de paragrafen over de elektriciteitsvraag en warmtevraag. Wanneer wordt genoemd dat de elektriciteits- of warmtevraag groeit of krimpt, dan gaat het om de procentuele jaar op jaar verandering ten opzichte van het basisjaar in het ETM, 2019. Alleen als er expliciet twee jaartallen worden genoemd met de procentuele jaar op jaar verandering daartussen, wordt er geen vergelijking met 2019 gemaakt.

Daarnaast houden de uitspraken over ontwikkeling van elektriciteits- en warmtevraag in toekomstige jaren geen rekening met veranderingen in temperatuur (door het hanteren van een specifiek weerjaar). In andere woorden: de procentuele ontwikkeling van energievraag gaat uit van een gelijkblijvende temperatuur in alle steekjaren.

Elektriciteitsvraag

Afgezien van elektrisch verwarmen wordt de elektriciteitsvraag in de glastuinbouw in toekomstige jaren bepaald door areaalomvang, typen teelt, intensivering van teelt, extensivering en energiebesparing. Hierbij zorgt intensivering voor extra elektriciteitsvraag per hectare, terwijl extensivering en energiebesparing juist leiden tot minder elektriciteitsvraag per hectare. Deze processen vinden parallel en ‘achter’ de meter van tuinders plaats, waardoor een geïsoleerd beeld geven van één van de processen zeer complex is¹²⁰. Wanneer in de volgende subparagrafen wordt gesproken over intensivering, wordt hiermee de netto toename van het elektriciteitsverbruik per m² kas bedoeld, waarin rekening is gehouden met eventuele energiebesparingen. Andersom wordt met energiebesparingen de netto afname van elektriciteitsverbruik bedoeld, waarin al rekening is gehouden met eventuele intensivering.

Koersvaste Middenweg is geijkt op de KEV2022¹²¹ en KEV2023¹²². De elektriciteitsvraag in dit scenario neemt door lichte areaalkrimp en energiebesparing tot 2030 af met 1,4 procent per jaar. Dit komt met name door onzekerheid over belastingvoordelen, energieprijzen en inzet van WKK's. Na 2030 stabiliseert de areaalomvang en vindt verdere clustervorming van de sector en intensivering plaats. O.b.v. stakeholder gesprekken¹²³ en prognoses van WUR¹²⁴ is een intensiveringsfactor voor elektriciteitsverbruik tussen 2030 en 2050 vastgesteld van 25 procent (1,1 procent per jaar). Dit leidt tot een toename van de energievraag in 2050 tot net boven het niveau van 2019.

Eigen Vermogen is het meest gunstige scenario voor de glastuinbouwsector. Areal blijft stabiel en vanuit belang van strategische autonomie wordt meer ingezet op intensivering van teelt. Elektrificatie is het hoogst in dit scenario. KEV2021¹²⁵ is aangehouden voor dit scenario, omdat deze KEV is opgesteld vóór de energiecrisis en de aanname voor intensivering hoger lag. De elektriciteitsvraag in het scenario Eigen Vermogen groeit gestaag. Eerst met 0,9 procent per jaar tot 2035 en daarna met 0,5 procent per jaar tussen 2035 en 2050.

Het scenario **Gezamenlijke Balans** zit, net als Koersvaste Middenweg, tussen Eigen Vermogen en Horizon Aanvoer in. In Gezamenlijke Balans is areaalontwikkeling gelijk aan Koersvaste Middenweg. De intensivering van de sector is gematigd, omdat energiehandel lucratief is als alternatief. De elektriciteitsvraag in het scenario Gezamenlijke Balans krimpt met 0,5 procent per jaar tot 2035 en blijft daarna stabiel tot aan 2050.

Het scenario **Horizon Aanvoer** ligt lager dan de andere scenario's in termen van energievraag, doordat energie-intensieve teelt verplaatst naar het buitenland en areaal verder krimpt. De elektriciteitsvraag ligt daarmee in alle steekjaren onder de andere wereldbeelden. Dit resulteert in een daling van de elektriciteitsvraag van 1,8 procent per jaar tot aan 2030. Tussen de jaren 2030 en 2050 vlakt deze daling af en krimpt de elektriciteitsvraag met 0,7 procent per jaar.

Warmtevraag

De warmtevraag is het resultaat van areaalomvang, type teelt en warmtebesparingen. De warmtebehoefte neemt in alle scenario's af. Het uitgangspunt is dat er in 2040 al 30 procent minder energie voor het verwarmen van de kassen wordt gebruikt dan in 2019¹²⁶. Hieromheen is gevarieerd in verschillende scenario's.

Koersvaste Middenweg is geijkt op de KEV2022 en KEV2023 voor de jaren tot aan 2035. Voor steekjaren 2040 en 2050 is Koersvaste Middenweg geijkt op het NPE. De warmtevraag in het scenario Koersvaste Middenweg krimpt 2,5 procent per jaar tot 2030. De krimp zet daarna verder door, maar neemt af tot 1,2 procent krimp per jaar tussen 2030 en 2050.

Doordat in **Eigen Vermogen** de meeste technologische ontwikkeling en innovatie plaatsvindt, is er een snellere afbouw van de warmtevraag dan in Koersvaste Middenweg. Deze warmtevraag is geijkt op het visiedocument van de sector¹²⁷, uitgaande van een daling van de warmtevraag tot 60 PJ in 2040. De warmtevraag in het scenario Eigen Vermogen krimpt 3 procent per jaar tot 2030. De krimp zet daarna verder door, maar neemt af tot 1,1 procent krimp per jaar tussen 2030 en 2050.

In het scenario **Gezamenlijke Balans** wordt uitgegaan van minder snelle afbouw van de warmtevraag. Dit scenario gaat uit van pragmatische verduurzamingen, een stabiele elektriciteitsvraag en lucratieve energiehandel. Warmtebesparingen staan minder hoog op de agenda en gaan dus minder snel dan bij anderen wereldbeelden. De warmtevraag in het scenario Gezamenlijke Balans krimpt redelijk stabiel tot aan 2050: 2,1 procent krimp per jaar tot 2030, aflopend tot 1,2 procent krimp per jaar tussen 2030 en 2050.

Het scenario **Horizon Aanvoer** ligt ook voor warmtevraag lager dan de andere scenario's in de verschillende steekjaren. Dit resulteert in een krimp van de warmtevraag van 3,4 procent per jaar tot aan 2030 en dit vlakt af tot 1,7 procent krimp per jaar tussen 2030 en 2050.

4.5.3.1 Bronnenmix en opgestelde vermogens

De bronnenmix voor de warmtebehoefte van de landbouw wordt momenteel hoofdzakelijk ingevuld door de aardgas-WKK en gasketels¹²⁸. Het gebruik van de gasketel gaat versneld afnemen door fiscale maatregelen, vanwege afbouw van voordelen in de energiebelasting. Dit is vastgelegd in de Wet fiscale Klimaatmaatregelen glastuinbouw, die op Prinsjesdag 2023 is gepresenteerd¹²⁹. De glastuinbouwsector krijgt vanaf 2025 prijsprikkels om te verduurzamen, waarbij het gereduceerd tarief van de energiebelasting wordt afgeschaft tussen 2025 en 2029. Afhankelijk per scenario wordt de warmtevoorziening op een alternatieve wijze ingevuld. Bijvoorbeeld door geothermie of (rest-)warmte van derden, warmtepompen of duurzame gassen. Op dit moment worden reeds water warmtepompen met warmtekoude-opslag (WKO) toegepast, maar het aandeel is nog dusdanig klein dat water warmtepompen met WKO voor 0 procent zijn opgenomen in 2025.

Per scenario is de verdeling van de bronnenmix beschreven. Daarnaast zijn er per scenario twee grafieken toegevoegd:

- Ontwikkeling warmtebronnen: dit geeft de procentuele verdeling weer van de warmtebronnen binnen de gehele warmtevraag.
- Ontwikkeling volumes per warmtebron: dit geeft de volumes in warmte-aanbod weer in petajoule [PJ].

In de grafieken zijn zowel *geothermie* als *warmtenet* aangegeven. Met *geothermie* wordt een lokale geothermiebron bedoeld, die direct levert aan de afnemer. *Warmtenetten* worden vanuit verschillende bronnen gevoed, waarbij geothermie ook een optie is. Deze opties worden verder uitgelicht in hoofdstuk 4.10 Warmtenetten.

In elk scenario is aangenomen dat het opgesteld vermogen aan WKK krimpt, voornamelijk omdat de inzet van de WKK voor de invulling van de warmtebehoefte daalt als gevolg van de gewenste verduurzaming van de sector. De timing van de afname van WKK-vermogen is echter onzeker. In de praktijk zal de afname in WKK-vermogen later kunnen plaatsvinden dan in de scenario's geprognoseerd, omdat de WKK's nog voor langere tijd ingezet worden voor balanshandhaving.

¹²⁰ Energiebesparing glastuinbouw in actueel perspectief (Smit & Grootsholten, 2024) edepot.wur.nl/646724

¹²¹ [Klimaat- en Energieverkenning 2022](#)

¹²² [Klimaat- en Energieverkenning 2023](#)

¹²³ Stakeholder interviews met Blueterra en Glastuinbouw Nederland

¹²⁴ Prognoses CO₂-emissie glastuinbouw 2030 (WUR) 2018, edepot.wur.nl/448968

¹²⁵ [Klimaat- en Energieverkenning 2021](#)

¹²⁶ NPE, [Kas als energiebron](#)

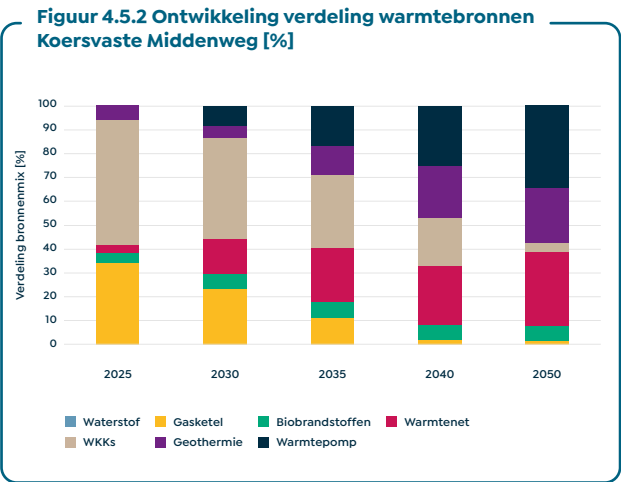
¹²⁷ [Energievisie 2040 – update 2023](#)

¹²⁸ Klimaat- en energieverkenning (KEV) 2022

¹²⁹ zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2023-505.html

Koersvaste Middenweg

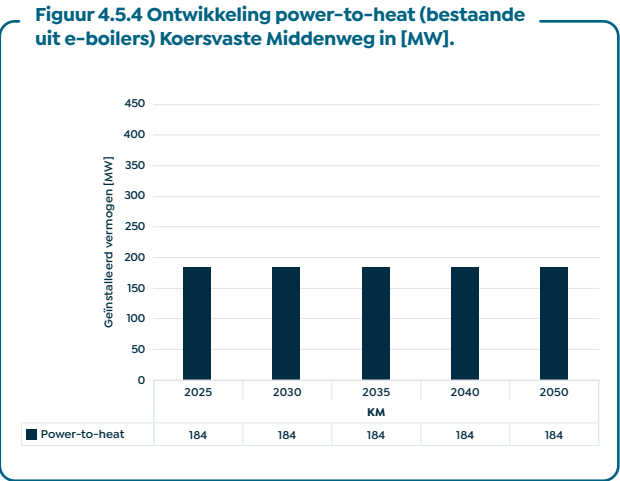
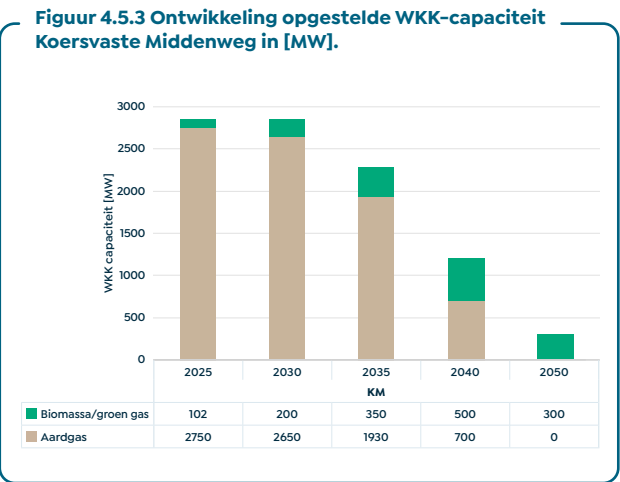
In het scenario Koersvaste Middenweg bouwt het aandeel van de gasketel af naar 2 procent in 2050 en blijft de WKK nog een aandeel in de warmtevoorziening invullen van ca. 4 procent (zie figuur 4.5.2). De potentie van warmte van derden (o.a. restwarmte) groeit naar 25 procent in 2040 conform het visiedocument van Glastuinbouw Nederland¹³⁰ en groeit door richting 31 procent in 2050 (zie paragraaf Gebruik sectorale data nationale programma's). De invulling door geothermie stijgt naar 23 procent in 2050. Dit is conform de inschatting van de KEV2022 van 12 PJ in 2030. Het aandeel van warmtepompen voor de invulling van de warmtebehoefte stijgt naar 25 procent in 2040, met een afgevlakte groei naar 34,3 procent in 2050. Naar verwachting worden geen ketels met biograndstoffen meer bijgeplaatst, maar vanwege de afname van de totale warmtevraag, stijgt het aandeel licht van 4,2 naar 6,3 procent.



Het huidige opgesteld vermogen voor WKK's blijft in 2030 onveranderd, met daarbij een verdubbeling van het vermogen van met groengas- en biomassagestookte WKK's (zie figuur 4.5.3). Het vermogen van de aardgasgestookte WKK's gaat naar 0 in 2050, wanneer er nog wel 300 MW aan

groengas- en biomassagestookte WKK's staat. De piek aan opgesteld vermogen van groengas- en biomassagestookte WKK's vindt plaats in 2040, wanneer met 500 MW bijna de helft van het vermogen hernieuwbaar is.

In het scenario Koersvaste Middenweg blijft de huidige hoeveelheid aan power-to-heat-vermogen zoals het nu is (zie figuur 4.5.4).

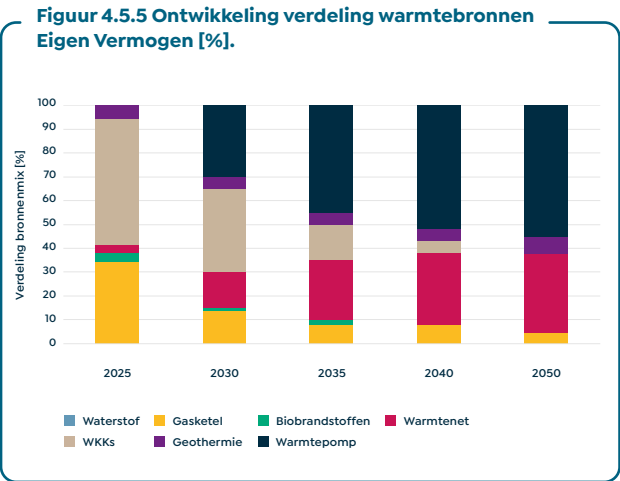


Eigen Vermogen

In het scenario Eigen Vermogen is er vanwege de sterke focus op elektrificatie sprake van een maximale potentie van warmtepompen. Het aandeel van warmtepompen (elektriciteit) is circa 55 procent. Dit is hoger dan het hoogste scenario bij het IP2024, waar uit is gegaan van 40 procent.

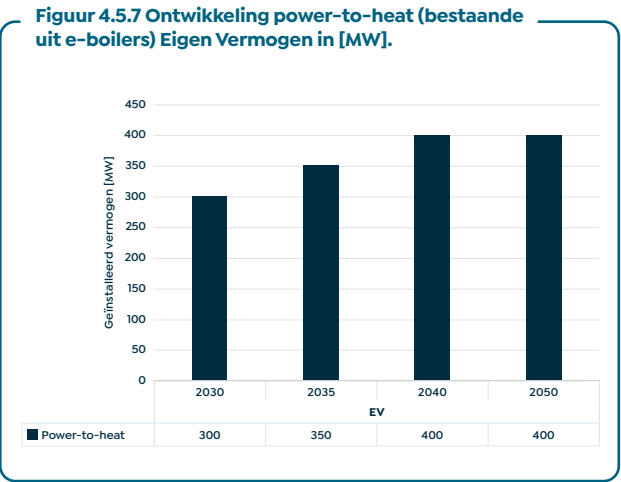
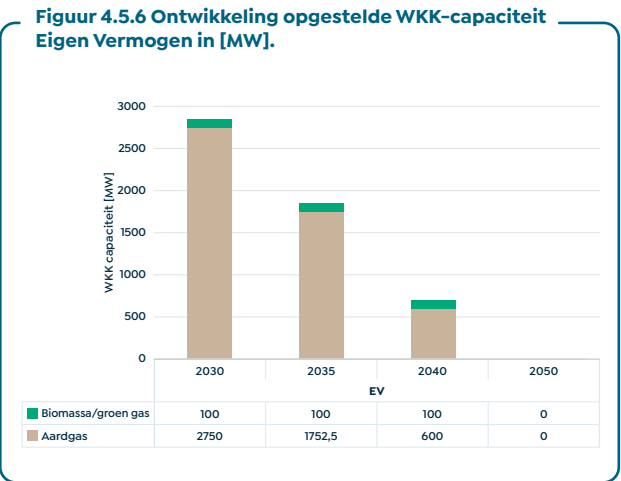
Voor geothermie geldt de laagste realisatie en is er sprake van een geringe groei naar een aandeel van 7 procent in de warmtevoorziening in 2050. Resterende warmte vanuit derden (o.a. restwarmte) groeit in aandeel naar 33 procent van de warmtevoorziening in 2050.

De inzet van WKK's voor de invulling van de warmtebehoefte daalt snel naar 5 procent in 2040 en is in 2050 0 procent. Het aandeel van de gasketel daalt ook snel. In de grafiek is te zien dat de gasketel tot en met 2050 nog wel een rol speelt, maar dit heeft enkel een modelmatige reden¹³¹.



Het huidige opgesteld vermogen voor WKK's neemt snel af na 2030, door de snelle groei van warmtepompen en warmtenetten als warmtebron. Het huidige opgesteld vermogen van zo'n 100 MW van groengas- en biomassa-gestookte WKK's blijft constant tot 2040, het laatste jaar dat er nog sprake is van WKK-vermogen (zie figuur 4.5.6).

In het scenario Eigen Vermogen is sprake van de grootste mate van elektrische flexibiliteit. In lijn daarmee stijgt de power-to-heat-capaciteit (e-boiler) snel naar 300 MW in 2030, waarna er nog groei plaats vindt tot 400 MW, wat wordt bereikt in 2040 (zie figuur 4.5.7). Dit vermogen blijft relatief beperkt omdat warmtepompen efficiënter de bulk van de warmtevraag kunnen dekken.

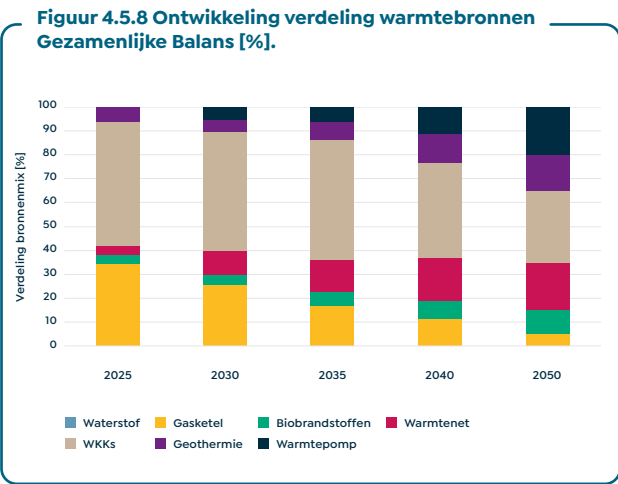


¹³¹ Het aandeel van de gasketel is in het ETM noodzakelijk om Power-to-Heat (zoals E-boilers) mogelijk te maken in het systeem.

Gezamenlijke Balans

In het scenario Gezamenlijke Balans blijven WKK, en in mindere mate de gasketel, voor een langere tijd nog een belangrijke rol spelen, zoals te zien in figuur 4.5.8. Het aandeel WKK blijft tot 2035 nagenoeg gelijk aan de huidige situatie, met een daling daarna naar 2050. Het aandeel WKK is in 2050 30 procent. Bij de gasketel is er sprake van een lineaire afbouw naar 5 procent in 2050. Richting 2050 zal het aandeel van groen gas vanuit het netwerk vergroten. Er is in het scenario Gezamenlijke Balans geen rekening gehouden met de ombouw naar waterstofketels, omdat de verwachting is dat waterstof eerder naar andere sectoren gaat.

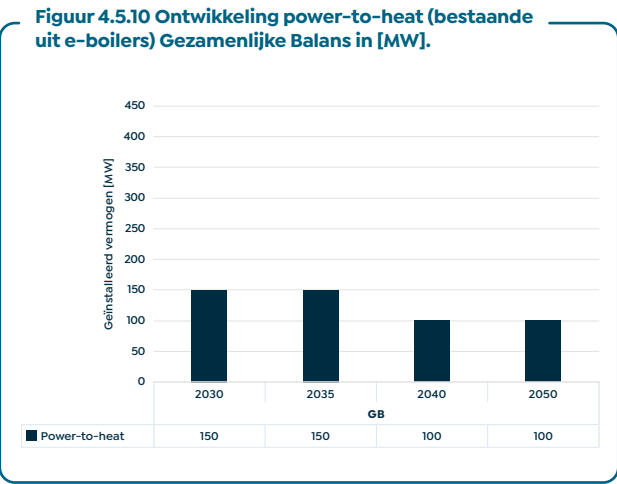
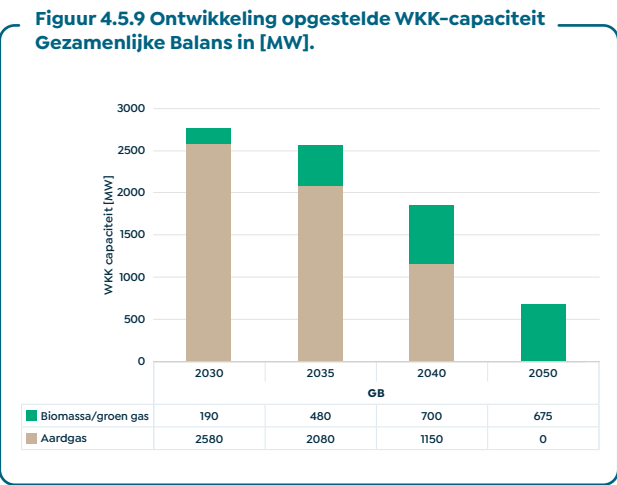
De ontwikkeling van alternatieve warmtebronnen verloopt trager dan in het scenario Koersvaste Middenweg, vanwege de focus op moleculen. Voor geothermie en warmte van derden, waaronder restwarmte, wordt een groei naar respectievelijk 15 procent en 20 procent van de warmtevoorziening verondersteld.



In het scenario Gezamenlijke Balans is de rol van (duurzame) moleculen het grootst. In lijn daarmee verloopt de afbouw van het opgestelde WKK-vermogen in dit scenario het langzaamst en is er in 2050 met 675 MW groengas- en biomassagestookte WKK's het grootste resterende vermogen.

Door de relatief grote beschikbaarheid van groen gas en biomassa is er ook in 2035 (met 480 MW) en 2040 (met 700 MW) een aanzienlijke hoeveelheid groengas- en biomassagestookte WKK's (zie figuur 4.5.9).

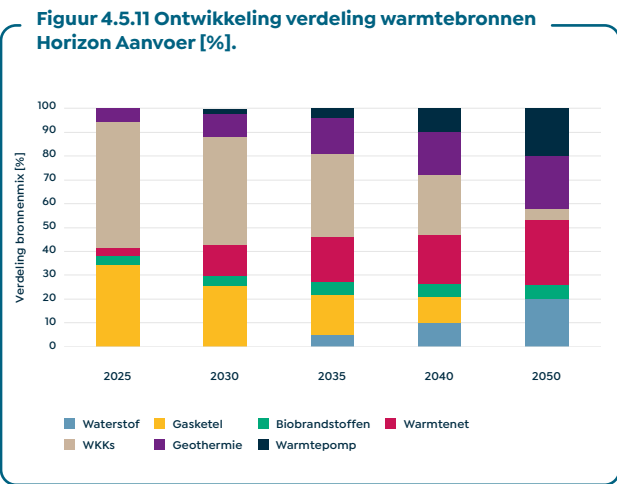
Met het grootste WKK-vermogen heeft het scenario Gezamenlijke Balans juist minder power-to-heat-vermogen in de landbouw dan de andere scenario's. Een lichte daling tot 150 MW in 2030 wordt gevolgd door een tweede daling in 2040, waarbij nog 100 MW over blijft (zie figuur 4.5.10).



Horizon Aanvoer

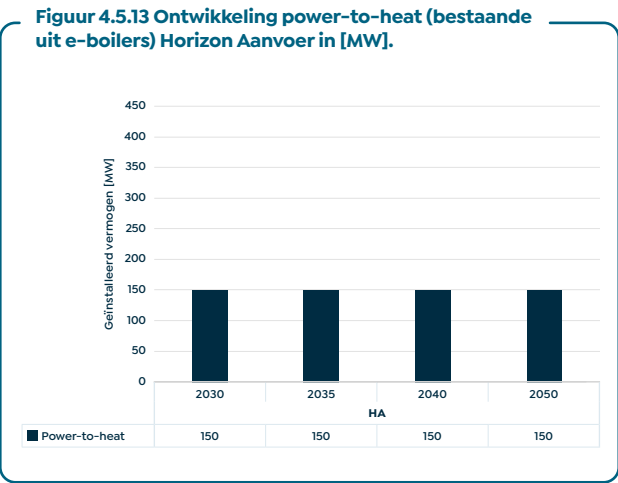
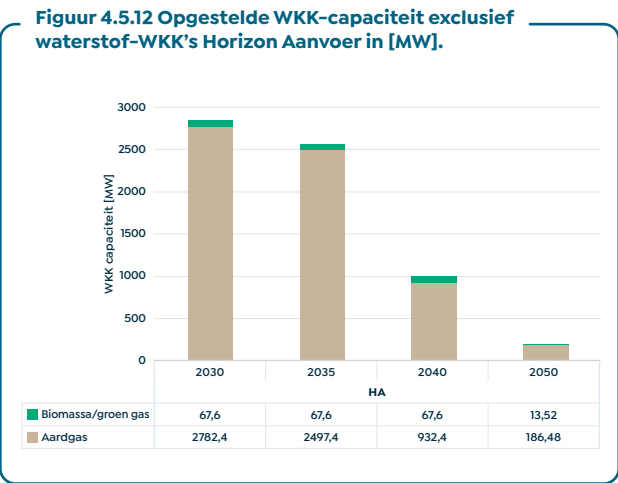
Het scenario Horizon Aanvoer is het enige scenario dat rekening houdt met de modificatie naar waterstof-WKK's en -ketels en de inzet van waterstof. Deze inzet wordt verwacht vanaf 2035. Het aandeel waterstofketels groeit naar 20 procent in 2050. In dit cijfer zit ook het aandeel van waterstof-WKK's¹³².

Het gebruik van warmtepompen blijft voor een lange tijd uit, het aandeel hiervan betreft 20 procent in 2050. De resterende warmtevraag wordt hoofdzakelijk ingevuld door aardwarmte (22 procent in 2050) en warmtenetten (27 procent in 2050).



Het scenario Horizon Aanvoer is het enige scenario waarin er nog een (beperkt) aandeel is voor gasgestookte WKK's in 2050. De snelste afname in WKK-vermogen vindt plaats tussen 2035 en 2040 (zie figuur 4.5.12). Vanaf 2035 zullen er ook waterstofgestookte WKK's aanwezig zijn, zij het beperkt. Deze WKK's zijn opgenomen onder "Waterstof"¹³³.

Het power-to-heat-vermogen in het scenario Horizon Aanvoer is iets hoger dan in het scenario Gezamenlijke Balans, maar lager dan Koersvaste Middenweg en uiteraard Eigen Vermogen. Na een lichte afname vóór 2030 blijft het opgesteld vermogen constant op 150 MW (zie figuur 4.5.13).



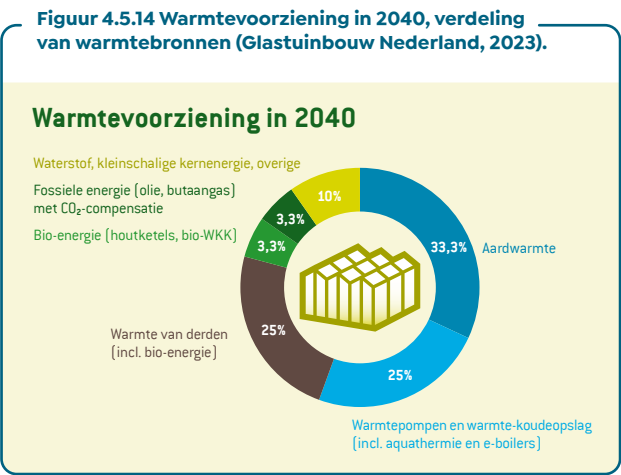
¹³² Deze zijn echter niet in de tabellen terug te vinden, omdat het ETM geen waterstof WKK's voor de landbouw kent.

¹³³ Het vermogen van deze WKK's is niet gekwantificeerd in het ETM, omdat ten tijde van het opstellen van deze scenario's het ETM geen optie had voor waterstofgestookte WKK's in de landbouw. De geleverde warmte vanuit waterstof zoals getoond in figuur 4.5.14 is daarmee in het ETM gemodelleerd als puur afkomstig uit waterstofboilers, terwijl de aanname dus is dat deze warmte deels in boilers en deels in WKK's geproduceerd zal worden.

4.5.4 Gebruik sectorale data nationale programma's

4.5.4.1 Visiedocument Glastuinbouw Nederland

Glastuinbouw Nederland heeft in juni 2023 een geüpdatet energievisie voor de glastuinbouw gepubliceerd¹³⁴. Deze energievisie bevat een verwachte verhouding van warmtebronnen voor de glastuinbouw in 2040. Dit document is de basis voor de verdeling van warmtebronnen in 2040.



Vervolgens zijn er in elk scenario aanpassingen gedaan op de verdeling van warmtebronnen, in lijn met de verhaallijn en dominante energiedragers van dat scenario. Daarnaast is de verdeling in 2050 verder gevarieerd.

Als voorbeeld: in het scenario Eigen Vermogen is elektriciteit dominant er ten opzichte van andere scenario's. Daar is het aandeel warmte uit elektriciteit in 2040 niet 25 procent (zie figuur 4.5.5), maar 52 procent. In Eigen Vermogen 2050 ontwikkelt het aandeel warmte uit elektriciteit nog verder door naar 55,5 procent, als gevolg van volledige uitfasering van de WKK en vervanging door elektriciteit.

De belangrijkste afwijkingen ten opzichte van de energievisie van Glastuinbouw Nederland staan hieronder beschreven:

1. De energievisie gaat uit van een 33,3 procent aandeel van geothermie. Het scenario Koersvaste Middenweg lijkt hier sterk op (23 procent directe geothermie en 30,7 procent warmtenet, waar geothermie een belangrijke bron voor is). Het aandeel geothermie is in Eigen Vermogen, Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer lager dan de 33,3 procent van de energievisie.

2. In Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen is het aandeel elektriciteit hoger dan de 25 procent in de energievisie (34,3 procent respectievelijk 55,5 procent) in Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer is het aandeel juist lager (12,5 procent respectievelijk 20 procent). De energievisie vormt het vertrekpunt, en de scenario's variëren hierop om de bandbreedtes qua impact op infrastructuur te verkennen.

3. De energievisie gaat uit van een 10 procent aandeel van waterstof, kleinschalige kernenergie en overige bronnen. Waterstof als warmtebron is alleen in scenario Horizon Aanvoer aangenomen, met een aandeel van 20 procent.

Tenslotte gaat de energievisie ook uit van een 35 procent warmtebesparing in 2040 ten opzichte van 2017. Ook dit is als vertrekpunt gebruikt. Zo heeft Koersvaste Middenweg een warmtebesparing van 30 procent in 2040 en 35 procent in 2050 ten opzichte van 2019. Eigen Vermogen, Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer hebben in 2050 warmtebesparingen van respectievelijk 39, 31 en 44 procent. De daling in warmtevraag in Horizon Aanvoer is zo groot vanwege de sterkere areaalkrimp.

Overige bronnen

Naast de energievisie van Glastuinbouw Nederland zijn ook andere bronnen gebruikt. Het Nationaal Plan Energiesysteem van de Rijksoverheid is een belangrijke bron. De belangrijkste warmtebronnen omschreven in het NPE zijn geothermie, warmtepompen i.c.m. warmte-koudeopslag (WKO), restwarmte, biograndstoffen en aquathermie. Deze komen allemaal in verschillende hoeveelheden terug in de Scenario's 2025 - waarbij aquathermie en restwarmte via warmtenetten bij de glastuinbouw komt. Het NPE geeft aan dat de rol van waterstof in de warmtevraag van de glastuinbouw tot 2035 zeer beperkt is. Daarna is er mogelijk inzet in het invullen van de pieklust. In het scenario Koersvaste Middenweg is gekozen om geen waterstof op te nemen voor de glastuinbouw.

Er zijn diverse bronnen gebruikt voor de ontwikkeling van de elektriciteits- en warmtevraag. Onder andere de Energievisie van Glastuinbouw Nederland en het NPE, maar ook studies van de Universiteit Wageningen (WUR)^{135, 136} en de Klimaat- en Energieverkenningen uit 2022 en 2023.

4.5.5 Regionalisering

Voor de regionalisatie van de warmtevraag naar netbeheerder is als startpunt een verdeelsleutel op basis van de huidige verdeling van glastuinbouwareaal¹³⁷ gebruikt, zie tabel 4.5.1. Deze verdeelsleutel is in beginsel toegepast op de verdeling van warmteoplossingen over heel Nederland. Vervolgens is van deze verdeelsleutel afgeweken voor specifieke type warmteoplossingen, waar locatie zeer bepalend is voor de potentie. Voor geothermie en warmtenetten is gekeken naar regionale verschillen voor bronpotentie en op basis daarvan is de verdeelsleutel tussen regionale netbeheerders bijgesteld. Dat betekent voor Westland Infra en Stedin dat het aandeel geothermie en warmtenetten omhoog zijn bijgesteld¹³⁸, voor Enexis en Liander zijn deze naar beneden bijgesteld. Voor waterstofketels/-WKK's is o.b.v. waterstofpotentie (i.e. de waterstof infra¹³⁹) afgeweken van de verdeelsleutel

o.b.v. areaal. Voor de overige warmteoplossingen, die minder afhankelijk zijn van regionale bronpotentie, is het aandeel per netbeheerder bijgesteld om tot een warmtevraag te komen die in lijn ligt van de areaalverdeelsleutel. Deze warmteoplossingen zijn minder of niet afhankelijk van locatie en nemen dus met name toe waar er geen potentie is voor bijv. geothermie of warmtenetten.

In deze methodiek voor regionalisering zitten een aantal aannames. Bijvoorbeeld dat de warmtevraag per hectare gelijk is voor netbeheerders over alle steekjaren. Daarnaast is de areaalontwikkeling per netbeheerder gelijk met de landelijke trend in areaalontwikkeling per wereldbeeld. Tot slot is de verdeling van warmteoplossingen naar verschillende netbeheerders gelijk gehouden in verschillende wereldbeelden.

Tabel 4.5.1 Verdeling glastuinbouw areaal Nederland over verzorgingsgebied van de netbeheerders (CBS, 2024).

Netbeheerder	Percentage van landelijk glastuinbouw areaal
Alliander	27,3%
Enexis	27,0%
Stedin	23,3%
TenneT	0,0%
Westland Infra	22,4%
Totaal	100%

¹³⁴ Glastuinbouw Nederland [Visiedocument Energie 2023](#)

¹³⁵ Energiebesparing glastuinbouw in actueel perspectief (Smit & Grootsholten, 2024) [edepot.wur.nl/646724](#)

¹³⁶ Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2023 (Smit, 2024) [open.overheid.nl/documenten/071919b5-ea46-454b-9e6a-cec6157c4a5a/file](#)

¹³⁷ CBS StatLine - Landbouw: gewassen, dieren en grondgebruik naar regio

¹³⁸ Warmtenetten in Nederland (RVO Nederland, 2022) [Kaarten | Atlas Leefomgeving](#)

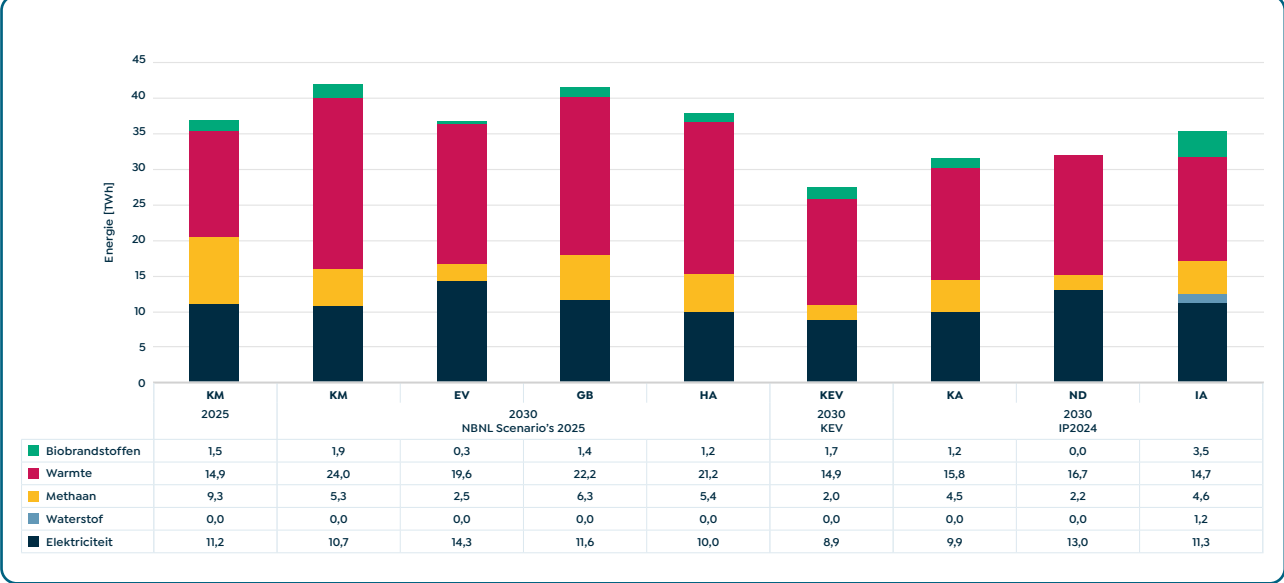
¹³⁹ Waterstof in Nederland (Gasunie, 2024) [Waterstofnetwerk](#)

4.5.6 Vergelijking met IP2024, I13050v2, KEV2024 en NPE

Figuur 4.5.15 toont dat voor 2030 alle Scenario's 2025 voor de landbouw een groter energiegebruik kennen dan zowel het KEV2024-scenario als de IP2024-scenario's. Dit verschil is grotendeels het gevolg van een verschil in de warmtevraag, die voortkomt uit het gebruik van

een wat kouder weerjaar in de modellering voor deze scenario's. Zowel de elektriciteit- als methaanvraag is grotendeels vergelijkbaar tussen de verschillende scenario's. Hierbij valt vooral op dat EV, KEV en ND allemaal een vergelijkbaar lage methaanvraag hebben, waarbij voor het KEV-scenario geldt dat ook de elektriciteitsvraag beperkt is.

Figuur 4.5.15 Vergelijking Scenario's 2025 met KEV24 en IP2024 voor 2030.

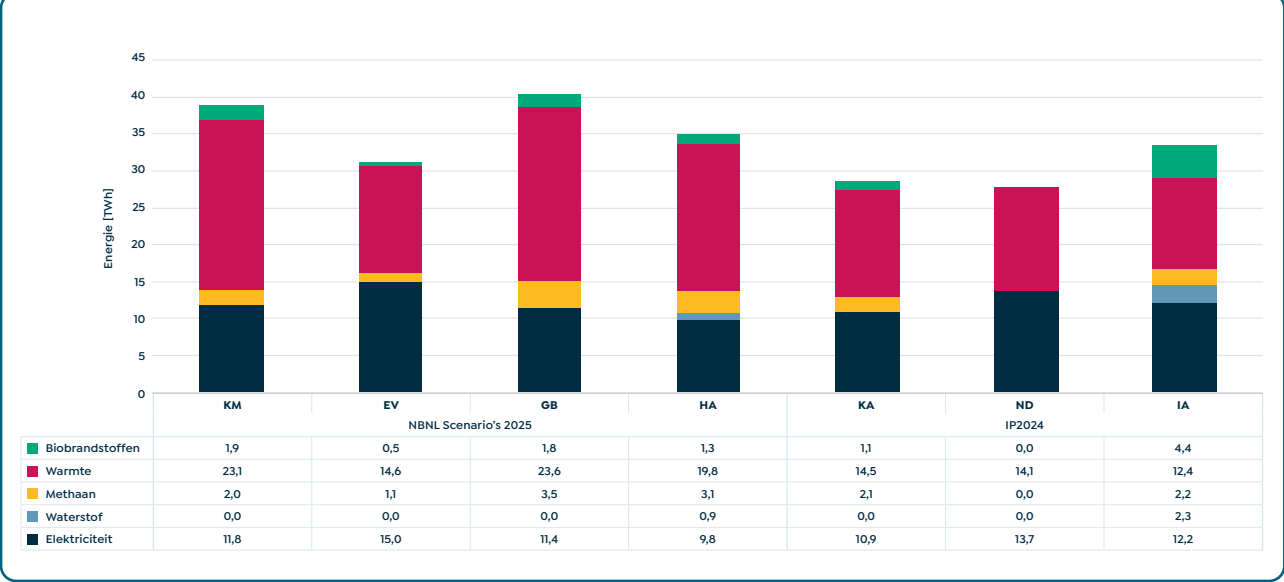


Ook in 2035 is er nog een aanzienlijk verschil tussen het totale energieverbruik van de Scenario's 2025 en de scenario's gebruikt voor IP2024, zie figuur 4.5.16. Opnieuw wordt dit verschil grotendeels verklaard door de toegenomen warmtevraag. Andere opvallende verschillen:

- In de Scenario's 2025 wordt in elk scenario nog gebruik gemaakt van (aard)gas in 2035, terwijl hier in het Nationale Drijfveren-scenario geen sprake meer van is.

- Net als in IP2024 wordt waterstof in één verhaallijn geïntroduceerd in 2035, maar de hoeveelheid is in het Horizon Aanvoer scenario flink lager dan in het Internationale Ambities scenario uit IP2024.
- De maximale inzet van biobrandstoffen is ook lager in de Scenario's 2025 dan in die van het IP2024 (Internationale Ambities scenario). Daar staat dan weer tegenover dat in alle Scenario's 2024 in 2035 biobrandstoffen worden gebruikt, waar dat in het Nationale Drijfveren scenario van IP2024 niet het geval was.

Figuur 4.5.16 Vergelijking Scenario's 2025 met IP2024 voor 2035.

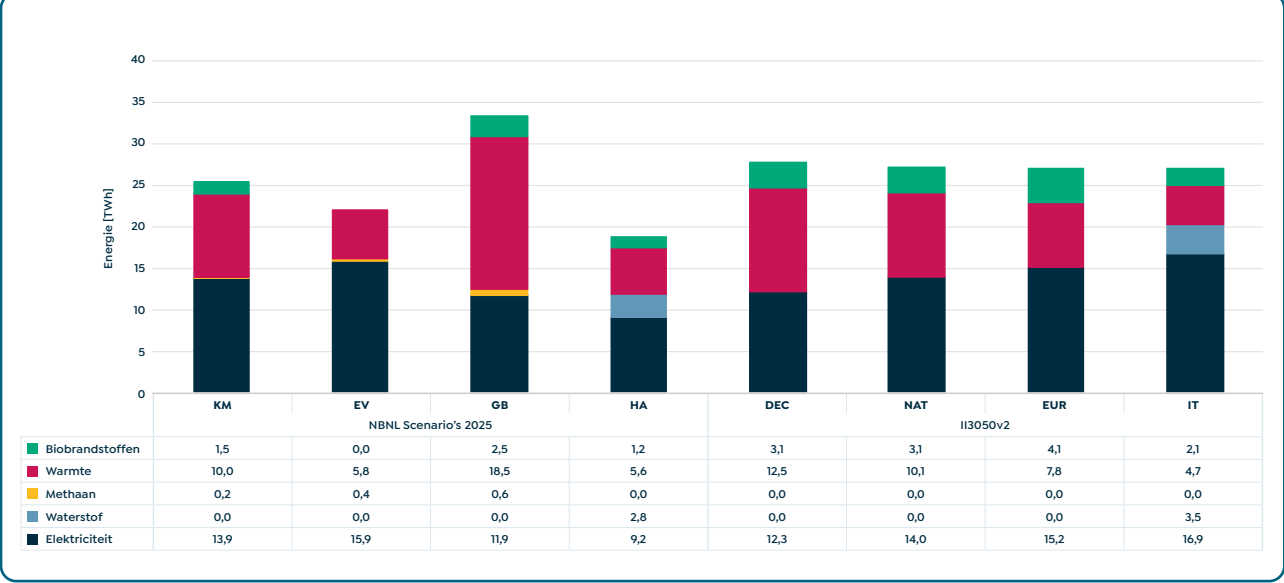


Figuur 4.5.17 laat in de vergelijking met de I13050v2 scenario's voor 2050 een ander beeld zien. In 2050 heeft alleen het scenario Gezamenlijke Balans nog een energievraag die groter is dan die van de oude scenario's. Waar de I13050v2 scenario's weinig variatie lieten zien in het totale energieverbruik is die variatie in de Scenario's 2025 veel groter. Hoewel het niet om veel energie gaat, valt verder op dat in de Scenario's 2025 er ook in 2050 nog in drie scenario's een kleine hoeveelheid methaan wordt verbruikt, terwijl methaan in de I13050v2 scenario's in 2050 volledig uitgefaseerd is. Dit reflecteert het besef dat volledig afstappen

van WKK's voorlopig nog niet wenselijk is, omdat ze ook gewenste systeemdiensten (kunnen) leveren.

Het elektriciteitsverbruik in het scenario Koersvaste Middenweg zit aan de bovenkant van de bandbreedte in het NPE¹⁴⁰, waarbij Horizon Aanvoer en Gezamenlijke Balans binnen de bandbreedte vallen die binnen het NPE geschetst is (7,5 tot 14 TWh). Het scenario Eigen Vermogen zit net iets boven de NPE bandbreedte. Ook voor warmte is het scenario Koersvaste Middenweg vergelijkbaar met wat er in het NPE is aangenomen (60 PJ in 2050 ofwel ruim 16,5 TWh).

Figuur 4.5.17 Vergelijking Scenario's 2025 met I13050v2 voor 2050.



4.6 Opwek Elektriciteit

4.6.1 Samenvatting

Dit hoofdstuk behandelt de ontwikkelingen in de elektriciteitsproductie in Nederland tot en met 2050. Voor elke relevante vorm van elektriciteitsproductie zijn scenario's uitgewerkt voor de toekomstige ontwikkeling van het opgestelde vermogen. De productievormen zijn onderverdeeld in vier hoofdcategorieën: (1) hernieuwbare opwek; (2) conventionele productie; (3) overige productie en tot slot nog een stuk over (4) back-up installaties voor flexibiliteitsbehoefte.

Het hoofdstuk behandelt eerst de algemene trends in het segment opwek elektriciteit en de scenario's, en daarna de ontwikkeling en kwantificatie van de scenario's per productievorm. Tot slot geeft het een toelichting op de gebruikte sectorale plannen, de RES en de CES, en behandelt het de vergelijking van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 met die van het Investeringsplan 2024 (IP2024), de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050-editie 2 (II3050v2), het National Plan Energiesysteem (NPE) en de Klimaat- en energieverkenning 2024 (KEV2024).

4.6.2 Verhaallijnen en trends in de sector

4.6.2.1 Algemene trends, ontwikkelingen en onzekerheden

De energietransitie heeft aanzienlijke gevolgen voor de Nederlandse elektriciteitssector. Enkele belangrijke gevolgen zijn de verandering in de energiemix van fossiel naar hernieuwbaar, de onzekerheden en variabiliteit van hernieuwbare productie, de verhoogde elektriciteitsvraag en de daarmee samenhangende uitdagingen voor het elektriciteitsnet. Dit vraagt om aanzienlijke investeringen in hernieuwbare opwek, de energie-infrastructuur, flexvermogen en opslagmogelijkheden.

De transitie in de elektriciteitsproductie wordt gedreven door maatregelen die volgen uit de ambities en doelen die voor een deel in wetten (Klimaatwet¹⁴¹, ETS Directive¹⁴²) en voor een deel in afspraken of visies zijn vastgelegd (Regionale Energie Strategieën¹⁴³, regeerprogramma¹⁴⁴, NPE¹⁴⁵) en soms met subsidies of tenders worden

bewerkstelligd (SDE++, tenders wind-op-zee). Een belangrijk doel voor de elektriciteitsproductie is het terugbrengen van de emissierechten naar nul in het EU-emissiehandelssysteem (ETS).

In Nederland neemt tegen 2035 fossiele elektriciteits-opwekking aanzienlijk af door het klimaatakkoord en de Klimaatwet. Deze wet is onderdeel van het bredere streven van Nederland om de klimaatdoelen van de Europese Unie te halen, waarbij Nederland zich committeert aan het reduceren van de CO₂-uitstoot met 49 procent in 2030 ten opzichte van 1990, en het behalen van klimaatneutraliteit in 2050 met daarbij een volledige CO₂-neutrale elektriciteitsproductie in 2050. Daarnaast heeft het Nederlandse parlement de wet *Verbod op kolen bij elektriciteitsproductie* aangenomen in 2019, waarmee het stoken van kolen in centrales verboden is per 2030.

Nederland heeft de ambitie om in 2040 CO₂-neutraal elektriciteit te produceren. Om deze ambitie te bereiken, zet het kabinet onder andere in op kernenergie. Naast het langer openhouden van de huidige centrale in Borssele, zijn eind 2024 de plannen voor de bouw van 2 nieuwe kerncentrales bijgesteld naar 4 eenheden van 1,6 GW elk¹⁴⁰, waarbij ook wordt gekeken naar de Small Modular Reactors (SMR's). Ook vragen de genoemde ambities en doelen om de ombouw van de bestaande aardgasgestookte gascentrales naar duurzame gassen.

Hernieuwbare elektriciteitsopwekking (hierna: hernieuwbare opwek) is de afgelopen jaren indrukwekkend gegroeid in het Nederlandse energiesysteem. Zonne-energie is tussen 2018 en eind 2023 verviervoudigd¹⁴⁶; mede dankzij een hoge gasprijs tussen eind 2021 en eind 2023 en gunstige subsidie-regelingen op zonnepanelen, zoals de salderingsregeling en de SDE++. Sindsdien is er een daling in de toename van zon-PV, mede door een gematigde gasprijs, beoogde beëindiging van de salderingsregeling¹⁴⁷ en een aanscherping in de voorkeursvolgorde van zonne-energie¹⁴⁸ en net-congestie. De realisatie van wind-op-zee is vertraagd met twee jaar: de geplande 21 GWp is niet in 2030 operationeel, maar pas in 2032¹⁵³. Wind-op-land maakt deel uit van de doelstellingen van de Regionale Energie Strategieën (RES) van 35 TWh in 2030, met als ambitie 55 TWh in 2030.

Het Planbureau voor de Leefomgeving oordeelt dit doel zeer waarschijnlijk wordt gehaald, maar de ambitie niet¹⁴⁹. De "Monitor Wind-op-land 2023"¹⁵⁰ geeft aan dat in een aantal regio's het aandeel windenergie erg beperkt is, vergeleken met zonne-energie. Dit leidt tot een minder efficiënt gebruik van het elektriciteitsnet aangezien wind- en zonne-energie vaak op andere tijdstippen elektriciteit produceren. In 2024 werd er 61 TWh hernieuwbare elektriciteit opgewekt¹⁵¹, de scenario's hanteren 200-270 TWh hernieuwbaar opgewekte elektriciteit in 2035.

Een belangrijke uitdaging in de energietransitie is het integreren van duurzame energie, zoals wind- en zonne-energie, in het energiesysteem. Warmtekrachtkoppeling-installaties (WKK's) kunnen een aanvulling zijn op hernieuwbare energie, omdat ze in periodes met lage betrouwbare, flexibele stroomvoorziening. WKK is al een efficiënte manier van energieproductie, omdat het zowel elektriciteit als warmte produceert uit dezelfde energie-bron. In de energietransitie kan WKK blijven bijdragen aan lagere emissies dan traditionele elektriciteitsproductie. De toekomst van WKK in Nederland hangt ook sterk af van overheidsbeleid, waarbij strengere emissienormen en de verschuiving naar CO₂-neutrale energiebronnen mogelijk dwingen tot verdere verduurzaming van WKK-installaties.

Op lange termijn zijn er nog veel onzekerheden over de precieze ontwikkeling van de elektriciteitsproductie in het elektriciteitssysteem en het tempo daarvan. Om invulling te geven aan die onzekerheden is bandbreedte aan verschillende ontwikkelrichtingen opgenomen in de scenario's. Die worden behandeld in de volgende paragraaf.

4.6.2.2 Verhaallijnen van de scenario's

Deze paragraaf schetst de scenarioverhaallijnen voor het segment aanbod elektriciteit. De tabel aan het einde van deze paragraaf toont voor de belangrijkste subsegmenten de uitgangspunten per scenario. Verdere onderbouwing en kwantificatie van de deelsegmenten is opgenomen in het volgende hoofdstuk.

Scenario Koersvaste Middenweg (KM)

Het Koersvaste Middenweg-scenario is ten opzichte van

de andere scenario's een meer gemiddeld scenario dat bestaand beleid, trends en ontwikkelingen volgt. In lijn met de visie van het NPE streeft Nederland in dit scenario naar diverse aanbodbronnen met elektriciteit als ruggengraat van het energiesysteem. De overheid richt zich primair op grootschalige wind-op-zee en wind-op-land-projecten, ook zonnevelden op land worden gerealiseerd. De maatschappij is bereid deze centrale keuzes te accepteren. Kernenergie levert een basisproductie aan elektriciteit; groengasproductie wordt gestimuleerd vanwege de geopolitiek verhoudingen.

Voor de ontwikkeling van zon-PV is er gemiddelde groei en voor wind-op-land zet de trend van de afgelopen jaren zich voort. Voor wind-op-zee wordt er vastgehouden aan de bestaande ambities, die grotendeels worden gerealiseerd. De conventionele productie van elektriciteit verandert: kolencentrales worden deels omgebouwd tot centrales met biomassa en CSS voor de realisatie van negatieve emissies, gascentrales worden omgebouwd naar waterstofcentrales zodat het elektriciteitssysteem in 2040 netto emissievrij is. De nieuwbouw van grote nieuwe kerncentrales verloopt volgens plan.

Scenario Eigen Vermogen (EV)

Dit scenario zet in op zoveel mogelijk duurzame energieproductie in Nederland, onder andere vanwege de hoge mate van elektrificatie (vraag naar elektriciteit) en ook vanuit een streven naar individuele zelfvoorziening, veel draagvlak voor de energietransitie en de wens om geopolitiek onafhankelijker te zijn (veel eigen productie).

Dat vertaalt zich in veelvuldige toepassing van zonne-panelen op daken – meer dan in andere scenario's. Ook zonneweiden en wind-op-land ontwikkelen zich in dit scenario het sterkst. Acceptatie van de ruimtelijke impact van de transitie is groot. Voor wind-op-zee worden de maximale overheidsambities behaald. Van dit hoge vermogen wordt een relatief groot deel niet elektrisch, maar via waterstof naar het vaste land getransporteerd. De conventionele productie met elektriciteit verandert: kolencentrales worden deels omgebouwd tot centrales voor biomassa (zonder CSS) als back-upcentrales, het aantal kleinschalige biomassacentrales wordt geheel afgebouwd naar 2050, gascentrales worden omgebouwd naar waterstofcentrales zodat het elektriciteitssysteem in 2040 netto emissievrij is.

¹⁴¹ wetten.overheid.nl/jciil.3:c:BWBR0042394&z=2023-07-22&g=2023-07-22
¹⁴² data.europa.eu/eli/dir/2003/87/2024-03-01
¹⁴³ www.klimaatakkoord.nl/themas/regionale-energie-strategie/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord-hoofdstuk-res
¹⁴⁴ open.overheid.nl/documenten/ronl-f525d4046079b0beabc6f897f79045ccf2246e08/pdf
¹⁴⁵ www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/01/nationaal-plan-energiesysteem
¹⁴⁶ www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/10/22/monitor-zon-pv-2024
¹⁴⁷ www.eerstekamer.nl/9370000/1/j9vvkfvi6b325az/vmkqckglg7vp/f=y.pdf
¹⁴⁸ open.overheid.nl/documenten/5421fe0d-fb6f-4c83-bb80-f4546457578a/file

¹⁴⁹ Monitor RES 2024 | Planbureau voor de Leefomgeving
¹⁵⁰ Monitor Wind op Land 2023
¹⁵¹ www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2025/11/helft-elektriciteitsproductie-uit-hernieuwbare-bronnen

De nieuwbouw van grote kerncentrales verloopt traag door onder andere de focus op hernieuwbaar, waardoor maar de helft van het beoogde vermogen tot 2040 en 2050 gerealiseerd kan worden. Kleine Small Modular Reactors (SMR's) worden tegelijkertijd wel in beperkte mate gerealiseerd om in de grote behoefte aan baseloadproductie van elektriciteit te voorzien.

Scenario Gemeenschappelijke Balans (GB)

Een aanzienlijk deel van het energiesysteem gebruikt energie uit biomassa en gassen. Beperkte beschikbaarheid van duurzame metalen zorgt voor een rem op duurzame elektrische opwek.

Het scenario kent een gemiddelde ontwikkeling van zon-PV op grote daken en op land, in lijn met de pragmatische verduurzaming waarin de balans wordt gezocht tussen belangen en impact op de leefomgeving. De focus ligt op centrale productie met gassen en de duurzame elektriciteitsopwekking gaat wat meer naar de achtergrond. Mede daardoor is ook de ontwikkeling van zon-PV bij huishoudens en kleine daken laag. De ontwikkeling van wind-op-zee loopt achter op de maximale overheidsambities vanwege de focus op andere verduurzamingsroutes. Er is weinig draagvlak voor wind-op-land, waardoor projecten blijven stagneren. De conventionele productie met elektriciteit verandert: kolencentrales worden deels omgebouwd tot biomassacentrales met CSS voor de realisatie van negatieve emissies, gascentrales worden omgebouwd naar waterstofcentrales, maar groen gas en methaan blijven een nog relatief grote rol spelen tot in 2050.

De nieuwbouw van grote nieuwe kerncentrales verloopt traag, waardoor maar de helft van het beoogde vermogen tot 2040 en 2050 gerealiseerd wordt.

Scenario Horizon Aanvoer (HA)

In dit scenario wordt waterstof en op waterstof gebaseerde brandstoffen wereldwijd de norm. Een aanzienlijk deel van het energiesysteem wordt daarom ook gebouwd op geïmporteerde brandstoffen – ook voor doorvoer naar andere landen in Noordwest-Europa. Dat geldt ook voor biomassa, maar dat speelt een kleine rol in dit scenario. De beperkte beschikbaarheid van duurzame metalen zorgt samen met een minder daadkrachtige overheid voor een rem op duurzame elektrische opwek.

Het scenario kent een lage toepassing (adoptie) van zon-PV vanwege het beperkte draagvlak voor de energietransitie, de focus op gebruik van gassen en tegenvallers zoals constructieve beperkingen en relatief hoge prijzen door grondstofschaarste. De ontwikkeling van wind-op-zee loopt achter op de maximale overheidsambities, vanwege de focus op andere verduurzamingsroutes. Er is weinig draagvlak voor wind-op-land, waardoor projecten blijven stagneren. De conventionele productie van elektriciteit verandert: kolencentrales sluiten, gascentrales worden omgebouwd naar waterstofcentrales zodat het elektriciteitssysteem in 2035 nagenoeg netto emissievrij is¹⁵². Kernenergie speelt geen grote rol, er komen geen nieuwe kerncentrales doordat elektrificatie lager uitvalt en er tegelijkertijd grootschalige en betaalbare elektriciteitsproductie uit groene waterstof beschikbaar komt.

Tabel 4.6.1 Overzicht scenarioverhaallijnen en uitgangspunten bij de verschillende segmenten.

	Scenario KM Koersvaste Middenweg	Scenario EV Eigen Vermogen	Scenario GB Gemeenschappelijke Balans	Scenario HA Horizon Aanvoer
Wind-op-zee	Overheidsambitie wordt grotendeels gerealiseerd.	Overheidsambitie van 50 GW in 2040 en 72 GW in 2050 geïmplementeerd.	De ontwikkeling van wind-op-zee lager dan de maximale overheids-ambities, focus op andere verduurzamingsroutes.	
Wind-op-land	Huidige realisatiegraad wind-op-land zet zich voort.	Volledige inzet op elektrificatie, maximaal duurzame opwek elektriciteit (=NPE), veel wind-op-land nodig.	Minder elektrificatie, minder wind-op-land. Geen draagvlak wind, stagneren windprojecten zet door.	Inzet op import van waterstof, en aanlanding vanaf zee. Minder wind-op-land. Geen draagvlak wind, stagneren wind-projecten zet door.
Zon op dak woningen (en kleine bedrijven)	De adoptie van zon-PV volgt een meer gemiddelde trend, er is een goede dakbenutting in 2050, maar de installatiegrootte neemt minder toe dan in scenario Eigen Vermogen.	Door gunstige prijsomstandigheden (paneelprijs, e-prijzen) zet de groei door, huidige dakpotentieel wordt grotendeels benut in 2050.	Het kantelpunt in de groei is bereikt, huishoudens en bedrijven schaffen nog wel zonnepanelen aan omdat terugverdientijd nog altijd korter is dan de levensduur.	

Tabel 4.6.1 Overzicht scenarioverhaallijnen en uitgangspunten bij de verschillende segmenten.

Zon op dak (grote) bedrijven	De gemiddelde groei van de afgelopen jaren wordt voortgezet, uitgaand van gelijkblijvend beleid, dan wel een balans van nieuwe verplichtingen en uitdagingen door constructieve beperkingen van daken voor zon-PV. Gaat richting een gemiddelde adoptie van 60% van het dakpotentieel in 2050.	Hoge groei die nodig is om 100% benutting van het dakpotentieel te bereiken, zoals in I13050v2 en waar het NPE zich op richt. Hoewel niet alle daken technisch constructief geschikt zijn (zo'n 15%) compenseren solar carports en gevelpanelen voor dit verlies.	De gemiddelde groei van de afgelopen jaren wordt voortgezet, uitgaand van gelijkblijvend beleid, dan wel een balans van nieuwe verplichtingen en uitdagingen door constructieve beperkingen. Gaat richting een gemiddelde adoptie van 60% van het dakpotentieel in 2050.	Lage groei die achterblijft doordat het benutten van daken door juridische en constructieve beperkingen lastig blijkt. Beleid slaagt er niet in om versnelling te bereiken. Scenario volgt de groei uit de KEV voor vastgesteld beleid (blijft dichtbij het NPRES-referentiepunt) en beweegt naar 40% benutting van het dakpotentieel in 2050.
Zonneweides	Gemiddelde ontwikkeling, onder het midden van de bandbreedte. Voorkeursvolgorde zon is een serieuze beperking voor zon-op-land.	Hoge ontwikkeling, er is voldoende draagvlak voor zon-op-land, positief sentiment. RES-ambitie wordt waargemaakt, hoge ontwikkeling volgens NPE/ I13050v2.	Gemiddelde ontwikkeling, onder het midden van de bandbreedte. Beleid (o.a. 'Voorkeursvolgorde zon') is een serieuze beperking voor de ontwikkeling van zon-op-land.	Lage ontwikkeling. Draagvlak voor zon-op-land is laag, negatief sentiment. De RES'en realiseren hun concrete pijplijnprojecten en een deel van de projecten in het voortraject, gemiddelde groei jaren 2022/23 zet door.
Biomassa	Geleidelijke afbouw elektriciteit uit kleinschalige biomassacentrales tot 2050, behalve in agricultuursector, waar groei plaatsvindt.	Geleidelijke afbouw elektriciteit uit kleinschalige biomassacentrales tot 2050, behalve in agricultuursector. Die verbruikt tot aan 2050 biomassa.	Geleidelijke afbouw elektriciteit uit kleinschalige biomassacentrales tot 2050, behalve in agricultuursector, waar biomassa tot aan 2050 sterk groeit.	Geleidelijke afbouw elektriciteit uit kleinschalige biomassacentrales tot 2050, behalve in agricultuursector. Die verbruikt tot aan 2050 biomassa.
Kernenergie	Overheidsambitie voor bouw van grote kerncentrales tot 2040 en 2050 wordt gerealiseerd om klimaatneutraal in de sterk groeiende vraag naar elektriciteit in alle sectoren voorzien.	De nieuwbouw van grote nieuwe centrales vertraagt, waardoor maar elk de helft van het beoogde vermogen tot 2040 en 2050 gerealiseerd kan worden. Parallel sturing op Small Modular Reactors (SMR's) om in de grote behoefte aan elektrische baseload elektriciteitsproductie te voorzien.	De nieuwbouw van grote centrales vertraagt, waardoor maar de helft van het beoogde vermogen tot 2040 en 2050 gerealiseerd wordt.	Geen nieuwbouw van kerncentrales in Nederland doordat elektrificatie lager uitvalt en tegelijkertijd grootschalige en betaalbare elektriciteitsproductie uit groene waterstof beschikbaar komt.
Kolen-centrales	Geen elektriciteitsopwekking uit kolencentrales meer vanaf 2030, in lijn met overheidsbeleid. Een deel van de centrales wordt omgebouwd tot biomassacentrale en na 2030 uitgerust met CCS voor realisatie van negatieve emissies.	Geen elektriciteitsopwekking uit kolencentrales meer vanaf 2030, in lijn met overheidsbeleid. Een deel blijft na 2030 tijdelijk als backupcentrale op biomassa (zonder CCS) draaien t.b.v. leveringszekerheid.	Geen elektriciteitsopwekking uit kolencentrales meer vanaf 2030, in lijn met overheidsbeleid. Een deel van de centrales wordt omgebouwd tot biomassacentrale en na 2030 uitgerust met CCS voor realisatie van negatieve emissies.	Geen elektriciteitsopwekking uit kolencentrales meer vanaf 2030, in lijn met overheidsbeleid.
Gascentrales	Rond 2030 start de ombouw naar waterstofcentrales. Per 2040 zijn alle grote eenheden omgebouwd. De elektriciteitssector is tegen die tijd CO ₂ -neutraal.		Rond 2030 start de beperkte ombouw naar waterstofcentrales, maar (groen) gas blijft een rol spelen. In 2040 is de elektriciteitssector CO ₂ -neutraal.	In 2035 zijn alle grote centrales omgebouwd naar waterstofcentrales. De elektriciteitssector is tegen die tijd CO ₂ -neutraal.

¹⁵² Er zijn nog beperkte restemissies uit kleinschalige opwek (WKK).

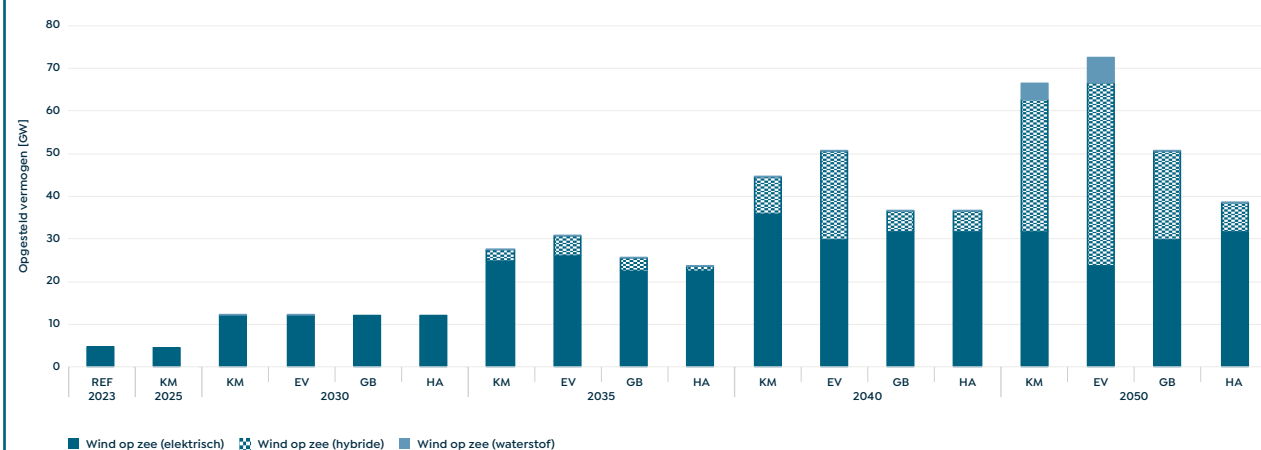
4.6.3 Nationale kwantificatie

Deze paragraaf behandelt per opwekategorie de onderbouwing van de kwantificatie van de scenario's, met focus op de verwachte ontwikkeling aan opgesteld en geïnstalleerd vermogen. Waar energievolumes genoemd worden, gaat het om indicatieve cijfers die met behulp van het Energie Transitie Model (ETM) en de weersomstandigheden van het klimaatjaar 2012 bepaald zijn. Deze hebben direct invloed op de beschikbaarheid van hernieuwbare energiebronnen zoals zon en wind en energiebalans.

4.6.3.1 Hernieuwbare opwek – wind-op-zee

De capaciteit van wind-op-zee groeit in alle scenario's. In 2025 is er net iets minder dan 5 GW windvermogen op zee geïnstalleerd. De eerstkomende jaren volgen alle scenario's de update aanvullende routekaart wind-op-zee¹⁵³, die tot rond 2033 loopt. Daarmee hanteren alle scenario's voor steekjaar 2030 ongeveer dezelfde vermogens, circa 12 GW.

Figuur 4.6.1 Opgesteld vermogen aan wind-op-zee naar aanlandingsvorm.



In scenario Koersvaste Middenweg worden de ambities voor wind-op-zee grotendeels gerealiseerd. De scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer tonen een conservatiever uitrol, onder andere door de beschikbaarheid van importroutes voor energie en grondstoffen of door de keuze voor andere verduurzamingsopties, zoals biomassa, CCS, etc.

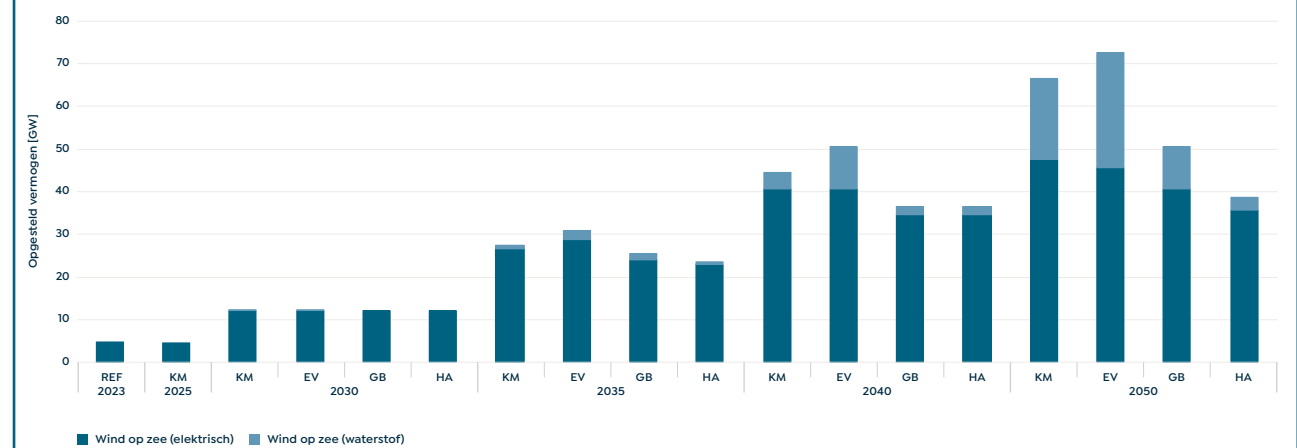
Vanuit het huidige beleid wordt er in het ontwerp van toekomstige offshore gelijkstroomplatforms rekening gehouden met extra ruimte zodat een eventuele additionele verbinding, naar bijvoorbeeld een interconnector of een

In de scenario's Eigen Vermogen en het Koersvaste Middenweg is de eerste offshore elektrolyse in 2030 beschikbaar (demo 1;50 MW)¹⁵⁴. In de andere scenario's wordt dit demoproject pas na 2030 gerealiseerd. Na 2030 worden grotere verschillen tussen de scenario's zichtbaar.

In het scenario Eigen Vermogen scenario worden de geformuleerde ambities behaald voor wind-op-zee volgens het Energie Infrastructuur Plan Noordzee (EIPN)¹⁵⁵ en het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE)¹⁵⁶. Dit geeft een opgesteld vermogen van ruim 30 GW in 2035, 50 GW in 2040 en 72 GW in 2050. Voor de langere termijn wordt aangenomen dat een deel van dit vermogen hybride wordt aangesloten. Afhankelijk van de vraag van het energiesysteem, kan de energie naar land worden getransporteerd (aanlanding) in de vorm van elektriciteit of waterstof. De windparken ver op zee die na 2040 in ontwikkeling komen, worden deels uitsluitend op het waterstofsysteem op zee aangesloten¹⁵⁷.

elektrolyser, gerealiseerd kan worden¹⁵⁸. In het laatste geval kan een elektrolyser aan een windpark worden toegevoegd en een deel van de energie als waterstof naar land wordt getransporteerd. In veel gevallen worden parken in eerste instantie alleen met het elektriciteitssysteem gekoppeld en wordt voor een deel van de windparken op een later moment de elektrolyseoptie toegevoegd¹⁵⁹. De classificatie van het betreffende windpark verandert in deze gevallen van dedicated elektrisch naar hybride. Daardoor laten de scenario's met uitzondering van Horizon Aanvoer een krimp van de dedicated elektrische aanlanding zien na 2040.

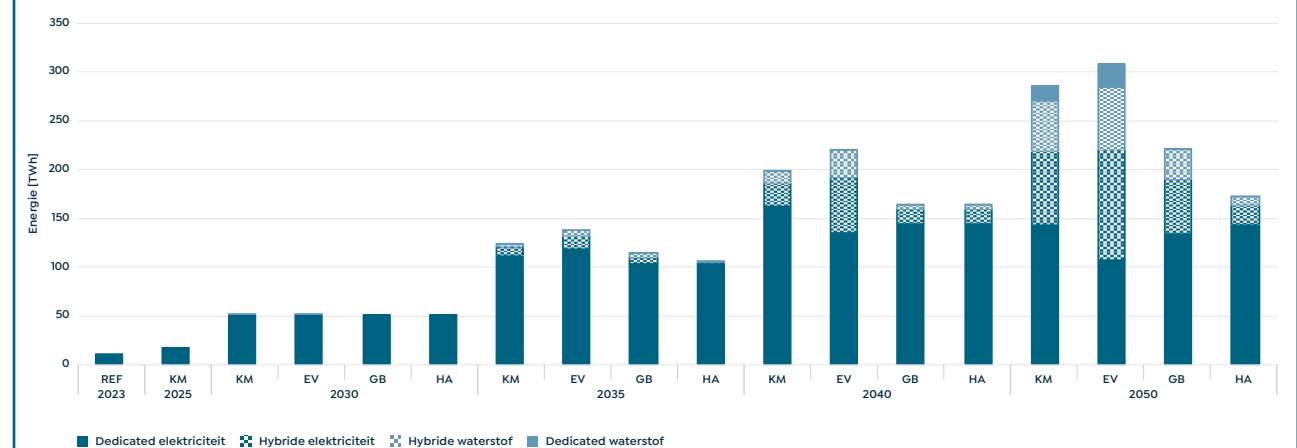
Figuur 4.6.2 Opgesteld vermogen aan wind-op-zee naar aanlandingsvorm.



De transportcapaciteit naar land voor elektriciteit en waterstof schalen mee met het opgesteld vermogen aan windenergie. De verhouding tussen energie die aan land komt als stroom of waterstof hangt verder af van factoren als de vraag naar duurzame moleculen en elektronen, technische of ruimtelijke beperking van aanlandopties

of de interactie met productie- en flexmiddelen op land en in het buitenland¹⁶⁰. In de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen wordt tot zo'n 220 TWh elektriciteit aangeland in 2050¹⁶¹. De aanlanding van waterstof varieert in 2050 van 8 tot 88 TWh¹⁶² en is het grootst in scenario Eigen Vermogen.

Figuur 4.6.3 Indicatieve productievolumes wind-op-zee naar aanlandingsvorm.



¹⁶⁰ Met het Energie Transitie Model (ETM) zijn deze aspecten integraal geanalyseerd en is per scenario een passende capaciteit van de verschillende aanlandopties bepaald. De verhouding voor hybride windparken is daarbij geïnspireerd door het conceptontwerp van Energiehub NL, welk uitgaat van 50/50 verhouding in aanlandingscapaciteit (opgesteld vermogen) naar waterstof en elektrisch.

¹⁶¹ Genoemde energievolumes zijn indicatief met het ETM bepaald o.b.v. de weersomstandigheden van klimaatjaar 2012.

¹⁶² Hierbij is rekening gehouden met een elektrolyse conversie efficiëntie van 76%. Genoemde energievolumes indicatief.

4.6.3.2 Hernieuwbare opwek – wind-op-land

De verwachtingen ten aanzien van wind-op-land zijn naar beneden bijgesteld ten opzichte van IP2024. Redenen hiervoor zijn onder andere strengere normen om windvermogen in te kunnen passen en de kritische

publieke opinie en politieke houding ten opzichte van wind-op-land. Als bronnen zijn de Monitor Wind-op-land¹⁶³, de door de RES'en aangeleverde NPRES geodataset en voor een referentie ten aanzien van het eindbeeld is het NPE¹⁶⁴ gebruikt.

Tabel 4.6.2 Overzicht ijkpunten en bronnen per scenario.

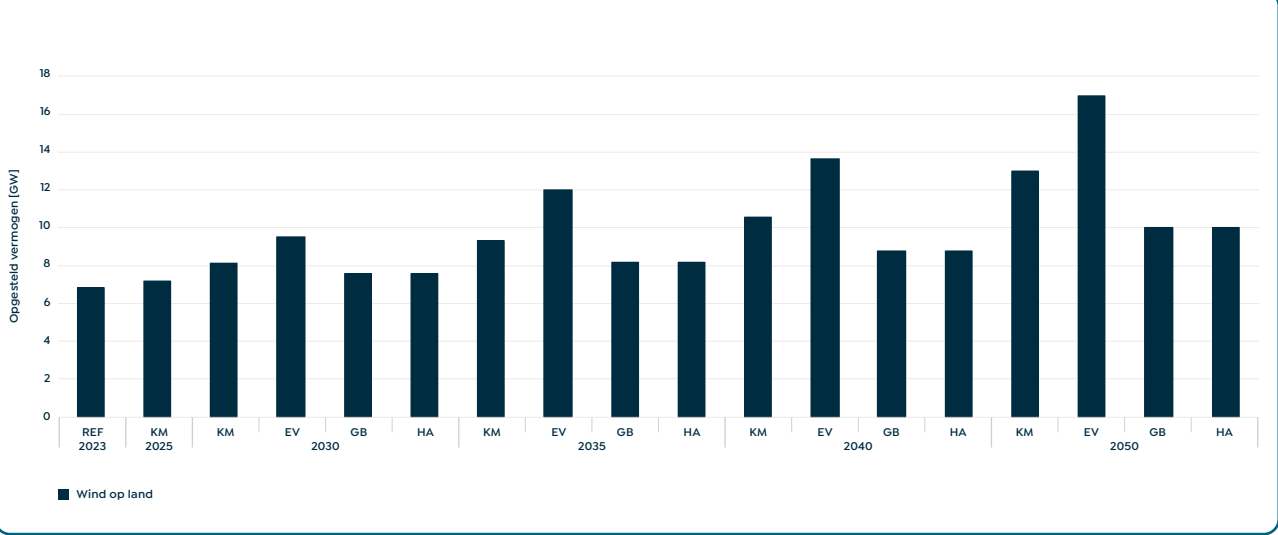
	Scenario KM Koersvaste Middenweg	Scenario EV Eigen Vermogen	Scenario GB Gemeenschappelijke Balans	Scenario HA Horizon Aanvoer
Verhaallijn bij segment	Huidige realisatiegraad wind-op-land zet zich voort	Volledige inzet op elektrificatie, maximaal duurzame opwek elektriciteit (=NPE), veel wind-op-land nodig	Minder elektrificatie, minder wind-op-land. Geen draagvlak wind, stagneren windprojecten zet door	Inzet op import van waterstof, en aanlanding vanaf zee. Minder wind-op-land. Geen draagvlak wind, stagneren windprojecten zet door
IJkpunten/bronnen	Midden ontwikkeling. Monitor WoL + concrete plannen (RES begrippenkader) 2025: Monitor WoL + bouw in opdracht + 95% bouw in voorbereiding; 2030: Monitor WoL (huidig + alles in beeld)	Hoge ontwikkeling RES 2.0 (2030), NPE (na 2030) (sprong 2035 NPE: kabinetsdoelstelling voor een CO ₂ -vrije elektriciteitsketen.)	Lage ontwikkeling Ii3050v2 EUR/INT scenario 2025: Monitor WoL (huidig + realisatiegraad plannen)	Lage ontwikkeling Ii3050 EUR/INT scenario 2025: Monitor WoL (huidig + realisatiegraad plannen)

Het beeld voor 2025 is bepaald op basis van de Monitor Wind-op-land, aangevuld met windmolen in bouw en projecten waarvoor de bouwvoorbereiding voor 95 procent is afgerond. Het beeld voor 2030 wordt grotendeels vastgesteld vanuit de RES-plannen. De RES-geodataset is daarin het meest ambitieus en daarmee als hoog scenario aangenomen. Kijkend naar 2050 schetst het NPE een ambitieus beeld voor de hoeveelheid windenergie op dat moment. Zo ambitieus dat dit als hoog scenario is aangenomen. Als laag scenario voor 2050 is het lage scenario uit de Ii3050v2 overgenomen. In dit scenario wordt veel internationaal in energie gehandeld en is alle opwek binnen de eigen landsgrenzen houden, minder een gegeven. Dit leidt tot minder productie met wind. Deze redenering is overgenomen en als laag scenario aangehouden. Voor de beelden van 2035 en 2040 zijn

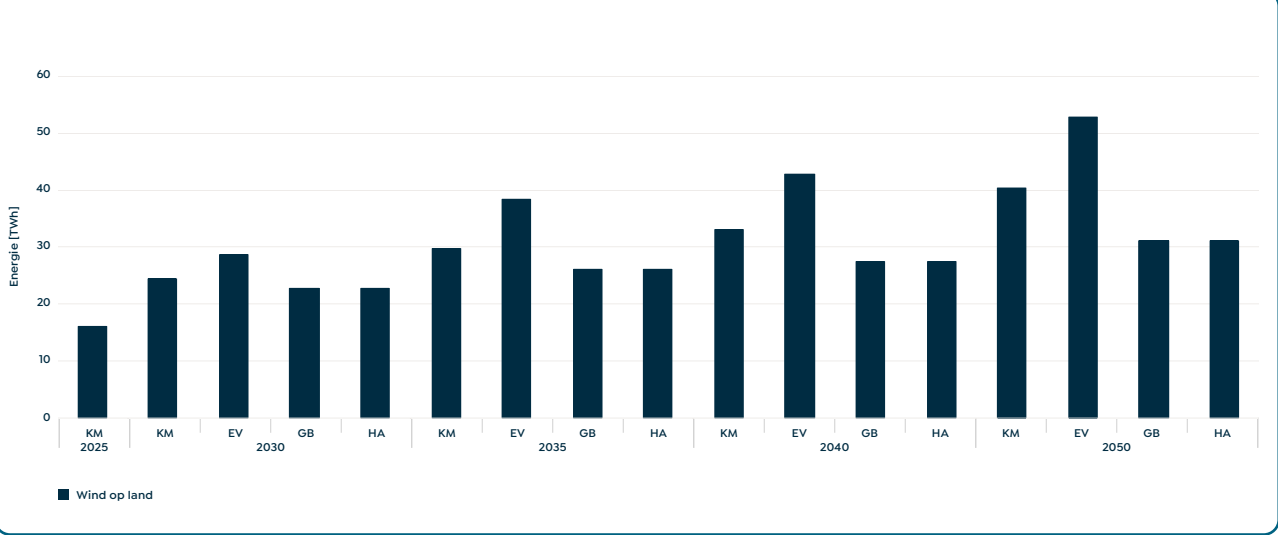
de getallen voornamelijk gebaseerd op lineaire interpolatie tussen 2030 en 2050.

Het aantal vollasturen¹⁶⁵ is gelijk gehouden met aannames die in het IP2024 zijn gedaan, aangezien er weinig overtuigende redenen te zijn om nu iets heel anders aan te nemen. Ontwikkelingen kunnen zowel tot hogere als tot lagere cijfers leiden. Als voorbeeld: met een toenemende weerstand tegen windturbines en strengere landelijke milieunormen voor wind, worden de mogelijkheden voor hogere turbines beperkt. Maar de trend van de afgelopen jaren is dat de tiphoogte nog steeds toeneemt. Daarmee gaan de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 in het ETM uit van getallen oplopend van 3000 vollasturen medio 2025, tot 3200 in 2035, in afstemming met stakeholders¹⁶⁶. Vanaf dat punt blijft het aantal vollasturen stabiel.

Figuur 4.6.4 Opgesteld vermogen aan wind-op-land.



Figuur 4.6.5 Totale elektriciteitsproductie met wind-op-land.



¹⁶³ www.rvo.nl/onderwerpen/windenergie-op-land/monitor-wind

¹⁶⁴ www.rvo.nl/onderwerpen/energiesysteem/nationaal-plan-energiesysteem#nationaal-plan-energiesysteem

¹⁶⁵ Eenheid om de effectieve jaarlijkse elektriciteitsproductie uit te drukken. Het is het aantal uur waarop de windturbine of het zonnepaneel op vol vermogen elektriciteit zou moeten produceren om de jaarproductie te behalen.

¹⁶⁶ Cohortmodel NWEA (NedZero) / NVDE zoals gebruikt in IP2024 en opnieuw afgestemd met stakeholders.

4.6.3.3 Hernieuwbare opwek – zon-PV op daken en op land

De productie van zonnestroom door zon-PV vindt plaats op daken en grootschaliger veldopstellingen¹⁶⁷. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar groot- verbruikers (grote daken en zon-PV met veldopstelling) en kleinverbruikers (daken van woningen en kleine bedrijven). De ontwikkelingen in die categorieën verlopen anders en ze worden op andere netvlakken worden aangesloten. Bovendien zijn de regulering, kosten en werkzaamheden verschillend.

Uitgangspunt in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is het opgesteld en geïnstalleerd vermogen van zonnepanelen. In de praktijk kan het op de netten aangesloten vermogen aanzienlijk lager liggen door de toepassing van overplanting. Dit wordt verderop nader toegelicht.

Zon-PV woningen en kleine bedrijven

De afgelopen jaren is het aantal zonnepanelen fors gegroeid door een combinatie van dalende paneelprijzen, toegenomen paneeefficiëntie en een aantrekkelijke subsidieregeling, de salderingsregeling¹⁶⁸. Tijdens de energiecrisis in 2022-2023 groeide het aantal zonnepanelen bij kleinverbruikers fors door de tijdelijk hoge energieprijzen¹⁶⁸. Dat heeft geleid tot het omhoog bijstellen van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 voor kleinverbruikers ten opzichte van de vorige IP2024-scenario's. Sinds 2024 is het consumentensentiment in zon-PV minder positief geworden als gevolg van de onzekerheid op de terugverdientijd door de afschaffing van de salderingsregeling per 2027, de invoering van terugleverkosten door energieleveranciers en de gedaalde energieprijzen. De registraties van zon-PV bij de netbeheerders laten voor afgelopen jaar een zeer bescheiden groei zien.

Desalniettemin is de verwachting dat de terugverdientijd van zonnepanelen door de afschaffing van de salderings-regeling weliswaar oploopt, maar nog altijd ruim onder de levensduur van de zonnepanelen blijft¹⁶⁹. De verwachting is dat paneelprijzen nog verder dalen¹⁶⁸,¹⁶⁹ en dat de elektriciteitsvraag door elektrificatie bij eindgebruikers toeneemt. Het blijft dus lonen om in zonnepanelen te investeren. Ook vanuit beleidsmakers blijft de wens bestaan om zonnepanelen zoveel mogelijk op daken te realiseren¹⁷⁰ en dat op een of andere manier te stimuleren. Daarnaast dragen de duurzaamheidsdoelstellingen van woningcorporaties en duurzaamheidseisen in de bouwvoorschriften bij aan de verdere toename van zonnepanelen op woningen en kleine bedrijven.

De nationale kwantificatie is een optelsom van prognose-modellen per regionale netbeheerder¹⁷¹. Het oppervlak aan dak geschikt voor zon-PV (de dakpotentie) is daarin de belangrijkste parameter, samen met uitgangspunten die regionale kenmerken bevatten ten aanzien van de adoptie van zonnepanelen door kleinverbruikers. Door snel opeenvolgende ontwikkelingen en de hoge gevoeligheid voor het consumentensentiment, kent de ontwikkeling van zon-PV op woningen en kleine bedrijven een grote onzekerheid. De bandbreedtes in de scenario's is daarom ruim.

In het scenario Eigen Vermogen groeit het aantal woningen met zonnepanelen (hoge eindadoptie), in lijn met de individuele wens om onafhankelijk te zijn en de hoge mate van elektrificatie. In de scenario's Gemeenschappelijke Balans en Horizon Aanvoer wordt uitgegaan van een lagere groei van het aantal woningen met zonnepanelen (lage eindadoptie) omdat gebruik van gassen en centrale productie dominant zijn boven decentrale elektrificatie. De energietransitie gaat naar de achtergrond en grondstoffen zijn schaars. Het scenario Koersvaste Middenweg hanteert een gemiddelde groei van het aantal woningen met zonnepanelen.

Tabel 4.6.3 Overzicht kwantificatie scenario's zon-PV woningen en kleine bedrijven.

	Scenario KM Koersvaste Middenweg	Scenario EV Eigen Vermogen	Scenario GB Gemeenschappelijke Balans	Scenario HA Horizon Aanvoer
IJkpunten	Groei eerste jaren vergelijkbaar met 2023 naar 2024. Gemiddelde eindadoptie uit prognosemodellen.	Groei eerste jaren vergelijkbaar met voor de energiecrisis. Hoge eindadoptie uit prognosemodellen.	Afvlakking van de groei in de eerste jaren. Lage eindadoptie uit prognosemodellen.	

De uitwerking betreft bestaande bouw. Zonnepanelen bij nieuwbouwwoningen worden opgenomen op basis van de nieuwbouwprognose met paneelvermogens passend bij de gebouwtypes. Het resultaat is eveneens de meeste zon-PV in het scenario Eigen Vermogen, gemiddeld in het scenario Koersvaste Middenweg scenario en laagst in de scenario's Gemeenschappelijke Balans en Horizon Aanvoer.

De scenario's rapporteren in opgesteld vermogen, dat wil zeggen het piekvermogen van de panelen die geïnstalleerd worden. In de praktijk is de omvormer uit kostenoverwegingen vaak iets kleiner dan de paneelpiek, omdat alleen op heel zonnige dagen het volle vermogen van de panelen benut wordt. Dit heet overplanting. Een analyse op de registraties van zonnepanelen (CERES-dataset i.c.m. C-AR-dataset) laat zien dat de omvormer nu vaak zo'n 10 procent kleiner is en bij een deel (25^{ste} percentiel) 20 tot 25 procent kleiner. Daarom is aangenomen dat het overplantingspercentage in drie scenario's en voor alle scenariojaren gelijk, op 10 procent, met uitzondering van scenario Eigen Vermogen. Dat scenario verwacht de meeste zonnepanelen, waardoor er bij zonnepieken vaak meer productie is dan vraag. In dat scenario vindt er vaker meer overplanting plaats, van 15 procent gemiddeld in 2040 tot 25 procent in 2050. Doordat overplanting wordt toegepast zijn de effectieve vollasturen per jaar enigszins verschillend.

Zon-PV op grote daken en op land

In het grootverbruiksegment zijn verschillende ontwikkelingen te zien. De klantvraag wordt in sterke mate bepaald door met name nationale beleidsdoelen en de beschikbare (SDE++)

subsidies. Concrete doelen en ambities volgen uit de RES'en voor 2030, maar voor de periode daarna is er enkel de visie van het NPE. Daarnaast worden er vanuit beleid beperkingen opgeworpen voor met name de ontwikkeling van zonneweides, met name de 'voorkeursvolgorde zon'¹⁷². Op termijn dragen verplichtingen vanuit de te implementeren EPBD-richtlijn bij nieuwbouw, renovatie en publieke gebouwen¹⁷³, en kansen voor zon-PV op Rijksgronden¹⁷⁴ bij aan de groei van zon-op-dak en zonneweides.

De afnemende groei in de realisaties van afgelopen jaren, en ook de van de SDE++, laten echter al duidelijk de effecten van congestie zien¹⁷⁵. De scenario's bevatten voor de congestieperiode, die veelal tot in ieder geval tot 2030 duurt, daarom een inschatting van de latente klantvraag¹⁷⁶. Daarmee wijken de scenario's veelal af van andere prognoses, zoals die van de het PBL in de KEV 2024.

Hoewel het RES-doel van 35 TWh aan grootschalige zon-PV en wind-op-land waarschijnlijk wel gehaald wordt, blijken de RES-ambities met als streefdoel 55 TWh, moeilijk te halen¹⁷⁵. Dat komt enerzijds door congestie, waarvan de beperkingen niet in de scenario's zijn opgenomen en de uitdagingen voor wind-op-land, en anderzijds door beperkt draagvlak voor zonneweides en onvoldoende sturingsmogelijkheden voor zon-op-dak. Ook zonder verdere netcongestie zou het waarschijnlijk uitdagend zijn om het 55 TWh ambitie te halen in 2030. Het NPE gaat voor 2030 uit van 50 TWh aan wind-op-land en zon-PV grootschalig, op basis van de RES-monitor van 2022¹⁷⁷. Voor 2050 gaat het NPE uit van het II3050v2-scenario met de hoogste zon-PV ontwikkelingen¹⁷⁷.

¹⁶⁷ De term **zon-op-land** wordt gebruikt als een gezamenlijke noemer voor zonneweides, zonnepanelen op infrastructuur of zonnepanelen op water. De term **zon op dak** wordt gebruikt als een gezamenlijke noemer voor zonnepanelen op gebouwen. Dat betreft dan hoofdzakelijke zonnepanelen op daken, maar in de toekomst zal dit ook ten dele gevelpanelen of zonnepanelen op parkeerdaken betreffen.

¹⁶⁸ Zie o.a. het Nationaal Solar Trendrapport 2024

¹⁶⁹ Studie CE Delft, september 2024: [Feitenbasis aanpassing salderingsregeling zonne-energie - CE Delft](#)

¹⁷⁰ 2023; [Kamerbrief over aangescherpte voorkeursvolgorde zon | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

¹⁷¹ Specifiek zijn de beschikbare prognosemodellen van Enexis en Liander gebruikt. Beide modellen gebruiken dezelfde verhaallijnen t.a.v. adoptie van zonnepanelen. De woningen in het verzorgingsgebied van Enexis, dat relatief veel landelijk gebied kent, onderscheiden zich van andere regionale netbeheerders door relatief grote daken. De gemiddelde dakgrootte van Liander is meer vergelijkbaar met die van andere netbeheerders. Daarom is de prognose van Liander ook toegepast op de andere verzorgingsgebieden naar rato van de dakpotentieel van woningen.

Het prognosemodel van Liander is een adoptiemodel dat gebaseerd is op een s-curve ingroepad op basis van Rogers Innovatietheorie. De berekende adoptiepercentages geven aan welk aandeel van de dakpotentieel per segment (koop/huur, woningcorporaties en zakelijke markt) naar verwachting gebruikt wordt voor zon-pv. Dat wordt vermenigvuldigd met de verwachte paneeefficiëntie en vulgraad voor daken voor toekomstige jaren. Als ijkpunten voor de s-curve wordt de ontwikkeling van de afgelopen jaren gebruikt samen met een aantal ijkpunten voor de lange termijn o.b.v. de verwachte adoptie bij de berekende terugverdientijd op basis van de verwachte ontwikkeling van de energie- en paneelprijzen in een laag, midden en hoog scenario. Voor de korte termijn wordt de groei van de s-curve op basis van scenarioverhaallijnen ingevuld, zodat rekening kan worden gehouden met sentiment en beleidsonzekerheid.

Het prognosemodel van Enexis is op hetzelfde principe geënt, met een adoptiemodel gebaseerd op s-curve ingroepad. Met als belangrijke ijkpunten de huidige dakpotentie, installatiegrootte en huidige en toekomstige adoptie van zon-pv bij kleinverbruikers. Verder houdt het model rekening met vervangingen en bijplaatsingen van zon-PV na 25 jaar en wordt bij alle nieuwbouw een zon-pv installatie geprognoseerd. Het totaal geïnstalleerde vermogen is een gevolg van nieuwe adopties, bijplaatsen en nieuwbouw conform de gemiddelde installatiegrootte (die scenario afhankelijk zijn).

¹⁷² De 'voorkeursvolgorde zon' schrijft voor dat zon-pv op landbouwgrond alleen bij strenge uitzondering is toegestaan, zie [Kamerbrief over aangescherpte voorkeursvolgorde zon | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

¹⁷³ [zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-22112-3913.html](#)

¹⁷⁴ Zie o.a. [Kamerbrief 2e Zonbrief over ontwikkeling zonne-energie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

¹⁷⁵ Zie [Monitor RES 2023 | Planbureau voor de Leefomgeving](#) en de recente [Monitor RES 2024 | Planbureau voor de Leefomgeving](#)

¹⁷⁶ Daarmee wordt de klantvraag bedoeld die er zonder congestie wel zou zijn, maar die door de bekende congestiebeperkingen niet in beeld komt.

¹⁷⁷ [NPE Verdiepingsdocument B](#)

Scenario Eigen Vermogen hanteert bijna volledige adoptie van zonnepanelen op daken in lijn met hoge elektrificatie en de individuele wens om onafhankelijker te zijn. Ook zonneweiden ontwikkelen zich hierin het sterkst door het grote draagvlak voor de energietransitie, waarvoor de ruimtelijke impact geaccepteerd wordt. De scenario's Gemeenschappelijke Balans en Koersvaste Middenweg hanteren een gemiddelde ontwikkeling, in lijn met de gemiddelde koers van het scenario Koersvaste Middenweg en de pragmatische verduurzaming in het scenario Gemeenschappelijke Balans, waarin de balans tussen belangen en impact op de leefomgeving wordt gezocht. Scenario Horizon Aanvoer kent een lage adoptie vanwege het beperkte draagvlak voor de energietransitie, de focus op gebruik van gas en tegenvallers zoals constructieve beperkingen en relatief hoge prijzen door grondstofschaarste.

In tabel 4.6.1 van de vorige paragraaf zijn de specifieke scenario's en uitgangspunten voor dit segment weer-gegeven. Voor de kwantificatie van dit segment is er een beperkt aantal ijkpunten. De uitwerking verschilt voor zon op grote daken en voor zonnevelden.

Voor de bandbreedte van zonneweides in 2030 gelden de vermogensinschattingen van de Regionale Energiestrategieën (RES'en) uit de NPRES 2024 Geodataset/monitor¹⁸⁰ als referentie. Realisatie van de RES-ambities

krijgt als nationaal referentiepunt een plek in het scenario Eigen Vermogen. Voor zonnevelden is de RES het belangrijkste uitgangspunt, maar voor zon-op-dak heeft de NPRES lang niet alles in beeld; ondernemers maken immers plannen buiten de RES'en om.

Voor zon-PV in veldopstellingen is het theoretische potentieel op lange termijn heel groot. Een vrij recente en uitgebreide studie van TKI Urban Energy¹⁷⁸ heeft een aantal bronnen op een rij gezet, waaruit een bandbreedte van 20 tot 200 GW volgt. Die bovengrens is heel hoog, de TKI-studie laat zelf diverse opties zien voor de invulling van ambitieuze scenario's¹⁷⁹ en noemt daarmee cijfers in de bandbreedte van ca. 20 tot 60 GW voor zon-op-land afhankelijk van de invullingskeuzes. De ambities in het NPE sluiten aan bij de hoogste kwantificatie van de laatste II3050v2-studie (58 GW).

Voor de kwantificatie van zon op grote daken zijn de scenario's en de benutting van het dakpotentieel gebruikt. Die zijn op lange termijn in lijn met de II3050v2-studie. Voor de korte termijn is gewerkt met groeifactoren gebaseerd op onder andere historie en de KEV. Onderstaande tabel schets de uitgangspunten voor 2030 en 2050 in meer detail. Voor de verwachtingen van de tussenliggende jaren – 2035 en 2040 – is uitgegaan van lineaire interpolatie tussen ijkpunten van 2030 en 2050.

Tabel 4.6.4 Overzicht kwantificatie scenario's zon-pv op grote daken en op land.

Scenario	2030	2050
Zon-op-land		
EV – Hoog	Vermogensinschatting ter grootte van de vermogens als de RES de ambitie waar weet te maken (17,7 GW o.b.v. de NPRES geodataset ¹⁸⁰).	Trekken de trend door vanaf 2030 en komen dan op de hoge waarde uit II3050. De meeste studies komen niet buiten deze bandbreedte. NPE leunt ook op dit inzicht (58 GW).
KM/GB – Midden	Het beleid rondom de voorkeursvolgorde zon is een serieuze beperking voor zonnevelden, de verwachting is dat realisatie onder het midden van de bandbreedte uit komt (13,5 GW in 2030, 36,5 GW in 2050).	
HA – Laag	Vermogensinschatting ter grootte van de vermogens als de alleen nog alleen de concrete pijplijn + 50% in het voortraject uit de RES worden gerealiseerd zal worden (NPRES geodataset ¹⁸⁰). Draagvlak voor zon-op-land is laag (11,3 GW).	Zou die groei doorzetten dan resulteert dat in zo'n 29 GW in 2050. Gezien het negatieve sentiment, wordt een lagere groei van 0,75 GW/jaar (gemiddelde groei van 2022 en 2023*) verwacht, wat resulteert in 25 GW.
Zon op daken grootverbruikers		
EV – Hoog	Jaarlijkse groei die nodig is om de in 2050 de hoge inschatting van de bandbreedte te bereiken; d.w.z. de II3050v2 inschatting die uitgaat van dat 100% de dakpotentie wordt benut (18,8 GW).	100% Benutting van het dakpotentieel zoals dat becijferd is in II3050v2 en in het NPE zich op richt (54,1 GW). Hoewel niet alle daken technisch constructief geschikt zijn (zo'n 15% ¹⁸¹) compenseren solar carports en gevelpanelen voor dit verlies.
KM/GB – Midden	De gemiddelde groei van de afgelopen jaren wordt voortgezet uitgaand van gelijkblijvend beleid, danwel een balans van nieuwe verplichtingen en uitdagingen door constructieve beperkingen. Dat resulteert in 2050 in zo'n 60% benutting van het dakpotentieel (13,6 GW in 2030, 34,3 GW in 2050).	
HA – Laag	De groei blijft achter doordat het benutten van daken door juridische en constructieve beperkingen lastig blijkt, beleid slaagt niet in versnelling. De groei uit de KEV voor vastgesteld beleid wordt aangehouden (10,7 GW, blijft dichtbij het NPRES referentiepunt uit de NPRES geodataset ¹⁸⁰).	De ontwikkeling zet zich in gelijke trend voort en komt tot een benutting van zo'n 40% van het dakpotentieel (wat ook overeenkomt met II3050v2 lage scenario, 22 GW).

* In deze periode is al wat afvlakking in de CBS-cijfers te zien o.a. als gevolg van congestie. Er is dus een conservatieve groei, aangezien de klantvraag zonder congestie gebruikt wordt in de scenario's.

De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 rapporteren in opgesteld vermogen, dat wil zeggen het piekvermogen van de panelen die geïnstalleerd worden. In de praktijk is de omvormer vaak kleiner dan het geïnstalleerd vermogen, door kostenoverwegingen en verplichtingen vanuit de SDE++ subsidie met als doel het elektriciteitsnet effectief te benutten. Sinds 2023 is 50 procent overplanting een eis vanuit de SDE++ subsidie, daarvoor was 30 procent overplanting gangbaar. In de scenario's is daarom een

toenemend percentage overplanting verondersteld (over de totale populatie) van 40 procent in 2025/2030, 45 procent in 2035, 50 procent in 2040 en in 2050 is 50 procent verondersteld – in het scenario Eigen Vermogen zelfs 60 procent. In het scenario Eigen Vermogen worden de meeste zonnepanelen verwacht, waardoor er op zonnepieken meer productie is dan vraag. Doordat overplanting wordt toegepast zijn de effectieve vollasturen per jaar enigszins verschillend.

¹⁷⁸ Ruimtelijk potentieel van zonnestroom in Nederland

¹⁷⁹ 70 TWh varianten, volgens de studie: "In een aantal bekendere energiescenario's voor de toekomst met een groot aandeel zonnestroom wordt gesproken over een geïnstalleerd vermogen van 76–88 GWp. Dit betreft de II3050, de Transform and Adapt scenario's van TNO en het 100% Renewable Europe scenario. De rapporten specificeren niet altijd een bijbehorende jaarlijkse energieopbrengst. We schatten deze op circa 70 TWh/jr".

¹⁸⁰ Zie Paragraaf 4.6.4.1

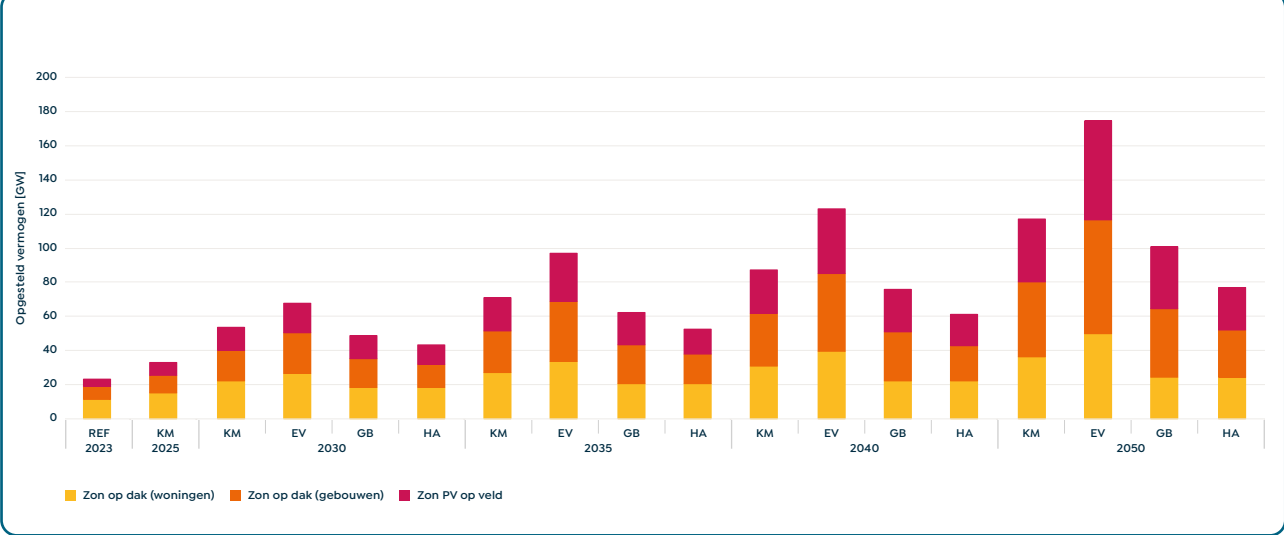
¹⁸¹ Rapport: Constructieve beperkingen voor zon-op-dak in utiliteitsbouw

Overzicht zon-PV

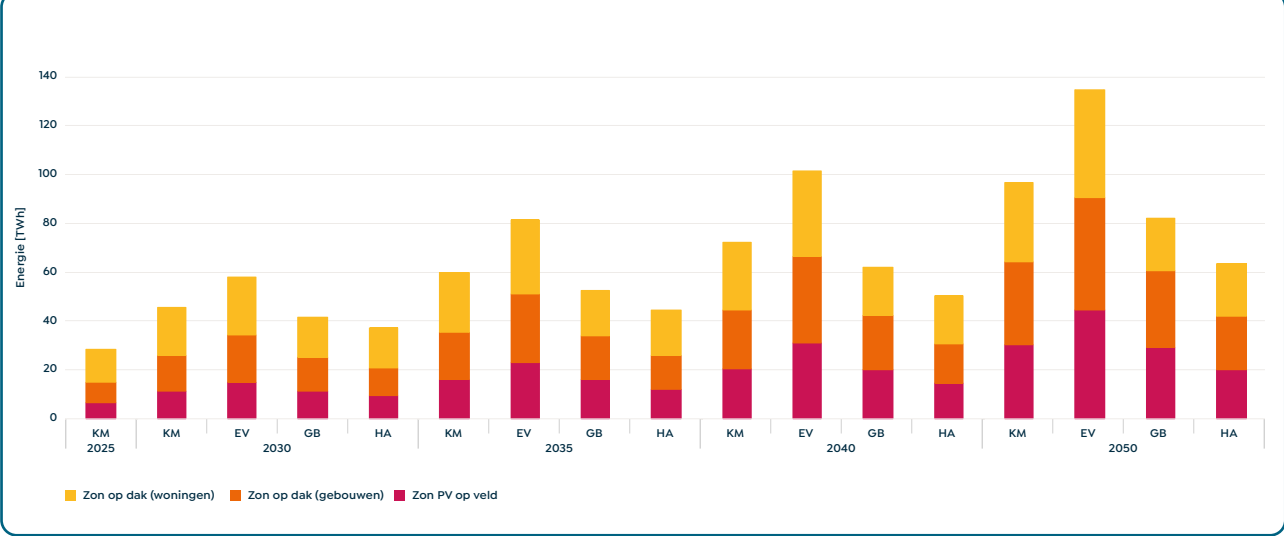
Het totaal opgesteld geïnstalleerd vermogen aan zonnepanelen per scenario en steekjaar is weergegeven in figuur 4.6.6 met een indeling naar zon-PV op daken van huishoudens, gebouwen en grootschalige veldopstellingen¹⁸². Daarbij is het

opgesteld zon-pv vermogen gerapporteerd onder de categorie huishoudens, gebouwen bestaat uit kleine bedrijven en grote zonnedaken, en zonnevelden omvat zon-op-land. In figuur 4.6.7 is de hieruit volgende elektriciteitsproductie weergegeven.

Figuur 4.6.6 Totaal opgesteld vermogen aan zon-pv uitgesplitst naar zonnevelden, gebouwen en huishoudens.



Figuur 4.6.7 Totale elektriciteitsproductie met zon-pv uitgesplitst naar zonnevelden, gebouwen en huishoudens.



4.6.3.4 Hernieuwbare opwek – biomassa elektriciteitsproductie, AVI's en waterkracht Biomassa en AVI's

De elektriciteitsproductie uit biomassa wordt onderscheiden in het stoken van biomassa in elektriciteitscentrales (zie paragraaf 4.6.3.6), het verbruiken van biomassa in kleinere opwekinstallaties en het verbranden van afval in afvalverbrandings-installaties (AVI's).

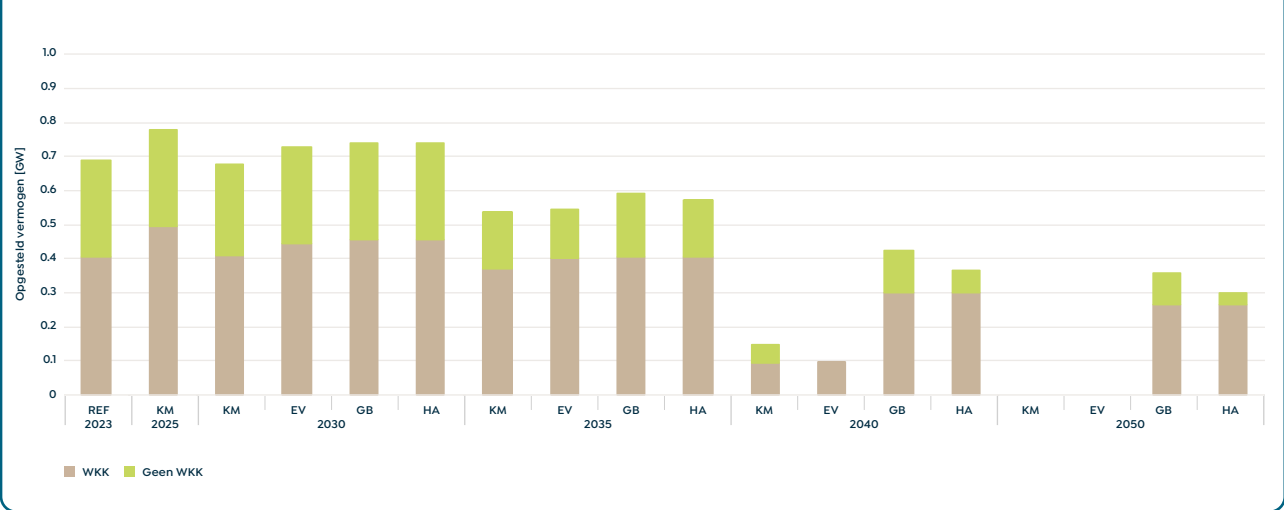
Van de kleinschalige elektriciteitsproductie uit biomassa (inclusief biogasinstallaties) wordt het opgesteld vermogen in de landbouwsector separaat beschouwd vanwege verschillen in de scenario's. Exclusief de landbouwsector wordt voor het kleinschalige biomassavermogen in alle scenario's uitgegaan van 0,4 GW tot aan 2030, waarna een lineaire afbouw tot 0 GW in 2050 wordt voorzien.

In de landbouwsector neemt vanaf referentiejaar 2023 het biogasvermogen (0,1 GW) in scenario Koersvaste Middenweg

en Gemeenschappelijke Balans toe tot respectievelijk 0,5 GW en 0,7 GW in 2040, met een lichte daling in 2050. In de EV- en HA-scenario 's blijft het biomassavermogen tot 2040 rond 0,1 GW en neemt dat af tot 0 GW in 2050.

Het elektrisch vermogen van afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) is op dit moment ongeveer 0,8 GW. Vanaf 2030 voorzien alle scenario's een afbouw, met name van de installaties zonder warmtekrachtkoppeling (WKK), mede doordat steeds meer afval (chemisch) wordt gerecycled, waardoor de noodzaak van verbranding minder wordt. In scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen is afvalverbranding in Nederland tegen 2050 uitgefaseerd. In de andere scenario's blijft er wel een rol voor AVI's bestaan, maar het opwekvermogen voor elektriciteit neem wel met meer de helft af. Fossiele restemissies van deze eenheden wordt zoveel mogelijk afgevangen. Dit is ongeveer de helft van de CO₂-uitstoot. Daarmee resteert nog maximaal 2 Mton aan biogene emissie.

Figuur 4.6.8 Totaal opgesteld centraal en decentraal vermogen afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) uitgesplitst in WKK en niet-WKK.



Figuur 4.6.9. Restemissies en CCS bij afvalverbrandingsinstallaties (AVI's).



¹⁸² Categorieën zoals gebruikt in Energy Transition Model (ETM) dat t.b.v. scenariokwantificatie is gebruikt.

Figuur 4.6.10 Totaal opgesteld vermogen elektriciteit biomassa/-gasinstallaties incl. landbouwsector.



Waterkracht

De elektriciteitsproductie uit waterkracht wordt, naast kleinschalige getijde-energie, voornamelijk via waterkracht-installaties in de Nederlandse rivieren opgewekt en is al jaren op hetzelfde relatief lage niveau (0,04 GW). In de scenario's is geen variatie van waterkracht opgenomen.

4.6.3.5 Conventionele productie – Kernenergie

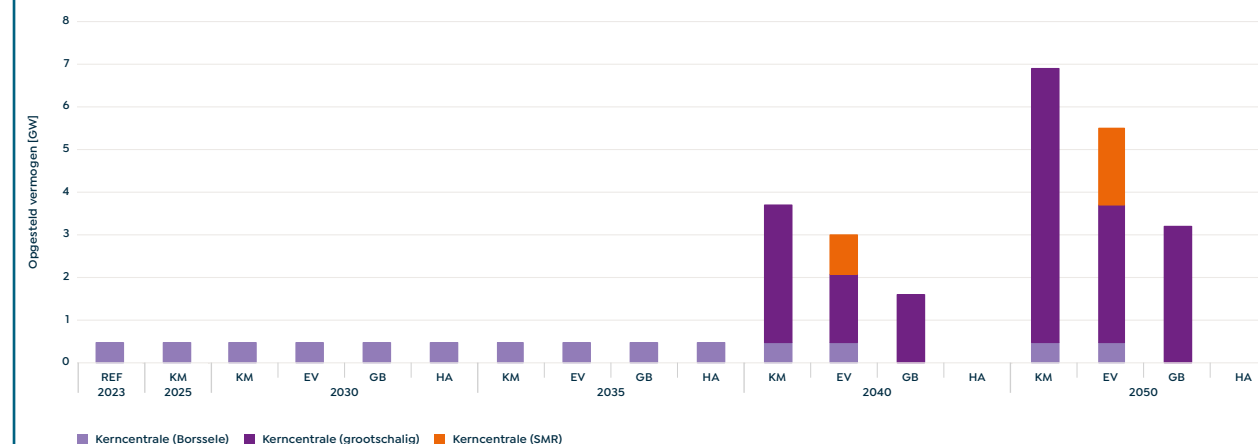
Vandaag de dag is er met de centrale in Borssele – met een opgesteld vermogen van rond 480 MW – één operationele kerncentrale in Nederland. Voor het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen en de wens minder afhankelijk te zijn van energie-importen, koerst de Nederlandse overheid, naast het langer openhouden van de bestaande kerncentrale, op de bouw van nieuwe kerncentrales. De overheidsambitie voorziet hierbij de ontwikkeling van twee grote kerncentrales tot 2040 en een verdubbeling hiervan tot 2050¹⁸³. Die centrales hebben afhankelijk van de technologiekeuze elk 1 tot 1,6 GW opgesteld vermogen. Daarnaast wordt onderzocht welke mogelijkheden er zijn voor zogenoemde Small Modular Reactors (SMR's), een nieuwe generatie van kerncentrales met een relatief klein vermogen van enkele honderden megawatt.

Om de mogelijkheden van nieuwe kerncentrales in Nederland te verkennen voert het ministerie voor Klimaat en Groene Groei (KGG) een aantal onderzoeken uit om aspecten zoals technische uitvoering, financiering, ruimtelijke inpassing een aansluitmogelijkheden op de elektriciteitsnetten beter in

kaart te brengen. De realisatie van nieuwe kerncentrales kent echter uitdagingen, waardoor de uiteindelijke haalbaarheid van de volledige overheidsambities onzeker is. Daarom is in de scenario's een ruime bandbreedte opgenomen voor de ontwikkeling van kerncentrales.

In scenario Koersvaste Middenweg wordt de huidige overheidsambitie volledig behaald: naast de bestaande kerncentrale in Borssele (0,5 GW) zijn er twee nieuwe, grote kerncentrales operationeel met in totaal 3,2 GW tot 2040, en vier nieuwe kerncentrales met in totaal 6,4 GW tot 2050. Scenario Eigen Vermogen voorziet door de snelle groei van hernieuwbare opwek van met name wind-op-zee en grootschalige opkomst van nieuwe flexibele technologieën zoals batterijopslag, in één nieuwe kerncentrale van 1,6 GW tot 2040. Pas daarna wordt een tweede kerncentrale, dus in totaal 3,2 GW, in bedrijf genomen. Naast het openhouden van de bestaande kerncentrale tot aan 2050, zorgen investeringen in een nieuwe generatie decentrale Small Modular reactors (SMR's) er vanaf 2040 voor dat de sterk groeiende elektriciteitsvraag in dit scenario ingevuld wordt. In scenario Gezamenlijke Balans groeit de vraag naar elektriciteit minder sterk, waardoor er net als in scenario Eigen Vermogen maar de helft van de ambitie gerealiseerd wordt. In scenario Horizon Aanvoer kunnen (groene) moleculen op de langere termijn goedkoop geïmporteerd worden. Dat maakt investeringen in nieuwe kerncentrales relatief minder aantrekkelijk, in vergelijking met de bouw van nieuwe waterstofcentrales.

Figuur 4.6.11 Opgesteld vermogen kerncentrales.



4.6.3.6 Conventionele productie – Kolencentrales

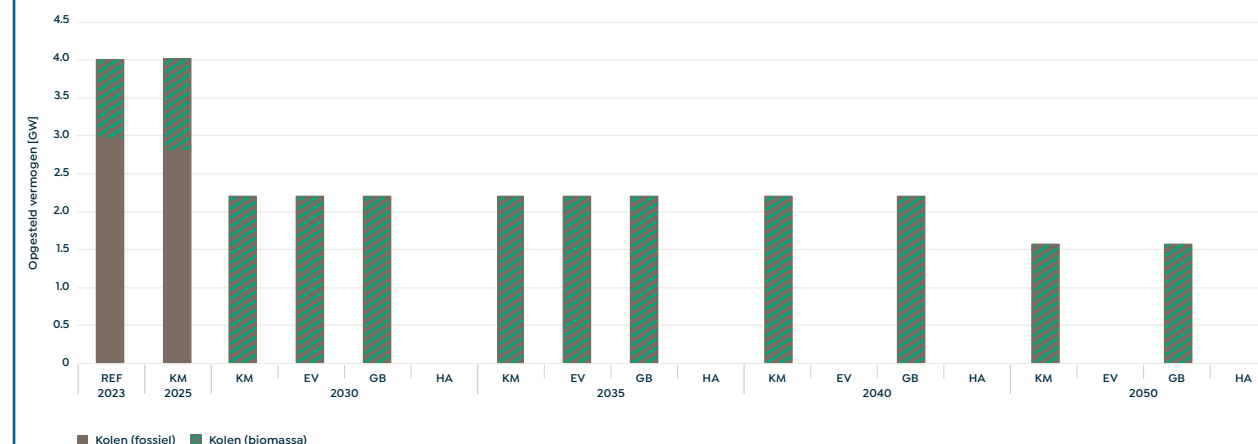
Vanaf 2030 mogen er geen kolen meer gebruikt worden voor de productie van elektriciteit. Vanaf dat moment sluiten kolencentrales of gaan ze over op een alternatieve brandstof, bijvoorbeeld biomassa. Of dit laatste opportuun is hangt af van factoren zoals economische overwegingen, technische vragen en beschikbaarheid van een alternatieve brandstof.

Het scenario Gezamenlijke Balans is biomassa ruim beschikbaar. Tevens neemt de toepassing van CO₂-afvang, transport en opslag een grote vlucht. Dit geldt in iets minder mate ook voor het scenario Koersvaste Middenweg. In beide scenario's wordt vanaf 2030 tot 2,2 GW van het kolenvermogen overgeschakeld op biomassa met CCS¹⁸⁴. De vollasturen van deze eenheden verschillen enigszins per scenario, maar over het algemeen draaien deze centrales

min of meer baseload. Hiermee kan per jaar tot circa 15 Mton aan negatieve emissies worden gerealiseerd. Na 2040 gaat de Amercentrale vanwege de leeftijd van de installatie uit bedrijf.

In het scenario Eigen Vermogen wordt sterk ingezet op de uitrol van zon- en windvermogen. Dit neemt niet weg dat er op de korte termijn (2030, 2035) nog behoefte is aan (backup) productievermogen uit biomassa, onder andere vanwege de langzamere uitrol van wind-op-zee. Ook in dit scenario blijft een deel van het kolenvermogen vanaf 2030 tijdelijk doordraaien op biomassa. Na 2035 gaan deze eenheden definitief uit bedrijf. Gelet op de beperkte looptijd van de biomassastook worden deze installaties niet met CCS uitgerust. In het scenario Horizon Aanvoer gaan alle koleneenheden per 2030 uit bedrijf.

Figuur 4.6.12 Opgesteld vermogen aan (bio) kolencentrales.



¹⁸⁴ Er is aangenomen dat de Amercentrale en de Eemscentrale (beide RWE) overgaan op biomassa vanaf 2030. Voor de Amercentrale is de CO₂-afvanginstallatie ook al in dat jaar beschikbaar. Voor de Eemscentrale volgt de installatie van de CCS installatie een paar jaar later.

4.6.3.7 Conventionele productie – Gascentrales (methaan en waterstof)

Gascentrales spelen in Nederland een prominente rol in de productie van elektriciteit en in sommige gevallen ook warmte, voor verschillende sectoren. Met de uitrol van variabele productie uit bijvoorbeeld zon en wind, vervullen gasgestookte eenheden toenemend een rol als leverancier van snel beschikbaar en flexibel vermogen. Dat betekent dat gascentrales in principe alleen produceren als er geen, of onvoldoende hernieuwbare elektriciteit wordt opgewekt, afgezien van de warmtekrachtkoppeling-installaties (WKK's). Daarbij neemt de huidige capaciteit van gascentrales niet af, maar groeit die zelfs in bepaalde scenario's. Het aantal inzeturen neemt op jaarbasis wel fors af. Dit is in alle scenario's het geval.

Vrijwel alle grotere gascentrales vallen onder het regime van het Europese emissiehandelssysteem (ETS). Volgens de klimaatplannen worden er vanaf 2040 geen nieuwe ETS emissierechten meer uitgegeven, waardoor het zeer kostbaar of zelfs onmogelijk wordt om aardgas voor elektriciteitsopwekking te gebruiken. Daar komt nog bij dat de Nederlandse overheid ambities heeft

geformuleerd om al in 2035 het elektriciteitssysteem, inclusief centrales, volledig emissievrij te maken. Feitelijk moeten gascentrales daarvoor overgaan op een alternatieve brandstof, bijvoorbeeld waterstof of groen gas, of de emissies van gascentrales moeten op een andere wijze worden gecompenseerd.

De scenario's verschillen in de snelheid waarmee het elektriciteitssysteem naar nul emissie gaat en in de wijze waarop dit gebeurt. Het scenario Horizon Aanvoer kent hierbij het meest ambitieuze transitiepad, waarin de emissies van het elektriciteitssysteem conform de keuzes in het NPE al in 2035 nagenoeg naar nul gaan. De huidige gascentrales gaan primair over op waterstof, dat in dit scenario grootschalig geïmporteerd wordt¹⁸⁵. In 2030 worden de eerste eenheden (circa 2 GW) omgebouwd naar waterstof. Tot 2035 groeit dat vermogen naar zo'n 13 GW. Aanvullend komen er 2,5 GW nieuwe backup-waterstofcentrales in bedrijf, doordat de ontwikkeling van andere flexibiliteitsvormen in dit scenario relatief achter blijft¹⁸⁶. In de jaren daarna worden in dit scenario nieuwe waterstofcentrales geplaatst die bijdragen aan de leveringszekerheid¹⁸⁷.

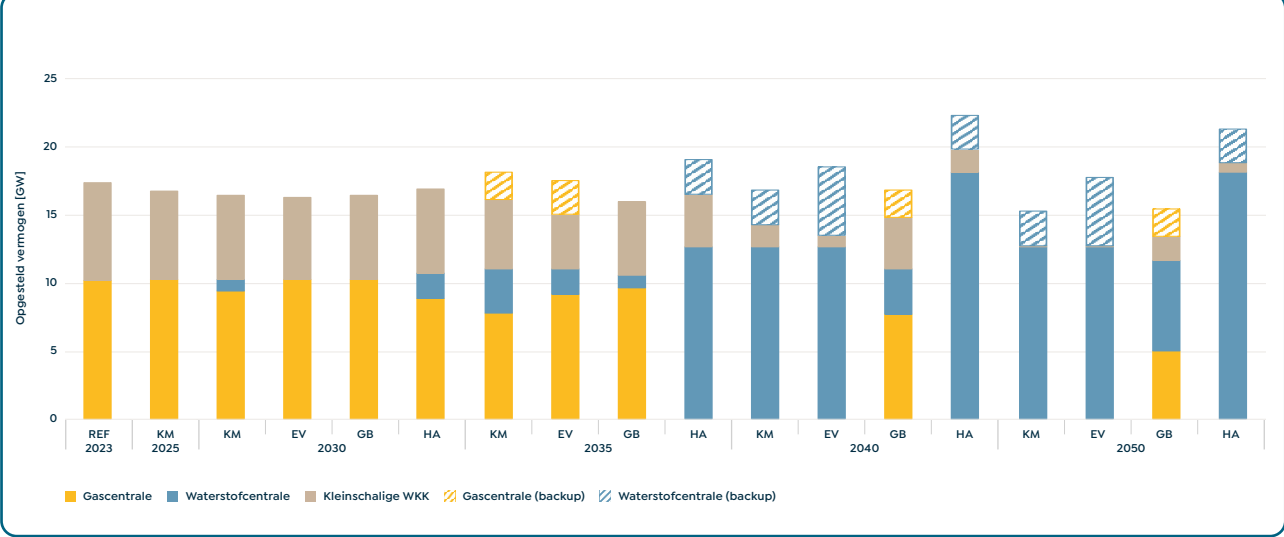
De scenario's Eigen Vermogen en Koersvaste Middenweg volgen een vergelijkbaar omroepwpa van aardgas- naar waterstofcentrales, maar ietwat vertraagd in vergelijking met scenario Horizon Aanvoer. In beide scenario's vindt nieuwbouw plaats van 2,5 GW aan backup-gascentrales voor 2035, die bij toenemende elektrificatie van de energievraag een bijdrage aan de leveringszekerheid leveren. Deze backup-centrales draaien tijdelijk nog op aardgas, maar worden uiterlijk 2040 met waterstof gestookt. In het scenario Eigen Vermogen verdubbelt het backupvermogen naar in totaal 5 GW tot 2040. In zowel scenario Koersvaste Middenweg als Eigen Vermogen is het elektriciteitssysteem netto nagenoeg emissievrij in 2040. Dit geldt ook voor het scenario Gezamenlijke Balans, maar daarin wordt naast waterstof ook nog groen gas en aardgas gebruikt voor elektriciteitsopwekking. In 2050 wordt in dit scenario nog ongeveer de helft (9 GW) van het gasvermogen op methaan gestookt. Dit is deels ook nog aardgas. De emissies daarvan worden elders in het systeem gecompenseerd, bijvoorbeeld via BECCS op biomassacentrales¹⁸⁸. In dit scenario wordt ook aanvullend backupvermogen operationeel, naast bestaande centrales die tot 2040 open blijven.

nog ruim 7 GW¹⁸⁹. In 2035 is dit nog maximaal 5 GW. Het scenario Gezamenlijke Balans voorziet nog de grootste rol voor kleinschalige opwekeenheden, o.a. vanwege de beschikbaarheid van groen gas. In dit scenario neemt de capaciteit van tot 3 GW in 2040 en iets meer dan 1 GW in 2050. In de andere scenario's neemt het vermogen sneller af en zijn in 2050 alle installaties uit bedrijf genomen.

De inzet van gasgestookt vermogen is afhankelijk van allerlei factoren, waaronder de weersomstandigheden en de inzet van andere flexibiliteitsvormen, zoals batterijopslag en vraagsturing. De elektriciteitsproductie uit gascentrales is erg onzeker. Maar over het algemeen mag verwacht worden dat de elektriciteitsproductie in alle scenario's over de tijd afneemt, vanwege de grotere rol van zon en wind. Onderstaande grafiek illustreert dit.

Wat opvalt is dat de productie uit gas in het scenario Eigen Vermogen tot aan 2035 niet heel veel zakt ten opzichte van het referentiejaar. Met name omdat de uitrol van wind-op-zee vertraagt terwijl de elektriciteitsvraag in dit scenario wel fors groeit. Na 2035 neemt de productie uit gas wel af. In 2050 wordt in scenario's Eigen Vermogen en Koersvaste Middenweg nog maar 12 TWh aan elektriciteit met gas opgewekt, dit is ruwweg een kwart van het productieniveau in 2023. In de andere scenario's, met name Horizon Aanvoer, maken de gascentrales iets meer draaiuren, o.a. omdat het opgesteld vermogen van zon en wind lager is.

Figuur 4.6.13 Opgesteld vermogen aan gasgestookte productie-installaties.



Figuur 4.6.14 Totale elektriciteitsproductie uit gasgestookte productie-installaties.



¹⁸⁵ Prioritering van centrales voor ombouw naar waterstof is gedaan op basis van kansrijkheid (expert judgement, project informatie), ombouwbaarheid van eenheden en afstand tot waterstof infrastructuur. De manier van ombouw verschilt per centrales. Sommige gaan in één keer over, andere stapsgewijs per turbine of via mengsels waarin het aandeel waterstof steeds verder wordt verhoogd.

¹⁸⁶ De 2,5 GW zijn generiek gekozen o.b.v. een analyse van opwek en vraagbalans in de scenario's, zie hoofdstuk flexibiliteit voor meer achtergrond.

¹⁸⁷ Let op: in het kader van de scenario's is geen diepgaande leveringszekerheidsanalyse gedaan. Hierdoor kunnen geen definitieve uitspraken worden gedaan over de uiteindelijke behoefte aan nieuwe backupcentrales. Voor belastbare analyses wordt naar TenneT's Monitor Leveringszekerheid (MLZ) verwezen.

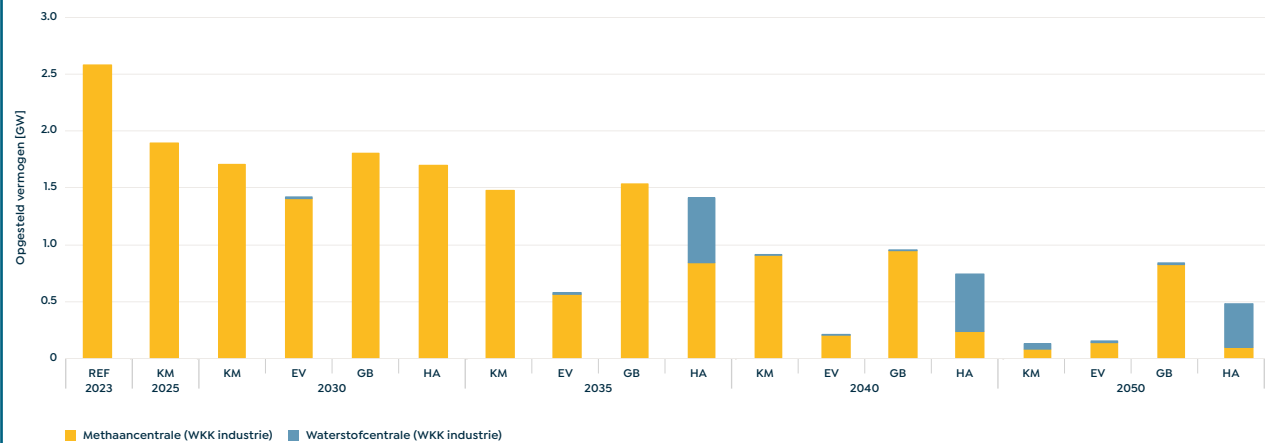
¹⁸⁸ Er is ook nog gekeken naar alternatieve vormen van emissiereductie bij centrales, bijvoorbeeld via CCS of ammoniak. Decarbonisatie van gasgestookt vermogen via post combustion CCS wordt niet kansrijk geacht, vanwege de lage vollasturen van de centrales (hoge kosten per kton afvang, op en afregelen technisch uitdagend). Gebruik van ammoniak lijkt wel kansrijk voor bruinkool centrales (bijvoorbeeld in Duitsland), maar voor Nederlandse (gas)centrales ligt dit niet voor de hand.

¹⁸⁹ Dit betreft het vermogen dat dynamisch ingezet wordt op basis van de gas- en elektriciteitsprijs (spark spread). Het deel baseload draait (must-run) is modelmatig als eindverbruik van gas gemodelleerd. Deze capaciteit is daarom niet zichtbaar in het ETM.

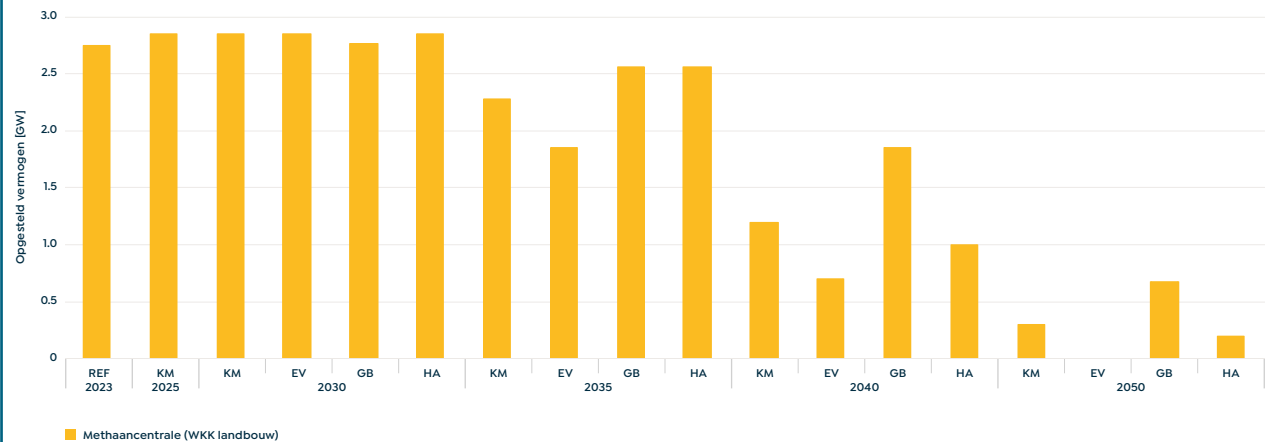
De sectoren industrie en agricultuur zijn afzonderlijk geanalyseerd. Voor de sector industrie is de informatie uit de CES'en gebruikt om de omvang van WKK-vermogen te bepalen. In de figuur komt naar voren dat de methaangestookte WKK in capaciteit afneemt

en dat in voornamelijk het scenario Horizon Aanvoer WKK op waterstof wordt ingezet. Ook in de landbouwsector neemt het WKK-vermogen in omvang af, waarbij met name in het scenario Gezamenlijke Balans biogas ingezet wordt.

Figuur 4.6.15 Opgesteld vermogen WKK industrie.



Figuur 4.6.16 Opgesteld vermogen WKK in de landbouw.



4.6.4 Gebruik sectorale data nationale programma's (RES en CES)

4.6.4.1 RES

Bij de uitwerking van de scenario's voor wind-op-land, zon-PV op grote daken en zon-op-land is gebruik gemaakt van de NPRES-monitor, die onderdeel is van de NPRES-geodataset. Er is geput uit de dataset die in de zomer van 2024 is gedeeld met de netbeheerders door de NPRES. Dit document bevat de concrete plannen en de vaak minder concrete ambities die de RES-regio's hebben, om hun RES-doelen voor 2030 te halen. De cijfers voor energieproductie in TWh zijn in afstemming met de NPRES vertaald naar een vermogensinschatting op nationaal niveau. Die is gebruikt als referentiepunten voor de scenario's. Dat geldt voor: wind-op-land (bovenkant bandbreedte, scenario Eigen Vermogen), zon op dak (onderkant bandbreedte, scenario Horizon Aanvoer) en zon-op-land (bovenkant en onderkant van de bandbreedte, respectievelijk scenario Eigen Vermogen en scenario Horizon Aanvoer), zoals beschreven in de vorige paragrafen 4.6.3.3 en 4.6.2.3.

De PBL-voortgangsmonitor¹⁹⁰ van de RES'en laat zien dat weliswaar de taakstelling van 35 TWh in 2030 wordt gehaald, maar niet de ambities van 55 TWh. Voor een deel is netcongestie hiervan de oorzaak, maar er zijn ook andere oorzaken. De totale cijfers van de NPRES-monitor/geodataset worden daarom gezien als bovenkant van de bandbreedte. Voor zon-op-veld wordt daarnaast de concrete pijplijnprojecten + 50 procent van het vermogen van projecten in het voortraject meegenomen in de onderkant van de bandbreedte, voor zon-op-dak is hiervoor de pijplijnprojecten met realisatiegraad het uitgangspunt.

Hoewel de NPRES-monitor/geodataset per RES-regio een doorsnede maakt, kan het niet goed gebruikt worden voor een regionalisatie van nationaal niveau naar netbeheerder. Daarvoor zijn met name de ambities niet concreet genoeg, zodat onduidelijk is of er een netaansluiting bij TenneT of één van de regionale netbeheerders in de RES-regio gaat komen.

In sommige RES-regio's zijn daarnaast meerdere regionale netbeheerders actief.

Voor zonneweides is op basis van de bekende plannen bij TenneT een inschatting gemaakt van de toedeling per RES-regio naar regionale netbeheerder. Voor wind-op-land en zon op dak was dat niet mogelijk. De RES-regio's hebben te weinig zicht op de pijplijn van zon op gebouwen om hier gebruik van te kunnen maken.

Opvallend is dat de NPRES-monitor/geodataset optelt tot meer energieproductie dan de ambitie van 55 TWh. Ook laten opeenvolgende monitors voor zon een verschuiving van zon-op-dak naar zon-op-land ambities zien, terwijl het Rijk en een deel van de provincies de mogelijkheid om zonnenvelden te realiseren juist beperken (o.a. de voorkeursvolgorde zon). De manier waarop RES-regio's projecten en ambities opnemen in de dataset is niet eenduidig, dat maakt interpretatie moeilijk en maakt dat de NPRES-monitor en de geodataset enkel als indicatieve referentie gebruikt kan worden.

4.6.4.2 CES 3.0 als input voor WKK-vermogen

Voor de kwantificering van de industrie zijn de scenario's onder andere gebaseerd op data uit de cluster energie-strategie (CES). De netbeheerders hebben meegedaan in de data-uitvraag voor de CES 3.0¹⁹¹, waarmee ondermeer data is verkregen over de warmtekraftkoppeling-installaties (WKK's) die bij de industrie staan. Per bedrijf is daarin aangegeven welke transitie voor deze installaties is voorzien. Voor 2040 en 2050 zijn daarbij ook verschillende scenario's aangegeven. In veel gevallen gaan WKK-eenheden vóór 2030 uit bedrijf. In bepaalde gevallen schakelen deze over op een andere brandstof, bijvoorbeeld waterstof.

Inzichten die via de CES 3.0-datauitvraag zijn verkregen, zijn overgenomen in de scenariokwantificering. Voor de overige typen WKK-vermogen – die geen onderdeel zijn van de CES-data – hebben de netbeheerders zelf een schatting van de transitie gemaakt.

¹⁹⁰ Monitor RES 2024 | Planbureau voor de Leefomgeving

¹⁹¹ Zie hoofdstuk 3.5.6 voor meer informatie over het gebruik van CES data voor de kwantificering van de industrie.

4.6.5 Regionalisering

4.6.5.1 Inleiding

Om netanalyses te kunnen uitvoeren voor verschillende studies zoals de investeringsplannen, is er naast landelijke scenariocijfers uiteindelijk ook een regionale doorvertaling nodig, de regionalisatie. Om gebruik van consistente vertrekpunten te borgen, is voor de verschillende opwektypes een toedeling van de vermogens naar netbeheerder gemaakt. Dit hoofdstuk beschrijft kort de aanpak voor de opweksegmenten waar dit van toepassing is. De detailuitwerking van de locaties binnen de netbeheerdergebieden is niet in scope van dit scenariorapport en wordt in latere stappen bepaald.

4.6.5.2 Hernieuwbare opwek – Wind-op-land en zee

Voor de toedeling van het wind-op-landvermogen aan de individuele netbeheerders is gekeken naar het opgesteld vermogen per netbeheerder in de huidige situatie¹⁹². Vanuit de aanname dat de kenmerken van de verschillende verzorgingsgebieden niet sterk gaan veranderen, is voor de regionalisering dezelfde relatieve verdeling per netbeheerder aangehouden. Hierbij is ingecalculeerd dat binnen de verzorgingsgebieden van de regionale netbeheerders een deel van wind-op-land rechtstreeks bij TenneT wordt aangesloten. Wind-op-zee wordt net als in de huidige situatie aangesloten op het landelijke stroomnetwerk van TenneT.

4.6.5.3 Hernieuwbare opwek – zon-PV op daken en op land

Zon-PV woningen en kleine bedrijven
De regionalisatie naar netbeheerder van dit segment is gebaseerd op een bottom-upbenadering van de prognoses per verzorgingsgebied. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen nieuwbouwwoningen en bestaande bouw:

- **Nieuwbouwwoningen:** berekening van opgesteld vermogen door Enexis en Liander voor hun nieuwbouwpopulatie op basis van de Primosprognose¹⁹³, met regionale kentallen van zon-PV-vermogen voor hoogbouw en laagbouw. Overige netbeheerders zijn geregionaliseerd op basis van Primosprognose i.r.t. de Lianderprognose omdat woningpopulatie van andere netbeheerders hier het meeste bij aansluit. De exacte verdeling verschilt per jaar.

- **Bestaande bouw**¹⁹⁴: berekening van opgesteld vermogen door Enexis en Liander voor hun dakpotentieel. Overige netbeheerders geregionaliseerd op basis van de zon-PV dakpotentie van woningen (RIVM/Atlas Leefomgeving)¹⁹⁵ in relatie totde Liander prognose, omdat woningpopulatie van andere netbeheerders hier het meest bij aansluit. De exacte verdeling verschilt per jaar.

Zon-PV op grote daken en op land

Deze regionalisatie naar netbeheerder verschilt voor de zonnedaken en voor zon-op-land. Er is gebruik gemaakt van een generieke verdeling, aangepast met de inzichten van de specifieke situaties bij individuele netbeheerders. Voor 2025 zijn de inschattingen gebruikt van de individuele netbeheerders over wat zij realistisch achten op basis van interne inzichten en bekende plannen. Voor 2040 en 2050 wordt gebruik gemaakt van lineaire interpolatie; voor de overige steekjaren wordt het volgende onderscheid gemaakt:

- **Zon op dak:** geregionaliseerd op basis van dakoppervlak op gelijke wijze als voor bestaande bouw zon-PV-woningen en kleine bedrijven.
- **Zon op veld:** deze kunnen zowel worden aangesloten bij TenneT als bij de regionale netbeheerders. Voor TenneT wordt in 2030 de eigen prognose op basis van bekende plannen met een slagingskansdifferentiatie per scenario gehanteerd. Het aandeel van TenneT loopt dan op van ca. 12 procent in 2023 naar 18 tot 24 procent in 2030, afhankelijk van het scenario. Voor 2050 wordt voor TenneT een verder dalend aandeel in het totaal verondersteld. Dit omdat door beperkingen in draagvlak voor zon-op-land de verwachting is dat de groei niet zo sterk meer in heel grote zonneweides ligt. Dat aandeel daalt naar 15 tot 18 procent, afhankelijk van het scenario op basis van gemiddelde aandeel tussen 2023 en 2030. Het overige deel wordt geregionaliseerd over de regionale netbeheerders. Daarbij wordt voor 2030 bij Liander, Enexis en Stedin aangesloten bij de regionalisatie die volgt uit de NPRES-monitor/geodataset. Voor de kleine regionale netbeheerders wordt een toedeling gebruikt op basis van landoppervlak volgens het CBS¹⁹⁶. Voor 2050 is landoppervlak voor alle regionale netbeheerders het uitgangspunt.

4.6.5.4 Conventionele productie en overige hernieuwbare productie

De locaties van de huidige kleinschalige en grootschalige conventionele centrales veranderen niet in de scenario's, terwijl het vermogen op deze locaties zelf kan veranderen op basis van de scenariokeuzes. De locaties van nieuwe backup-gascentrales die na 2030 in een deel van de scenario's staan,

moeten echter nog bepaald worden, rekening houdend met geldende wet- en regelgeving, zoals aanwijisgebieden voor de vestiging van centrales. Hetzelfde geldt voor de locaties van nieuwe kerncentrales, die in afstemming met het Ministerie voor Klimaat en Groene Groei (KGG) vastgelegd worden. Hierbij is aangenomen dat zowel nieuwe backup-gascentrales als ook kerncentrales bij TenneT worden aangesloten.

4.6.6 Vergelijking met IP2024, I13050v2, KEV2024 en NPE

4.6.6.1 Kwantitatieve vergelijkingen: wat zijn verschillen en waarom?

Onderstaande tabellen tonen de belangrijkste verschillen tussen de IP2026-scenario's en de voorgangers, IP2024 en I13050v2. Daarnaast is er een vergelijking gemaakt met de Klimaat en Energieverkenning 2024 (KEV2024) van het PBL - met vastgesteld en voorgenomen beleid - en het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE).

Tabel 4.6.5 Overzicht verschillen tussen de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 en IP2024 (t/m 2035) en I13050v2 (2050), per productiecategorie.

Wind-op-land	Een aantal punten is duidelijk anders ten opzichte van IP2024 en I13050v2: • Als sectorinformatie is de meest recente RES-geodata gebruikt in het 2030 hoge scenario Eigen Vermogen. In IP2024 werd de RES 2.0-data gebruikt in het middenscenario. • Ten opzichte van I13050v2 zijn de eindpunten naar beneden bijgesteld, waarmee de NPE-getallen als hoog scenario Eigen Vermogen zijn aangehouden. Deze waarde zou in I13050v2 ergens tussen de toen gebruikte midden en hoog scenario's terecht zou zijn gekomen. • Tot slot is de verdeelsleutel in de regionalisering veranderd. Een duidelijk verschil is dat daarmee een groot deel van het vermogen richting TenneT is verschoven, waar dit eerder 0 was.
Zon	Een aantal punten is duidelijk anders ten opzichte van IP2024 en I13050v2: • Zon-op-dak van kleinverbruikers is op korte termijn omhoog bijgesteld n.a.v. sterke stijgingen afgelopen jaren. Het dempend effect door versnelde afschaffing van de salderingsregeling en het negatief sentiment (kosten terugleveren) voor komende jaren is opgenomen. Voor kleinverbruikers is in 2035 over de hele bandbreedte van de scenario's zo'n 7-9 GW hoger ingeschat. Nieuwe analyse van het dakpotentieel levert in 2050 een iets lagere inschatting op van 6,5-9,5 GW. • Grootschalige zon-op-dak en zon-op-velde is tot 2050 naar beneden bijgesteld doordat realisatie boven de RES-ambitie van 55 TWh niet meer te verwachten is. In 2035 over de hele bandbreedte van de scenario's zo'n 8,5-13,5 GW lager, in 2050 zo'n 2-13,5 GW lager. • De totale vermogens van zon-PV blijven grotendeels binnen de bandbreedte van de vorige IP2024 en I13050v2 scenario's (zie figuur) en duikt er voor het scenario Horizon Aanvoer vanaf 2035 onder. Ook de bovenkant van de bandbreedte ligt in de nieuwe scenario's iets lager. • De regionalisatie naar netbeheerder is geactualiseerd en levert hier en daar kleine verschillen op.
Wind-op-zee	In vergelijking met de scenario's voor IP2024 en I13050v2 wordt een vertraging zichtbaar van wind-op-zee. De scenario's van twee jaar geleden voorzagen voor 2030 nog rond de 21 GW, nu is dit iets meer dan 12 GW. Ook voor 2035 liggen de nieuwe scenario's aan de onderkant van de bandbreedte van twee jaar geleden. Vanaf 2040 is de spreiding van de nieuwe scenario's redelijk vergelijkbaar met de vorige scenario's.
Gascentrales	In de scenario's voor IP2024 en I13050v2 worden de eerste gascentrales in 2030 naar waterstof omgebouwd. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 schuift dit iets naar achteren. Vanaf 2035 vertonen deze nieuwe scenario's bovendien een grotere bandbreedte voor centrales op waterstof. Enerzijds ligt de bovengrens voor waterstofcentrales hoger, omdat expliciet rekening worden gehouden met een CO ₂ -vrij elektriciteitssysteem in 2035 in scenario Horizon Aanvoer. Anderzijds ligt de ondergrens voor waterstofcentrales in de nieuwe scenario's lager, omdat in het scenario Gemeenschappelijke Balans methaan nog een rol blijft spelen in de productie van elektriciteit. In IP2024 en I13050v2 werd in alle scenario's uiteindelijk alleen nog waterstof voor gascentrales gebruikt.
Kolencentrales	In het Nationale Drijfveren-scenario van IP2024 werd biomassa verstoekt in kolencentrales vanaf 2030 tot 2035, daarna niet. In de huidige scenario's worden de kolencentrales vanaf 2030 ingezet met biomassa in alle scenario's, behalve Horizon Aanvoer.
Kernenergie	In het I13050v2-rapport werd kernenergie voorzien in het Nationaal en Europees scenario resp. 1,5 en 4,0 GW in 2040 en 3,0 en 8,0 GW in 2050. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 in drie scenario's vanaf 2040, behalve in Horizon Aanvoer.
Biomassa	Voor Biomassa (0,4 GW) werd geen onderscheid gemaakt in de I13050v2-scenario's, maar een vermogensafbouw naar 0,2 GW in 2040 en 0 GW in 2050.

¹⁹² Enexis 25,5%, Liander 23,2%, Stedin 15,5%, TenneT 35,8%

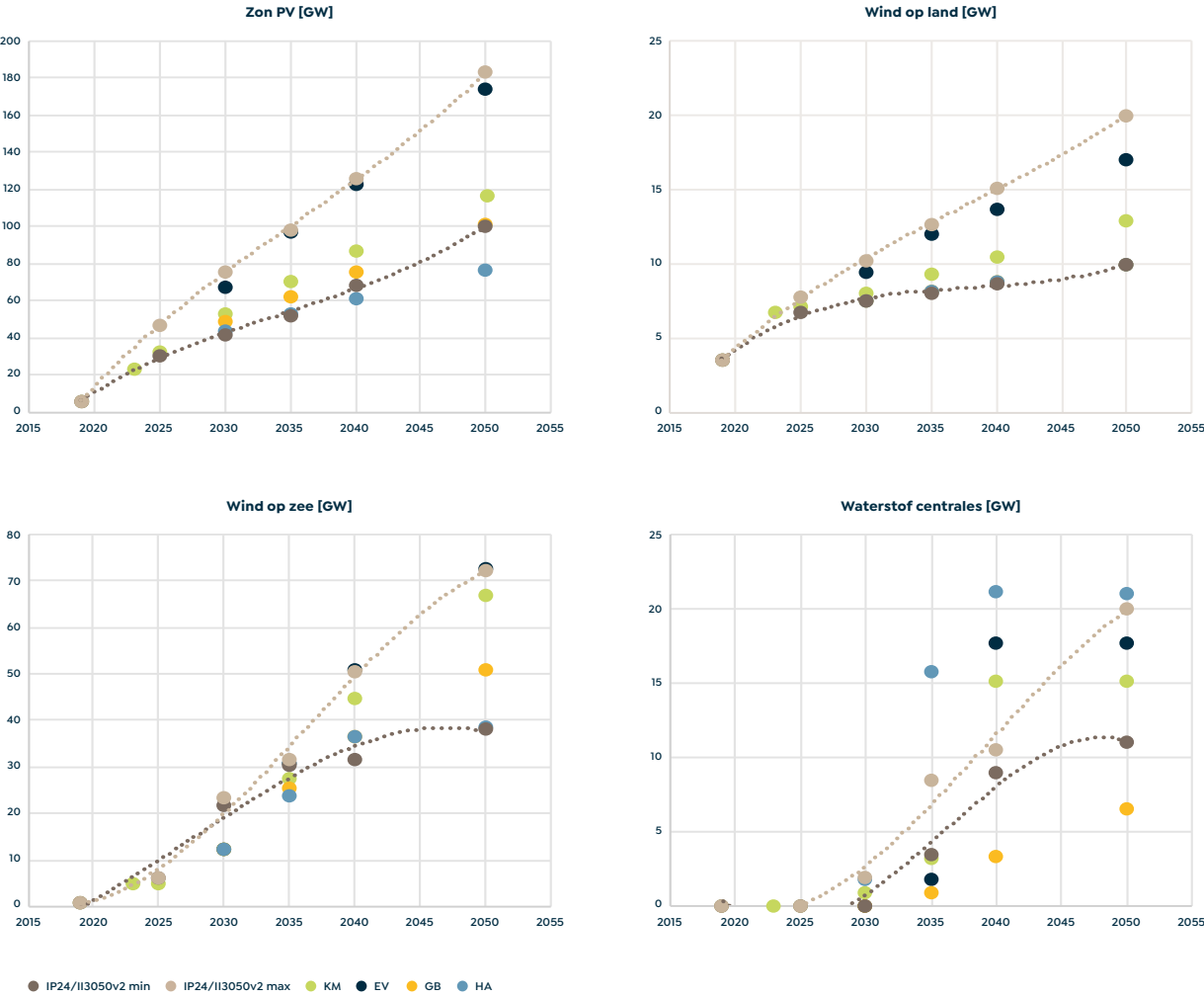
¹⁹³ primos.abfresearch.nl/jive?workspace_guid=9903a026-d26f-4eb1-b138-8625d3e40b26

¹⁹⁴ Omvat zowel woningen als zakelijke kleinverbruikers. Voor beiden zijn dakoppervlak van woningen als verdeelsleutel gebruikt omdat de verdeling van daken van niet-woningen in dezelfde dataset sterk lijkt op die van woningen.

¹⁹⁵ www.atlasleefomgeving.nl/platte-daken-in-nederland-bag

¹⁹⁶ Betreft Verkeersterein, Semi-bebouwd terrein en Agrarisch terrein volgens opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/70262ned/table?dl=ABAF

Figuur 4.6.17 Illustratieve vergelijking van de nieuwe Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025scenario's met de IP2024 en II3050v2-scenario's.



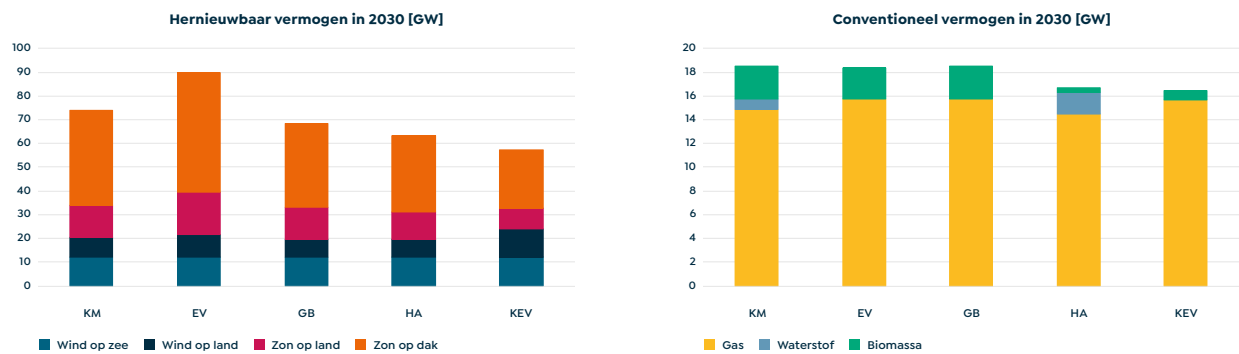
Tabel 4.6.6 Overzicht belangrijkste verschillen ten opzichte van de KEV 2024 (2030).

Wind-op-land	De KEV gaat uit van 7 gigawatt in 2023 naar bijna 8 gigawatt in 2030. Die waarde ligt tussen de scenario's Gezamenlijke Balans/ Horizon Aanvoer en het scenario Koersvaste Middenweg, relatief laag dus. Na 2030 wijkt de KEV enorm af van de scenario's omdat het geen rekening houdt met stimuleringsmaatregelen die er nu nog niet zijn. Citaat uit KEV: "De productie van windenergie op land neemt af na 2030. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat zon-PV en windenergie op land vanaf 2026 niet langer worden gesteund door de SDE++-regeling in de huidige vorm (EZK 2024c). (...) Het ministerie van Economische Zaken en klimaat (EZK) onderzoekt een nieuw stimuleringsinstrumentarium voor zon-PV en wind-op-land (EZK 2024d). Zij verwacht dat een nieuw stimuleringsinstrumentarium waarschijnlijk pas in 2027 kan worden toegepast. Dit nieuwe stimuleringsinstrumentarium is niet meegenomen in de KEV-raming."
Zon	De basislijn van de KEV 2024, met vastgesteld en voorgenomen beleid, is door Quintel¹⁹⁷ in het ETM gezet. Die vertaling is vergeleken met de IP2026- scenario's. Naast de basislijn hanteert de KEV een bandbreedte. Inschatting en duiding van de verschillen: - De KEV gaat voor 2030 uit van een lagere groei van zon-PV dan de IP-scenario's. Het scenario Gezamenlijke Balans komt het dichtste bij de KEV-lijn, maar ligt met name voor huishoudens en zonneweides nog aanzienlijk hoger. - Huishoudens: de KEV veronderstelt een sterkere impact van de afschaffing van de salderingsregeling/terugleverkosten dan Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. De bandbreedte van de KEV is echter ruim, waarbij de basislijn van de KEV aan de onderkant van hun bandbreedte ligt en daarmee wat conservatief lijkt. De inschatting is dat ook de lage scenario's Horizon Aanvoer en Gezamenlijke Balans net boven de bandbreedte van de KEV liggen. Overigens liggen naar verwachting de scenario's Horizon Aanvoer en Gezamenlijke Balans wel binnen de bandbreedte van de KEV-cijfers voor het vastgestelde beleid, waarin verondersteld is dat er bij de afschaffing van de salderingsregeling geen terugleverkosten meer gerekend mogen worden door energieleveranciers, waardoor de terugverdientijd voor zon-PV naar 12 jaar gaat. Dergelijke terugverdientijden kunnen ook bereikt worden door vergroten van het eigengebruik¹⁹⁸. - Zonneweides en zon op grote daken: de KEV gaat uit van een lagere groei onder de bandbreedte van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Zoals bij 'wind-op-land' is genoemd, is de opvolger van de SDE++ regeling nog niet opgenomen in de KEV-raming. Daarnaast wordt in de KEV ook rekening gehouden met de beperkingen op de groei als gevolg van netcongestie. De KEV heeft een signaalfunctie voor beleidsmakers t.a.v. de doelstellingen voor energie- en klimaatbeleid en gaat alleen uit van bestaand beleid. De constatering in de KEV is dat Klimaatdoelen niet gehaald worden en als gevolg hiervan wordt verwacht de regering in het voorjaar van 2025 aanvullende maatregelen neemt. Dit geldt in algemene zin en niet per se voor zon-PV. Daarnaast neemt de KEV beperking als gevolg van netcongestie wel mee in zijn prognose. De KEV geeft daarmee naar verwachting een onderschatting van de vermogensgroei.
Wind-op-zee	KEV gaat van ruwweg uit van dezelfde capaciteiten in 2030, in lijn met de aanvullende routekaart wind-op-zee.
Gascentrales	KEV gaat uit van een vergelijkbaar opgesteld vermogen voor gascentrales. KEV gaat nog niet uit van centrales op waterstof in 2030.
Kolencentrales	Sluiting net als in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025, maar geen conversie naar biomassa aangenomen.
Kernenergie	Nieuwbouw van centrales is nog niet aan de orde in 2030.
Biomassa	KEV gaat ook uit van lagere elektriciteitsproductie uit biomassacentrales.

¹⁹⁷ ETM Library | Achtergrondrapportage ETM-vertaling KEV 2024

¹⁹⁸ Studie CE Delft, september 2024: Feitenbasis aanpassing salderingsregeling zonne-energie - CE Delft

Figuur 4.6.18 Illustratieve vergelijking van de nieuwe IP2026 scenario's met de KEV2024 voor het jaar 2030.



Tabel 4.6.7 Overzicht belangrijkste verschillen ten opzichte van het NPE (2050).

Wind-op-land	De NPE-getallen voor wind-op-land zijn overgenomen in het hoogste scenario, Eigen Vermogen.
Zon	Het NPE gaat uit van de hoogste II3050v2-waarden en telt voor zon in totaal op tot 172 GW in 2050 en 59,3 GW in 2030 ¹⁹⁹ . De 2050-waarde ligt binnen de bandbreedte en is in lijn met het scenario Eigen Vermogen (~174 GW). Ook de 2030-waarde ligt in de bandbreedte van de scenario's tussen Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen (~53-68 GW).
Wind-op-zee	De ambities uit het NPE zijn overgenomen in het scenario Eigen Vermogen.
Gascentrales	Het NPE gaat ervan uit dat er in 2050 geen koolstofdragers meer voor elektriciteitsproductie gebruikt worden. Afgezien van enkele kleine eenheden bij industrie en tuinders is dit ook het uitgangspunten in drie van de vier Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Uitzondering is het scenario Gezamenlijke Balans, waarin groen gas en aardgas een rol blijven spelen in de elektriciteitsproductie op de langere termijn.
Kolencentrales	In het NPE neemt het gebruik van koolstof als bron voor elektriciteit af, net als in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.
Kernenergie	In het NPE wordt vanaf 2035 al gesproken over nieuwe kerncentrales.
Biomassa	In het NPE neemt het gebruik van koolstof als bron voor elektriciteit sneller af, in vergelijking met de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

4.7 Flexibiliteit

4.7.1 Inleiding

Het energieaanbod in het toekomstig energiesysteem bestaat voor een belangrijk deel uit weersafhankelijke duurzame energieproductie uit wind en zon-PV. In welke vorm, op welke momenten en op welke locaties energie gevraagd wordt, verandert ook. Beide ontwikkelingen zorgen voor nieuwe uitdagingen om het energiesysteem op elk moment in balans te houden.

Om de betrouwbaarheid van de energievoorziening te garanderen, zijn daarom niet alleen transportnetwerken

nodig maar ook verschillende vormen van flexibel regelbaar vermogen - in het vervolg “flexibiliteit” genoemd. Dit zijn elementen in het energiesysteem die gestuurd kunnen reageren op een onbalans in vraag en aanbod van een energiedrager. Flexibiliteit kan hierbij grofweg geclassificeerd worden in conversie tussen verschillende energiedragers, energieopslag, gestuurd aanpassen van energieproductie en -vraag en uitwisselen van energie met andere landen. Tabel 4.7.1 toont een kwalitatief overzicht van flexibele technologieën die in de scenario's een rol spelen.

Tabel 4.7.1 Overzicht verschillende vormen van flexibiliteit in de scenario's.

Type	Technologie	Omschrijving
Conversie tussen energiedragers	Energiecentrales	Flexibele productie van elektriciteit en / of warmte in een conventionele energiecentrale.
	Power-to-heat	Flexibele productie van warmte in verschillende sectoren (bijv. door een elektrische boiler of (hybride) warmtepomp).
	Power-to-gas / electrolyse	Flexibele productie van waterstof middels electrolyse op land en op zee.
	Ammoniakkrakers	Flexibele kraakinstallatie bij een import ammoniak terminal.
	Autothermal reforming (ATR)	Flexibele omzetting van aardgas in waterstof (zonder afvang van CO ₂).
	Backup boilers & ketels	Elektrische boilers en (gas)ketels die warmte kunnen produceren als er geen andere flexibiliteit beschikbaar is.
Energieopslag	Batterijopslag (BESS)	Batterijopslag met toepassingen achter de meter (huishoudens, bedrijven, V2G), in combinatie met hernieuwbare productie (colocatie) of directe aansluiting op de stroomnetten (stand-alone).
	Intra-day energy storage (IDES)	Elektriciteitsopslag (bijv. redox flow batterij) die 12-24 uur energie kan opslaan.
	Multi-day energy storage (MDES)	Elektriciteitsopslag (bijv. perslucht opslag) die tot meerdere dagen energie kan opslaan.
	Waterstofopslag	Waterstofopslag in zoutcavernes of lege gasvelden waarmee energieopslag over maanden tot seizoenen mogelijk is.
	Methaanopslag	Methaanbergingen die meerdere maanden energie kunnen opslaan.
Aanbod & vraagrespons	Warmteopslag	Warmtebuffers die enkele weken energie kunnen opslaan.
	Curtailment (markt)	Tijdelijk afregelen van hernieuwbare energieproductie (o.b.v. energieprijzen).
	Demand side response (DSR)	Tijdelijk uitstellen / afregelen van de elektriciteitsvraag in de industrie, datacenters of andere sectoren.
Energieimport & export	Elektrische interconnectie	Uitwisselen van elektrische energie met het buitenland. Beschikbaarheid afhankelijk van marktomstandigheden / elektriciteitsprijzen.
	Import/export waterstof	Uitwisselen van waterstof met het buitenland. Beschikbaarheid afhankelijk van marktomstandigheden / waterstofprijzen.
	Import/export methaan	Uitwisselen van methaan met het buitenland. Beschikbaarheid afhankelijk van marktomstandigheden / methaanprijzen.

¹⁹⁹ NPE Verdiepingsdocument B, open.overheid.nl/documenten/577fd772-e4eb-4e51-8bb6-e2598ad63a50/file

Binnen de vier scenariooverhaallijnen is elk een inschatting gemaakt voor de mogelijke samenstelling van het toekomstige portfolio aan flexibiliteit voor de energiedragers elektriciteit, waterstof, methaan en warmte. Hiervoor is in eerste instantie gebruikt gemaakt van bestaande klantenassets, bekende projecten, beleidsdocumenten, onderzoek naar markt- en technologietrends en deels inschattingen vanuit interne en externe stakeholders. In een tweede stap is per scenario een analyse van de energiebalans uitgevoerd en waar nodig aanvullende flexibiliteit toegevoegd om vraag en aanbod van energie, zoals gedefinieerd voor de verschillende sectoren, zo goed mogelijk in balans te brengen en hiermee uiteindelijk een sluitend energiesysteem te schetsen. Meer uitleg hierover staat aan de het eind van dit hoofdstuk (paragraaf 3.3).

De gemaakte keuzes voor flexibiliteit voor de verschillende energiedragers staan niet volledig los van elkaar, maar zijn deels communicerende vaten. De inzet van conversietechnologieën heeft altijd invloed op de balans in vraag en aanbod bij beide energiedragers. Zo kan power-to-gas bijvoorbeeld toekomstig flexibiliteit aan het elektriciteitssysteem leveren, door te reageren op schommelingen in weerafhankelijke productie van elektriciteit uit wind en zon-PV. Daaruit volgt wel dat variabele productie van waterstof weer in balans moet worden gebracht met de waterstofvraag, bijvoorbeeld met waterstof uit opslag. Of een gascentrale die gas nodig heeft op momenten dat er een tekort aan elektrische opwek ontstaat, en vervolgens om een vorm van flexibele gaslevering vraagt. Meer flexibiliteit leidt daarom naar verwachting ook tot meer afhankelijkheden tussen verschillende energiedragers in het toekomstige energiesysteem. De volgende paragrafen schetsen eerst hoe de behoefte aan flexibiliteit in de toekomst verandert, en geven vervolgens per type flexibiliteit een toelichting op de kwantitatieve uitwerking, de achterliggende bronnen, aannames en overwegingen.

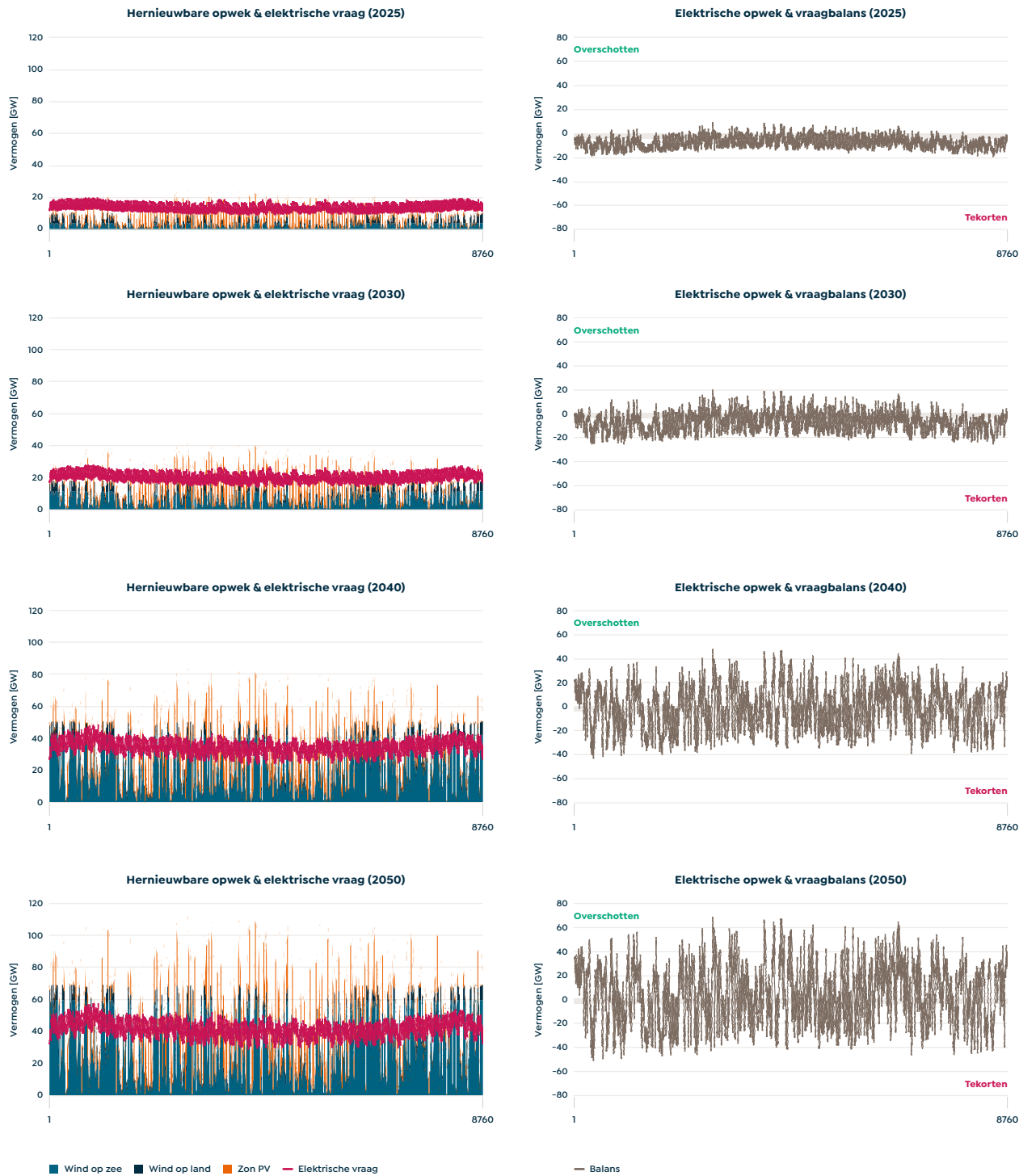
Omdat het grotendeels om nieuwe, medio 2025 niet op grote schaal beschikbare vormen van flexibiliteit gaat, blijft de onzekerheid over de ontwikkeling hiervan groot. Ook is er geen garantie dat huidig bestaande flexibiliteit er toekomstig nog is. De netbeheerders blijven daarom de ontwikkelingen van flexibiliteit nauw monitoren en nemen nieuwe inzichten op in toekomstige scenario-updates.

4.7.2 Behoeft e aan flexibiliteit

Alle scenario's gaan uit van een forse groei van hernieuwbare opwek en toename van de vraag naar elektriciteit. De elektriciteitsproductie uit wind en zon-PV is hierbij weersafhankelijk: windturbines produceren alleen als het waait en zonnepanelen leveren alleen stroom als de zon voldoende schijnt. En wanneer dat zo is, doen ze dat (nagenoeg) allemaal tegelijk. Dit veroorzaakt soms hoge opwekpieken, terwijl er op andere momenten nagenoeg geen energie opgewekt wordt. Aan de andere kant zullen steeds meer toepassingen om elektriciteit vragen, met elk eigen consumptiepatronen: elektrificatie van industriële processen, elektrische voertuigen die op bepaalde momenten laden en warmtepompen die elektriciteit vragen bij lage temperaturen. Deze ontwikkelingen in vraag en aanbod vertalen zich naar een gecombineerd patroon in productie- en vraag dat in toenemende mate sterk wisselt. Vraag en aanbod sluiten steeds minder makkelijk op elkaar aan, waardoor er overschotten en tekorten ontstaan in het systeem.

De volgende figuren tonen deze ontwikkeling exemplarisch voor scenario Koersvaste Middenweg (KM) en de jaren 2025, 2030, 2040 en 2050: links de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare opwek en gelijktijdige totale elektriciteitsvraag per uur in rood, rechts het verschil tussen beide, de onbalans. Wanneer het onbalansprofiel 0 is, zijn vraag en aanbod in evenwicht. Op alle andere momenten is er ofwel een overschot ofwel een tekort. De getoonde profielen zijn hierbij uit het Energy Transition Model (ETM) overgenomen. Ze geven de weersomstandigheden weer van het historische klimaatjaar 2012²⁰⁰ voor weersafhankelijke productie en vraag.

Figuur 4.7.1 Ontwikkeling hernieuwbare productie, elektrische vraag en resulterende onbalans (per uur).



Zowel de productie uit wind en zon-PV, als de elektriciteitsvraag nemen significant toe richting 2050, met als resultaat toenemende overschotten en tekorten die elkaar in korte periodes afwisselen. Deze trend komt op vergelijkbare manier in alle scenario's voor, maar de mate verschilt tussen de scenario's. Tabel 4.7.2 geeft op basis van een aantal kentallen indicatief de flexibiliteitsbehoefte in elektriciteit per scenario weer.

²⁰⁰ Gekozen weerjaar t.b.v. de scenario ontwikkeling. In de doorrekeningen van de netbeheerders o.b.v. de scenario's kan een ander weerjaar gekozen worden.

Tabel 4.7.2 Indicatieve kentallen flexibiliteitsbehoefte in elektriciteit per scenario.

Scenario	KM	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
Jaar	2025	2030				2035				2040				2050			
Max. overschotten-vermogen [GW]																	
	9,5	19,8	25,1	17,7	16,5	34,1	46,0	29,1	25,5	47,7	63,4	36,7	34,8	68,6	80,7	54,5	39,6
Max. tekorten-vermogen [GW]																	
	18,7	25,4	27,7	24,7	24,3	33,5	38,0	31,0	30,2	42,9	49,4	38,7	37,2	51,2	56,7	46,0	42,5
Overschotten volume [TWh]																	
	1,4	6,9	11,3	5,7	4,7	27,3	41,1	22,7	17,8	57,6	76,7	37,6	40,3	103,8	124,1	71,3	40,6
Tekorten volume [TWh]																	
	64,1	71,5	77,5	68,7	68,6	65,2	70,5	62,0	63,4	71,8	80,7	71,0	66,0	76,2	83,2	74,6	76,3

Niet alleen de opwek- en vraagbalans in het elektriciteitssysteem zal in de toekomst veranderen, dit is ook voor andere energiedragers in het energiesysteem het geval. Vraag en aanbod van waterstof, methaan en warmte fluctueren evengoed en door de verschillende conversiemogelijkheden kan de onbalans van de ene drager de onbalans van de andere drager beïnvloeden. In de scenario's verschilt de behoefte aan

flexibiliteit dus, afhankelijk van de keuzes voor opwek en vraag.

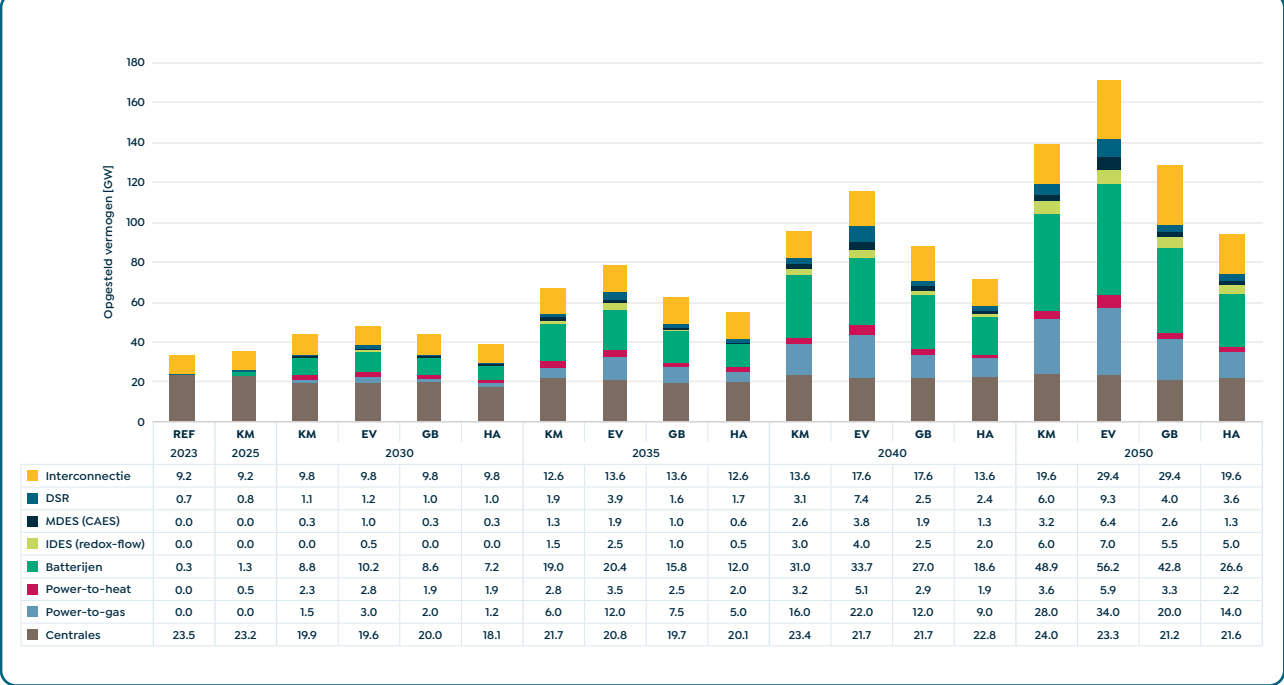
Deze flexibiliteitsbehoefte, die volgt uit de aannames in de scenario's over opwek en vraag in de verschillende sectoren, kan op verschillende manieren ingevuld worden. De volgende paragrafen geven de keuzes en achterliggende overwegingen in de scenario's weer voor de energiedragers elektriciteit, waterstof, methaan en warmte.

4.7.3 Flexibiliteit ten behoeve van elektriciteit

Overzicht kwantificatie

Figuur 4.7.2 toont de opgestelde vermogens aan flexibel regelbaar vermogen voor opwek- en vraagbalans in elektriciteit, zoals uitgewerkt voor de verschillende scenario's.

Figuur 4.7. 2 Opgestelde vermogens (GW) voor verschillende types flexibel regelbaar vermogen elektriciteit.



Alle vormen van flexibiliteit groeien significant tussen 2025 en 2050, met in de eerdere jaren een geringere en - gedreven door toenemende onzekerheid - latere jaren grotere bandbreedte tussen de scenario's. Een sterke groei van weersafhankelijke hernieuwbare opwek en een hoge mate van elektrificatie in alle vraagsectoren, vertaalt zich in scenario Eigen Vermogen voor alle steekjaren naar de hoogste opgestelde flexibel regelbaar vermogen. In de andere scenario's is dat nog steeds significant, maar in verhouding lager.

Binnen deze groei in flexibel regelbaar vermogen spelen verschillende vormen van batterijopslag voor de korte termijn een zeer grote rol, met een bandbreedte van rond 7-10 GW in 2030 tot 27-56 GW in 2050. Daarnaast faciliteren nieuwe opslagsystemen voor elektriciteit in de vorm van Intraday energy storage (IDES) en Multiday energy storage (MDES) de balancering, voor korte- tot middellange periodes, met een totaal vermogen van 0,3-1,5 GW in 2030 tot rond 6-13 GW in 2050. Voor het overbruggen van langere periodes met tekorten blijven conventionele centrales een

belangrijke rol vervullen, met 18-20 GW in 2030 en 21-24 GW in 2050. Hierbij wordt toenemend gebruik gemaakt van klimaatneutrale energiedragers zoals kernenergie, biomassa, waterstof en groen methaan. Electrolyzers produceren bij overschotten van elektriciteit groene waterstof. Op land gaat dat om power-to-gas met vermogens rond 1-3 GW in 2030 en 10-13 GW in 2050. En op zee van 0 GW in 2030 naar 3-21 GW in 2050. Deze groene waterstof wordt ingezet in waterstofcentrales en sectoren die waterstof als grondstof of voor energetische toepassingen gebruiken. Power-to-heatinstallaties met vermogens rond 2-3 GW in 2030 en 2-6 GW in 2050, dragen verder bij aan de verduurzaming van de warmteproductie. In alle scenario's kan een deel van de elektriciteitsvraag flexibel meebewegen met de beschikbare niet-flexibele opwek, met rond 1 GW in 2030 en een bandbreedte van 4-9 GW in 2050. Naast binnenlandse flexibilitetsmiddelen blijft import en export van elektriciteit - met een maximaal uitwisselvermogen rond 10 GW in 2030, 20-29 GW in 2050 - essentieel voor de balans tussen vraag en aanbod in Nederland. Bovendien draagt de interconnectie bij aan een efficiënter Europees markt- en energiesysteem.

Elektriciteitscentrales

Elektriciteitscentrales die op verschillende fossiele energiedragers draaien zijn medio 2025 de voornaamste vorm van opwekflexibiliteit in het elektriciteitssysteem. In de toekomst gaat een deel van de centrales echter uit bedrijf of wordt omgebouwd worden voor gebruik met andere, duurzame energiedragers. De overheid zet daarnaast in op de bouw van nieuwe kerncentrales. Door de verwachte groei van vraag naar elektriciteit en schommelingen in de hernieuwbare elektriciteitsproductie, komt de nieuwbouw van backupcentrales, bijvoorbeeld in de vorm van snel startende gasturbines, na 2030 als optie in beeld. Omdat centrales als opwek van elektriciteit geclassificeerd worden, wordt de bijbehorende scenario-kwantificatie behandeld in hoofdstuk 4.6.

Batterijopslag (korte termijn, maximale opslagduur 8 uur²⁰¹)

Elektrochemische opslag in batterijen is al lange tijd gemeengoed in allerlei producten. Grootschalige opslag is echter een relatief nieuwe ontwikkeling voor de doelen energievoorziening, uitstel van levering of afname, energiehandel of het ondersteunen van andere (systeem) diensten. De markt voor het toepassen van dergelijke batterijsystemen heeft zich snel ontwikkeld. In 2021 werden slechts enkele tientallen MWh batterijcapaciteit bijgeplaatst, in 2023 waren dit al enkele honderden MWh en medio 2025 zitten er duizenden MWh in de pijplijn²⁰².

De recente, snelle ontwikkeling wordt vooral veroorzaakt door:

- Dalende batterijprijzen, de afgelopen 10 jaar met meer dan 80 procent.
- Snelle groei hernieuwbare opwek: de hoeveelheid duurzame stroom is afgelopen vijf jaar verdrievoudigd naar meer dan de helft van de totale stroomproductie.
- Meer volatiliteit energiemarkten: door sterke fluctuaties in energieprijzen en op de onbalansmarkt kunnen batterijen rendabel worden op de energiemarkten.
- Transportschaarste en netcongestie: transportschaarste is een prikkel om naar oplossingen te zoeken waarmee toch voorzien kan worden in de energiebehoefte, bijvoorbeeld met opslag in batterijen van zelfopgewekte elektriciteit. Netcongestie kan een extra verdienmodel zijn voor batterijen, met inkomsten uit congestiemanagement.

Met peak-shaving wordt uitbreiden van bedrijfsactiviteiten toch mogelijk, ondanks congestie.

Er zijn vele soorten technieken en materialen die gebruikt kunnen worden voor batterijen, elk met verschillende karakteristieken. In de scenario's wordt geen direct onderscheid gemaakt tussen deze technieken en materialen, maar wel in de toepassingen en locaties van batterijen. De scenario's onderscheiden de categorieën:

- **Grootschalig stand-alone:** batterijen die als apart project zijn ontwikkeld, meteen eigen aansluiting op het elektriciteitsnet. Ze worden primair gebruikt voor energiehandel of het leveren van andere systeemdiensten, zoals reservevermogen.
- **Colocatie bij zon of wind:** batterijen met dezelfde aansluiting als een zonne- of windpark. Deze batterijen worden primair ingezet om teruglevering van stroom uit opwek van zon en wind te optimaliseren.
- **Achter de meter bij bedrijven of huishoudens:** batterijen met dezelfde aansluiting als een zakelijke aansluiting of een huishouden. Deze batterijen worden primair ingezet om het eigen energieprofiel te optimaliseren, hogere aansluitwaardes te voorkomen of met energiehandel de energiekosten te drukken.
- **Vehicle-to-grid (V2G):** het gebruik van de batterij van een elektrisch voertuig voor opslaan en terugleveren. De capaciteit kan alleen gebruikt worden als het voertuig aan een laadpaal staat, en het is noodzakelijk dat het voertuig voldoende is volgeladen bij vertrek.

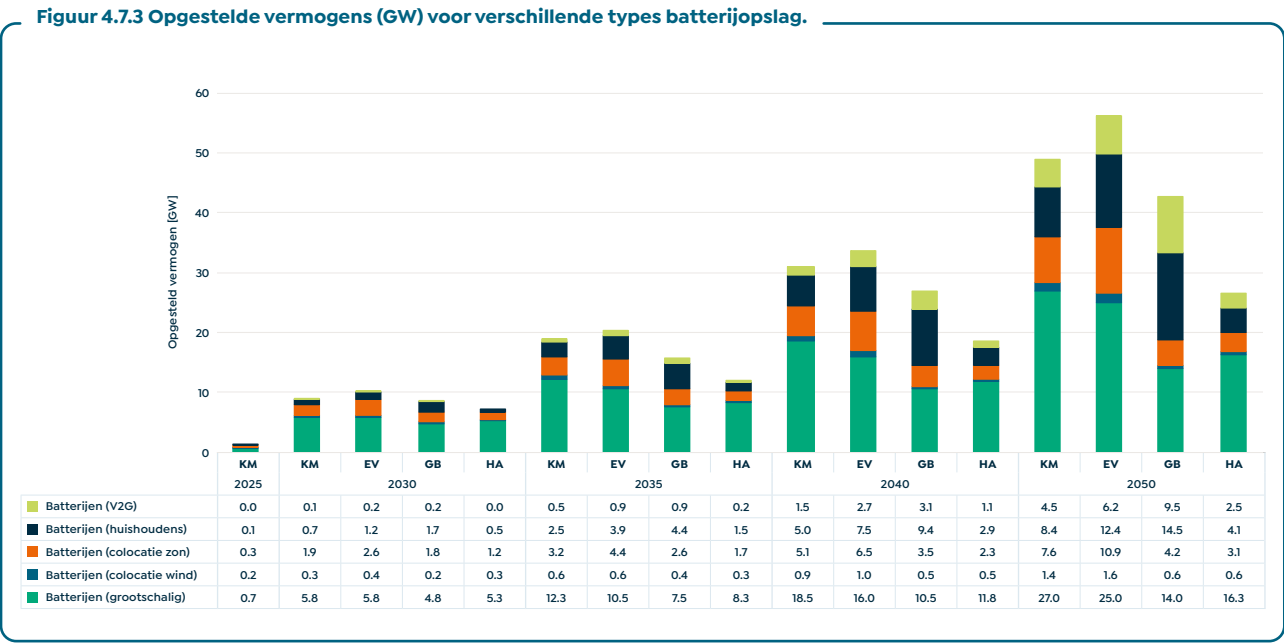
Om een inschatting te maken van de ontwikkeling van batterijen in het energiesysteem, is een literatuurstudie gedaan. Daarbij zijn in totaal 47 informatiebronnen beoordeeld. Naast de documenten die de netbeheerders zelf maken, zoals de Monitor Leveringszekerheid²⁰³, zijn er andere partijen die over de toekomstige ontwikkelingen van batterijen hebben geschreven, zoals NREL, Bloomberg maar ook EASE. De uitkomst van dit literatuuronderzoek bracht te weinig concrete en bruikbare informatie, met prognoses voornamelijk tot 2030, wisselende definities van soorten opslag of het ontbreken van alternatieve soorten opslag in de analyse. Tijdens gesprekken met stakeholders en de stakeholdersessies werd bevestigd dat het heel lastig is om de groei van het aantal batterijen voor de komende decennia te prognosticeren.

Daarom is er gekozen voor een einddoelgerichte ontwikkeling op basis van de publicatie “Monetizing Energy Storage”²⁰⁴, waarin via het verdienvermogen van batterijen gekeken wordt naar de economische potentie. Op basis van deze bron is gekozen voor een totale batterijcapaciteit van 0,05 % van het jaarlijkse elektriciteitsgebruik in elk scenario. Dit levert in 2050 een totale batterijcapaciteit op over alle locaties, rond 26 GW in scenario Horizon Aanvoer, en 56 GW in scenario Eigen Vermogen. De verdeling naar categorieën is gebaseerd op de verschillende verhaallijnen:

- Koersvaste Middenweg: dit volgt de huidige aanpak en situatie, waarbij standalone en colocatie grote spelers zijn. Vooral op de TenneT-wachtlijst staan op dit moment veel batterijen, en de overheid zet ook in op veel colocatie. Achter-de-meter batterijopslag speelt ook een relevante rol, maar daar wordt nog niet groots op ingezet.
- Eigen Vermogen: dit scenario lijkt op Koersvaste Middenweg, maar in plaats van veel inzetten op grootschalig, is het scenario ook gefocust op ‘zelf oplossen’. Daardoor is er relatief minder vermogen standalone, maar meer vermogen colocatie en achter de meter, zowel bedrijven, thuisbatterijen als V2G.

- **Gezamenlijke Balans:** dit scenario geeft veel aandacht aan een pragmatische aanpak, waarbij ook ruimtegebruik een belangrijke rol speelt. Daarom wordt voornamelijk ingezet op oplossingen achter de meter, en minder in de openbare ruimte. Minder standalone en colocatie, en veel meer achter de meter.
- **Horizon Aanvoer:** dit scenario zet juist fors in op opschaling, samenwerking en grote projecten. Vanwege schaalvoordelen is de aanpak vooral gericht op standalone batterijen, en juist weinig op individuele oplossingen.

De verdeling van de totale vermogens is gebaseerd op projecten, wachtlijsten en markttrends. Hierbij belooft standalone op het TenneT-net vanwege schaalvoordelen ongeveer het dubbele vermogen van standalone op de netten van regionale netbeheerders. Colocatie zon en wind bedraagt tussen een kwart en een achtste van het totale vermogen. Thuisbatterijen en vehicle-to-grid zijn relatief complementair: een huishouden met thuisbatterij is minder geneigd om vehicle-to-grid toe te passen en andersom. Figuur 4.7.3 geeft de bandbreedte van de vermogens in de scenario's weer. Tabel 4.7.3 bevat de opslagduren in uren.



²⁰¹ Maximale waarde in 2050, in eerdere jaren lager (zie tabel aan het eind van deze paragraaf).

²⁰² Nationaal Smart Storage Trendrapport | Dutch New Energy

²⁰³ Monitor Leveringszekerheid 2024

²⁰⁴ Pagina 241 van Monetizing Energy Storage, a toolkit to assess future cost and value, Oliver Schmidt & Iain Staffell, Oxford University Press, 2023.

Tabel 4.7.3 Aangenomen opslagduur (uur) voor verschillende types batterijen.

Scenario	KM	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
Jaar	2025	2030				2035				2040				2050			
Batterijen (grootschalig)																	
	2	3	3	3	3	4	4	4	4	6	6	6	6	8	8	8	8
Batterijen (colocatie wind)																	
	2	3	3	3	3	4	4	4	4	6	6	6	6	8	8	8	8
Batterijen (colocatie zon)																	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
Batterijen (huishoudens)																	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
Batterijen (V2G)																	
	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8

Omdat het om een relatief nieuwe vorm van flexibiliteit gaat, kennen de toekomstige locaties van batterijopslag medio 2025 een grote onzekerheid, ondanks een grote hoeveelheid aan aansluitaanvragen bij de netbeheerders. Hierin spelen aspecten als ruimtelijke inpassing, verkrijgen van vergunningen en een netaansluiting een belangrijke rol. De verhouding tussen batterijen met aansluiting bij TenneT en bij de regionale netbeheerders, verschilt per scenario en volgt uit deze verhaallijnen. De detailuitwerking van de toekomstige locaties, de regionalisatie, volgt in een aparte stap.

Overige elektrische opslag voor de middellange termijn

Met de groei van hernieuwbare energiebronnen zoals wind- en zonne-energie neemt de behoefte aan efficiënte energieopslag toe. Naast batterijopslag voor de korte termijn bieden nieuwe technologieën zoals redox-flow batterijen en persluchttopslag mogelijkheden voor elektriciteitsopslag op de schaal van een dag (IDES, Intraday energy storage) tot meerdere dagen (MDES, Multiday energy storage)²⁰⁵. In de scenario's staan deze twee types representatief voor technologieën met vergelijkbare eigenschappen en toepassingen.

IDES / Redox-flow batterijen, oplopend tot maximaal 18 uur opslag

Redox-flow batterijen, als proxytechnologie voor vergelijkbare systemen, zijn een veelbelovende technologie voor grootschalige energieopslag. In tegenstelling tot conventionele elektrochemische batterijen, zoals Li-Ion, slaan deze types energie op in vloeibare elektrolyten die in aparte tanks worden bewaard. Hierdoor hebben ze belangrijke voordelen, zoals een lange levensduur, hoge veiligheid en relatief goede schaalbaarheid in opslagvolume door het gebruiken van grotere tanks. Hoewel de kosten van deze technologie relatief hoog zijn, wordt verwacht dat deze in de toekomst significant zullen dalen, waardoor redox-flow batterijen op de langere termijn een relevante technologie voor intraday energy storage (IDES) kunnen worden. In de scenario's zijn rond 2030 eerste pilotprojecten in beperkte omvang operationeel, met 0,5 GW in scenario Eigen Vermogen, die richting 2050 verder opschalen tot hogere vermogens en langere opslagduren. Figuur 4.7.4 geeft de bandbreedte van de vermogens in de scenario's weer. Tabel 4.7.4 bevat de opslagduren in uren.

Omdat het om grotere opslagsystemen met vermogens groter dan 100 MW gaat, wordt IDES uitsluitend op het TenneT-netwerk aangesloten.

MDES / Persluchttopslag, opslag oplopend tot maximaal 100 uur

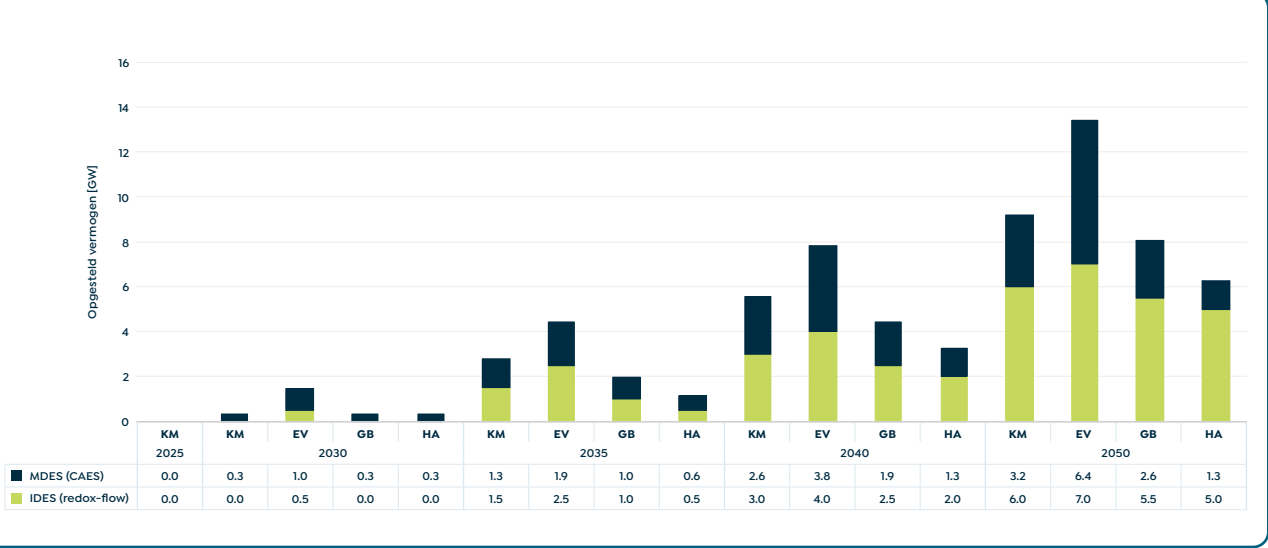
Compressed Air Energy Storage (CAES), oftewel persluchttopslag, is een mechanische manier om energie op te slaan. Dit systeem werkt door elektriciteit te gebruiken om lucht samen te persen en op te slaan in ondergrondse reservoirs, zoals zoutkoepels of verlaten mijnen. Wanneer energie nodig is, wordt de samengeperste lucht vrijgelaten, verwarmd en gebruikt om turbines aan te drijven die elektriciteit genereren. Belangrijke voordelen van CAES zijn een hoge opslagcapaciteit (tot meerdere dagen) en relatief lage operationele kosten in vergelijking met batterijopslag. Nadelen zijn de nog relatief hoge energieverliezen bij de compressie en vereiste van geschikte geologische locaties.

Volgens TNO-onderzoeken beschikt Nederland over een potentieel aan geschikte ondergrondse bergingen - met name zoutcavernes - voor persluchttopslag van 0,58 TWh²⁰⁶, wat volgens huidige technologische standaarden ongeveer

gelijk is aan het opslagvolume van rond 3.000 grootschalige Li-Ion batterijen²⁰⁷. Vanaf rond 2027 plant de ontwikkelaar CORRE Energy bij Zuidwending een eerste grootschalige CAES-systeem met een opgesteld vermogen 320 MW en opslagduur van rond 3,5 dagen/84 uur in bedrijf te nemen²⁰⁸. In de scenario's wordt, door de groeiende behoefte aan elektrische opslagsystemen, het geologisch potentieel in Nederland en verdere kostendalingen, vanaf 2030 stapsgewijs een verdere opschaling van soortgelijke CAES systemen mogelijk. De maximale opslagduur wordt geleidelijk verder verhoogd door technische verbeteringen. Er blijven echter ook onzekerheden bestaan. Dat illustreert de ruime bandbreedte in de scenario's met scenario Horizon Aanvoer als ondergrens en scenario Eigen Vermogen als bovengrens. Figuur 4.7.4 geeft de bandbreedte van de vermogens in de scenario's weer. Tabel 4.7.4 bevat de opslagduren in uren.

Net als voor IDES worden MDES-opslagsystemen direct op het TenneT-netwerk aangesloten.

Figuur 4.7.4 Opgestelde vermogens (GW) voor IDES (redox-flow) en MDES (CAES).



Tabel 4.7.4 Opslagduur (uur) voor IDES (redox-flow) en MDES (CAES).

Scenario	KM	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
Jaar	2025	2030				2035				2040				2050			
IDES (Redox-flow)																	
			12			14	14	14	14	16	16	16	16	18	18	18	18
MDES (CAES)																	
		84	84	84	84	90	90	90	90	96	96	96	96	100	100	100	100

²⁰⁶ Bijvoorbeeld TNO-2020-R12006.pdf

²⁰⁷ Aanne name huidige standaard van grote Li-Ion batterij met 100 MW en 2 uur opslagduur

²⁰⁸ Corre Energy Storage NL – The Future of Sustainable Energy

Power-to-gas

Power-to-gas, het omzetten van elektriciteit in waterstof via elektrolyse, kan een belangrijke rol spelen in het energiesysteem van de toekomst. De scenario's onderscheiden drie vormen van power-to-gas²⁰⁹:

- 1. Power-to-gas op land. Elektrolyzers zijn aangesloten op het elektriciteitsnet op land en reageren flexibel op de elektriciteitsprijs. Bij lage prijzen worden overschotten elektriciteit omgezet in waterstof, op momenten van krapte schakelen de elektrolyzers af.
- 2. Power-to-gas op zee. Deze elektrolyzers staan bij een windpark op zee, dat zowel een beperkte elektrische aansluiting naar land heeft als een waterstofaansluiting. Net als flexibele elektrolyse op land reageren flexibele elektrolyzers op zee op de elektriciteitsprijs. Daarnaast draaien deze elektrolyzers op momenten dat de elektriciteitsaansluiting voor 100 procent wordt benut, om te voorkomen dat overschotten stroom verloren gaan.
- 3. Dedicated power-to-gas op zee. Deze elektrolyzers zijn direct verbonden aan een windpark op zee, dat geen elektrische aansluiting heeft. Alle windstroom wordt direct omgezet in waterstof. Dit gebeurt meestal op locaties verder weg op de Noordzee, waar de elektriciteit lastiger te vervoeren is, en ook verder in de toekomst, wanneer er voldoende elektriciteit wordt geproduceerd.

De eerste twee vormen zijn flexibiliteitsmiddelen voor het elektriciteitssysteem, omdat ze flexibel op- en afschakelen, afhankelijk van de elektriciteitsprijs. Bij dedicated elektrolyse gaat het om niet-flexibele productie van waterstof, die vast gekoppeld is aan de windproductie op zee. Hierop wordt in hoofdstuk 4.6 (aanbod elektriciteit) nader ingegaan.

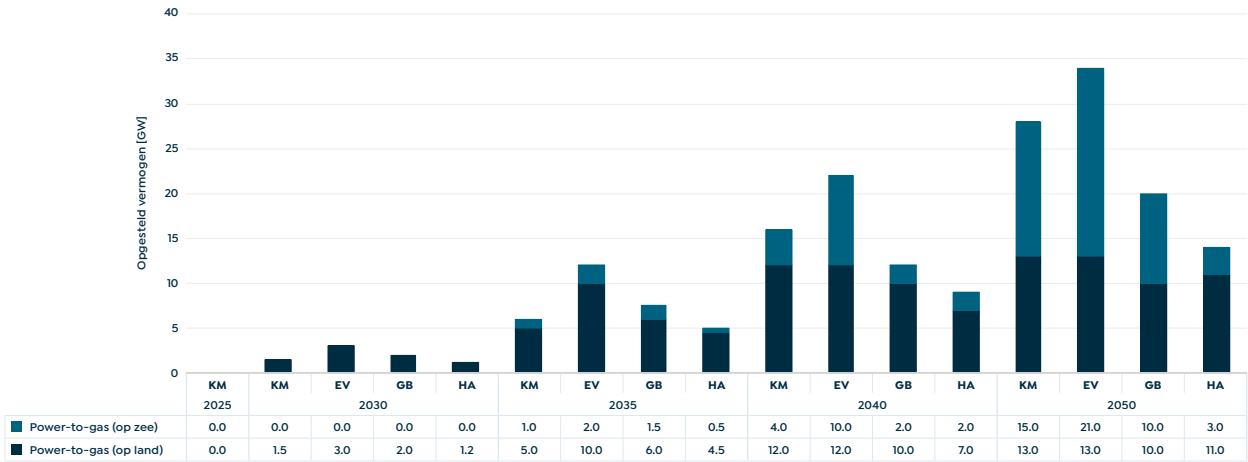
Medio 2025 heeft Nederland enkele megawatt elektrolyse- vermogen. Dat kan in de komende jaren toenemen, zowel op land als op zee. Zo bouwt Shell in de Rotterdamse haven de Holland Hydrogen 1, met een vermogen van 200 MW²¹⁰.

Ook starten de komende jaren enkele demonstratie- projecten voor elektrolyse op zee²¹¹. De overheid heeft als ambitie om in 2030 3 tot 4 GW elektrolysevermogen te realiseren. De Klimaat- en Energieverkenning van PBL gaat uit van 1,2 tot 1,5 GW vermogen in 2030. De scenario's hanteren een bandbreedte voor 2030 van 1,2 tot 3 GW aan elektrolyse op land. Horizon Aanvoer heeft 1,2 GW, de onderkant van de bandbreedte KEV, vanwege de sterke focus op import van waterstof. Koersvaste Middenweg heeft 1,5 GW, de bovenkant van de bandbreedte KEV, Eigen Vermogen heeft 3 GW, in lijn met de ambitie van de overheid en Gezamenlijke Balans blijft met 2 GW tussen de scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen. Elektrolyse op zee komt pas later tot ontwikkeling.

Hoe de elektrolysecapaciteit op land en zee zich na 2030 gaat ontwikkelen, is nog onzeker. Voor een inschatting van de potentiële bandbreedte is daarom onder andere gebruik gemaakt van prognoses van HyNetwork Services, plannen in de Cluster Energie Strategieën 3.0, en uitkomsten van scenariostudies als TVKN van PBL, Adapt en Transform van TNO en Pathway 2.0 van het North Sea Wind Power Hub programma. In de scenario's groeit de flexibele elektrolysecapaciteit op land naar 5-10 GW in 2035, 7-12 GW in 2040 en 10-13 GW in 2050. Voor elektrolyse op zee is dat 0,5-2 GW in 2035, 2-10 GW in 2040 en 3-21 GW in 2050. De verhouding tussen electrolyse op land en zee verschilt hierbij per scenario, nauw gelinkt aan de uitrol van wind op zee (zie hoofdstuk 4.6).

Scenario Eigen Vermogen kent de grootste electrolyse- vermogens, omdat hierin de meeste elektriciteit uit zon en wind geproduceerd wordt. Scenario Horizon Aanvoer heeft laagste vermogens, vanwege de focus op waterstofimport. Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans zitten hier tussenin. Figuur 4.7.5 toont de opgestelde vermogens van flexibele elektrolyse op land en zee in de scenario's.

Figuur 4.7.5 Opgestelde vermogens (GW) van flexibele power-to-gas / elektrolyse op land en zee.



Voor de verdeling naar netbeheerder is voor 2030 gekeken naar bekende aansluitaanvragen bij de stroomnetbeheerders en projectinformatie van HyNetwork Services. Van de bekende projecten is ongeveer 90 procent grootschalig, deze worden direct bij TenneT aangesloten. De overige projecten worden aangesloten bij de regionale netbeheerders. Deze verhouding wordt in alle scenario's constant aangehouden.

²⁰⁹ Strikt genomen is er ook een vierde categorie: dedicated elektrolyzers op land. Dit gaat om elektrolyzers die achter de meter geïnstalleerd zijn en direct waterstof leveren aan industrie. Deze categorie is kleiner dan de andere, en niet zichtbaar in de scenario's omdat de productie achter de meter plaatsvindt.

²¹⁰ [Missie H2 | Holland Hydrogen 1, een bescheiden begin van een grote...](#)

²¹¹ [Waterstofproductie op zee | RVO.nl](#)

Power-to-heat

Power-to-Heat (PtH) is een technologie waarbij duurzame elektriciteit wordt omgezet in warmte. In Nederland speelt deze technologie een groeiende rol in de energietransitie, vooral als oplossing voor netcongestie en als middel om de warmtevraag te verduurzamen.

Met name in de industrie en de gebouwde omgeving – via warmtenetten – wordt PtH ingezet via elektrische boilers en warmtepompen. Door op piekmomenten wind- en zonnestroom om te zetten in warmte, kan PtH de afhankelijkheid van aardgas verminderen en het elektriciteitsnet helpen balanceren. Ondanks uitdagingen zoals regelgeving, kosten en infrastructuur, biedt Power-to-Heat veel potentie voor de verduurzaming van de warmtevraag. De theoretische potentie van PtH wordt door CE Delft en Merosch (2024) hoog ingeschat, 3 tot 9 GW aan warmtepompen en 8 tot 20 GW aan elektrische boilers²¹². Naast deze ruime bandbreedte is onzeker welk deel hiervan daadwerkelijk flexibel ingezet kan worden. De praktische potentie wordt daarom lager ingeschat in alle scenario's.

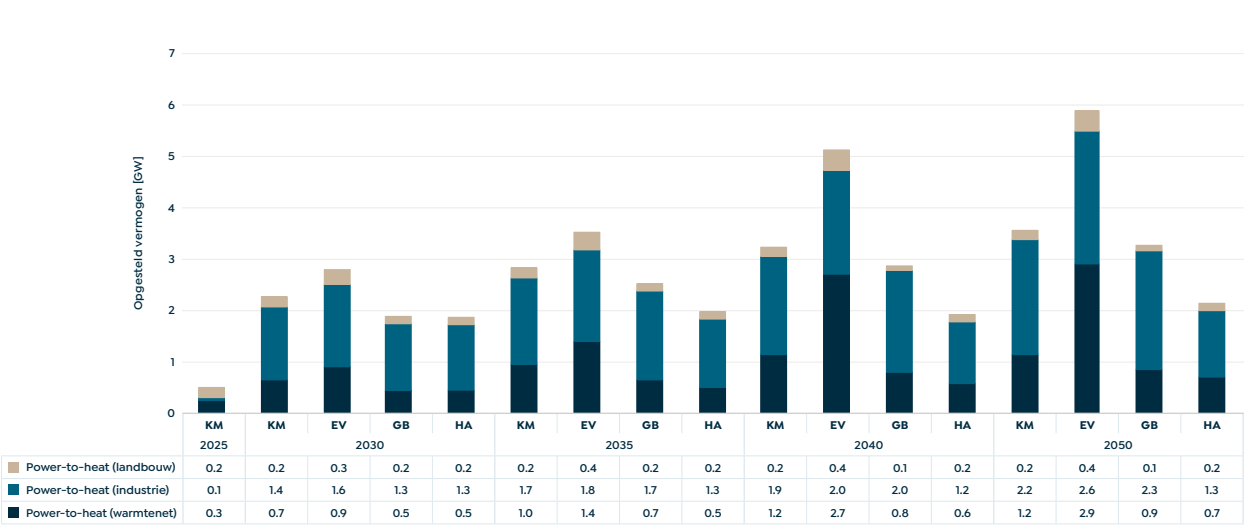
De mate van flexibele PtH varieert over de scenario's aan de hand van de hoeveelheid beschikbare duurzame elektriciteit, de mate van overige flexibiliteit en het aandeel van warmtenetten in de gebouwde omgeving. Het scenario Eigen Vermogen kenmerkt zich door een hoge mate van duurzame elektriciteit uit zon en wind en flexibiliteit in het energiesysteem. Met deze condities is de potentie voor PtH groot. Daarnaast kenmerkt het scenario Eigen Vermogen zich door het grootste aandeel woningen op warmtenetten. Dit versterkt de potentie van PtH-technieken die warmte produceren voor de gebouwde omgeving, aangesloten

op warmtenetten, in dit scenario verder. De inzet van PtH in de industrie vindt in dit scenario plaats bij sectoren met een gedeeltelijk lage procestemperatuur, zoals chemie, voedingsmiddelen en papier. De vermogens voor PtH in de industrie zijn in meerdere stakeholdersessies getoetst bij vertegenwoordigers vanuit de industrie.

Scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer kenmerken zich door minder duurzame elektriciteitsproductie, waarbij in het scenario Gezamenlijke Balans de inzet van flexibiliteitsmiddelen wordt ondersteund en geoptimaliseerd. Ook het aandeel woningen op warmtenetten is in deze scenario's lager, waarmee de potentie van PtH voor warmtenetten lager ligt. Hoofdstuk 4.10 – Warmtenetten gaat in meer detail in op de kwantificatie van PtH voor warmtenetten. De belangrijkste gebruikte bron is 'Power-to-Heat en warmteopslag in warmtenetten' van CE Delft (2023)²¹³. De inzet van PtH in de industrie vindt in deze scenario's vooral plaats bij de sectoren voedingsmiddelen en papier.

Ten slotte is nog een klein deel Power-to-Heat voor de landbouw. Dit betreft specifiek de inzet van e-boilers in de glastuinbouw. E-boilers zijn medio 2025 een rendabele technologie, met name omdat ze onbalans op het elektriciteitsnetwerk helpen oplossen. Daarnaast zijn de investeringskosten relatief laag, vooral in relatie tot warmtepompen. E-boilers zijn echter minder efficiënt dan warmtepompen in het omzetten van elektriciteit naar warmte. Hierdoor is het uitgangspunt dat PtH in de landbouw op korte termijn groeit in vermogen, om vervolgens af te vlakken. Het uiteindelijke vermogen van PtH voor de landbouw blijft hierom echter klein.

Figuur 4.7.6 Opgestelde vermogens (GW) van flexibele power-to-heat.



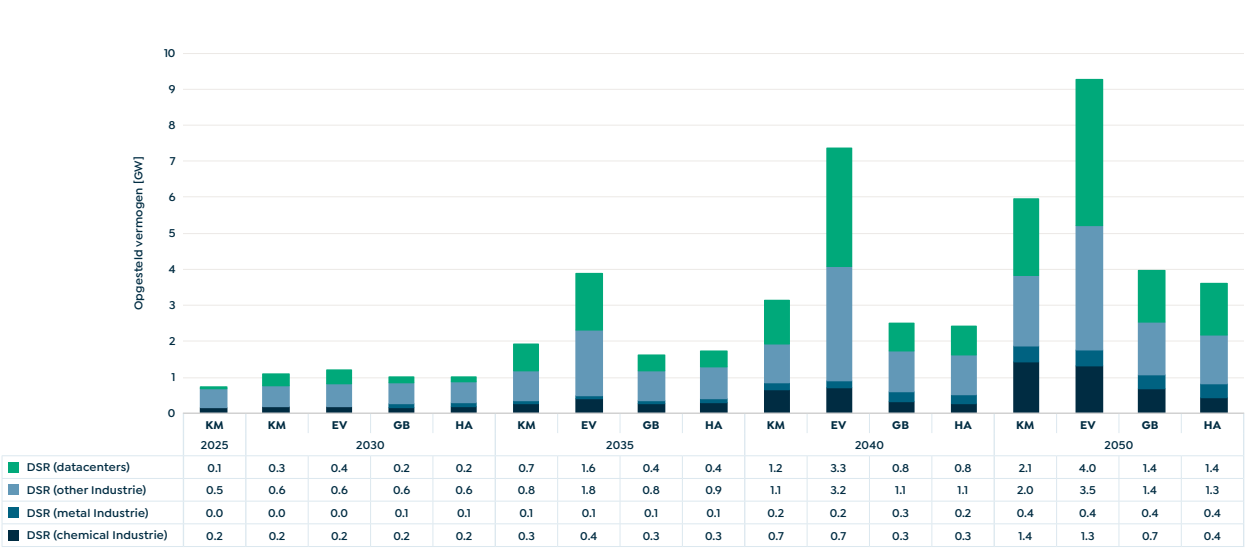
Vraagsturing / Demand Side Respons

In een elektriciteitssysteem met dominante rol voor opwek van wind en zon-PV kan flexibel inspelen van de vraag op de beschikbare elektriciteit, *Demand Side Response* (DSR), een belangrijke rol spelen voor de leveringszekerheid. Vooral voor datacenters en de industrie heeft dit hoge potentie omdat dit met grote vermogens, maar relatief beperkte volumes, significante impact kan hebben. Zowel op het net als bij het vermijden van hoge marktprijzen. De praktijk leert echter dat de potentie niet in de praktijk gerealiseerd wordt door de veelheid aan heterogene processen en belangrijke niet-energiegerelateerde factoren. Bijvoorbeeld door het aandeel van energie in de totale kostprijs van een product, verkoopcontracten waaraan voldaan moet worden en fysieke ruimte om flexibiliteit in te bouwen voor stappen in een productieproces. De precieze inschatting van de daadwerkelijk beschikbare vermogens in de toekomst en de bijbehorende *willingness-to-accept* – afroeprijzen – kent daarom nog grote onzekerheden. De DSR-vermogens in de scenario's worden aangesproken bij hoge elektriciteitsprijzen – met afroeprijzen van 300 €/MWh voor datacenters, 500 €/MWh voor de chemie, 850 €/MWh in de metaalsector tot 2.000 €/MWh voor de overige industrie²¹⁴. DSR draagt daarmee vooral bij aan handhaving van leveringszekerheid, maar is niet noodzakelijkwijs een verdienmodel voor de bedrijven die de flexibiliteit ter beschikking kunnen stellen.

Juist omdat DSR kan helpen omgaan met de variabele productie van wind en zon-PV in combinatie met een hoge mate aan elektrificatie aan de vraagkant, is het DSR-vermogen het grootst in het scenario Eigen Vermogen²¹⁵, figuur 4.7.7. De toenemende groei van weersafhankelijke opwek, betekent dat er veel maatregelen genomen worden om de wisselvallige productie in te passen. Aan de andere kant van het spectrum is voor de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer minder dan de helft beschikbaar van het DSR-vermogen uit scenario Eigen Vermogen. Deze scenario's kennen minder duurzame opwek en flexibiliteit wordt vooral geleverd met gas. Het scenario Koersvaste Middenweg zit tussen beide uitersten in.

Bij de regionalisatie is het beschikbare DSR-vermogen per industriële subsector verdeeld met dezelfde verdeel-sleutel als het onderliggende verbruik zelf. Daar waar veel verbruikt wordt, is ook veel DSR vermogen beschikbaar, en andersom. Voor datacenters is het volledige DSR-vermogen verdeeld onder de datacenters die bij TenneT zijn aangesloten, vooral omdat deze datacenters vaker één gebruiker bedienen waardoor de sturing in praktijk duidelijk gemakkelijker vorm te geven is.

Figuur 4.7.7 Maximaal vermogenspotentieel (GW) voor Demand Side Response industrie en datacenters.



²¹² Oplossingen voor netcongestie bij bedrijven, Merosch & CE Delft in opdracht van RVO, 2024, zie www.rvo.nl/sites/default/files/2024-06/Rapport-RVO-CEdelft-Merosch-oplossingen-netcongestie-bedrijven.pdf

²¹³ Power-to-Heat en warmteopslag in warmtenetten, CE Delft, februari 2023, zie ce.nl/wp-content/uploads/2023/03/CE_Delft_220325_P2H_en_Warmteopslag_Warmtenetten_Def.pdf

²¹⁴ Afroeprijzen per sector zijn gekozen m.b.v. tabel 9 uit *Flattening the Curve.pdf* van Kalavasta (2023)

²¹⁵ Aangenomen DSR vermogens zijn grotendeels gebaseerd op een in *Flattening the Curve.pdf* van Kalavasta (2023) genoemde potentie van zo'n 20-30 % van de piekvraag.

Interconnectie elektriciteit

Nederland maakt onderdeel uit van het Europese energiesysteem met elektrische verbindingen naar Duitsland, België, Groot-Brittannië, Denemarken en Noorwegen. Nederland vormt hierbij zoals andere landen in Europa een marktgebied, waarin vraag en aanbod van elektriciteit de prijs bepalen. Als de elektriciteitsprijs in Nederland hoger is dan in het buitenland, bijvoorbeeld bij hoge vraag en weinig hernieuwbare productie, is het voor marktpartijen aantrekkelijk om elektrische energie te importeren. Als de elektriciteitsprijs in Nederland lager is, bij veel hernieuwbare productie en lage vraag, is er een prikkel om naar andere marktgebieden te exporteren. Import- en export vormen hierdoor een flexibiliteit, die begrensd wordt door enerzijds de maximaal beschikbare uitwisseling

van elektrisch vermogen tussen twee marktgebieden, het marktinterconnectievermogen²¹⁶, en anderzijds vraag en opwek in de gekoppelde landen. In verband met de Europese marktintegratie, verduurzamingsambities en leveringszekerheidsaspecten zijn er in de toekomst verdere uitbreidingen van grensoverschrijdende verbindingen – en hieraan gekoppeld marktinterconnectie – gepland. De realisatie hangt echter af van verschillende aspecten, zoals de afstemming tussen de betrokken landen, economische opbrengsten en technische uitvoerbaarheid. Naast de bestaande, zijn vrij zekere toekomstige interconnectoren in alle scenario's opgenomen. Projecten die op dit moment nog een grotere onzekerheid kennen, zijn daarentegen maar in een deel van de scenario's opgenomen. Tabel 4.7.5 geeft een overzicht van de aannames (x = project meegenomen).

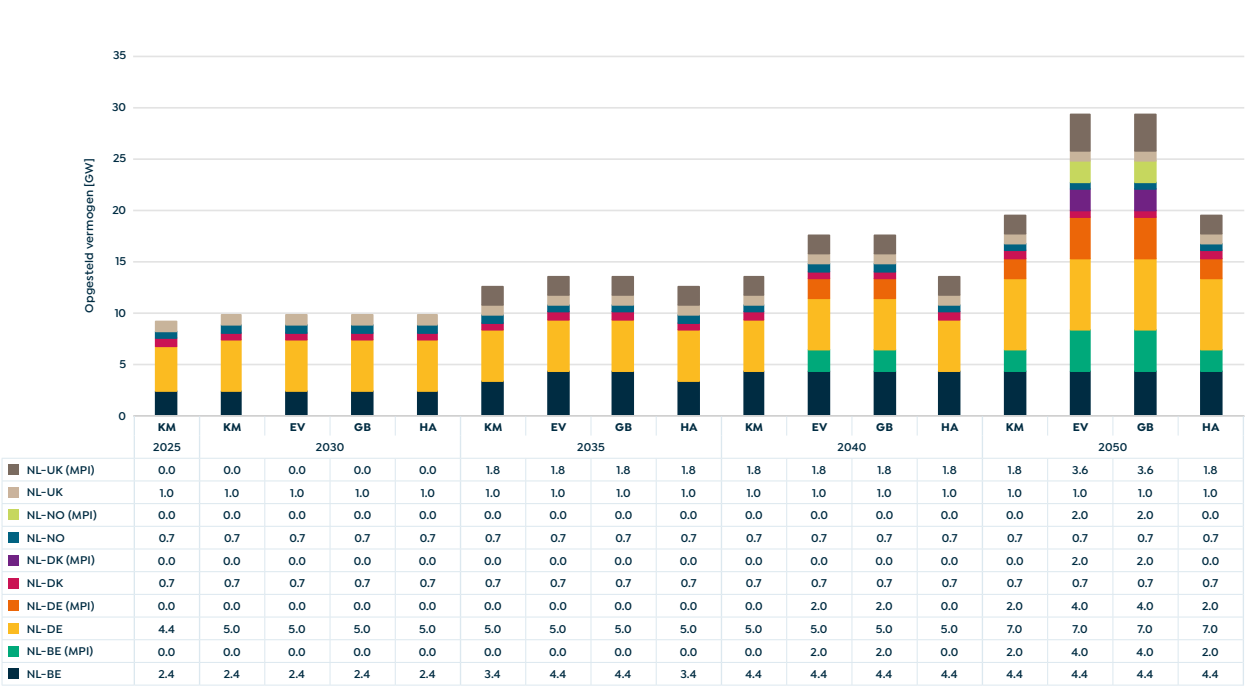
Tabel 4.7.5 Aangenomen interconnectieprojecten.

Scenario	KM	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
Jaar	2025		2030					2035				2040				2050	
Upgrade bestaande interconnectie NL-DE																	
		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Upgrade bestaande interconnectie NL-BE																	
						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MPI ²¹⁷ NL-GB (Lion Link)																	
						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MPI NL-BE																	
										x	x			x	x	x	x
MPI NL-DE																	
										x	x			x	x	x	x
MPI NL-DK																	
														x	x		
MPI NL-NO																	
														x	x		

In de scenario's Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans vindt een versnelde ontwikkeling plaats van marktinterconnectie, ten opzichte van de andere scenario's. In scenario Eigen Vermogen leiden elektrificatie van vraagprocessen en veel weersafhankelijke hernieuwbare opwek tot een grote behoefte aan binnenlandse en buitenlandse flexibiliteit –

en marktprijsprikkels. In scenario Gezamenlijke Balans zijn de hoofddrijvers een nauwe Europese samenwerking en inzetten op een brede mix aan verschillende oplossingen. In scenario's Koersvaste Middenweg en Horizon Aanvoer zijn door een conservatievere inschatting alleen vrij zekere interconnectieprojecten opgenomen.

Figuur 4.7.8 Maximaal uitwisselvermogen (GW) van marktinterconnectoren.



Marktcurtailment

Marktcurtailment is het tijdelijk afregelen van hernieuwbare opwek uit wind en zon-PV op momenten dat deze opwek anders groter zou zijn dan de vraag naar elektriciteit, waardoor heel lage of zelfs negatieve elektriciteitsprijzen optreden. Hiervan te onderscheiden is het gerichte afregelen van elektrische productie door een netbeheerder om de systeemoperatie te borgen. In tegenstelling tot de andere vormen van flexibiliteit is marktcurtailment niet locatiegebonden en wordt het alleen ingezet als er geen andere flexibiliteit meer beschikbaar is. Beperkte

marktcurtailment zorgt ervoor dat investeringen in tientallen gigawatt flexibele assets worden voorkomen, die anders nodig zouden zijn om alle productie te consumeren. Marktcurtailment loopt in de scenario's op van rond 14-20 GW in 2030 tot 17-29 GW in 2050. Met het grootst geïnstalleerde vermogen aan duurzame opwek is ook het beschikbare curtailmentvermogen in scenario Eigen Vermogen het hoogst. In lijn met andere flexibiliteitsmiddelen is het vermogen het laagst in scenario's Horizon Aanvoer en Gezamenlijke Balans en blijft in scenario Koersvaste Middenweg hier tussenin.

²¹⁶ Het maximale marktuitswisselvermogen hangt van een aantal factoren (zoals veiligheidsmarges) af en kan daardoor lager uitvallen dan het maximale transportvermogen van de grensoverschrijdende verbindingen.

²¹⁷ Multi-purpose interconnector (MPI) die naast meerdere marktgebieden / landen aan een windpark op zee verbinden is.

²¹⁸ In het Energie Transitie Model wordt de elektrolyser aangezet op basis van betalingsbereidheid voor de waterstof. De elektrolyser is alleen een conversiemiddel tussen elektriciteit en waterstof en levert zelf geen flexibiiteit, maar kan alleen flexibiiteit in het elektriciteitssysteem en waterstofsysteem koppelen.

Om het waterstofsysteem te balanceren is er een sterke behoefte aan kortdurende flexibiliteit – met hoge uitzend- en injectiecapaciteit en weinig werkgasvolume²²¹. De flexibiliteitsbehoefte ontstaat vooral door de sterk wisselende zon- en windproductie in het elektriciteits-systeem. De warmtevraag die in het aardgassysteem traditioneel veel behoefte aan werkgasvolume creëert, is in het waterstofsysteem kleiner. Deze warmtevraag verloopt eerder indirect, via omzetting naar elektriciteit of omzetting naar warmte voor warmtenetten, dan direct, via omzetting naar warmte bij de eindgebruiker. De waterstofvraag van de industrie blijft in het algemeen vlak, met weinig behoefte aan waterstofflexibiliteit.

De som van de werkgasvolumes en capaciteiten van de cavernes en gasveldbergingen, is modelmatig het minimale dat nodig om het waterstofsysteem in balans te houden. De uitsplitsing tussen cavernes en gasveldbergingen is gebaseerd op het feit dat de ruimte

voor cavernes in Nederland beperkt is²²², en de overige flexibiliteit uit gasveldbergingen moet komen.

Voor het balanceren van het waterstofsysteem ontstaat waarschijnlijk een dynamisch samenspel tussen cavernes, gasveld-bergingen en flexibele productiecapaciteit – kraken van aardgas en ammoniak. Dat samenspel wordt bepaald door technische en economische beperkingen en concurrentie. Dit dient in de toekomst verder onderzocht te worden.

4.7.5 Flexibiliteit ten behoeve van methaan

Net als bij de andere energiedragers moet vraag en aanbod van (groene) methaan gedurende het jaar in balans zijn. De balancering gebeurt grotendeels door gasopslagen, net zoals dat medio 2025 al het geval is. Door de afnemende vraag naar methaan, daalt ook de opslagbehoefte in gasbergingen in alle scenario's. Figuur 4.7.11 toont de opgeslagen energiehoeveelheden (werkgasvolume) voor methaan.

Figuur 4.7.11 Aangenomen opslagvolumes voor methaan.



Tot aan 2030 blijft in alle scenario's de behoefte aan bergingen voor de opslag van fossiel / biogeen methaan op een nagenoeg gelijk niveau in alle scenario's. In de jaren daarna worden de verschillen groter, waarbij in scenario Horizon Aanvoer al vanaf 2035 een duidelijke omslag naar een waterstofsysteem met afnemende behoefte aan methaanopslag zichtbaar is. Scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen volgen deze trend in de jaren daarop, terwijl de opslagbehoefte in scenario Gezamenlijke Balans tot aan 2050 relatief hoog is. In dit scenario blijft het gebruik van (groene) methaan het hoogst, waardoor de flexibiliteit uit methaanopslag ook in de verdere toekomst nodig is.

Deze cijfers uit de modeluitkomst van het Energie Transitie Model kent beperkingen. Allereerst wordt er gerekend aan

een standaard weerjaar. In werkelijkheid kunnen de weerjaren verschillen, zowel in opbrengst uit zon en wind, alsook in temperatuur. In de aardgasmarkt kan een koud weerjaar leiden tot 30 procent hogere gasvraag. Deze behoefte aan “over het jaar heen flexibiliteit” wordt medio 2025 meestal ingevuld door productieflexibiliteit of grote gasveldbergingen. Momenteel wordt er ook aardgasflexibiliteit geëxporteerd naar omliggende landen. De in het model gebruikte waarden moeten dan ook beschouwd worden als een redelijk minimum. Analyses van GTS waarbij wel rekening is gehouden met koude weersomstandigheden en flexvraag uit het buitenland, gaan uit van ongeveer 90 TWh benodigde gasopslag in 2030²²³. Voor de toekomstige waterstofopslag is er meer opslagvolume nodig om dezelfde hoeveelheid energie op te slaan als bij methaan²²⁴.

4.7.6 Flexibiliteit ten behoeve van warmte

Warmteopslag

Een aanzienlijk deel van het totale energieverbruik in Nederland wordt gebruikt voor warmte, met toepassingen vooral in de gebouwde omgeving, industrie en landbouw. In een energiesysteem dat naar klimaatneutraliteit streeft en toenemend door weersafhankelijke energiebronnen gedomineerd wordt, krijgt warmteopslag een cruciale rol. Door energie in de vorm van warmte op te slaan, kunnen pieken in de energieproductie op een efficiënte manier worden opgevangen, terwijl wordt voorzien in de warmtebehoefte. Er zijn verschillende technologieën voor warmteopslag die in Nederland reeds worden toegepast of waarvan in de toekomst een toepassing verwacht wordt:

- Seizoensgebonden warmteopslag: Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) en Borehole Thermal Energy Storage (BTES) maken gebruik van ondergrondse waterlagen of bodemlagen om warmte en koude op te slaan voor later gebruik.
- Thermochemische opslag: hierbij wordt warmte opgeslagen door middel van chemische reacties, met een

- hoge opslagdichtheid en minimale warmteverliezen.
- Latente warmteopslag: dit maakt gebruik van fase-overgangen, zoals smelten en stollen van materialen zoals paraffine, om warmte efficiënt op te slaan.
- Warmtebuffers en warmwateropslag: tanks gevuld met water of andere vloeistoffen worden gebruikt voor kortetermijnopslag van warmte, zoals in warmtenetten.

Voor de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is nog geen gedetailleerd onderzoek gedaan naar de impact van verschillende types warmteopslag. Daarom hanteren de scenario's generieke warmtebuffers die verbonden zijn met publieke warmtenetten die warmte aan huishoudens, gebouwen en de landbouw leveren. Vervolgens zijn modelberekeningen met behulp van het Energie Transitie Model (ETM) uitgevoerd om de toekomstige behoefte aan warmteopslag voor lage, medium en hoge temperatuurnetten met de verschillende opwek- en vraagscenario's in kaart te brengen. Warmtebuffers in de industrie waren in de doorgevoerde analyses nog niet in scope. Figuur 4.7.12 toont indicatief de warmteopslagvolumes in de verschillende scenario's.

Figuur 4.7.12 Aangenomen opslagvolumes voor warmte.



De behoefte aan warmteopslag schaal hierbij met warmteaanbod en vraag, maar op zekere hoogte ook de volatiliteit hiervan. In scenario Eigen Vermogen wordt deze behoefte gestuurd, zowel door de combinatie van veel weersafhankelijk elektriciteitsaanbod en de flexibele inzet van power-to-heat, als ook de relatief grote rol van warmtenetten. Scenario Koersvaste Middenweg vertoont met enige vertraging een vergelijkbaar beeld. In scenario Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer blijft de rol van warmteopslag beperkter, omdat gassen hier een grotere rol spelen in de warmtevoorziening van de verschillende sectoren en omdat er minder warmtenetten aangelegd worden.

Backup boilers

Backup boilers, ook wel backup-ketels of stand-by boilers zijn een belangrijk onderdeel van warmtesystemen, met toepassingen vooral in grotere installaties zoals stadsverwarming, industriële warmtenetten of grote gebouwen met een collectieve warmtevoorziening. Backup boilers zijn verwarmingsketels die niet als primaire warmtebron worden gebruikt, maar stand-by staan om warmte te leveren wanneer er geen andere flexibele warmteproductie beschikbaar is. Bijvoorbeeld om de piekbelasting in een koude winter op te vangen. Ze verbruiken vaak gas, olie of elektriciteit, en kunnen snel worden ingeschakeld.

²²¹ Om deze reden is gerekend met een bedrijfstijd voor zowel cavernes als gasveldbergingen van 250 uur. Normaal gaat het Energie Transitie Model voor gasveldbergingen uit van 700 uur.

²²² Zie EBN/TNO studie, 2021, Ondergrondse energieopslag in Nederland 2030-2050 – www.ebn.nl/wp-content/uploads/2022/10/Ondergrondse-energieopslag-in-Nederland-2030-%E2%80%93-2050-%E2%80%93-Technische-evaluatie-van-vraag-en-aanbod-2.pdf

²²³ www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2024D35721&did=2024D35721

²²⁴ Waterstof heeft een lagere energiedichtheid en een slechtere compressibiliteit dan methaan.

4.7.7 Aanvullende flexibiliteit ten behoeve van systeembalans

In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zijn initieel opwek, vraag en flexibiliteit kwantitatief uitgewerkt. In het Energie Transitie Model (ETM) zijn deze elk vertaald naar profielen, die per uur weergeven hoeveel flexibele productie en vraag er zijn. Daarmee is de balans in vraag en aanbod van elektriciteit nader geanalyseerd. Hierin zijn de uren geïdentificeerd waarin de elektriciteitsproductie niet toereikend is om de gelijktijdige elektriciteitsvraag in te vullen, met als indicatoren het aantal uren, de vermogenstekorten en het tekortvolume over het gehele jaar. Uit de uitgevoerde analyse bleek dat een deel van de scenario's, ondanks de initieel aangenomen hoeveelheden aan flexibiliteit, nog niet volledig in balans was, waarna een aantal aanvullende aannames zijn gedaan voorregelbare flexibiliteit om de balans te herstellen in vraag en productie, waaronder:

- Toevoegen backup-gascentrales (groen methaan, waterstof) – Zie ook hoofdstuk 4.6.
- Verhoging potentieel vraagsturing (DSR).
- Verhoging grootschalige elektriciteitsopslag (MDES, IDES).
- Bijstelling opslagvolumes op de lange termijn.

Belangrijke kanttekening hierbij is, dat het ETM geen nauwkeurige weergave van de marktwerving bevat²²⁵. Daarom kunnen de uitkomsten slechts een grove indicatie geven voor de daadwerkelijke balans in vraag en productie Verder zijn er potentiële vormen van flexibiliteit, zoals vraagsturing in de gebouwde omgeving en mobiliteitssector, medio 2025 niet in scope van het ETM. Om een overschatting van de behoefte aan benodigde flexibiliteit te voorkomen, is daarom de vermogensbalans in ETM niet helemaal hersteld. Dit betekent dat de scenario's nog een beperkt aantal uren met tekorten bevatten. Bij het verder gebruik van de scenario's in netbeheerderstudies worden echter geavanceerdere Europese modellen²²⁶ toegepast om de kostenoptimale inzet van flexibiliteit te modelleren, waardoor zich naar verwachting geen tekorten meer voor doen.

Ook de waterstofmarkt gaf in bepaalde scenario's situaties waarin het Energie Transitie Model niet met de waterstofopslag kon balanceren en op bepaalde uren kleine hoeveelheden waterstof moest importeren²²⁷, soms waterstof moest exporteren, of aan het eind van het gasjaar zelfs uit de bergingen moest verwijderen. Ook hier geldt dat de netbeheerders betere modellen zullen toepassen in navolgende studies.

4.7.8 Vergelijking IP2024, II3050v2 en KEV2024

In tabel 4.7.7 worden de belangrijkste verschillen tussen de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 en voorgaande studies IP2024 en II3050v2, uitgelicht. Daarnaast is er ook een vergelijking gemaakt met de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV2024) van het PBL.

Tabel 4.7.7 Overzicht verschillen per type flexibiliteit t.o.v. IP2024 en KEV2024 (2030, 2035) en II3050v2 (2050).		
Type flexibiliteit	IP2024 / KEV (2030, 2035)	II3050v2 (2050)
Batterijopslag (korte termijn)	In de IP2024-scenario's lag de range voor batterijopslag tussen 8,3–19,3 GW (2030) en 13,7–31,5 GW (2035). In de nieuwe scenario's is dat 7,2–10,2 GW (2030) en 12–20,4 GW (2035). De KEV2024 geeft een waarde van rond 7 GW (2030) en 9 GW (2035). Ondanks een grote belangstelling voor netaansluitingen vanuit de markt is dit nog het begin van de groeicurve die op middellange termijn minder vermogen kan realiseren.	In de II3050v2-scenario's lag de range voor batterijopslag in 2050 tussen 31,6–60,3 GW. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 26,6–56,2 GW. De vermogens vallen in deze nieuwe scenario's iets lager uit door toepassing van een nieuwe methode en doordat er rekening is gehouden met ander vormen van opslag voor elektriciteit.
Overige elektrische opslag (middellange termijn)	In de IP2024-scenario's lag de range voor Intraday energy storage (IDES) ²²⁸ tussen 1,0–3,0 GW (2030) en 1,5–4,5 GW (2035). In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 0–0,5 GW (2030) en 0,5–2,5 GW (2035). De KEV2024 maakt geen expliciete aannames over elektrische opslag anders dan batterijen. Net zoals voor kortetermijnbatterijopslag wordt dus van een iets tragere ontwikkeling uitgegaan. Multiday energy storage (MDES) ²²⁹ was nog geen onderdeel van de IP2024 scenario's.	In de II3050v2-scenario's lag de range voor Intraday energy storage (IDES) in 2050 tussen 7–10 GW. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 2,0–4,0 GW. De vermogens vallen lager uit door de aanname van MDES opslag in deze scenario's. De range voor MDES-opslag in de nieuwe scenario's voor 2050 is 1,3–6,4 GW.
Power-to-gas (op land)	In de IP2024 scenario's lag de range voor power-to-gas op land tussen 3,6–7,6 (2030) en 4,0–13,6 GW (2035). In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 1,2–3,0 GW (2030) en 5,0–12,0 GW (2035). De KEV2024 geeft een bandbreedte van 1,2 – 1,5 GW (2030). Hierin worden de gedempte verwachtingen m.b.t. een snelle ontwikkeling van een waterstofmarkt en investeringen vanuit de markt op de middellange termijn (voor 2035) weerspiegeld.	In de II3050v2-scenario's lag de range voor flexibele power-to-gas op land in 2050 tussen 10–25 GW ²³⁰ . In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 11–13 GW. Net zoals in de eerdere jaren zijn de verwachtingen over de te realiserende vermogens van elektrolyse op land omlaag bijgesteld i.v.m. recentere marktverwachtingen.
Power-to-gas (op zee)	In de IP2024 scenario's lag de range voor power-to-gas op zee tussen 0–1,3 (2030) en 1,3–4,0 GW (2035). In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is de aannames dat in 2030 allen maar eerste kleine pilotprojecten (met 50 MW) in bedrijf zijn, met een vermogensgroei naar 0,5–2 GW tot 2035. Net zoals voor elektrolyse op land wordt in totaal een tragere ontwikkeling van de waterstofmarkt t.o.v. eerdere scenario's verwacht. De KEV2024 verwacht tot 2035 helemaal geen power-to-gas op zee.	In de II3050v2-scenario's lag de range voor power-to-gas op zee in 2050 tussen 0–13,2 GW. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 3–21 GW. Het verhoogde maximale vermogen in 2050 volgt uit de verwachte vermogensgroei van wind op zee en de aanname van hybride windparken.
Power-to-heat	In de IP2024 scenario's lag de range voor power-to-heat tussen 2,5–5,1 (2030) en 3,7–8,5 GW (2035). In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 1,9–2,8 GW (2030) en 2,0–3,5 GW (2035). De KEV2024 geeft een bandbreedte van 0,3 GW (2030) en 0,6 GW (2035). De conservatievere aannames zijn een gevolg van de huidige marktcondities waarin de business case voor PtH onder druk staat.	In de II3050v2-scenario's lag de range voor power-to-heat in 2050 tussen 3,2–11,1 GW. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat verlaagd naar 2,2–5,9 GW. Eerdere aannames leken volgens marktpartijen te ambitieus.

²²⁵ Versimpelingen betreffen bijvoorbeeld de gemodelleerde interactie met het buitenland (importen, exporten). Het ETM is verder geen optimalisatiemodel.

²²⁶ Bijvoorbeeld PLEXOS, zie voor meer achtergrond TenneT's investeringsplan.

²²⁷ Mogelijk een indicatie van behoefte aan korte termijn waterstof flexibiliteit (zoals linepack), of behoefte aan betere modellering in samenhang met de elektriciteitsmarkt.

²²⁸ Redox-flow batterijen als proxytechnologie.

²²⁹ Perslucht opslag als proxytechnologie.

²³⁰ In II3050v2 was er geen expliciet onderscheid gemaakt tussen flexibele elektrolyse op land en op zee. Een deel van dit vermogen is elektrolyse op zee.

Tabel 4.7.7 Overzicht verschillen per type flexibiliteit t.o.v. IP2024 en KEV2024 (2030, 2035) en II3050v2 (2050).

Type flexibiliteit	IP2024 / KEV (2030, 2035)	II3050v2 (2050)
Vraagsturing / DSR	In de IP2024 scenario's lag de range voor vraagsturing in de industrie tussen 1,5–2,0 (2030) en 1,7–2,5 GW (2035). In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 1,0–1,2 GW (2030) en 1,6–3,9 GW (2035). De range is hiermee vergelijkbaar. De KEV2024 maakt geen expliciete uitspraken over DSR.	In de II3050v2-scenario's lag de range voor vraagsturing in de industrie in 2050 tussen 3,1–10,2 GW. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is dat 3,6–9,3 GW. De range is hiermee vergelijkbaar.
Elektrische interconnectie	In de IP2024 scenario's was uitgegaan van een totaal interconnectievermogen van 11,6 GW in 2030 en 12,6–13,6 GW in 2035. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is het vermogen in 2030 verlaagd naar 9,8 GW door een aangenomen inbedrijfname van de geplande Lion-Link interconnector net na 2030 ²³¹ . Voor 2035 blijft de vermogensrange onveranderd 12,6–13,6 GW. De KEV2024 maakt geen expliciete uitspraken over interconnectoren.	In de II3050v2-scenario's lag de range voor elektrische interconnectie in 2050 tussen 18,8–28,8 GW. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 komen de vermogens o.b.v. de meest recente inzichten over potentiële interconnectieprojecten op een vergelijkbare ordergrootte van 19,6–29,4 GW uit.
Methaanopslag	De opslagvolumes in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 vallen in 2030 iets lager uit dan in IP2024 (rond 30 TWh nu tegen 35 TWh in IP2024). Voor 2035 zijn de verschillen kleiner (18–27 TWh nu, 22–27 in IP2024). De opslagbehoefte is een resultante van onder inzet van gascentrales, verwarming in huizen en inzet van piekketels voor warmtenetten. Een belangrijke kanttekening is dat deze getallen slechts een beeld geven van de benodigde opslag in een gemiddeld weerjaar (zonder extreme kou) en zonder rekening te houden met levering van flex aan de buurlanden. De KEV2024 geeft geen expliciete raming van de verwachte opslagvolumes.	De opslagvolumes in 2050 in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 (3–15 TWh) zijn dezelfde orde van grootte als die in II3050v2 (1–12 TWh).
Waterstofopslag	De opslagvolumes in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 (0,3–1 TWh) zijn lager dan de opslagvolumes in IP2024 (1–3 TWh), vooral omdat krakers van ammoniak en aardgas ook flexibiliteit leveren. In 2035 valt de bovenkant van de bandbreedte juist iets hoger uit (2–12 TWh in de nieuwe scenario's, 3–7 TWh in IP2024) door de aanname in één scenario dat waterstofopslag in een leeg gasveld gerealiseerd is. De KEV2024 geeft geen expliciete raming van de verwachte opslagvolumes.	De onderkant van de bandbreedte (7 – 24 TWh) valt in de nieuwe scenario's lager uit dan in II3050v2 (14 – 29 TWh). Dit komt omdat in scenario GB is gekozen voor een grotere rol voor elektriciteitscentrales op methaan in plaats van waterstof. In II3050v2 werd aangenomen dat er in 2050 geen methaancentrales meer zijn.
Warmteopslag		
Flexibele ATR	Met deze bron van waterstofflexibiliteit is voor het eerst rekening gehouden in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. De KEV2024 maakt geen expliciete uitspraken over deze flexibiliteit.	Met deze bron van waterstofflexibiliteit is voor het eerst rekening gehouden in de nieuwe scenario's.
Flexibele ammoniakkraker	Met deze bron van waterstof flexibiliteit is voor het eerst rekening gehouden in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. De KEV2024 maakt geen expliciete uitspraken over deze flexibiliteit.	Met deze bron van waterstofflexibiliteit is voor het eerst rekening gehouden in de nieuwe scenario's.

4.8 Groen gas en biograndstoffen

4.8.1 Samenvatting

Biograndstoffen en groen gas kennen diverse toepassingen, zowel als grondstof voor producten (zoals transportbrandstoffen), als warmteproductie (bijvoorbeeld in biomassaketels of als groen gas in cv-ketels). De mate van gebruik van biograndstoffen en groen gas verschilt in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. Scenario Koersvaste Middenweg kent een gemiddelde import van groen gas productie en import van biograndstoffen. Scenario Eigen Vermogen kent oplopende geopolitieke en handelsbarrières, waardoor de import van biograndstoffen maar beperkt groeit ten opzichte van het huidige niveau. Het is hiermee het scenario met de kleinste toepassing van biograndstoffen. Groen gas productie wordt vanwege de focus op strategische autonomie aangejaagd, maar ligt door de beperkte beschikbaarheid van biograndstoffen laag. Scenario Gezamenlijke Balans heeft het grootste aanbod van biograndstoffen, grotendeels afkomstig van import uit Europa. Ook de productie van groen gas is in dit scenario het hoogst. In scenario Horizon Aanvoer worden biograndstoffen uit de hele wereld geïmporteerd, in lijn met de verhaallijn voor internationale handel. Tegelijkertijd zorgt een verminderde machtspositie van Europa en sterke internationale concurrentie ervoor dat een kleiner aandeel van de mondiale potentie biograndstoffen geïmporteerd wordt. Het aanbod van groen gas is in dit scenario het laagst, vooral door beperkte opschaling van vergassing als technologie.

4.8.2 Verhaallijnen en trends in de sector

In Nederland wordt al jaren biogas gemaakt, beginnend op stortplaatsen. Na 2011 is biogasproductie uit overige stromen zich gaan ontwikkelen, waarna rond 2017 de productie van biogas uit co-vergisting van mest ging groeien²³². Groen gas is biogas, opgewaardeerd in kwaliteit, waardoor het ingevoed kan worden in het aardgasnet. In 2023 werd er circa 0,28 bcm (billion cubic meters, 2,7 TWh) aan groen gas geproduceerd in Nederland²³³.

De bijmengverplichting is een nationale maatregel om CO₂ uitstoot te verlagen, door een deel groen gas toe te voegen aan het aardgasnet. Vanaf 2026 moeten Nederlandse energieleveranciers een aandeel groen gas bijmengen aan het geleverde gas. Dit aandeel ligt op ongeveer 20 procent in 2030. Dit zou een stijging betekenen van het huidige niveau van 0,28 miljard, naar 1,1 miljard m3 groen gas²³⁴. De bijmengverplichting versnelt zo de groengasproductie, is de verwachting.

De SDE++ toont een groeitrend. In 2023 werd er voor ~200 MW aan SDE++ voor groengasproductie aangevraagd, 1,6 TWh²³⁵, een verdubbeling van de aanvragen in 2022. In de SDE++-aanvragen is het grootste productievolume afkomstig van grote allesvergisters, met 1–25 MW productiecapaciteit. Daarnaast is er een trend van groei van het aantal kleine monomestvergisters, vergisters die alleen dierlijke mest gebruiken.

Naast traditionele vergistingsinstallaties, ontwikkelt vergassing zich als productietechnologie steeds verder. Vergassing²³⁶ – thermisch en superkritische watervergassing – bieden opschalingskansen en kunnen diverse inputstromen aan²³⁷.

Biograndstoffen worden al veelvuldig toegepast in Nederland. Het totale verbruik van biograndstoffen bereikte in 2021 een piek van 56 TWh waarna het gebruik in 2022 en 2023 daalde naar 46 TWh²³⁸. De belangrijkste toepassingen zijn:

- Elektriciteitsopwekking, bijstook in elektriciteitscentrales en verbranding van organisch afval in afvalverbrandingsinstallaties;
- Bijmenging van biotransportbrandstof in transportbrandstoffen, zoals benzine en diesel
- Warmteproductie met biomassaketels en warmte-krachtkoppelingen (WKK's)²³⁹.

²³² CBS 2021, Hernieuwbare energie in Nederland 2021, longreads.cbs.nl/hernieuwbare-energie-in-nederland-2021/biomassa

²³³ Netbeheer Nederland 2024, www.netbeheernederland.nl/artikelen/nieuws/groen-gasproductie-stijgt-2023-met-22

²³⁴ Ministerie voor Economische Zaken en Klimaat 2024, open.overheid.nl/documenten/0f0b1203-e766-44dd-a26c-2f4968e300de/file

²³⁵ SDE++ dashboard uitgangspunt 8000 invoedingsuren, ez.maps.arcgis.com/apps/dashboards/04077558b37243dbbfda0d9ec694ab12

²³⁶ Vergassing is een ontwikkelende technologie waarbij biograndstoffen onder hoge temperaturen gasvormig worden gemaakt. Met deze resulterende gassen kan groen gas gemaakt worden.

²³⁷ CE Delft 2024, Scenariostudie groengasproductie rond 2030, ce.nl/publicaties/scenariostudie-groengasproductie-rond-2030

²³⁸ CBS 2024, Biomassa; verbruik en energieproductie uit biomassa per techniek, opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82004NED/line?ts=1742205283885

²³⁹ CBS 2024, Hernieuwbare energie in Nederland, 2023, www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2024/hernieuwbare-energie-in-nederland-2023/8-biomassa

Tabel 4.8.1

Scenario	Samenvatting belangrijkste trends
Koersvaste Middenweg	De overheid maakt structurerende keuzes in het belang van de energietransitie. Er is een hoge mate van groengasproductie vanwege de bijmengverplichting en focus op maximaal aanbod van energiedragers uit het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) van de Rijksoverheid. Door de sterke focus op de energietransitie wordt de economisch rendabele binnenlandse potentie voor biograndstoffen benut. Geopolitieke spanningen nemen niet verder toe en internationale handelsstromen blijven bestaan. Hierdoor kunnen er relatief veel biograndstoffen geïmporteerd worden. Grootschalige projecten kunnen gerealiseerd worden en technologische ontwikkeling zet door. Hierdoor komen nieuwe productietechnieken zoals vergassing op tijd beschikbaar.
Eigen Vermogen	Europa en Nederland zetten voor meer onafhankelijkheid sterk in op de energietransitie. Nieuwe industrie wordt ondersteund en innovatiekracht blijft op peil. Nieuwe productietechnieken zoals vergassing komen op tijd beschikbaar. Deze trends zijn positief voor de productie van groen gas. Door oplopende geopolitieke spanningen en de focus op energie-autonomie, is er nagenoeg geen import van biograndstoffen en groen gas mogelijk. Wel wordt de economisch rendabele binnenlandse potentie voor biograndstoffen benut.
Gezamenlijke Balans	In Europees verband wordt gekeken naar pragmatische routes om te verduurzamen. Inzet van gas speelt hierin een grote rol. Innovatiekracht blijft op peil en nieuwe productietechnieken zoals vergassing komen op tijd beschikbaar. Deze trends zijn positief voor de productie van groen gas. Er is in dit scenario een zeer hoge mate van productie en import van groen gas. De Europese Unie werkt actief samen om het aanbod duurzame energie te vergroten en gebruik te maken van de krachten van ieder land. Ook buiten Europa wordt via handelsverdragen gewerkt aan betrouwbare energie- en grondstoffenketens. Hierdoor kunnen er veel biograndstoffen geïmporteerd worden.
Horizon Aanvoer	Europa verliest aan politiek en economisch gewicht in de wereld en de energietransitie verschuift naar de achtergrond. Het draagvlak voor de energietransitie neemt af en de overheid laat andere belangen voorgaan. Hierdoor wordt het binnenlands potentieel aan biograndstoffen niet volledig benut en is de binnenlandse productie van groen gas beperkt. Wereldwijde ketens voor energie en grondstoffen komen van de grond, maar leiden ook tot grondstofschaarste. In Nederland kunnen we daar niet altijd de hoogste prijs voor bieden. Dit leidt tot een gemiddelde mate van import van biograndstoffen en groen gas.

4.8.3 Nationale kwantificatie

Vraag naar biograndstoffen

Verschillende sectoren hebben nu en in de toekomst een vraag naar biograndstoffen. Deze paragraaf geeft een overzicht van deze sectoren en hoe de vraag zich in de toekomst ontwikkelt. Een gedetailleerdere beschrijving hoe de vraag naar biograndstoffen zicht gaat ontwikkelen, geven de hoofdstukken 4.1, 3.5 en 4.10.

De grootste toekomstige vraag naar biograndstoffen komt uit de mobiliteitssector en de industrie, voor de productie van biobrandstof en groen gas. Kleinere vraag naar biograndstoffen komt van piekkelers voor warmtenetten en uit de glastuinbouw. Voor alle scenario's en steekjaren is de vraag vergeleken met het potentiële aanbod. Vervolgens is het gebruik van biograndstoffen binnen de industrie voor de productie van basischemicaliën en transportportbrandstoffen, in lijn gebracht met de nationaal beschikbare potentiëlen.

Potentie van biograndstoffen

Biograndstoffen spelen een belangrijke rol in het verduurzamen van grondstofstromen en opschaling

van groengasproductie. Bij het bepalen van de maximale binnenlandse potentie van biograndstoffen, wordt alleen gekeken naar 'duurzame' biograndstoffen, waarbij rekening wordt gehouden met sociale en ecologische duurzaamheidscriteria. De maximale binnenlandse potentie van biograndstoffen in Nederland wordt geschat op 103-126 TWh/jaar in 2050²⁴⁰. PBL schat dat momenteel al 29 TWh van de binnenlandse potentie wordt benut voor energietoepassingen en feedstocks²⁴¹.

Naast binnenlandse productie, kunnen biograndstoffen ook worden geïmporteerd. Dat betreft dan hoofdzakelijk import van vaste en oliehoudende biograndstoffen zijn, in 2022 14 TWh²⁴². Import van natte biograndstoffen over grote afstanden is economisch niet rendabel.

Kwantificatie van biograndstoffen

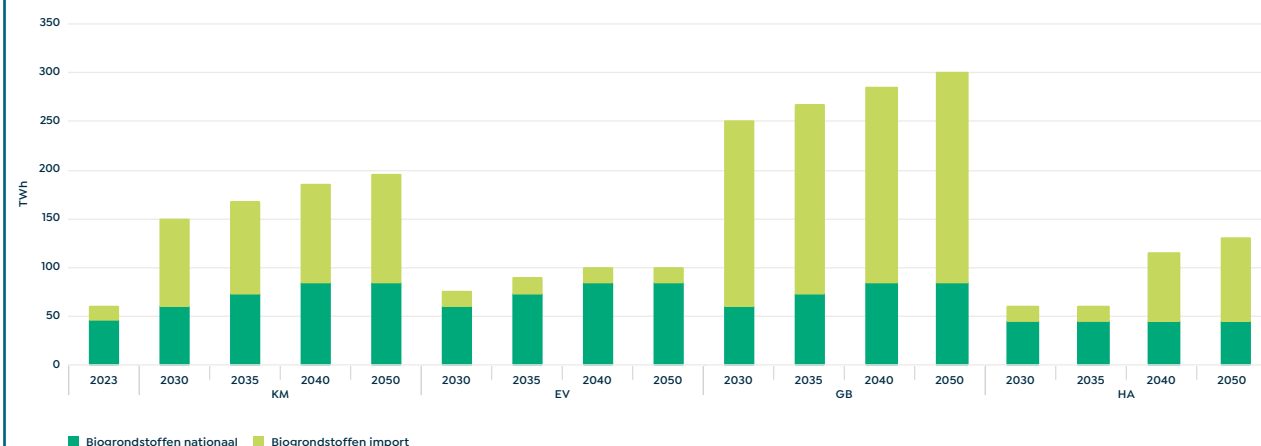
Voor de kwantificatie van biograndstoffen zijn diverse openbare bronnen gebruikt om een bandbreedte aan potentie te visualiseren. In veel gevallen zijn er verschillende scenario's beschikbaar, waarmee een bepaalde bandbreedte zichtbaar wordt. Bovendien hangt de beschikbaarheid voor Nederland sterk af van de vraag of import mogelijk is.

²⁴⁰ CE Delft 2020, Bio-Scope: Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa, pagina 125 ce.nl/publicaties/bio-scope-toepassingen-en-beschikbaarheid-van-duurzame-biomassa

²⁴¹ PBL 2024, Beschikbaarheid biograndstoffen in Nederland en de Europese Unie, pagina 7 www.pbl.nl/publicaties/beschikbaarheid-biograndstoffen-in-nederland-en-de-europese-unie

²⁴² CBS 2024, Hernieuwbare energie in Nederland 2023, grafiek 8.1.5 www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2024/hernieuwbare-energie-in-nederland-2023/8-biomassa

Figuur 4.8.1 Aanbod van biograndstoffen in de scenario's.



- Scenario Koersvaste Middenweg kent een gemiddelde import, voornamelijk uit Europa. Het totale aanbod van biograndstoffen ligt nabij de ondergrens van PBL 2024²⁴¹ en CE Delft 2020²⁴⁰, beide op basis van Europese beschikbaarheid.
- Scenario Eigen Vermogen kent oplopende geopolitieke en handelsbarrières, waardoor de import van biograndstoffen maar beperkt groeit ten opzichte van het huidige niveau. De focus op strategische onafhankelijkheid en de energietransitie zorgt daarentegen voor een hoge benutting van het binnenlands aanbod van biograndstoffen. Het totale aanbod van biograndstoffen ligt in dit scenario rond het binnenlands potentieel van CE Delft 2020²⁴⁰ en hoger dan de bovengrens van binnenlands potentieel uit PBL 2024²⁴¹.
- Scenario Gezamenlijke Balans heeft het grootste aanbod van biograndstoffen, grotendeels afkomstig van import. De geïmporteerde biograndstoffen komt voornamelijk uit Europa, in lijn met de verhaallijn voor sterke Europese

samenwerking. Het totale aanbod van biograndstoffen ligt in dit scenario in de bovengrens van het bereik van PBL 2024²⁴¹, op basis van Europese beschikbaarheid.

- In scenario Horizon Aanvoer worden biograndstoffen uit de hele wereld geïmporteerd, in lijn met de verhaallijn voor internationale handel. Tegelijkertijd zorgt een verminderde machtspositie van Europa en sterke internationale concurrentie ervoor dat, ten opzichte van Koersvaste Middenweg en Gezamenlijke Balans, een kleiner aandeel van de mondiale potentie biograndstoffen geïmporteerd wordt. Import komt in dit scenario later op gang, door een langzamere ontwikkeling van groengasproductie. Het draagvlak voor de energietransitie neemt af en de overheid laat andere belangen voorgaan. Hierdoor wordt het binnenlands potentieel aan biograndstoffen niet volledig benut. Het totale aanbod van biograndstoffen in dit scenario ligt hiermee tussen de maximale binnenlandse potentie op basis van CE Delft 2020²⁴⁰ en de ondergrens van PBL 2024²⁴¹, op basis van Europese beschikbaarheid.

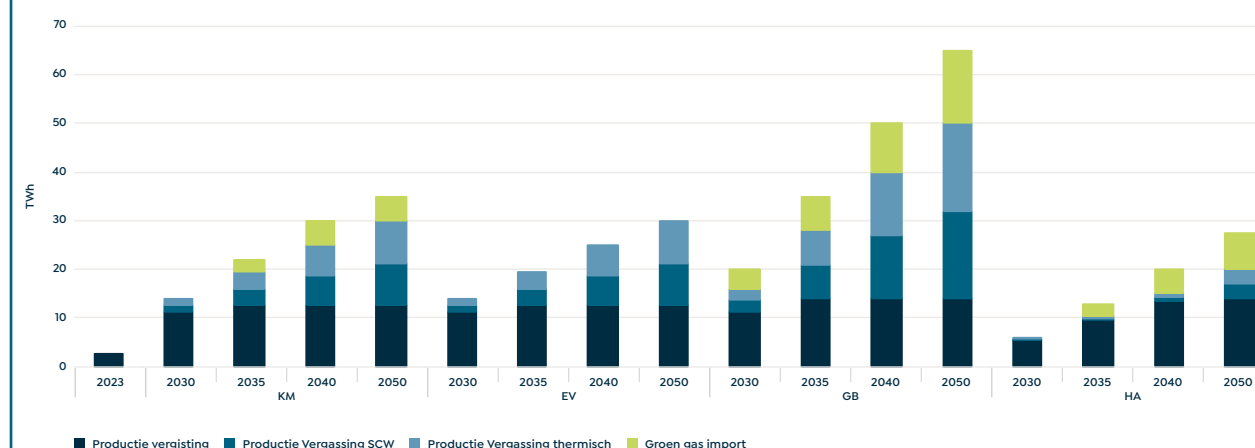
Aanbod van groen gas

De productie van groen gas gebeurt met drie technieken: vergisting, superkritische watervergassing (SCW) en thermische vergassing. Momenteel is vergisting de enige volwassen technologie die al langer in Nederland wordt toegepast. Het uitgangspunt voor vergisting is dat de grootste groei zal plaatsvinden tot aan 2035. Vergisting wordt daarmee ook de belangrijkste productietechniek om aan de bijmengverplichting te voldoen. Drie van de vier scenario's veronderstellen dat de bijmengverplichting van 1,1 bcm in 2030 wordt gehaald. Vanwege een afnemend draagvlak voor de energietransitie en de focus op andere belangen, haalt scenario Horizon Aanvoer de bijmengverplichting niet (0,6 bcm).

De veelbelovende huidige ontwikkelingen sterkt de aanname dat rond 2030 thermische vergassing en superkritische watervergassing volwassen technieken zijn, die naar 2035 verder worden opgeschaald²⁴³. Aangezien vergassingstechnieken efficiënter zijn dan vergistingstechnieken, komt vanaf 2035 de verdere groei van groengasproductie uit vergassing. De absolute productievolumes van vergisting blijven ongeveer gelijk. Het uitgangspunt hierbij is dat het digestaat – het restproduct van het vergistingsproces – meerwaarde heeft voor de landbouw voor het bemesten van de bodem. Hiermee stijgt relatief gezien het aandeel vergassing ten opzichte van vergisting vanaf 2035.

- Scenario Koersvaste Middenweg kenmerkt zich door een neutrale ontwikkeling van vergunnings- en besluitvormingsprocessen en neutrale innovatiekracht. Vergassingstechnieken groeien in aandeel vanaf 2035. Tenslotte kent dit scenario een gemiddelde mate van import van groen gas, voornamelijk uit Europa en enkele mondiale strategische handelspartners.
- Scenario Eigen Vermogen kenmerkt zich door zeer beperkte import van biograndstoffen. Hierdoor is het lastig om aan voldoende biograndstoffen te komen, voornamelijk voor grootschalige vergassingsinstallaties. De productie komt vooral van kleine installaties. Dit scenario kent oplopende belemmeringen in geopolitiek en handel, waardoor de import van groen gas niet mogelijk is.
- Scenario Gezamenlijke Balans kent de grootste productievolumes van groen gas. Hiervoor is maximale binnenlandse productie nodig, uit kleine vergisters tot en met grootschalige vergassers. In dit scenario is import van groen gas ook hoog, voornamelijk uit Europese landen.
- In scenario Horizon Aanvoer verschuift de energietransitie naar de achtergrond en is er een negatieve trend op innovatiekracht. Hierdoor zullen grootschalige productie-installaties, zoals vergassers zeer beperkt ontwikkeld worden. Import van groen gas is daarentegen wel mogelijk, afkomstig van de internationale energiemarkt.

Figuur 4.8.2 Aanbod van groen gas, inclusief productietechnieken.



4.8.4 Regionalisering

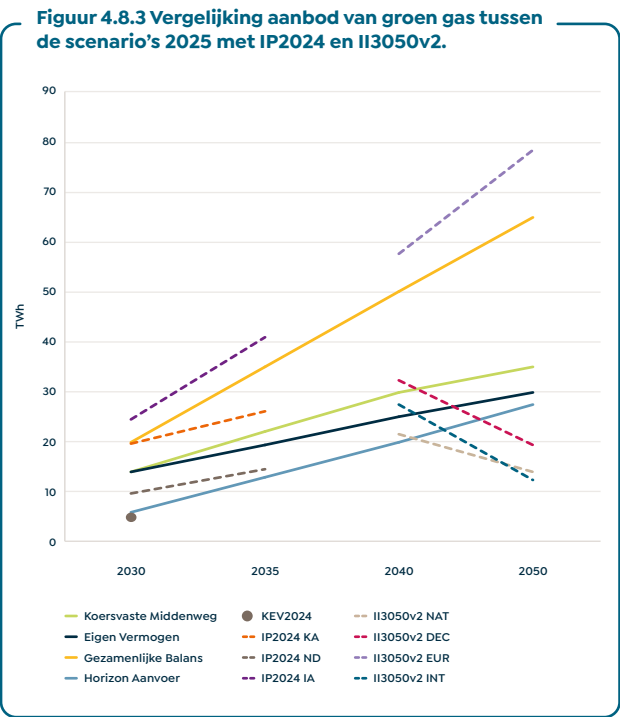
De nationale productievolumes van groen gas zijn geregionaliseerd over Nederland en netbeheerder aan de hand van de ‘Scenariostudie groengasproductie rond 2030’ van CE Delft²⁴⁴. Deze studie gebruikt vijf scenario's, variërend in installatiegrootte en aantal installaties, om de groengasproductie in 2030 te variëren en te verdelen over Nederland. De vier Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 (scenario's 2025) zijn gekoppeld aan de vijf CE Delft-scenario's, aan de hand van overeenkomsten in de verhaallijnen. De scenario's zijn als volgt aan elkaar gekoppeld:

- **Scenario Koersvaste Middenweg – CE Delft-scenario E:** zowel kleine als grote nieuwe installaties en gestaag inpassingstraject.
- **Scenario Eigen Vermogen – CE Delft-scenario D:** vooral kleine nieuwe installaties en soepel inpassingstraject.
- **Scenario Gezamenlijke Balans – CE Delft-scenario E:** zowel kleine als grote nieuwe installaties en gestaag inpassingstraject.
- **Scenario Horizon Aanvoer – CE Delft-scenario C:** vooral kleine nieuwe installaties en moeizaam inpassingstraject.

Vervolgens zijn de productievolumes van groen gas geregionaliseerd aan de hand van de scenariospecifieke regionale verdeelsleutels in de ‘Scenariostudie groengasproductie rond 2030’. Deze regionale verdeelsleutels zijn opgesteld op basis van nieuwe productielocaties. Deze nieuwe productielocaties zijn in kaart gebracht met bekende plannen in de SDE++ en interviews met marktpartijen over nieuwe installaties. Deze regionale verdeelsleutels zijn toegepast op alle steekjaren in de scenario's 2025, dus ook 2035, 2040 en 2050. Het uitgangspunt hierbij was dat er maar beperkte groei van vergisting wordt verwacht na 2030, dus dat de regionale verdeelsleutels uit de CE Delft studie ook geschikt zijn voor 2035, 2040 en 2050.

- Ten slotte zijn er twee uitgangspunten gehanteerd om de totale groengasproductie te verdelen over de netbeheerders:
1. Vergassing is dermate grootschalig, dat dit alleen op het transportnetwerk van Gasunie Transport Services (GTS) aangesloten wordt.
 2. Installaties met een productiecapaciteit vanaf 2.500 m³/u worden op het transportnetwerk van GTS aangesloten. Installaties met een kleinere productiecapaciteit, worden op het regionale gasnetwerk aangesloten. Dat beheren de regionale netbeheerders.

4.8.5 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE



Ten opzichte van het IP2024 zijn voor 2030 en 2035 de scenario's 2025 naar beneden bijgesteld. Ondanks de druk van de bijmengverplichting ontwikkelt de productie van groen gas zich langzamer dan verwacht. Door uitstel van de bijmengverplichting met een jaar, en door langdurende vergunningstrajecten. Drie van de vier huidige scenario's vallen voor 2030 en 2035 nog binnen de bandbreedte van de IP2024-scenario's.

Ten opzichte van II3050v2 is de bandbreedte van groengas-aanbod in de scenario's 2025 kleiner. De scenario's liggen daarnaast – in drie van de vier gevallen – hoger dan de

II3050v2-scenario's. Dit komt onder andere door een hogere methaanvraag in de scenario's 2025. Hierdoor is er geen noodzaak tot krimp, maar juist tot verdere ontwikkeling van de groengasproductie na 2040.

Ten opzichte van de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV2024) liggen de scenario's 2025 voor 2030 en 2035 significant hoger. Waar de KEV2024 uit gaat van 0,5 bcm groengasproductie in 2030, is 0,5 bcm de ondergrens voor de huidige scenario Horizon Aanvoer, en is de bovengrens 2 bcm. De KEV2024 geeft geen kwantificatie voor groengasproductie richting 2035 en 2040, maar ligt waarschijnlijk wel lager dan de scenario's 2025. Zo ziet de KEV2024 vergassing zich na 2040 ontwikkelen, zodra er meer ruimte in het SDE++-budget ontstaat. De scenario's 2025 nemen voor 2035 al een groei aan voor vergassing (figuur 4.8.2).

Ook de vraag naar biograndstoffen ligt in de KEV2024 lager dan de scenario's 2025. Het belangrijkste verschil: de scenario's 2025 gaan ervan uit dat er in 2030 nog biograndstoffen gebruikt worden voor elektriciteitsproductie, waar KEV2024 dat uitgangspunt niet hanteert, vanwege het aflopen van subsidies voor elektriciteitsproductie uit biomassa.

Het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) schat het binnenlands productiepotentieel voor biograndstoffen op 69 TWh (250 PJ). Drie van de vier Netbeheer Nederland Scenario's editie 2025 liggen hoger, namelijk op 85 TWh binnenlands productiepotentieel (Koersvaste Middenweg, Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans). Zowel het NPE als de scenario's 2025 gaan ervan uit dat het binnenlands productiepotentieel onvoldoende is voor de binnenlandse vraag, en dat import van biograndstoffen noodzakelijk is.

²⁴⁴ CE Delft 2024, Scenariostudie groengasproductie rond 2030, ce.nl/publicaties/scenariostudie-groengasproductie-rond-2030

4.9 Aanbod waterstof

4.9.1 Samenvatting

De waterstofproductie in Nederland verschilt per scenario. Daarbij gaat het om drie vormen van waterstof: groene waterstof, geïmporteerde waterstof en blauwe waterstof. Groene waterstof ontstaat via elektrolyse met duurzame stroom (zon-PV en onshore en offshore wind); blauwe waterstof wordt geproduceerd uit aardgas, met afvang van CO₂. In het scenario Eigen Vermogen is de meeste waterstof afkomstig uit hernieuwbare elektriciteit uit Nederland. Deze groene waterstof wordt geproduceerd via elektrolyse op basis van hernieuwbare elektriciteit, met groeiend vermogen van zon-PV en van onshore en offshore wind. In alle scenario's speelt import per schip van waterstof een grote rol, maar vooral in het scenario Horizon Aanvoer, waar ook de export het hoogst is. Voor de import per schip wordt eerst vooral ammoniak als waterstofdrager gebruikt, in latere jaren gevolgd door vloeibare waterstof. Vloeibare waterstof heeft in potentie een hogere ketenefficiëntie, maar wordt nu nog gekarakteriseerd als laag technologisch volwassen.

Wereldwijd bestaat twee derde van de huidige plannen voor waterstofproductie en -export uit groene waterstof en een derde uit blauwe waterstof. Wat in Nederland geïmporteed wordt, hangt af van Europese regulering en keuzes van verschillende commerciële partijen. Import uit Noorwegen via pijpleidingen speelt vooral een rol in de scenario's Horizon Aanvoer en Koersvaste Middenweg. De Noorse leiding vervoert voornamelijk blauw waterstof, maar deels ook groene waterstof. In het scenario Gezamenlijke Balans speelt binnenlands geproduceerde blauwe waterstof ook een redelijke rol. In alle scenario's blijft die rol beperkt ten opzichte van groene waterstof en geïmporteerde waterstof.

Nederland wordt een belangrijk doorvoerland voor waterstof naar andere Europese landen, waarbij de export in volume vergelijkbaar is met de binnenlandse waterstofvraag.

4.9.2 Verhaallijnen en trends per sector

Productie van waterstof

In het scenario Eigen Vermogen wordt de meeste capaciteit neergezet voor energieproductie met zon en wind. Hierdoor wordt er meer elektriciteit geproduceerd, waardoor er ook meer groene waterstof geproduceerd kan worden. Het verschil in productie van groene waterstof tussen het scenario Eigen Vermogen en de andere scenario's is onshore het grootst in de eerste jaren, maar vlakkt later af. Offshore blijven de verschillen groter.

In het scenario Gezamenlijke Balans wordt relatief de meeste waterstof uit aardgas omgezet met afvang van de CO₂ – blauwe waterstof. In dit scenario wordt aardgas langer gebruikt, met meer maatschappelijke acceptatie van fossiele dragers en CCS. In het scenario Koersvaste Middenweg is dat al minder het geval, en in de scenario's Eigen Vermogen en Horizon Aanvoer het minst. In vergelijking met het andere aanbod van waterstof, blijft het volume van deze koolstofarme waterstof echter in alle scenario's beperkt.

Import van waterstof vindt plaats per leiding uit Noorwegen. Het gaat dan voornamelijk om blauwe waterstof, met deels ook groene waterstof uit windparken. Vanwege de lange afstand is import van Noord-Afrikaanse waterstof naar Nederland op de middellange termijn niet waarschijnlijk, en voor de lange termijn nu nog te onzeker. De opbouw van een Europees netwerk zal veel tijd vragen, zowel technisch gezien, als qua opbouw van commerciële ketens. Verder zal de vraag naar waterstof in alle landen tussen Afrika en Nederland groter zijn dan de geproduceerde volumes in Noord-Afrika, dus er zal geen noemenswaardige hoeveelheden in Nederland aankomen. In de scenario's Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans komt er geen waterstof per pijpleiding uit Noorwegen; in de andere scenario's wel.

In 2050 wordt een aanzienlijk deel van de waterstof die Nederland en omliggende landen nodig hebben per schip aangevoerd. In alle scenario's gaan het om aanzienlijke hoeveelheden. De meeste waterstof import vindt plaats in het scenario Horizon Aanvoer, gevolgd door het scenario Gezamenlijke Balans. De minste import vindt plaats in het scenario Eigen Vermogen, omdat Nederland en Europa in dit scenario meer zelfvoorzienend willen zijn. In alle scenario's vindt ook export plaats van waterstofdragers naar omliggende landen, maar in het scenario Horizon aanvoer is er in alle jaren ook sprake van een duidelijke netto-import in Nederland. In de andere scenario's vindt deze netto-import pas plaats in 2040 en 2050, en in beperkte mate.

In landen met veel productie met zon en wind gelden lage elektriciteitsprijzen, en zijn er dus veel plannen om deze energie via waterstof of waterstofdragers te produceren en exporteren, om deze duurzame energie te verwaarden. Omgekeerd zijn er verschillende marktpartijen in Nederlandse en Europese havens bezig met plannen voor de import per schip. Hierbij is het aandeel van ammoniak als waterstofdrager initieel groot. Dit gezien de commerciële volwassenheid van deze technologie, maar ook omdat de meeste exportplannen voor waterstofproductie in de wereld ammoniak betreffen. In latere jaren krijgt vloeibare waterstof een steeds groter aandeel, naarmate de commerciële volwassenheid van deze technologie zich verder ontwikkelt. Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) als waterstofdrager houdt een wat meer beperkte rol. Een deel van deze waterstofdragers wordt niet in de haven omgezet in waterstof, maar direct gebruikt of vervoerd en pas bij een eindgebruiker omgezet in waterstof. Voor een klein deel van de export is export van ammoniak en LOHC verondersteld.

Er wordt maar beperkt waterstof geproduceerd uit biomassavergassing en er zijn geen grootschalige biomassavergassing projecten die waterstof produceren.

Hoewel er medio 2025 enkele heel kleine projecten zijn, is de basisgedachte dat de biogene CO₂ en waterstof van de biomassa het best gebruikt kan worden voor koolstofhoudende energiedragers of feedstock zoals methaan en methanol. De biomassavergassing die plaatsvindt, is verwerkt in de categorie transformatie.

Voor de rol van waterstof als bron van flexibiliteit in het energiesysteem wordt verwezen naar het hoofdstuk 4.7.

Exportvolumes waterstof

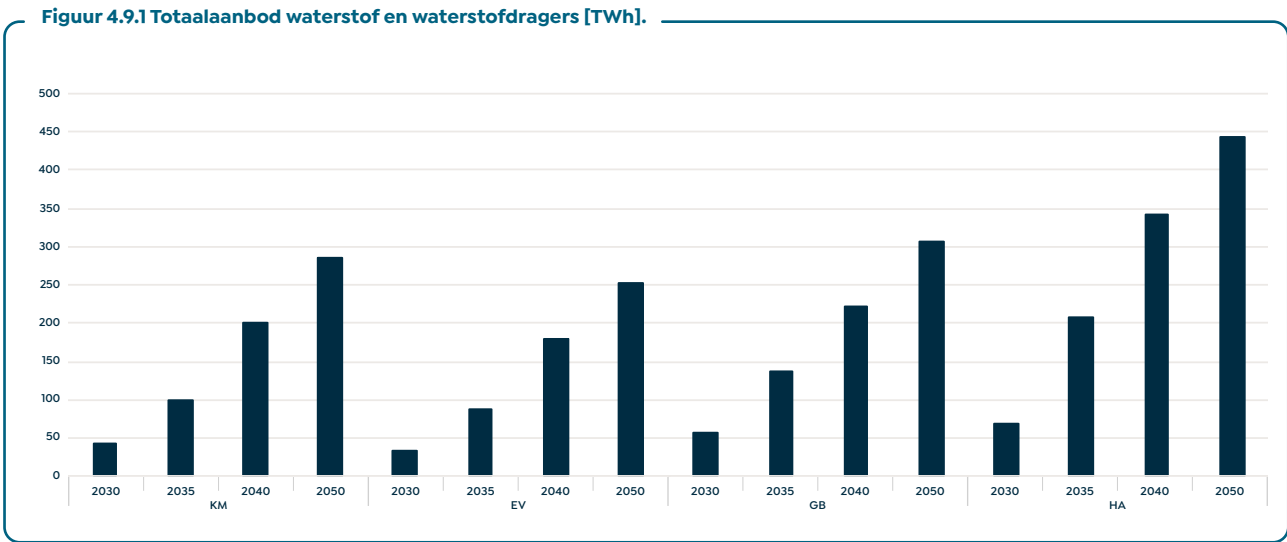
Nederland is medio 2025 een doorvoerland voor veel goederen en energie naar Duitsland en achterliggende Europese landen, die vaak geen havens hebben. Die rol krijgt Nederland ook voor de import van duurzame energie en waterstof. Op basis van Europese scenario's van ENTSOG²⁴⁵ zijn scenario's opgesteld om een beeld te krijgen van de mogelijke omvang van deze exportcapaciteiten vanuit Nederland. De doorvoer van waterstof en waterstofdragers is het grootst in het scenario Horizon Aanvoer, waar er ook sprake is van veel import per schip van waterstof. Dit wereldbeeld correspondeert met het TYNDP Global Ambition-scenario, waarin wordt ingezet op een centrale energievoorziening. Wereldwijde energiehandel versnelt hier de decarbonisatie van het energiesysteem. In het scenario Eigen Vermogen wordt gedacht vanuit de zelfvoorzienendheid en is de doorvoer ook het laagst. Dit is in lijn met het wereldbeeld in het TYNDP Distributed Energy-scenario. Daarin is de energie-transitie ook in de omringende landen afhankelijk is van gedragsverandering en een sterke decentrale beweging naar decarbonisatie met lokale initiatieven van burgers, gemeenschappen en bedrijven, ondersteund door overheden. De export naar Europese landen vormt een belangrijk deel van de totale waterstofvraag in Nederland, en leidt tot aanzienlijke transitostromen door Nederland.

²⁴⁵ ENTSOG scenario's voor waterstof gebruik en transit in Europa – TYNDP 2024 – visualisatie platform – 2024.entsos-tyndp-scenarios.eu/visualisation-platform

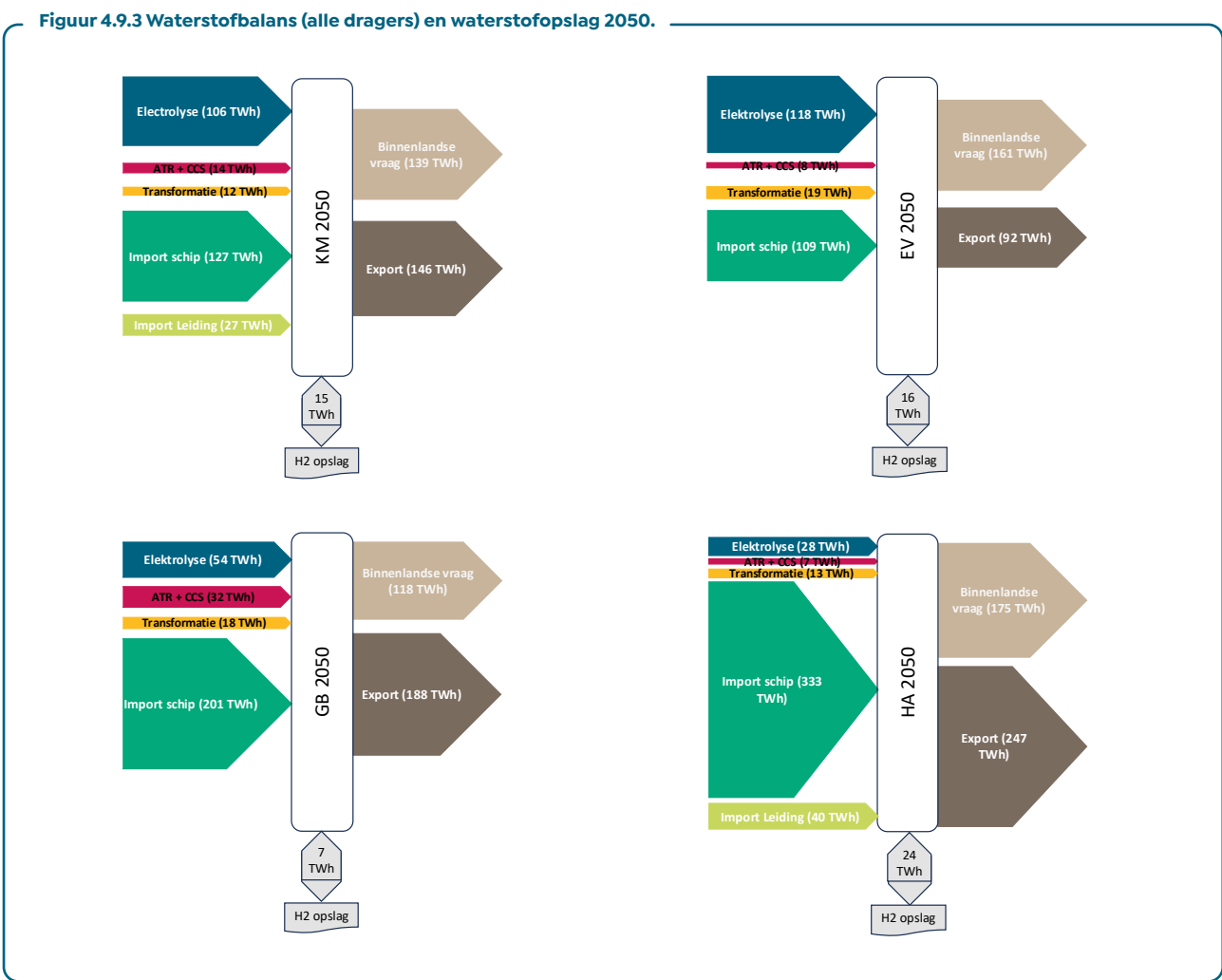
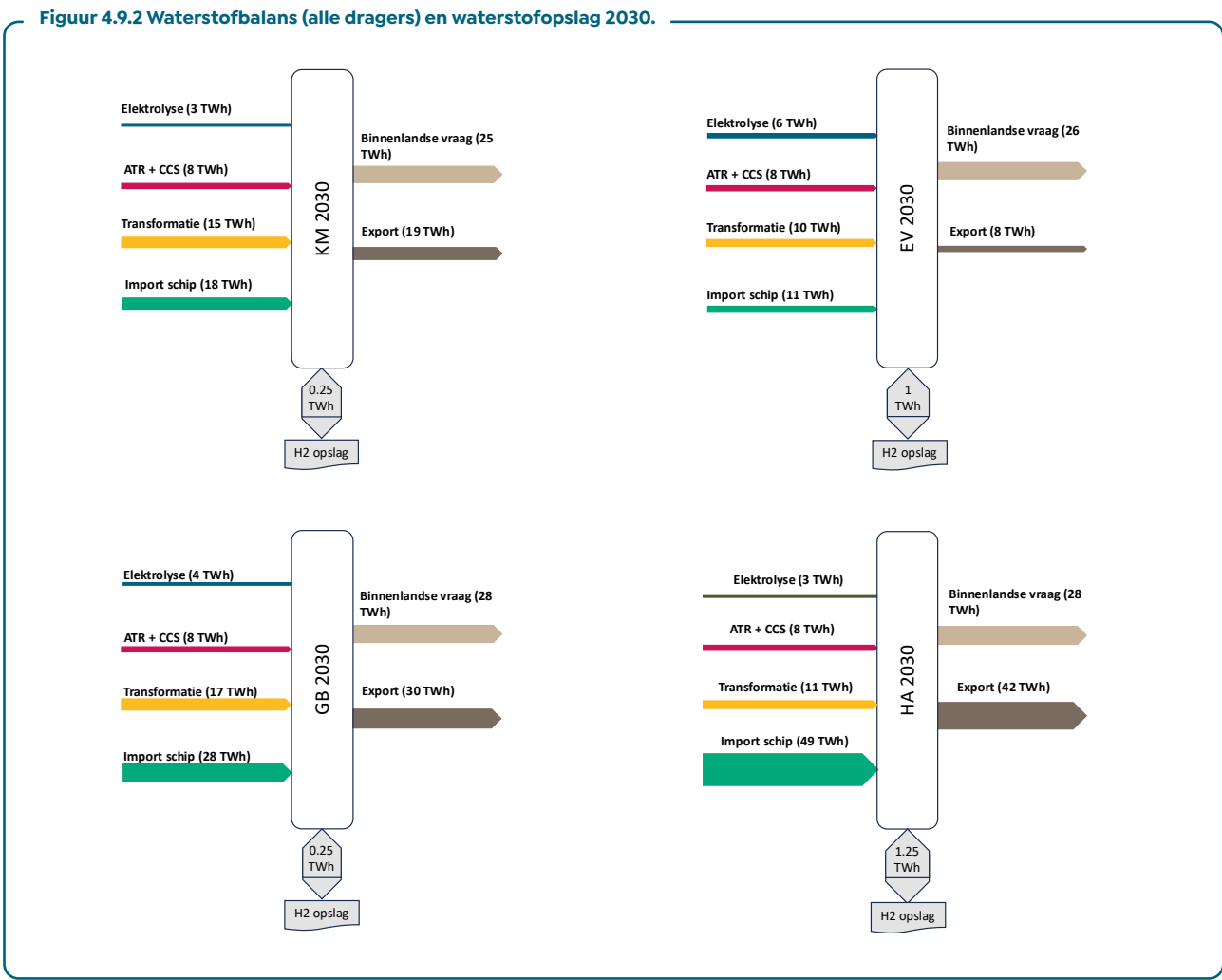
4.9.3 Nationale kwantificatie

Algemeen overzicht

Figuur 4.9.1 toont het totaalaanbod van waterstof en waterstofdragers voor de verschillende jaren en scenario's.



Figuur 4.9.2 en figuur 4.9.3 geven een algemeen overzicht van de waterstofbalans voor de verschillende scenario's, respectievelijk in 2030 en 2050. Tevens worden de totale werkgasvolumes van de waterstofbergingen gegeven. In de volgende paragrafen worden de getallen per categorie en per drager verder uitgesplitst en toegelicht.



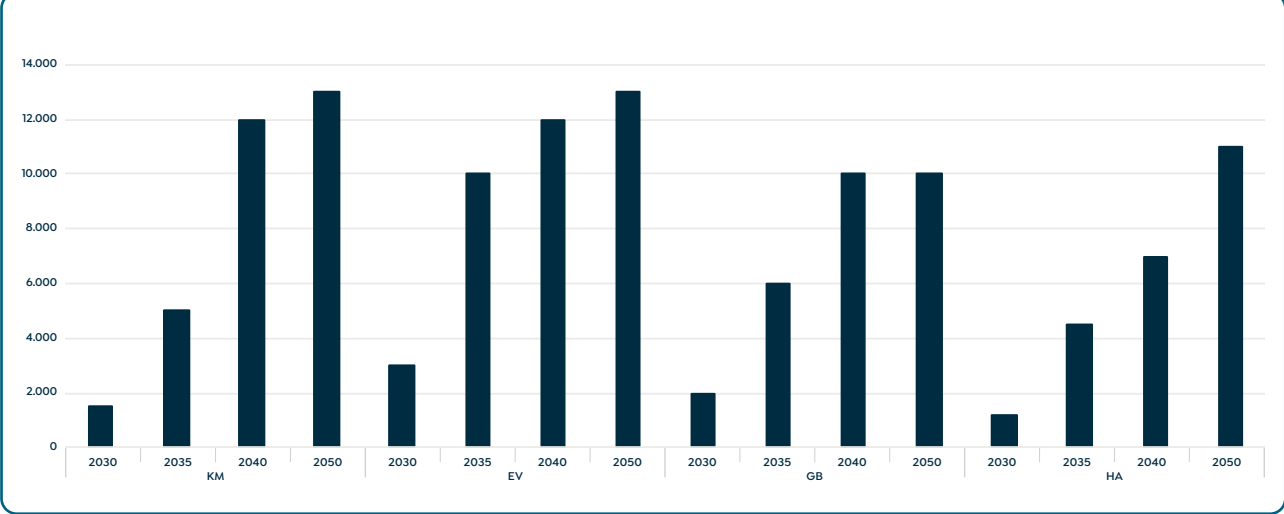
Productie van groene waterstof in Nederland

Groene waterstof kan in Nederland op een aantal manieren geproduceerd worden. De productie kan zowel verlopen via elektrolyzers die op het elektriciteitsnet zijn aangesloten, als via elektrolyzers die direct worden aangedreven door windenergie – waarbij het bij die laatste zowel kan gaan om elektrolyzers in hybride windparken, als in windparken die uitsluitend waterstof produceren. De onderbouwing voor de gekozen vermogens is grotendeels vermeld in het hoofdstuk over elektriciteit en het hoofdstuk over flexibiliteit. In het algemeen schaaft het opgestelde elektrolyservermogen met het opgestelde vermogen aan zon en wind²⁴⁶. De opgestelde zon en windvermogens zijn het grootst in de scenario's Eigen Vermogen en Koersvaste Middenweg, en minder in het scenario Gezamenlijke Balans en vervolgens het laagst voor het scenario Horizon Aanvoer. De elektrolyzers volgen dit beeld.

Voor de elektrolyser op de hybride windparken geldt dat – in de latere jaren – de offshore vermogens van elektriciteit en waterstof ongeveer 50/50 zijn. Maar omdat de elektrolyzers vooral ingezet worden bij veel wind, is de verhouding van de geproduceerde energie van elektriciteit versus waterstof meer dan een factor 2. In de eerdere jaren wordt de elektriciteit uit offshore wind eerst naar land gebracht, vormtdan onderdeel van de onshore elektriciteit, en wordt eventueel door onshore elektrolyzers omgezet in waterstof.

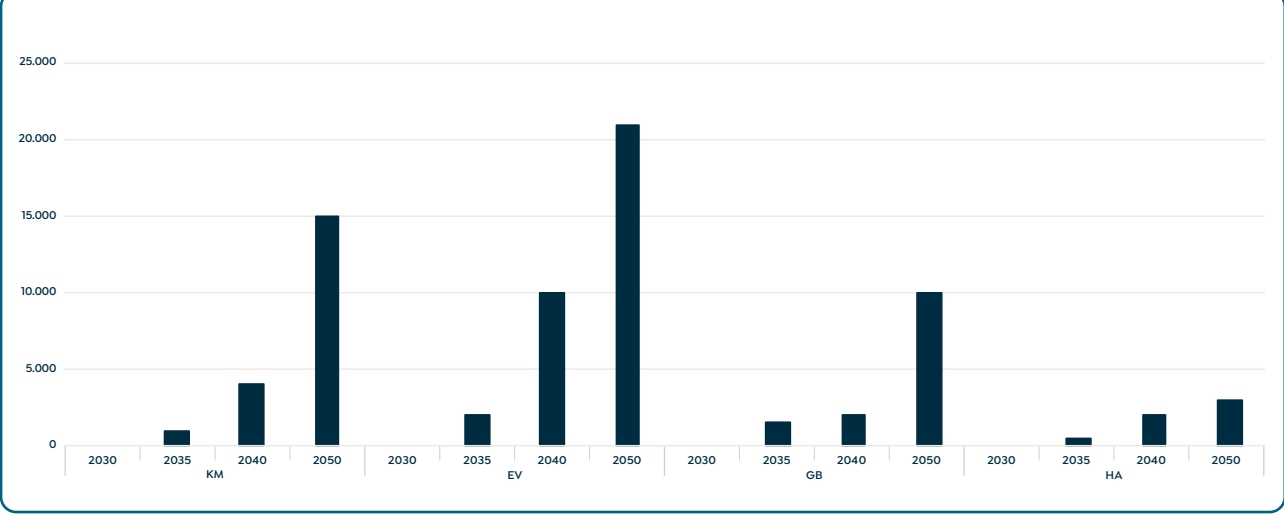
Allereerst kunnen elektrolyzers direct op het elektriciteitsnet aangesloten worden, waarmee deze onshore elektrolyzers waterstof kunnen produceren in periodes waarin veel zon en windelektriciteit ingevoerd wordt (zowel offshore als onshore) en de prijs van elektriciteit erg laag is. In figuur 4.9.4 staan de opgestelde vermogens.

Figuur 4.9.4 Opgesteld vermogen onshore elektrolyzers [MW].



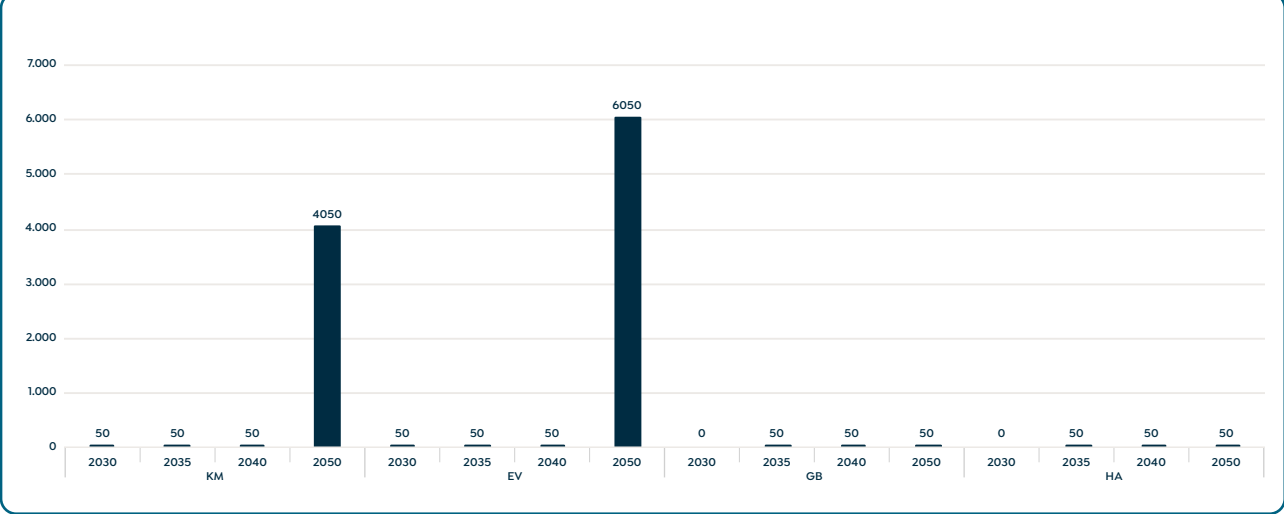
Daarnaast kunnen windparken-op-zee ook waterstof produceren. Allereerst kan dit bij zogeheten hybride windparken, waarbij de windenergie zowel als elektriciteit als in waterstof afgevoerd worden, afhankelijk van de op dat moment geldende prijsniveaus van elektriciteit en waterstof. In figuur 4.9.5 staan de opgestelde offshore elektrolyservermogens van deze hybride windparken.

Figuur 4.9.5 Opgesteld vermogen hybride offshore elektrolyzers [MW].



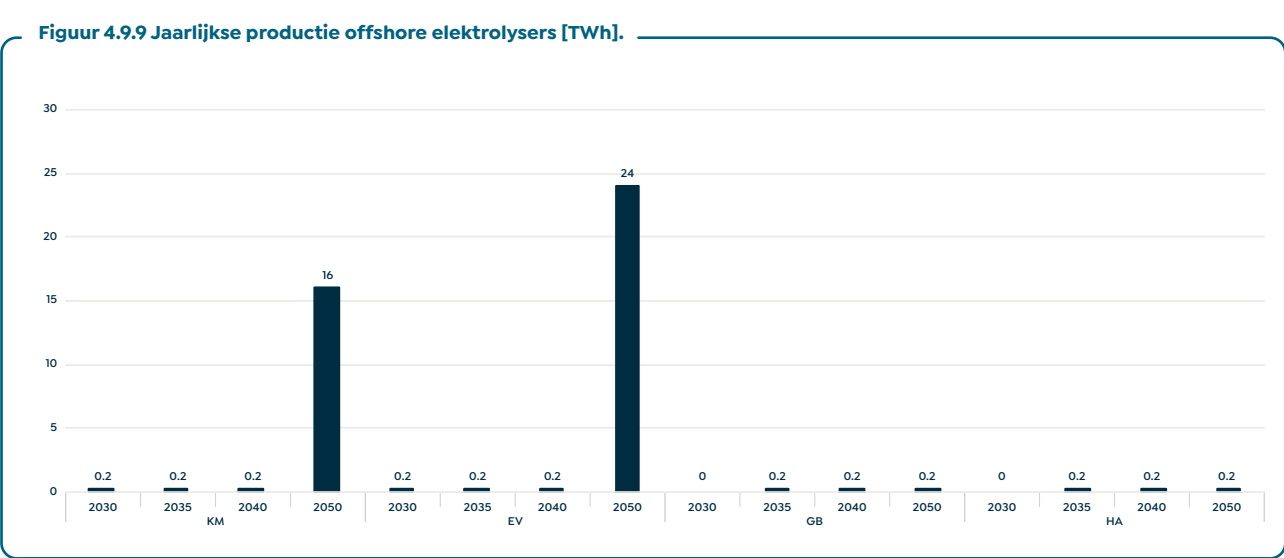
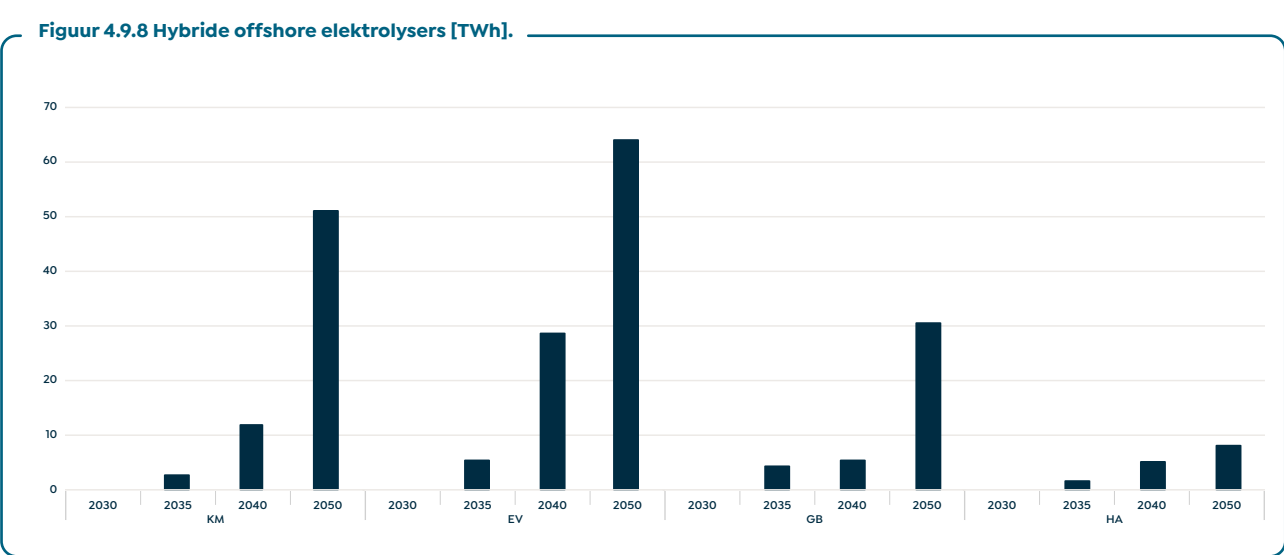
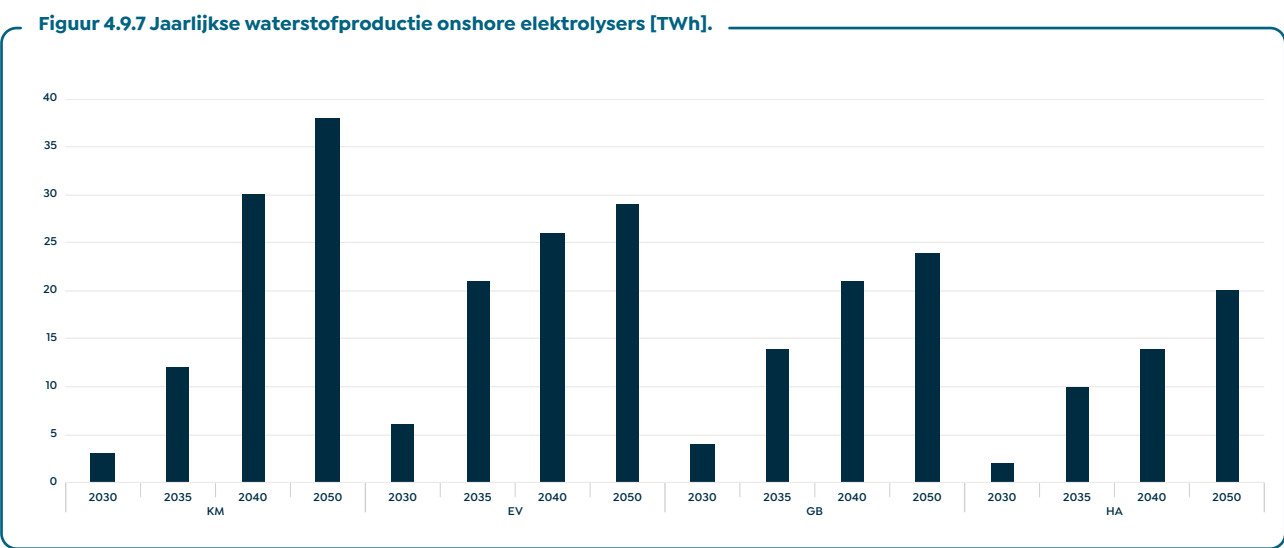
Tenslotte kan er offshore ook windenergie direct in waterstof omgezet worden. Dit gebeurt meestal op locaties die verder op de Noordzee liggen, waar de elektriciteit lastiger te vervoeren is. Ook qua tijd ligt dit beeld verder in de toekomst, wanneer er al voldoende elektriciteit wordt geproduceerd. In figuur 4.9.6 geeft staan de opgestelde offshore elektrolyservermogens van deze waterstofwindparken. De in sommige jaren vermelde 50 MW betreft een offshore demonstratieproject “Demo 1”, waarvoor het ministerie van KGG een oproep tot voorstellen heeft gedaan aan marktpartijen, en dat naar verwachting rond 2030 operationeel zou worden.

Figuur 4.9.6 Opgesteld vermogen offshore elektrolyzers waterstofwindpark [MW].



²⁴⁶ Zodra het aandeel duurzame elektriciteit uit zon en wind een significant aandeel (rond de 70%) vormt van de totale elektriciteit vraag, begint het in theorie zinvol te worden deze ook om te zetten naar waterstof, en groeit het aandeel elektrolyse (Kramer (2024) “Fundamentals of hydrogen production and use in a decarbonising power system” papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4792931)

In figuur 4.9.7, figuur 4.9.8 en figuur 4.9.9 staan de geproduceerde waterstofvolumes voor de groene waterstof uit deze drie verschillende bronnen.



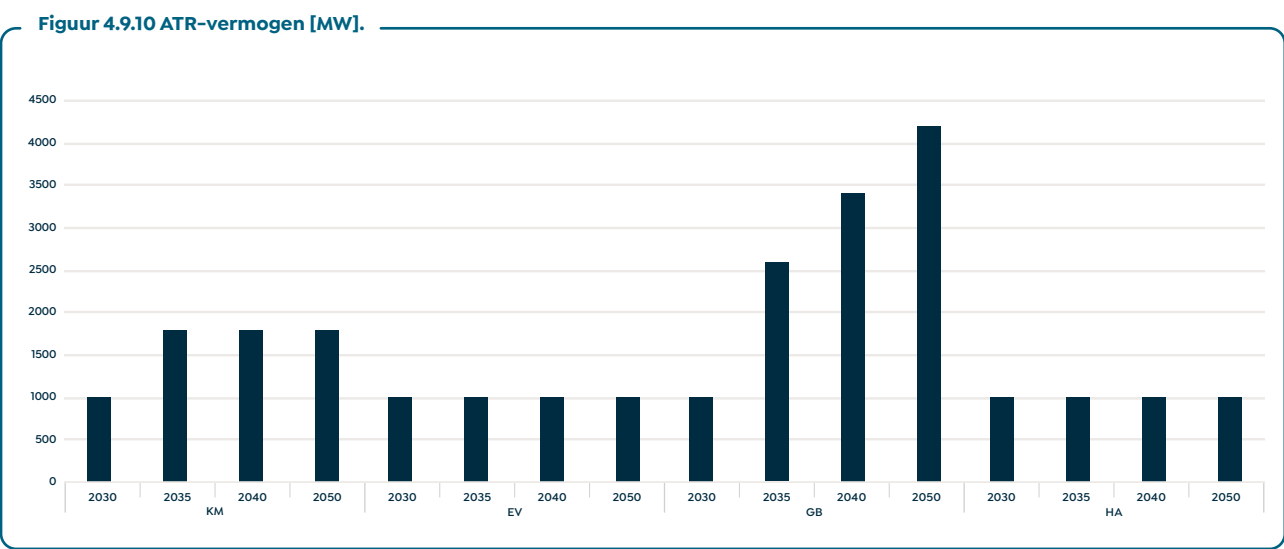
De bedrijfstijden van de onshore electrolyzers bedragen rond de 2000 à 3000 uur. Verwacht mag worden dat dit geheel op momenten is met overschotten aan elektriciteit. De hybride offshore electrolyzers kennen bedrijfstijden van 3500 tot 4500 uur en de offshore electrolyzers van de waterstofwindparken 5300 uur. In alle gevallen blijft de bedrijfstijd vrij constant over de jaren heen, de verschillen zijn hooguit iets groter tussen de scenario's. Deze bedrijfstijden van de electrolyzers zijn deels het gevolg van de bedrijfstijd van de duurzame elektriciteitsproductie, fluctuerende zon en wind. Voor een ander deel wordt dit beïnvloed door de in het Energie Transitie Model ingestelde waterstofprijs waarbij de elektrolyser actief wordt²⁴⁷. Voor de electrolyzers op de waterstofwindparken wordt gewoon de bedrijfstijd van de wind gevolgd.

Productie van waterstof uit aardgas met afvang van CO₂: blauwe waterstof

De bouw van nieuwe Auto Thermal Reforming-fabrieken (ATR) die aardgas omzetten in waterstof en die de geproduceerde CO₂ afvangen en opslaan, verschilt per scenario. In het scenario Gezamenlijke Balans wordt nog altijd veel aardgas geproduceerd en geïmporteerd en wordt blauwe waterstof

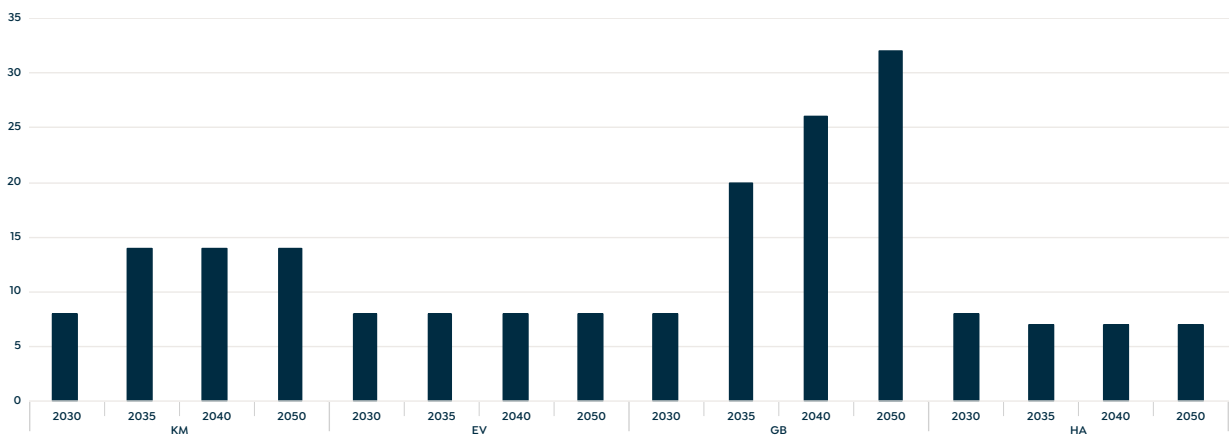
maximaal ingezet. In het scenario Horizon Aanvoer wordt de waterstof vooral geïmporteerd en is de inzet van blauwe waterstof minimaal. In het scenario Eigen Vermogen wordt voornamelijk elektriciteit gebruikt en is de inzet van blauwe waterstof minimaal. Het scenario Koersvaste Middenweg zit tussen deze uitersten in.

Medio 2025 wordt er al waterstof uit aardgas geproduceerd in reeds bestaande Steam Methane Reforming-fabrieken (SMR). Die zijn bij de bouw niet speciaal ingericht op afvang van CO₂. Bij deze bestaande fabrieken wordt CO₂-afvang ingebouwd, die ongeveer 65 procent van de CO₂ afvangt. Ze produceren dus deels grijze en deels blauwe waterstof. Het betreft hier industriële installaties. De waterstof van deze fabrieken is opgenomen in “transformatie” paragraaf (zie figuur 4.9.15). Het betreft hier waterstof die leidt tot een behoefte aan transport van waterstof in het waterstofnetwerk van de nationale netbeheerder (HNS). Waterstof of waterstofdragers die een industrie lokaal maakt en gebruikt, is hierin overigens niet zichtbaar. In figuur 4.9.10 en figuur 4.9.11 tonen de in de scenario's gebruikte ATR-vermogens en daarmee geproduceerde waterstof.



²⁴⁷ In werkelijkheid zal er een complexe samenhang ontstaan tussen de (verwachte) prijs van elektriciteit en de prijs van waterstof voor de aanschaf en inzet van een elektrolyser.

Figuur 4.9.11 Jaarlijkse productie ATR [TWh].

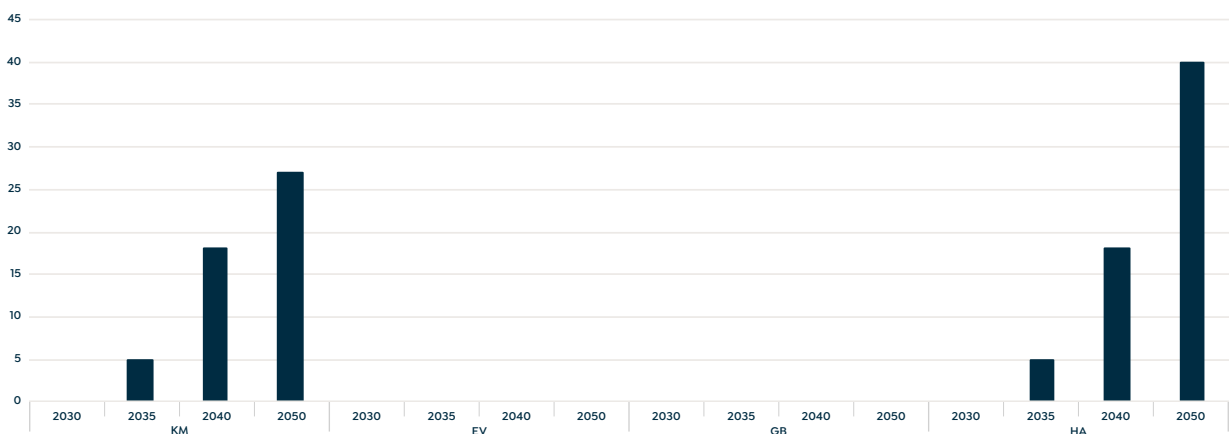


Een typische grootte van een ATR-fabriek is 600 tot 1000 MW, met een afgevangen CO₂-productie van 1,2 tot 2 Mton CO₂/jaar. Er zijn medio 2025 marktpartijen die plannen hebben voor het bouwen van een ATR. In de twee minimale scenario's (Eigen Vermogen en Horizon Aanvoer) is er maar één ATR fabriek in Nederland, terwijl er in het maximale Gezamenlijke Balans scenario in 2050 4 à 5 fabrieken zijn. Met een klein deel flexibiliteit in de productie, zo'n 10 procent, bedraagt de bedrijfstijd zo'n 7.600 uur. De maximaal afgevangen CO₂-productie van 8,5 Mton CO₂ per jaar past ruim binnen de Nederlandse plannen voor CO₂-leidingen en geologische opslag van de CO₂²⁴⁸.

Import van waterstof per pijpleiding

Met de Noorse leiding groeit conform gepubliceerde plannen²⁴⁹ het getransporteerde volume blauwe waterstof van 17 TWh/jaar in 2030 naar 133 TWh in 2050. Via een aftakking op de Noorse leiding naar Duitsland stroomt een groeiend aandeel van de waterstof ook naar Nederland. Dat aandeel start bij 10 procent en eindigt bij 20 procent in scenario Koersvaste Middenweg of zelfs 30 procent in scenario Horizon Aanvoer. De leiding en Nederlandse aftakking is naar verwachting pas na 2030 gereed. Deze leidingimport is baseload en bevat dus geen flexibiliteit.

Figuur 4.9.12 Import van waterstof per aftakking van Noorse pijpleiding.



²⁴⁸ Zie voor de opslagcapaciteit bijvoorbeeld de EBN/Gasunie studie "Transport en opslag van CO₂ in Nederland" (www.ebn.nl/wp-content/uploads/2018/07/Studie-Transport-en-opslag-van-CO2-in-Nederland-EBN-en-Gasunie.pdf). Voor CO₂-transport, zie bijvoorbeeld het Noordzeeloket over het Porthos en Aramis project (www.noordzeeloket.nl/publish/pages/225252/porthos-gaat-van-start-idonnieuwsbrief-44.pdf)

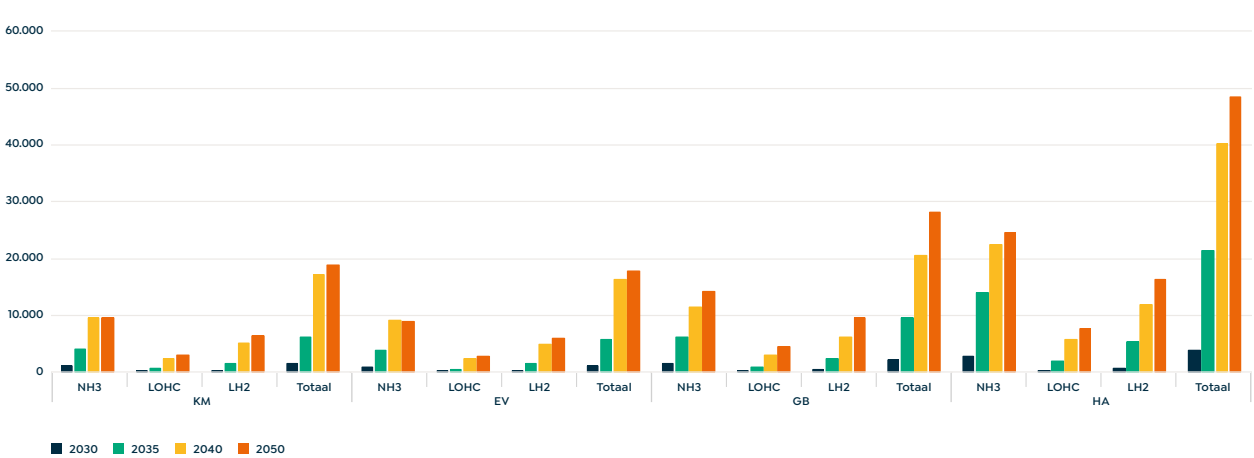
²⁴⁹ Gebruikte informatie over Noorse waterstofleiding - uploads-ssl.webflow.com/6186a098e8e0e4be3c4ce680/63eca2d7efede9dbd39ab46e_Ulrik%20Olbj%C3%B8rn%20-%20Offshore%20strategikonferanse.pdf en gassco.eu/wp-content/uploads/2023/11/GER-NOR-Joint-feasibility-study-report-Hydrogen-23.11.2023.pdf

Import van waterstof per schip

Figuur 4.9.13 toont de import per schip met de omzetting naar waterstof in de verschillende scenario's, in verschillende jaren en voor verschillende typen waterstofdragers. De huidige meest vergevorderde Nederlandse plannen voor de grootschalige import van waterstof gebruiken ammoniak (NH₃), vloeibare waterstof (Liquid Hydrogen: LH₂) en LOHC als waterstofdrager²⁵⁰. Bij de aankomst in de terminal

kunnen deze dragers weer omgezet worden in waterstof - reformatie²⁵¹ of ook kraken - maar ook rechtstreeks doorgevoerd worden naar een gebruiker. Die zet de dragers dan zelf om of gebruikt het direct als grondstof of brandstof. De omzetting naar waterstof heeft uiteindelijk gevolgen voor de waterstofinfrastructuur in Nederland. Het aandeel directe doorvoer kan nog 5 tot 25 procent boven de vermelde reformatiecapaciteiten liggen. In 2030 is dat zelfs 50 procent.

Figuur 4.9.13 Reforming capaciteit scheepsimport [MW].



In totaal bestaat er voor 26 GW aan marktplannen van commerciële partijen voor import per schip van waterstof in Nederland voor 2030, met circa 20 GW aan reformingcapaciteit. Voor 2030 passen de capaciteiten gekozen in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 ruim binnen deze marktplannen²⁵².

De gerealiseerde capaciteiten overstijgen meestal pas in 2050 de marktplannen²⁵³ die medio 2025 bekend zijn²⁵⁴. De ervaring leert ook dat lang niet alle marktplannen doorgaan, of wel doorgaan, maar pas later. Het aantal grote importterminals dat in 2050 nodig is, varieert tussen de vijf en dertien²⁵⁵.

²⁵⁰ Er bestaan ook andere marktplannen voor scheepsimport waarbij andere energie- of waterstofdragers of waterstof varianten worden verondersteld, zoals bijvoorbeeld natriumboorhydride, waterstof onder hoge druk, of ijzerpoeder. Voor de Liquid Organic Hydrogen Carrier bestaan er vele varianten, waarvan enkele al redelijk door marktpartijen uit ontwikkeld zijn, met ook concrete marktplannen.

²⁵¹ Strikt genomen is de omzetting van vloeibare naar gasvormig waterstof alleen een faseovergang, en niet een chemische omzetting (reformatie).

²⁵² Juist omdat de marktplannen en ambities veel groter zijn dan de gemaakte keuzes in alle scenario's, is waterstof import per schip ook gebruikt als de sluitpost aanbod om het waterstof systeem op jaarbasis te balanceren.

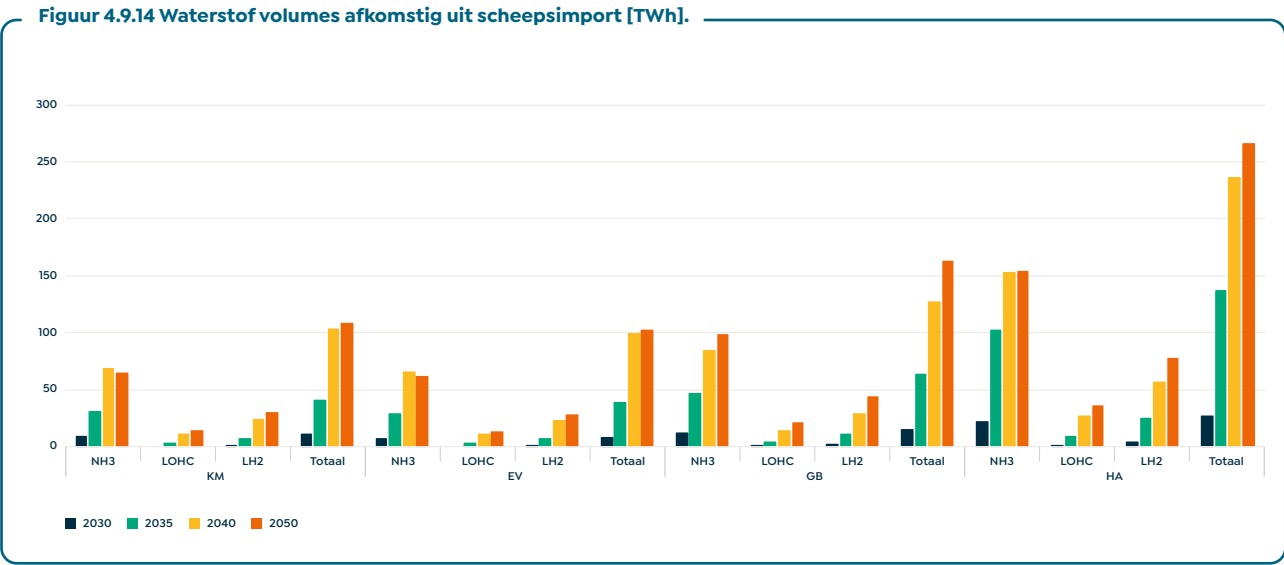
²⁵³ Het betreft 17 projecten van partijen zoals Evos, Zenith, SkyNRG, Masdar, Petronos, Hydrogeneous, Vopak, Gasunie, Advorio, VTTI, Essent, Eon, GES, Gunvor, Provaris, Koole terminals, Chiyoda, Mitsubishi, Horizont Energi, OCI, Air Products, Proton Ventures, Trammo, VARO, Vesta Terminals, Uniper, Hoegh LNG en Evolution Terminals in verschillende consortia en op verschillende locaties (Rotterdam, Amsterdam, Eemshaven, Vlissingen).

²⁵⁴ Niet elk importproject publiceert geplande import volumes, of aandeel wat zij willen reformen, in dat geval is een inschatting gemaakt op basis van vergelijkbare andere importprojecten in Nederland.

²⁵⁵ Een gemiddelde projectgrootte is 400 kton H₂/jaar (1500 MW), terwijl de huidige grootste projecten in Nederland 1 Mton H₂/jaar (3800 MW) doen.

Figuur 4.9.14 toont de uiteindelijk geproduceerde hoeveelheden waterstof in energietermen. Voor 2050 zijn ambities uitgesproken door de Nederlandse havens voor waterstofimport van zo'n 800 TWh²⁵⁶. De reformingvolumes in 2050 uit de scenario's passen ruim in deze ambities,

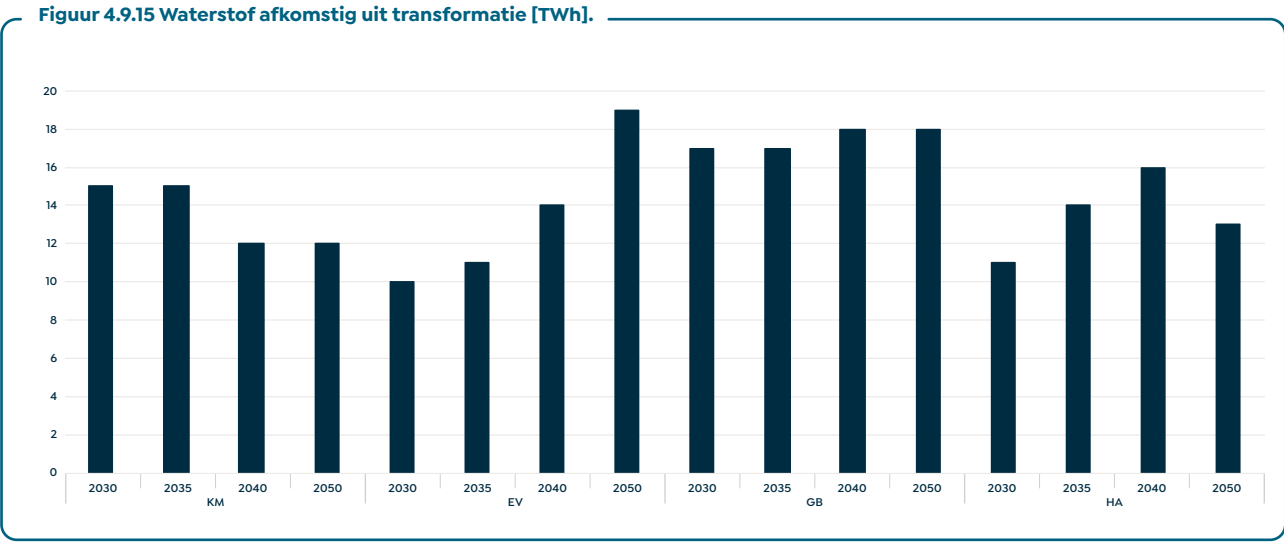
in het scenario Horizon Aanvoerwordt 266 TWh gereformeerd. De bedrijfstijden van deze importterminals variëren van 4700 tot 7800 uur. De lagere bedrijfstijden ontstaan als de importterminals ook productieflexibiliteit aanbieden voor balancering van het waterstofsysteem²⁵⁷.



Nota bene: exclusief de geïmporteerde dragers die niet geconverteerd worden naar waterstof, de ammoniak en LOHC, dat deels rechtstreeks gebruikt wordt of lokaal geconverteerd wordt.

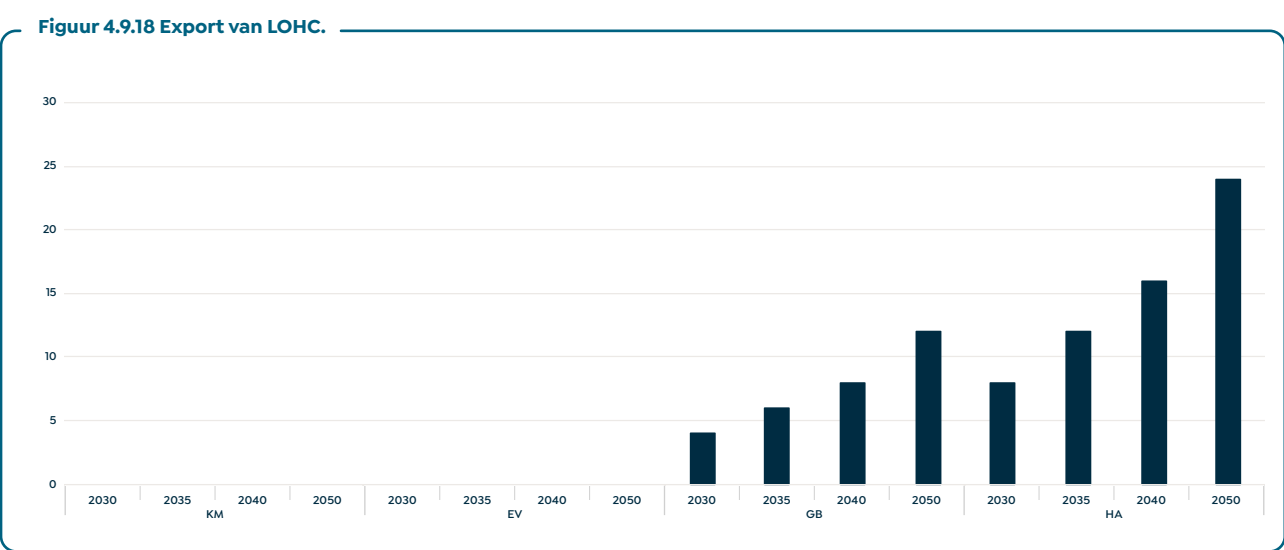
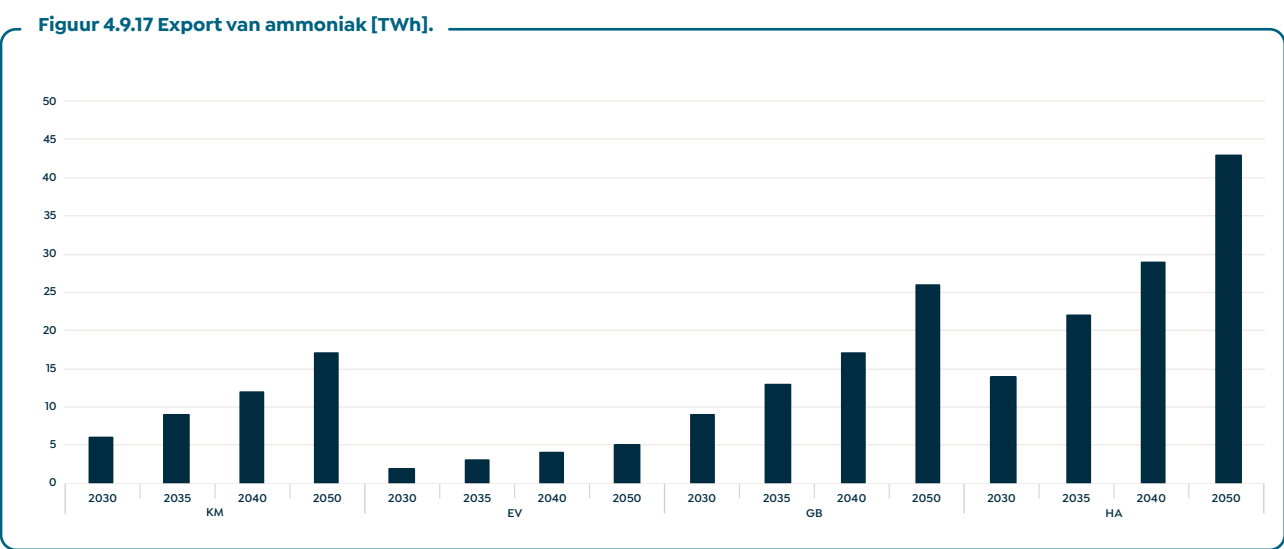
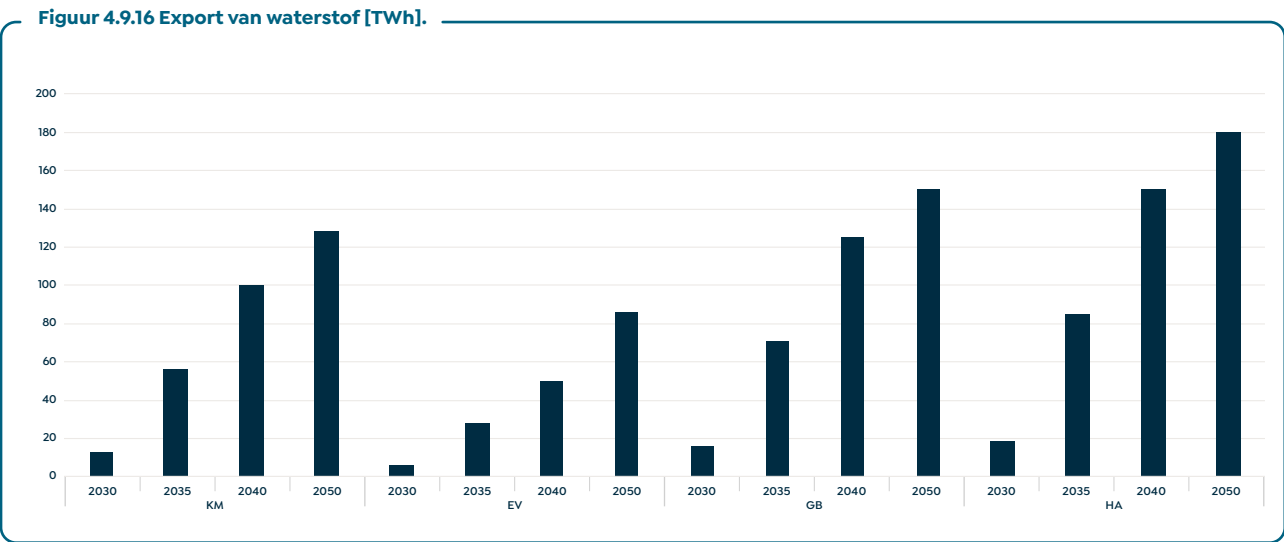
Overig waterstofaanbod – transformatie
De industrie is een voornamelijk gebruiker en ook producent van waterstof, met name in de chemie en raffinage. Een deel van deze waterstof wordt on-site geproduceerd. Maar in andere gevallen vindt de productie elders plaats. Ook is het mogelijk dat bepaalde partijen meer waterstof (gaan) produceren dan zij zelf nodig hebben. Overschotten

kunnen dan aan andere partijen geleverd worden. In deze gevallen spreken we van waterstof aanbod uit industrie transformatie. Figuur 4.9.15 toont de hier geproduceerde waterstofvolumes. De oorsprong van deze waterstof loopt uiteen. Dit betreft o.a. bestaande steam methane reformers, waterstofproductie uit restgassen, reststromen van chloorproductie en ook import.



Waterstof en waterstofdragers, export

Figuur 4.9.16, figuur 4.9.17 en figuur 4.9.18 tonen respectievelijk de baseload waterstof, ammoniak en LOHC export.



²⁵⁶ HyRegions studie 2024 – Rotterdam haven ambitie van 600 TWh in 2050 en Noordzeehaven ambitie van 67-200 TWh in 2050 – open.overheid.nl/documenten/71de0f0e-9195-4eac-ba05-8b6d428e36f3/file

²⁵⁷ Deels veronderstelt het Energie Transitie Model momenteel ook een vrij lage standaard bedrijfstijd voor de LOHC en LH2 terminals.

De toekomstige volumes van waterstofdragers en de snelheid waarmee deze volumes zich ontwikkelen, zijn nog onzeker en worden beïnvloed door verschillende factoren. Een belangrijke factor is de aanscherping van Europees beleid, zoals de herziening van de Renewable Energy Directive (RED). Daarnaast kunnen marktinitiatieven een grote invloed hebben op de benodigde transitstromen van waterstofdragers om de Europese Fit-for-55-doelstellingen te halen. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zijn mede gebaseerd op de verschillende varianten uit het onderzoek van Arcadis/Berenschot/TNO²⁵⁸.

In de scenario's wordt alleen rekening gehouden met de export van Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) en ammoniak (NH3). De onderkant van de bandbreedte gaat uit van minimale doelen voor Renewable Fuels of Non-Biological origin (RNFB0). De bovenkant van de bandbreedte is gebaseerd op marktinitiatieven en verwachtingen van havenbedrijven voor import- en exportstromen van waterstofdragers die nodig zijn om de Fit-for-55-doelstellingen te halen. De import van vloeibare waterstof (LH2) wordt alleen gebruikt binnen het Nederlandse energiesysteem.

4.9.4 Gebruik sectorale data nationale programma's, NAL, CES, NPRES, TVWs

Sectorale data van nationale programma's zijn niet gebruikt.

4.9.5 Transparantie gebruik sectordata in Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025

Medio 2025 kent de markt voor waterstof nog geen sectororganisaties. Daardoor wordt in de praktijk vooral gebruikgemaakt van projectplannen van marktpartijen, van studierapporten en van uitgesproken ambities. Dit geeft een mix van informatie over mogelijke volumestijdspaden en typen waterstofdragers.

Voor de import per schip van waterstofdragers is gebruikt gemaakt van de rapporten van HyRegions (2024) en Berenschot (2023)²⁵⁸. HyRegions geeft een beeld van de ambities van de Nederlandse havens, terwijl Berenschot ook enkele scenario's geeft voor import per type drager. Voor een overzicht van de bestaande marktplannen is marktinformatie gebruikt van Gasunie; alleen voor het uitsplitsen van percentages tussen de typen waterstofdragers. Deze marktplannen zijn als primaire basis

gebruikt voor de analyse, terwijl de HyRegions- en Berenschot-rapporten zijn gebruikt als een toets of de keuzes redelijk waren.

Voor de ontwikkeling van de productie van blauwe waterstof is gekeken naar de plannen van verschillende marktpartijen, zoals Equinor, H2Gateway en Onyx. Voor de import per leiding van waterstof uit Noorwegen is enige informatie beschikbaar in presentaties van Equinor. Voor projectinformatie is ook gekeken naar de waterstofkaart²⁵⁹ van missieH2 en TKI.

Voor de vermogens van de elektrolyzers voor de groene waterstof en waterstof uit de transformatie, is gebruik gemaakt van de keuzes van respectievelijk de taskforce elektriciteit en taskforce industrie (zie hoofdstuk 4.3).

Voor de waterstofexport is gebruik gemaakt van de ENTSG-data uit de meest recente TYNDP.

4.9.6 Afslagen

Voor waterstofaanbod zijn er geen sectorale bronnen beschikbaar.

4.9.7 Regionalisering

Voor een goede regionalisering van het aanbod is er nog te veel onduidelijkheid: waar en in welke omvang worden projecten gerealiseerd? De projecten verkeren meestal nog in de planfase en het aantal projecten overschrijdt de behoefte aan waterstof soms ruim. Verder is er de eerste jaren voldoende transportcapaciteit op locaties waar het HNS-netwerk beschikbaar is.

De projecten voor import van waterstof per schip vinden plaats in verschillende Nederlandse havens. Het HNS-netwerk is daar beschikbaar. De Noorse waterstofleiding krijgt mogelijk een aftakking op het offshore waterstofnetwerk. De blauwe waterstofprojecten moeten bij de keuze van hun locatie goed rekeningen houden met de beschikbaarheid van aardgasinfrastructuur, waterstofinfrastructuur en CO₂-infrastructuur, en mogelijk ook elektriciteitsinfrastructuur.

Voor het lokale aanbod van waterstof uit de onshore elektrolyse moet rekening gehouden worden met de beschikbaarheid van infrastructuur voor waterstof en elektriciteit. Voor de offshore elektrolyse geldt dit uiteraard ook.

4.9.8 Vergelijking met IP2024, II3050v2, KEV2024 en NPE

Vergelijking IP2026 met IP2024 en II3050v2

Algemeen

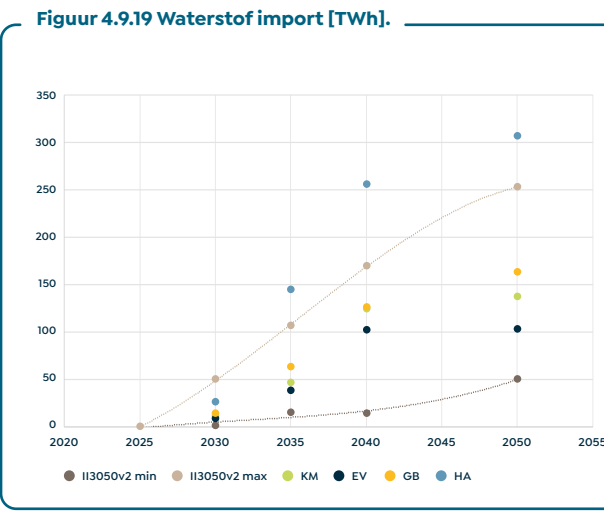
Deze subsectie geeft een korte beschouwing van de belangrijkste verschillen tussen de huidige scenario's en de voorgangers, IP 2024 en II3050v2. Daarnaast is er een vergelijking gemaakt met de KEV en het NPE.

Elektrolyzers

Meer informatie over de vergelijking van de elektrolyzers vanuit het IP2024 en II3050v2, zie hoofdstuk 4.7 Flexibiliteit.

Import van waterstof

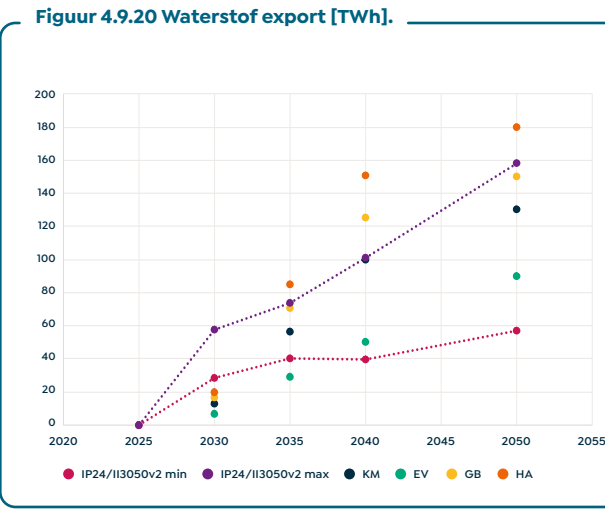
Figuur 4.9.19 toont de importvolumes van waterstof van IP2024 en II3050v2. In vergelijking met de importcapaciteiten van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is er een heel stevige groei van de importvolumes. Het middelhoge Gezamenlijk Balans scenario is vergelijkbaar met hoge scenario's in II3050v2 pagina 202. Nederland gaat o.a. een grotere rol spelen in het doorvoeren van waterstof op de lange termijn. Op de korte termijn valt het volume binnen de bandbreedte van de II3050v2-scenario's .



Waterstof exportvolumes

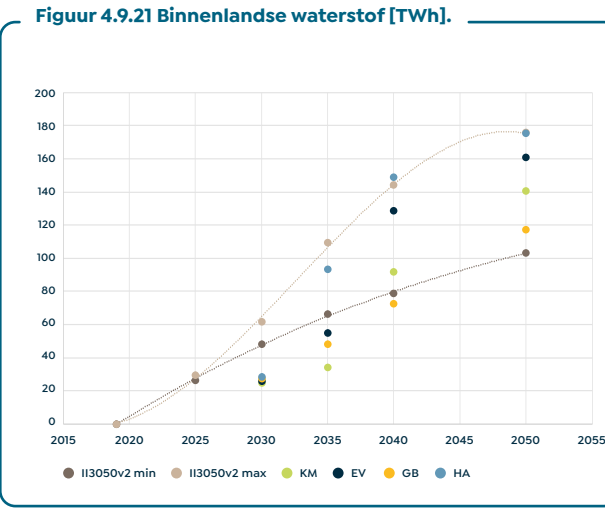
Figuur 4.9.20 toont de waterstofexportvolumes uit IP2024/II3050v2. In het IP2026 begint de export op een flink lager niveau in 2030. In 2035 ligt het op ongeveer hetzelfde niveau,

maar groeit het wel naar hogere waarden in 2050. Wegens de hogere kosten van de waterstof productie duurt het langer om de waterstofmarkt op gang te brengen. Hierdoor blijven de importwaardes eerst achter, om vervolgens in te lopen. In het IP2026 zijn ook voor het eerst ammoniak- en LOHC-exportvolumes opgenomen. Die waren er nog niet in het IP2024.



Binnenlandse vraag naar waterstof

De onderstaande grafiek toont het verschil tussen de binnenlandse vraag naar waterstof in IP2024/II3050v2 en IP2026. Ook hier start de waterstofvraag in in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 op een lager niveau, en groeit uiteindelijk naar waarden die vergelijkbaar zijn met die van II3050v2.



²⁵⁸ Toekomstige waterstof import scenario's – TNO/Arcadis/Berenschot – 2023 – Omgevingsveiligheid van toekomstige stromen waterstofrijke energiedragers – open.overheid.nl/documenten/ronl-f0ff37150906d4c007ba3575d659c800d2679b8b/pdf

²⁵⁹ waterstofkaart.missieh2.nl/nl

Vergelijking met KEV2024 en NPE

Ter ondersteuning van dit rapport met Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 wordt er een vergelijking worden gemaakt tussen de verschillende scenario's van de netbeheerders en uitkomsten van de KEV2024 en het NPE. Doel is om de verschillen in uitkomsten te verklaren, aan de hand van de gekozen methodiek bij de onderzoeken. Ook wordt het uitgangspunt van de onderzoeken vergeleken met de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025.

KEV2024

De KEV heeft als doel het effect van de huidige beleidsmaatregelen door te rekenen. Het doel van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is een energiesysteem te modelleren dat voldoet aan de klimaatdoelen van Nederland. Uit de KEV24 bleek dat de huidige beleidsmaatregelen waarschijnlijk deze klimaatdoelen niet halen.

De KEV stelt dat de verwachtingen over het gebruik van groene waterstof in 2030 naar beneden zijn bijgesteld, naar aanleiding van huidig beleid. De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 gaan ervan uit dat de klimaatdoelstellingen gehaald worden, waardoor deze bijstelling daarvoor niet van toepassing is. Over het algemeen is daarom te verwachten dat de waterstofgetallen in deze Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 hoger zijn dan in de KEV24. Zo wordt in de KEV duidelijk gesteld dat de normen voor waterstof uit de REDIII niet gehaald worden. In de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025' worden deze normen wel gehaald. De rapporten hebben duidelijk een ander uitgangspunt. De KEV probeert de resultaten van huidig beleid door te rekenen, terwijl de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zich richten op het modelleren van een energiesysteem dat kan voldoen aan het klimaatakkoord.

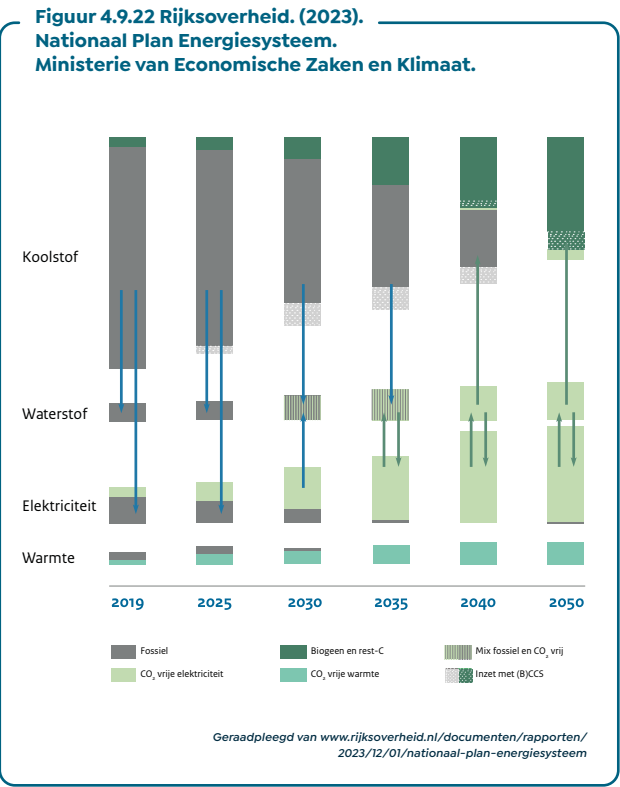
NPE

Het NPE ligt qua doel dicht bij de Scenario's Editie 2025 dan de KEV24. Het NPE wil net als de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 een energiesysteem van de toekomst schetsen, dat nodig is om de klimaatdoelen te halen. Net als de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 schetst het NPE een energiesysteem tot 2050. Hieronder volgt een uitwerking van de verschillen en overeenkomsten tussen het NPE-rapport en studies die gehanteerd zijn voor scenariovorming door Netbeheer Nederland.

Het NPE noemt waterstof een cruciale energiedrager. Deze energiedrager kan ter vervanging van aardgas in processen

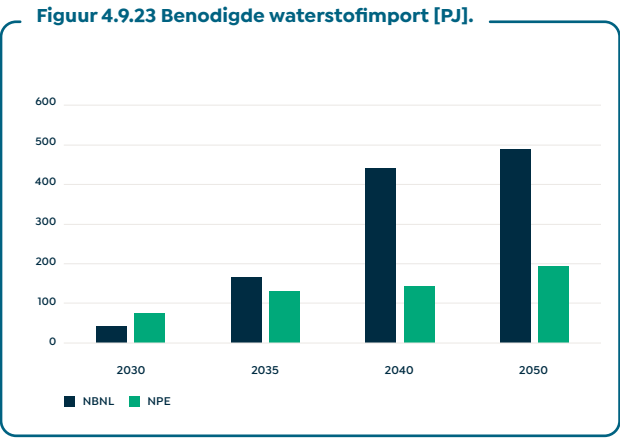
voor hoge temperatuur processen dienen en als cruciale speler in het balanceren van de elektriciteitsmarkt. Net als de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 ziet het NPE een rol voor groene en blauwe waterstof in de energietransitie. De voornaamste toepassingen van deze waterstof worden: inzet in de industrie en mobiliteit, opslag voor een flexibel energiesysteem en gebruik in centrales. Het NPE en de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 beschrijven een rol voor zowel een sterke binnenlandse productieketen voor waterstof, als voor een ontwikkelde import- en exportketen. Tussen de scenario's van de netbeheerders varieert de verhouding van eigen productie en import.

De rol van waterstof groeit door de jaren heen en waterstof vervangt steeds meer fossiele bronnen. Het NPE toont in figuur 4.9.22 de verschuiving van grijze naar groene waterstof en de groeiende rol van waterstof in het energiesysteem richting 2050.



Het NPE eindigt zijn rapport met een kwantificatie van de verwachte hoeveelheid gebruikte waterstof in PJ (zie figuur 4.9.24).

De importcijfers in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 significant hoger dan de cijfers in het NPE.



Het grote verschil tussen de cijfers komt uit een verschil in definitie tussen het NPE en de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025. De nieuwe scenario's gaan uit van

import voor zowel eindverbruik als voor export. In veel van de genoemde jaren is een groot deel van de import bedoeld voor directe doorvoer naar het achterland. Het NPE lijkt geen rekening te houden met exportstromen. Het verschil in vraag vanuit verschillende sectoren heeft ook invloed op de importcijfers. De vraag vanuit bijvoorbeeld elektriciteitscentrales lijkt hoger te zijn in de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 dan in het NPE. Dit zorgt voor een grotere importvraag in deze studie.

Een ander fundamenteel verschil: de scenariogetallen van de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zijn ingestoken vanuit een infrastructuurperspectief. Waterstof die on site wordt geproduceerd en gebruikt, wordt daarom niet opgenomen in de eindcijfers. Dit kan bijvoorbeeld invloed hebben op de productie van waterstof uit aardgas.

Figuur 4.9.24 Rijksoverheid. (2023). Nationaal Plan Energiesysteem. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Bronnen voor en inzet van waterstof (PJ)					
Bronnen voor waterstof	204	316	471	605	974
Productie uit aardgas	80	100	100	100	0
Restgassen industrie	95	84	78	75	60
Elektrolyse	0	58	162	288	720
Benodigde import	29	74	131	142	194
Inzet als eindgebruik	82	165	186	229	387
Gebouwde omgeving	0	0	0	13	37
Industrie	82	165	181	196	205
Transport (nationaal)	0	0	5	10	23
Transport (internationaal)	0	0	0	8	119
Landbouw	0	0	0	3	3
Inzet in andere ketens en verliezen	122	151	285	375	587
Inzet voor elektriciteit, koolstofdragers en warmtelevering	93	97	189	227	282
Verliezen in keten	4	4	5	7	10
Omzettingsverlies	25	50	91	141	295

Geraadpleegd van www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/01/nationaal-plan-energiesysteem

4.10 Warmtenetten

4.10.1 Samenvatting

Dit hoofdstuk beschrijft eerst de *levering* van warmte aan de gebouwde omgeving en de landbouw via hoge temperatuur-, midden temperatuur- en lage temperatuur-warmtenetten (afgekort tot HT-, MT- en LT-warmtenetten). Hoofdstuk 3.10.1 respectievelijk 3.10.5 beschrijft vervolgens de *warmtevraag* vanuit de gebouwde omgeving en vanuit de landbouw.

In 2023 werd via warmtenetten 20,5 PJ (5 TWh) aan warmte geleverd. De Rijksoverheid wil dat de rol van warmtenetten gaat toenemen, maar financieel-economische en regu-la-toire strubbelingen remmen tijdelijk de groei en maken toekomstige ontwikkelingen onzeker. Toch mag voor 2030 en 2050 een verdere groei in warmtenetten verwacht worden, naar minstens 23 TWh in het scenario Horizon Aanvoer tot wel 64 TWh in het scenario Eigen Vermogen.

Warmtenetten zullen ook verder verduurzamen. De rol van aftapwarmte uit fossiel gestookte centrales zal na 2030 snel afnemen, en na 2040 zal de opkomst van de circulaire economie ook warmte uit afvalverbranding laten dalen. HT-warmtenetten verdwijnen en aquathermie gaat, in combinatie met een elektrische warmtepomp, in toenemende mate een rol spelen als warmtebron voor MT- en LT-warmtenetten. Dat wordt mogelijk gemaakt door de voortschrijdende isolatie van woningen. Samen met elektrische boilers en warmtepompen leveren

elektriciteitgebaseerde bronnen in 2050 in het scenario Eigen Vermogen 35 TWh aan warmte. Geothermie speelt in het scenario Koersvaste Middenweg een belangrijke rol en voorziet met 20 TWh in 45 procent van de warmtevraag. Restwarmte zal tot maximaal 8 TWh in 2050 groeien.

Op dit moment voorzien gasketels in warmte voor de midden- en pieklast. Die rol zal steeds meer worden over-genomen door biomassaketels, waarbij resterende gasketels op groen gas draaien. In het scenario Horizon Aanvoer wordt ook beperkt van piekgasketels gebruik gemaakt. Vanaf ongeveer 2030 wordt seizoensopslag toenemend relevant in de scenario's Eigen Vermogen en Koersvaste Middenweg, met opslagvolumes tot 2,6 GWh in 2050.

4.10.2 Verhaallijnen en trends in de sector

4.10.2.1 Introductie

In hoofdstuk 2 is de verhaallijn voor de scenario's Eigen Vermogen, Koersvaste Middenweg, Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer beschreven. Paragraaf 4.10.2.2 zoomt verder in op de betekenis hiervan voor de warmtenetten: in welke scenario's spelen warmtenetten een belangrijke rol in de warmtevoorziening, waar is de rol van een warmtenet eerder bescheiden en wat betekenen de verhaallijnen voor de rol van de diverse warmtebronnen? Paragraaf 4.10.2.3 zet de verwachte ontwikkeling van warmtenetten uiteen, paragraaf 4.10.2.4 gaat wordt nader in op de bronnenmix en paragraaf 4.10.2.5 behandelt tenslotte de verwachte ontwikkeling van warmteopslag.

4.10.2.2 Verhaallijnen voor de warmtenetten

De verhaallijnen zoals beschreven in hoofdstuk 2 betekenen het volgende voor de warmtenetten:

Tabel 4.10.1 Detaillering verhaallijnen voor warmtenetten.

	Koersvaste middenweg	Eigen vermogen	Gezamenlijke balans	Horizon aanvoer
Warmtevraag warmtenetten				
Warmte vraag gebouwde omgeving	♦♦♦	♦♦♦♦♦	♦♦♦	♦
Warmtevraag landbouw	♦♦♦	♦	♦♦♦♦♦	♦
Warmteaanbod warmtenetten				
Elektrisch (e-boiler/power-to-heat/aquathermie)	♦♦♦	♦♦♦♦	♦♦	♦♦
Basislast geothermie	♦♦♦♦	♦♦	♦	♦♦♦♦
Basislast restwarmte	♦	♦♦	♦♦♦♦♦	♦
Middenlast biomassa/afval (WKK/ketel)	♦♦	♦♦	♦♦♦	♦♦
Pieklast waterstof (WKK/ketel)				♦♦♦
Pieklast (groen) gas (WKK/ketel)	♦	♦	♦♦	♦
Warmteopslag	♦♦♦	♦♦♦♦	♦	♦

Scenario Eigen Vermogen

In het scenario Eigen Vermogen richt de overheid zich primair op grootschalige wind-op-zee- en wind-op-land-projecten, worden er veel zonnevelden-op-land gerealiseerd, en levert kernenergie een basis elektriciteitsproductie. Er is dus veel elektriciteit beschikbaar. In de gebouwde omgeving worden waar mogelijk grootschalige warmte-netten gestimuleerd, die grotendeels worden gevoed door warmtepompen en e-boilers op basis van grootschalig beschikbare elektriciteit. Door de hoge elektrificatie in de industrie is er minder restwarmte beschikbaar. De landbouw volgt eveneens voornamelijk de elektrificatieroute in combinatie met warmtenetten.

Eigen Vermogen is het scenario met de hoogste warmte-vraag, met een belangrijke rol voor elektriciteitgebaseerde bronnen zoals aquathermie, e-boilers en warmtepompen. De hoge warmtevraag gaat gepaard met eveneens een hoge behoefte aan warmteopslag. Door een versneld proces voor vergunningen en besluitvorming plus de maatschappelijke bereidheid om centrale keuzes te accepteren, worden veelvuldig seizoensopslagen gebouwd. Daarbij moeten wel nog de nodige barrières worden overwonnen, wat voor realisatie vóór 2030 een behoorlijke uitdaging is. Gezien de grote rol van warmtenetten en

innovatieslagkracht in het scenario Eigen vermogen is in dit scenario voor 2030 desondanks een (beperkte) rol voor seizoensopslag in 2030 aangenomen.

Scenario Gezamenlijke Balans

In het scenario Gezamenlijke Balans blijft onafhankelijkheid belangrijk, maar maakt de regering minder ruimte voor grootschalige projecten. Voor de warmtenetten in de gebouwde omgeving betekent dit dat ze weliswaar relevant zijn, maar met mate vanwege de reserve rondom grootschalige projecten. In de landbouw blijven warmte-netten belangrijk, met name op plekken waar warmte goedkoop kan worden aangevoerd uit bijvoorbeeld restwarmte. Elektriciteitgebaseerde bronnen zoals e-boilers worden alleen daar geplaatst waar geen alternatieven voorhanden zijn, en de piekvoorziening wordt niet-elektrisch opgelost.

Gezamenlijke Balans is een scenario waarin de vraag naar warmte uit warmtenetten ongeveer de helft is van de vraag in het scenario Eigen Vermogen. Restwarmte is in dit scenario relatief belangrijk als warmtebron. Door een beperkte rol voor warmtenetten en beperkte ruimte voor grootschalige projecten komt seizoensopslag slechts mondjesmaat van de grond.

Scenario Horizon Aanvoer

In het scenario Horizon Aanvoer neemt het draagvlak in de samenleving voor de energietransitie af en wordt de maatschappij individualistischer. De overheid durft geen centrale keuzes meer te maken waardoor grootschalige projecten lastig uitvoerbaar zijn. De industriële sector krimpt en duurzame brandstoffen, met name waterstof, worden hoofdzakelijk in het buitenland geproduceerd en vervolgens geïmporteerd. Door een gebrek aan grootschalige projecten en beperkte hoeveelheden restwarmte door industriële krimp, komen warmtenetten lastig van de grond. Waar toch warmtenetten worden aangelegd, speelt geothermie een belangrijke rol. Ook wordt er beperkt waterstof voor pieklast ingezet.

Horizon Aanvoer is het scenario met de laagste vraag naar warmte uit warmtenetten. Geothermie is relatief belangrijk als warmtebron, al blijft de hoeveelheid geothermie beperkt als gevolg van de lage vraag naar warmte uit warmtenetten. Door een beperkte rol voor warmtenetten en beperkte ruimte voor grootschalige projecten, komt seizoensopslag slechts mondjesmaat van de grond.

Scenario Koersvaste Middenweg

Het scenario Koersvaste Middenweg omschrijft in principe een meer gemiddeld beeld ten opzichte van de andere scenario's en is gebaseerd op het Nationaal Plan Energie (NPE)²⁶⁰. Daarbij geeft het NPE voor warmtenetten slecht beperkt houvast. In de NBNL scenario's 2025 is het scenario Koersvaste Middenweg het scenario met een vooraanstaande rol voor geothermie. In combinatie met de relatief hoge warmtevraag in dit scenario leidt dit tot volumes die aansluiten bij de hoge potentie van geothermie.

Koersvaste Middenweg veronderstelt een warmtevraag uit warmtenetten die lager is dan in het scenario Eigen Vermogen, maar hoger dan in het scenario Gezamenlijke Balans. Dat past prima in de verhaallijn bij dit scenario dat de overheid structurerende keuzes maakt, die in het belang zijn van de energietransitie en waarbij grootschalige energieprojecten ontwikkeld kunnen worden. Daarbij wil Nederland niet te afhankelijk zijn van andere landen en uitdrukkelijk ook gebruik maken van eigen energiebronnen.

Gegeven de relatief hoge vraag naar warmte uit warmtenetten en de relatief belangrijke rol van geothermie als basislast bron, is er in dit scenario na 2030 een rol weggelegd voor relatief veel seizoensopslag.

Temperatuur van warmtenetten

Door de voortschrijdende isolatie van woningen wordt het mogelijk om over te gaan naar LT- warmtenetten. Alle scenario's gaan uit van MT-warmtenetten in de bestaande bouw, inclusief utiliteitsbouw. Nieuwbouwwoningen in 2025 en 2030 zitten eveneens op een MT-warmtenet. Daarna doen in de scenario's met een hoge vraag, Eigen Vermogen en Koersvaste Middenweg, ook LT-warmtenetten hun intrede. In het Koersvaste Middenweg-scenario zitten nieuwbouwwoningen vanaf 2035 voor 25 procent op LT-warmtenetten en voor het overige aandeel op MT-warmtenetten. Voor het Eigen Vermogen-scenario is er sprake van een groeipad: in 2035 is de verhouding 50/50 en vanaf 2040 zit 75 procent op LT-warmtenetten.

HT-netten = 90°C MT-netten = 65°C LT-netten = 40°C

4.10.2.3 Trends in warmtenetten

In 2023 werd via warmtenetten 20,5 PJ (5 TWh) aan warmte geleverd²⁶¹. Dit is een daling ten opzichte van voorgaande jaren (22,1 PJ in 2022 en 26,4 PJ in 2021), als gevolg van een warmere winter, hoge energiekosten en energiebesparing bij gebruikers. De Rijksoverheid streeft naar een stijging van het aantal bestaande woningen dat is aangesloten op een warmtenet en naar de aanleg van nieuwe warmtenetten, waarvoor forse subsidies beschikbaar zijn²⁶². Ondanks deze subsidies is volgens PBL de doelstelling uit zicht²⁶³ om in 2030 500.000 extra aansluitingen in de bestaande bouw te realiseren. Een belangrijke reden hiervoor is de nieuwe wetgeving voor warmtenetten, de Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw), die verplicht dat publieke partijen een meerderheidsaandeel in de warmtenetten hebben. Daardoor wordt de aanleg van een warmtenet voor private warmtebedrijven minder aantrekkelijk. Ook de hoge aanlegkosten zijn een oorzaak voor het stilleggen van verschillende grote warmtenetprojecten. Voor 2030 wordt dan ook niet meer dan een beperkte stijging van de warmtelevering via warmtenetten verwacht.

De huidige warmtenetten zijn voornamelijk HT-netten, maar de voortschrijdende isolatie van woningen maakt een spoedige overgang mogelijk naar warmtenetten voor lagere temperatuur. In bestaande bouw gaan MT-warmtenetten de boventoon voeren. In nieuwbouwwoningen worden op de wat langere termijn ook LT-warmtenetten mogelijk. In de NBNL scenario's 2025 is ter vereenvoudiging verondersteld dat de overgang naar MT-warmtenetten al in 2025 is gerealiseerd, al zal de werkelijkheid waarschijnlijk genuanceerder zijn.

4.10.2.4 Trends in warmtebronnen voor warmtenetten

De huidige warmtebronnen zijn grotendeels fossiel van aard: aftapwarmte²⁶⁴, warmte uit afvalverbranding, overige restwarmte, Warmtekrachtkoppelingen (WKK's) en ketels voorzien in 21 PJ van de in totaal 29 PJ aan warmte voor warmtenetten in 2022²⁶⁵. De rol van aftapwarmte uit fossiel gestookte centrales zal na 2030 snel afnemen, doordat deze centrales worden gesloten. In plaats van aftapwarmte gaat aquathermie, in combinatie met een elektrische warmtepomp, in toenemende mate een rol spelen als warmtebron voor warmtenetten. Dit gaat gepaard met een verschuiving van HT-warmtenetten naar MT-warmtenetten in de bestaande bouw.

Naast aquathermie zijn geothermie en industriële restwarmte na 2030 belangrijke warmtebronnen die continu beschikbaar zijn. Op dit moment wordt in Nederland slechts zeer beperkt gebruik gemaakt van geothermie voor warmtenetten. Alleen Eneco vermeldt geothermie als warmtebron voor 0,5 procent van zijn warmtenetten²⁶⁶. Industriële restwarmte speelt al een wat grotere rol: in 2022 kwam circa 7 PJ (4,5 TWh) van de warmte voor warmtenetten uit industriële restwarmte²⁷³, hoofdzakelijk uit afvalverbranding. Zowel geothermie als restwarmte hebben een aanzienlijk groeipotentieel. In paragraaf 4.10.3.4 en 4.10.3.6 wordt dit verder toegelicht. Doordat de huidige strubbelingen de ontwikkeling van warmtenetten vertragen, neemt ook de onzekerheid toe over de verdere ontwikkeling van deze warmtebronnen.

Na 2040 krijgt de circulaire economie gestalte en neemt ook de warmte uit afvalverbranding duidelijk af. Duurzame warmtebronnen zoals geothermie, aquathermie, en industriële restwarmte vormen in 2050 de belangrijkste potentiële basislastbronnen voor de warmtenetten. Naast bovengenoemde continu beschikbare warmtebronnen kan ook elektriciteit worden gebruikt om warmte te produceren. Dit kan door middel van elektrische boilers of warmtepompen en wordt power-to-heat genoemd. Power-to-heat is een flexibele vraagtechnologie. Dat betekent dat gericht warmte geproduceerd kan worden, bijvoorbeeld wanneer de waarde van de geproduceerde warmte hoger is dan variabele productiekosten plus de (uurlijkse) elektriciteitsprijs, ook wel *willingness to pay* genoemd. Al kunnen er natuurlijk ook andere

(operationele of contractuele) redenen zijn om onafhankelijk van de elektriciteitsprijs warmte te produceren. Paragraaf 4.10.3.7 licht de inzet van power-to-heat nader toe.

Voor midden- en pieklast wordt momenteel voornamelijk aardgas gebruikt. In 2050 zijn deze aardgasketels grotendeels vervangen door duurzame alternatieven. Potentiële duurzame bronnen zijn biomassaketels, groengasketels en waterstofketels.

4.10.2.5 Trends in warmteopslag

Warmteopslag zal naar verwachting in toenemende mate een rol spelen bij warmtenetten. Warmteopslag omvat een breed spectrum aan technieken. Grofweg kan een tweedeling worden gemaakt aan de hand van de termijn waarop warmte kan worden opgeslagen:

- Seizoensopslag van warmte vanwege de vraag naar ruimteverwarming in de winter of koeling in de zomer.
- Kortetermijnopslag van elektriciteit of zonnewarmte als warmte, om pieken in de productie op te vangen en in te zetten op het moment dat er wel vraag is naar warmte of koude.

Een belangrijke techniek voor seizoensopslag betreft warmteopslag in ondergrondse open waterlagen (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES). Technieken voor warmteopslag op kortere termijn zijn dagopslag in bovengrondse tanks (Tank Thermal Energy Storage, TTES) en week- tot maandopslag in ondergrondse geïsoleerde putten (Pit Thermal Energy Storage, PTES). Het Technology Readiness Level²⁶⁷ (TRL) van Tank Thermal Energy Storage is 9-II ('opschalen en implementatie'), van Aquifer Thermal Energy Storage en Pit Thermal Energy Storage 7-8²⁶⁸ ('demonstreren'). Tank Thermal Energy Storage wordt nu al kleinschalig toegepast in combinatie met boilers en WKK's. Voor Pit Thermal Energy Storage en Aquifer Thermal Energy Storage is opschaling rond 2030-2035 mogelijk, maar daarbij moeten nog wel de nodige economische en juridische barrières én maatschappelijke weerstand worden overwonnen. Tenslotte zijn er technieken met een lager Technology Readiness Level, zoals Faseovergang (PCM), vaste stoffen en Thermochemische materialen (TCM)²⁶⁸. Deze zijn niet meegenomen in het bepalen van de potentie van warmteopslag, vanwege de nog experimentele toepassingen.

²⁶⁰ Nationaal Plan Energiesysteem, zie open.overheid.nl/documenten/2f5cbb52-0631-4aad-b3dd-5088fab859c5/file
²⁶¹ Bron: RVO Duurzaamheidsrapportage, zie www.rvo.nl/sites/default/files/2024-11/Rapport-Duurzaamheid-warmtelevering-2023-Versie-2.pdf
²⁶² Voor de aanleg van warmtenetten in de bestaande bouw is vanaf 2023 1,5 miljard euro beschikbaar via de Warmtenetten Investeringsubsidie (WIS). Via het Nationaal Groeifondsvoorstel NieuweWarmteNul is een budget van 200 miljoen euro beschikbaar om circa 30.000 bestaande woningen op een warmtenet aan te sluiten.
²⁶³ Klimaat- en Energieverkenning 2024, PBL, 2024, zie www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2024

²⁶⁴ Aftapwarmte is warmte van centrales die stroom opwekken met behulp van stoomturbines.
²⁶⁵ Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen, KGG, augustus 2024, zie open.overheid.nl/documenten/a914319d-a57a-4680-a69f-ae762a386bc4/file. Merk op dat 29 PJ het totaal aan in het net ingevoerde warmte is. Na aftrek van transportverliezen wordt 22,1 PJ aan de eindgebruiker geleverd.
²⁶⁶ Bron: Warmte-etiketten 2023 van de drie grootste warmteproducten Eneco, Vattenfall en Ennatuurlijk. Zie www.eneco.nl/warmte-etiket, www.vattenfall.nl/stadsverwarming/warmte-etiket, ennatuurlijk.nl/thuis/warmte-en-koude/warmte-etiket-ennatuurlijk
²⁶⁷ Voor een uitleg van TRL, zie: aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050
²⁶⁸ Routekaart Energieopslag, EZK, Voorjaar 2023, zie open.overheid.nl/documenten/7f9ca5c1-3f1-4efc-9b0d-1ffa36aa59ed/file
²⁶⁹ Zie: topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/grootschalige-en-compacte-warmteopslag voor Technieken met ene lager TRL.

4.10.3 Nationale kwantificatie

4.10.3.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de algemene trends en verhaallijnen uit paragraaf 3.10.2 gekwantificeerd.

4.10.3.2 Vraag naar warmte via warmtenetten

De vraag naar warmte via warmtenetten in de gebouwde omgeving en de landbouw wordt verder toegelicht in hoofdstuk 4.1. en hoofdstuk 4.5. Samengevat leidt dit tot de vraag naar warmte zoals weergegeven in figuur 4.10.1.

De figuur laat zien dat de grootste vraag komt van huishoudens en dat wordt verreweg de meeste warmte wordt geleverd via MT-netten.

In het Eigen Vermogen-scenario wordt in 2050 uitgegaan van het gebruik van Direct Air Capture. Deze technologie heeft, naast een elektriciteitsvraag, ook een vraag naar

Direct Air Capture (DAC) is een technologie om CO₂ direct uit de lucht te halen. De CO₂ kan definitief worden opgeslagen of als duurzame CO₂ worden gebruikt in diverse toepassingen. Voor DAC is veel energie nodig. Momenteel is DAC daarom nog erg kostbaar.

hogetemperatuurwarmte. De hiervoor benodigde energie wordt mede geleverd via HT-warmtenetten.

Tot slot is in figuur 4.10.1 ook rekening gehouden met transport, distributie en opslagverliezen. In alle scenario's is voor transport en distributieverliezen²⁷⁰ een percentage van 15 procent van de afgeleverde warmte gehanteerd. Opslagverliezen zijn per scenario verschillend, met een neiging tot overschatting van de werkelijkheid (zie paragraaf 3.10.3.7 voor details).

4.10.3.3 Overzicht kwantificatie warmtebronnen

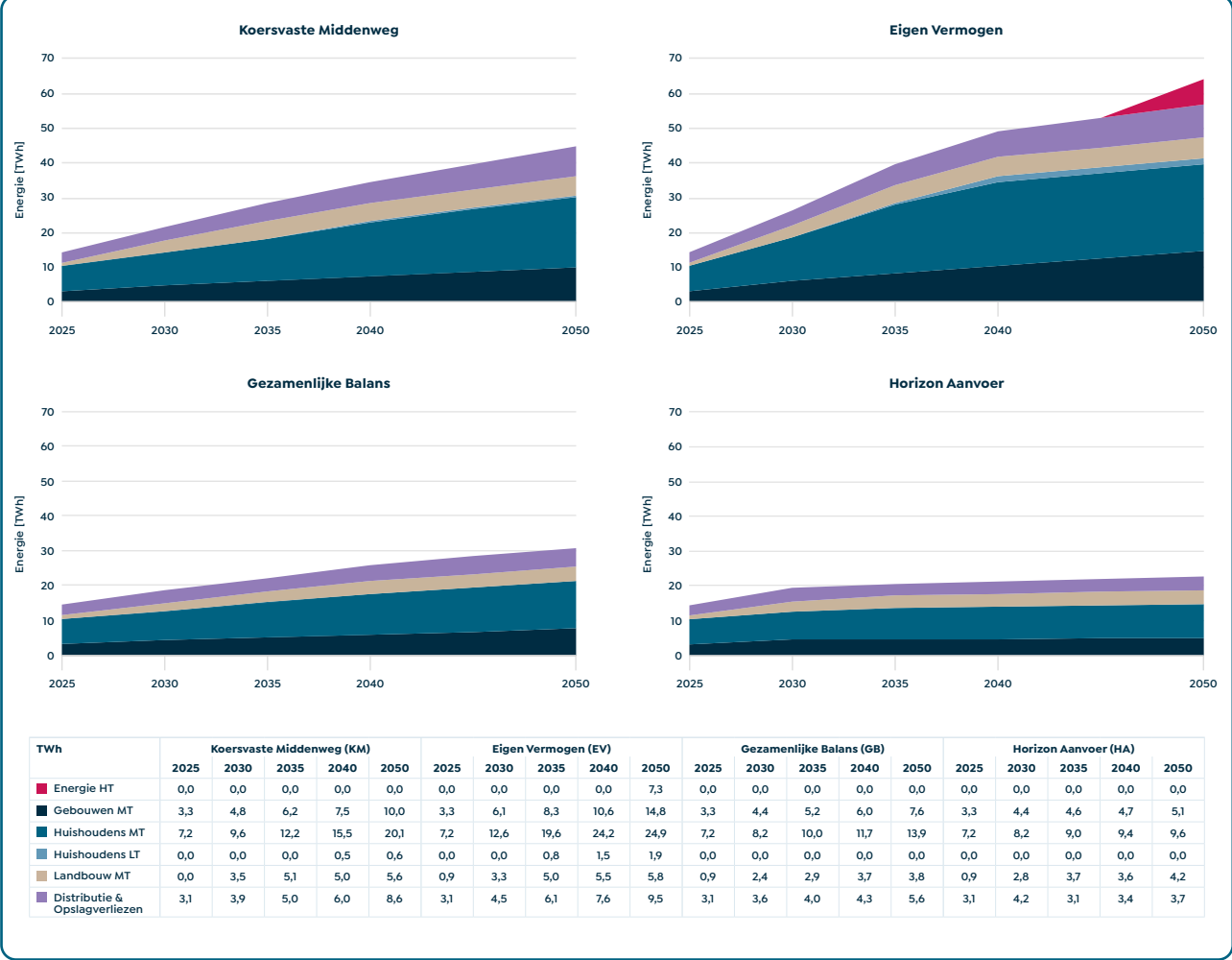
De kwantificatie van het warmteaanbod voor warmtenetten, uitgesplitst naar warmtebronnen, staat in figuur 4.10.2. In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk wordt deze kwantificatie verder toegelicht.

Figuur 4.10.2 Bronnen warmtenetten.



Aquathermie is hierin opgenomen onder omgevingswarmte; de benodigde elektriciteit voor opwaardering staat onder elektriciteit.

Figuur 4.10.1 Warmtevraag warmtenetten.



²⁷⁰ In de figuur en tabel is dit samengenomen onder 'distributieverlies'.

4.10.3.4 Geothermie

Op dit moment wordt in Nederland slechts beperkt gebruik gemaakt van geothermie. De verwachting is dat het aanbod van geothermie zal toenemen. Geothermie Nederland ziet een potentie van 50 PJ duurzame warmte in 2030. Voor 2050 wordt een potentie van 200 PJ aan geothermie genoemd. Aanvankelijk zal, rond 2030, het grootste deel van deze geothermie naar de glastuinbouw gaan, maar op de lange termijn ziet Geothermie Nederland de gebouwde omgeving als de grootste afnemer²⁷¹. Het doel van de Rijksoverheid ten aanzien van geothermie in 2030 ligt beduidend lager dan de door Geothermie Nederland geschetste potentie: de Rijksoverheid heeft als doel “om in 2030 15 PJ aan duurzame energie op te wekken uit aardwarmte (geothermie)”²⁷². Dat is slechts circa ⅓ van de potentie die Geothermie Nederland voorziet. Voor 2050 voorziet het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) in het ‘Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen’ een potentieel aan geothermie van 210 PJ, waarvan maximaal 125 PJ wordt ingezet als onderdeel van de bronnenmix²⁷³.

Zoals toegelicht in paragraaf 4.10.2.2, is in het scenario Koersvaste Middenweg de rol van geothermie het grootst: 20 TWh in 2050 (72 PJ). Die waarde ligt nog aanzienlijk onder het door het ministerie van KGG genoemde maximum van 125 PJ. Dat wordt mede veroorzaakt doordat het scenario Koersvaste Middenweg niet de hoogste warmtenetvraag heeft, waardoor het bezwaarlijk is een nog hoger aanbod van geothermie te veronderstellen. Daarnaast speelt mee dat 20 TWh geothermie betekent dat het scenario Koersvaste Middenweg op dit aspect niet meer binnen de hoekpunten van de andere scenario's ligt. Dat is weliswaar niet noodzakelijk maar wel gewenst. Overigens is genoemde 20 TWh afgestemd met experts en stakeholders.

Ook in het scenario Eigen Vermogen is het aanbod van geothermie met 15 TWh in 2050 aanzienlijk. Ongeveer de helft hiervan betreft specifieke warmtenetten voor Direct Air Capture. De overige 8 TWh illustreert op een totale vraag van ca 65 TWh de relatief bescheiden rol van geothermie binnen dit scenario.

Gezamenlijke Balans is het scenario met het laagste aanbod aan geothermie, slechts 2 TWh in 2050. In dit scenario zijn warmtenetten matig relevant en ligt de nadruk meer op goedkope warmtebronnen zoals restwarmte.

Ook in scenario Horizon Aanvoer is geothermie als bron voor warmtenetten relatief belangrijk, maar door de zeer bescheiden rol van warmtenetten wordt slechts een aanbod van geothermie van 7 TWh in 2050 bereikt.

Voor 2030 ligt de inzet van geothermie in warmtenetten tussen minimaal 1,0 TWh in het scenario Gezamenlijke Balans en maximaal 3,1 TWh in het scenario Horizon Aanvoer. Dit maximum van 3,1 TWh (11 PJ) ligt nog onder de doelstelling van de Rijksoverheid voor geothermie in 2030 van 15 PJ. Daarbij moet echter nog het lokaal gebruik van geothermie in de landbouw, 7 PJ in GB2030, worden opgeteld. In totaal wordt in 2030 dus 18 PJ aan geothermie ingezet, meer dan de streefwaarde van de Rijksoverheid.

Over de onderverdeling van geothermie naar diepe en ondiepe geothermie is weinig informatie beschikbaar. Er is informatie over potentiële toekomstige projecten waaruit kan worden afgeleid dat meer dan 90 procent van de projecten diepe geothermie betreft, maar het is onduidelijk hoe volledig en betrouwbaar die informatie is. Mede op basis van afstemming met experts is voor diepe geothermie 75 tot 80 procent aangehouden. Daar waar LT-warmtenetten gebruikt worden is voor deze netten ondiepe geothermie verondersteld.

Diepe geothermie:
1500 – 4000 meter diepte, 55 – 100°C

Ondiepe geothermie:
500 – 1500 meter diepte, 25 – 55°C

²⁷¹ Factsheet Geothermie Nederland: geothermie.nl/wp-content/uploads/GNL-Factsheet-Geothermie-in-de-energietransitie.pdf

²⁷² Zie www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/aardwarmte#:~:text=Aardwarmte%20moet%20bijdragen%20aan%20de%20energietransitie&text=Waardoor%20de%20productie%20ervan%20steeds,van%202%2C2%20miljoen%20huishoudens

²⁷³ Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen, KGG, augustus 2024, zie: open.overheid.nl/documenten/a914319d-a57a-4680-a69f-ae762a386bc4/file

4.10.3.5 Restwarmte

In 2023 kwam ruim 16 PJ (4,5 TWh) van de warmte voor warmtenetten uit restwarmte, waarvan 6 PJ afvalverbranding en 9 PJ fossiele aftapwarmte. Fossiele aftapwarmte zal na 2030 snel afnemen, restwarmte uit afvalverbranding pas na 2040. De verschillende bronnen voor aanbod van restwarmte laten een divers beeld zien. Het ministerie van KGG voorziet voor 2050 in het ‘Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen’ een potentieel aan restwarmte van 100 PJ, die mogelijk ook maximaal wordt benut²⁷³. NPE²⁶⁰ gaat voor 2050 uit van 47 PJ aan restwarmte (inclusief 7 PJ uit fossiele aftap en afval) op een totaal warmteaanbod voor warmtenetten van 184 PJ, oftewel ruim 25 procent. Een vergelijkbaar aandeel, 24 procent, wordt in het warmtenet trendrapport voor restwarmte verondersteld²⁷⁴. Oudere bronnen duiden op een potentieel aan restwarmte in 2050 van ruim 50 PJ²⁷⁵.

Voor 2030 gaat het NPE uit van een inzet van 31 PJ aan restwarmte, waarvan 14 PJ uit fossiele aftap en afval, op een totaal warmteaanbod voor warmtenetten van 82 PJ. Oftewel 37 procent van de warmte komt uit al dan niet fossiele restwarmte. Het warmtenet trendrapport blijft met 25 procent beduidend lager. CE Delft maakt wel onderscheid tussen fossiele restwarmte en warmte uit afvalverbranding: het voorziet voor 2030 7,5 PJ warmte uit afvalverbranding, 7 PJ fossiele aftap, en 9,5 PJ restwarmte op een totaal warmteaanbod voor warmtenetten van 50 PJ²⁷⁶. Oftewel 34 procent van het warmteaanbod voor warmtenetten wordt ingevuld door afval- en restwarmte, en 14 procent uit fossiele restwarmte.

In het scenario Gezamenlijke Balans wordt in 2050 de meeste restwarmte ingezet: ruim 8 TWh. Dat is lager dan het maximale potentieel van 47 PJ (13 TWh) volgens het NPE. De rechtvaardiging hiervoor is dat het NPE uitgaat van een hogere warmtevraag van warmtenetten van 184 PJ (51 TWh). Het aanbod uit restwarmte is dan ruim 25 procent. In het scenario Gezamenlijke Balans bedraagt de warmtevraag inclusief warmteverliezen in 2050 slechts 30 TWh, 8 TWh restwarmte zorgt dan voor 27 procent van de benodigde warmte.

Ook in het scenario Eigen Vermogen wordt ruim 8 TWh

restwarmte ingezet, maar bij een totale warmtevraag van 65 TWh betekent dit een relatief gematigde rol voor restwarmte. In de scenario's Koersvaste Middenweg en Horizon Aanvoer speelt restwarmte in 2050 met circa 3 TWh nauwelijks een rol.

In 2030 wordt zowel in het scenario Gezamenlijke Balans als Eigen Vermogen bijna 3 TWh (10 PJ) aan restwarmte ingezet. Dat is exclusief de fossiele warmte uit WKK's, waaronder zogenoemde STEGs: stoom- en gasgestookte energiecentrales. Die fossiele warmte uit WKK's valt in de NBNL scenario's 2025 onder warmte uit methaan. 10 PJ is aan de bescheiden kant in vergelijking met het NPE met 31 PJ inclusief fossiele WKK's en CE Delft met 17 PJ.

4.10.3.6 Zonthermie

Zonthermie speelt momenteel nog nauwelijks een rol als warmtebron voor warmtenetten. Zowel CE Delft (2030)²⁷⁶ als het NPE¹ noemt zonthermie niet in de bronnenmix voor warmtenetten. Het ministerie van KGG besteedt in zijn ontwikkelperspectief¹¹ wel aandacht aan zonthermie voor warmtenetten en voorziet voor 2050 een maximaal aandeel in de bronnenmix van 25 PJ, bij een potentieel van 107 PJ, waarbij wordt vermeld dat er nog wel de nodige uitdagingen overwonnen moeten worden. Zonthermie heeft als nadeel dat er veel ruimte voor nodig is²⁷⁷, waardoor de rol van zonthermie in Nederland beperkt zal blijven.

Vanwege de nog benodigde ontwikkeltijd is er in de scenario's vanuit gegaan dat zonthermie als warmtebron pas na 2030 een bescheiden rol kan gaan spelen. Uitgangspunt is verder dat zonthermie warmte gaat leveren die van voldoende hoge temperatuur is om direct in het MT-warmtenet in te voeden²⁷⁸. Aangezien voor zonthermie nog de nodige innovatie nodig is, waarbij internationale samenwerking of innovaties in het buitenland een rol kunnen spelen, komt het scenario Gezamenlijke Balans het meest in aanmerking voor zonthermie, met gemiddelde innovatiekracht en gemiddelde internationale samenwerking. Met 2 TWh blijft de rol van zonthermie in 2050 bescheiden en onder het niveau dat het ministerie van KGG voorziet, mede vanwege de relatief lage warmtevraag in het scenario Gezamenlijke Balans.

²⁷⁴ Warmtenet Trendrapport 2021, zie: www.warmtenettrendrapport.nl

²⁷⁵ WARM - waarde van Aardwarmte en Regionale Mogelijkheden, Berenschot, September 2020. Zie: www.berenschot.nl/nieuws/2020-september-project-warm-gepubliceerd: Achtergrondnotitie Klimaatakkoord tbv Sectortafel Gebouwde Omgeving, 2018.

²⁷⁶ CE Delft, verduurzaming bronnen voor warmtenet, juli 2023, zie ce.nl/wp-content/uploads/2023/09/CE_Delft_230169_Verduurzaming_bronnen_voor_warmtenetten_DEF.pdf

²⁷⁷ Bron: www.eneco.nl/grootzakelijk/warmte-koeling/bronnen/zonthermie

²⁷⁸ De temperatuur van warmte uit zonthermie is afhankelijk van de gebruikte techniek. Zonnecollectoren leveren warmte met een temperatuur tot 100°C, zie bijvoorbeeld CE Delft, Verkennend onderzoek zonthermie Zuid-Holland, November 2020, www.zuid-holland.nl/publish/pages/26704/ce_delft_200260_verkennend_onderzoek_zonthermie_zh_def.pdf. Eneco (www.eneco.nl/grootzakelijk/warmte-koeling/bronnen/zonthermie) gaat uit van 70-80°C.

4.10.3.7 Power-to-heat: e-boiler en warmtepomp

Het ministerie van KGG schat in het ontwikkelperspectief²⁷³ het maximale aandeel van e-boilers in de bronnenmix in 2050 op 38 PJ. CE Delft geeft zowel een maximale potentie voor e-boilers als voor warmtepompen²⁷⁹: voor 2050 16 PJ, waarvan 9 PJ uit e-boilers en 7 PJ uit warmtepompen, en voor 2030 6 PJ, waarvan 2 PJ uit e-boilers en 4 PJ uit warmtepompen. Aangezien power-to-heat een flexibele warmtebron is, is naast het geproduceerde warmtevolume ook het opgestelde vermogen en het aantal draaiuren relevant. CE Delft geeft hierover nadere informatie:

- E-boilers 2050: 1900 MW opgesteld vermogen à 9 PJ bij 1900 MW opgesteld vermogen betekent 1316 vollasturen²⁸⁰.
- Warmtepompen 2050: 250 MW opgesteld vermogen à 7 PJ bij 250 MW opgesteld vermogen betekent 7778 vollasturen.
- E-boilers 2030: 600 MW opgesteld vermogen à 2 PJ bij 600 MW opgesteld vermogen betekent 925 vollasturen.
- Warmtepompen 2030: 150 MW opgesteld vermogen à 4 PJ bij 150 MW opgesteld vermogen betekent 7404 vollasturen.

De inzet van elektriciteit als bron voor warmtenetten past het best in het scenario Eigen Vermogen. Daarom is in dit scenario het maximale potentieel aan e-boilers volgens CE Delft overgenomen: 1900 MW²⁸¹. Voor warmtepompen wordt in het Eigen Vermogen-scenario een capaciteit van 1000 MW voorzien. Dit is aanzienlijk hoger dan het maximale potentieel volgens CE Delft, maar al aanzienlijk lager dan de 5000 MW in II3050v2.

In het scenario Gezamenlijke Balans wordt power-to-heat alleen toegepast waar geen alternatieven voorhanden zijn. Dit resulteert in 800 MW e-boilers en 300 MW power-to-heat- warmtepompen. In het scenario Horizon Aanvoer neemt de capaciteit van power-to-heat na 2025 nauwelijks meer toe, resulterend in 500 MW e-boilers en 200 MW warmtepompen. Het scenario Koersvaste Middenweg ligt met 1400 MW e-boilers en 500 MW warmtepompen ongeveer in het midden.

Overigens leidt de wijze waarop power-to-heat in het Energie Transitie Model (ETM) is gemodelleerd mogelijk

tot een overschatting van de inzet van power-to-heat, met name warmtepompen. In het ETM wordt de inzet van power-to-heat-gemodelleerd op basis van de willingness to pay, ook in perioden met een lage warmtevraag – doorgaans de zomermaanden. Daarbij slaat het ETM geproduceerde, maar op dat moment overbodige warmte ongelimiteerd op in de warmteopslag, met als doel deze warmte in perioden met hoge warmtevraag – vooral de wintermaanden – weer in te zetten. De analyse van seizoensopslag, zie paragraaf 4.10.3.10, leidt echter in de meeste scenario's tot de conclusie dat het door het ETM geproduceerde en opgeslagen volume aan overtollige zomerwarmte veel hoger is dan de verwachte capaciteit van de seizoensopslag en dus niet nuttig kan worden gebruikt. De op basis van de verwachte ontwikkeling van seizoensopslag ingevulde parametersetting in het ETM ('het opslagschuifje') leidt er daarom toe, dat in het ETM aan het eind van de winter soms aanzienlijke hoeveelheden opgeslagen warmte worden 'weggegooid'. In werkelijkheid zal in de zomer de geproduceerde warmte voor seizoensopslag worden afgestemd op de opslagcapaciteit.

4.10.3.8 Aquathermie

Thermische Energie uit Oppervlaktewater, Afvalwater en Drinkwater (TEO, TEA en TED) heeft in Nederland veel potentie en wordt ook al op bescheiden schaal toegepast. TEO wordt toegepast bij oppervlaktewater zoals rivieren, kanalen en meren en heeft de grootste potentie. TEA daarentegen is vooral relevant voor de wijken rondom de afvalwaterzuivering van een stad. Hierbij hebben de waterschappen vaak de voorkeur dat het effluent, ofwel het gezuiverde water, wordt gebruikt om warmte aan te onttrekken. Het economische voordeel van TEA is dat dit effluent ook in de winter over het algemeen niet kouder wordt dan circa 10 graden Celsius, wat tot een hogere efficiëntieCOP leidt van de warmtepomp die de warmte opwaardeert naar circa 60 graden voor MT-warmtenetten. Hierdoor heeft TEA een grotere economische potentie dan TEO. TED, waarbij via een warmtewisselaar energie aan een drinkwaterleiding wordt onttrokken, wordt het minst toegepast en heeft ook de laagste potentie.

De potentie van deze vormen van thermische energie, tezamen aquathermie genoemd, wordt door CE Delft geschat op circa 200 PJ²⁸². Daarbij speelt aquathermie op basis van oppervlaktewater met 150 PJ potentieel een belangrijke rol. Het ministerie van KGG gaat voor 2050 uit van een potentieel van aquathermie van 211 PJ, met een maximaal aandeel in de bronnenmix van 60 PJ.

In 2030 speelt aquathermie naar verwachting nog maar een bescheiden rol. CE Delft gaat in een studie uit 2023²⁸² uit van circa 2 PJ aan kleinschalige warmtenetten op basis van aquathermie.

Aquathermie speelt, naast geothermie en restwarmte, in elk scenario een belangrijke rol. Op grond van de verhaallijnen is de inzet van aquathermie in het scenario Eigen Vermogen het grootst. Voor 2050 wordt in dit scenario 3450 MW aan warmtepompen met aquathermie en WKO ingezet. Dat komt overeen met circa 16,3 TWh²⁸³, wat in lijn is met het verwacht maximaal aandeel in de bronnenmix volgens het ministerie van KGG van 60 PJ (16,7 TWh).

In het scenario Horizon Aanvoer wordt in 2050 de minste hoeveelheid aquathermie ingezet. De inzet aan aquathermie bedraagt hier slechts 450 MW TEO en 900 MW TEA, goed voor in totaal 6 TWh aquathermie.

Gegeven de hogere economische potentie van TEA ten opzichte van TEO en de achterblijvende toepassing van TED in alle scenario's, is een verhouding TEO:TEA:TED van circa 1:2:0 gekozen. Overigens hebben TEO, TEA en TED in het ETM eenzelfde orde grootte Coëfficiënt of Performance en daarmee een vergelijkbaar effect op de elektriciteitsvraag.

4.10.3.9 Aanbod: middenlast en pieklast bronnen

De warmtebronnen uit voorgaande paragrafen zijn hoofdzakelijk basislast bronnen. Dat wil zeggen dat het hoogrendementbronnen zijn die het best functioneren wanneer ze min of meer continu warmte leveren. Met uitzondering van power-to-heat zijn ze beperkt flexibel

inzetbaar en kunnen in perioden met een verhoogde vraag, zoals in de winter, alleen extra warmte leveren als ze hiervoor zijn gedimensioneerd. Dat gaat ten koste van de efficiëntie, aangezien een groot deel van het jaar die extra capaciteit niet gevraagd is. In perioden met verhoogde vraag zijn aanvullend middenlast en pieklast bronnen nodig. Denk hierbij aan WKK's en piekketels op waterstof, biomassa, (groen) gas of afval. Tenslotte kan ook warmte uit warmteopslagen de midden- en piekvraag deels of geheel invullen.

Uitgangspunt in de scenario's voor 2050 is dat middenlast en pieklast bronnen in totaal 10 tot 20 procent van de jaarlijkse warmtevraag leveren. Warmteopslag levert in de scenario's voor 2050 5 tot 7 procent van de jaarlijkse warmtevraag (zie paragraaf 4.10.3.10 voor verdere kwantificering van de warmteopslag). WKK's en piekketels voorzien in 8 tot 11 procent van de totale warmtebehoefte voor warmtenetten. In de scenario's Koersvaste Middenweg, Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans worden in 2050 hoofdzakelijk biomassaketels ingezet. In het scenario Horizon Aanvoer doen vanaf 2030 ook piekketels op waterstof beperkt hun intrede. In het scenario Koersvaste Middenweg wordt verder nog zeer beperkt gebruik gemaakt van een afvalketel. Daarnaast worden in alle scenario's als minst geprefereerde oplossing ook gasketels ingezet als pieklastbron. Gasketels draaien in 2050 op groen gas.

In 2030 zijn duurzame warmtebronnen nog slechts beperkt beschikbaar en wordt aardgas ook nog ingezet voor basislast warmte in centrales. In gasgestookte piekketels wordt, voor zover beschikbaar, groen gas ingezet, aangevuld met aardgas. Daarnaast worden er vanaf 2025 in toenemende mate biomassaketels ingezet, waarbij deze ketels in 2030 niet alleen voor pieklast, maar ook nog voor midden- en basislast worden ingezet. Dit resulteert in een relatief hoog warmtevolume uit biomassa. In het scenario Horizon Aanvoer is slechts zeer beperkt biomassa beschikbaar en wordt na 2025 het gebruik van de biomassaketel afgebouwd.

²⁷⁹ Power-to-Heat en warmteopslag in warmtenetten, CE Delft, februari 2023, zie ce.nl/wp-content/uploads/2023/03/CE_Delft_220325_P2H_en_Warmteopslag_Warmtenetten_Def.pdf

²⁸⁰ Het aantal vollasturen geeft aan hoeveel uur een installatie op maximaal vermogen zou moeten draaien om de jaarproductie te realiseren. Een aantal vollasturen dicht bij 8760 betekent dat de installatie vrijwel het hele jaar op vol vermogen draait. Een laag aantal vollasturen betekent dat een installatie maar een beperkt wordt gebruikt.

²⁸¹ In het Energie Transitie Model, dat als basis voor de NBNL-scenario's dient, wordt de e-boiler met een veel hogere bedrijfstijd, ruim 7000 uur, ingezet dan waar CE Delft van uit gaat en wordt ruim 13 TWh warmte geproduceerd. Deze 7000 uur is een overschatting, aangezien het ETM er vanuit gaat dat ook in de zomer warmte zal worden geproduceerd als de prijs aantrekkelijk is, zelfs als de warmteopslag 'vol' is. In de NBNL-scenario's wordt deze warmte niet of slecht gedeeltelijk gebruikt.

²⁸² Nationaal Potentieel aquathermie, CE Delft, September 2019, zie: ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_5S74_Nationaal_potentieel_van_aquathermie_Def.pdf

²⁸³ NEr wordt voor het MT-warmtenet 2300MW TEA @3804 vollasturen en 1150 MW TEO @5355 vollasturen ingezet. Voor het LT-warmtenet wordt 150 TEA @4176 vollasturen en 100 MW TEO @7649 vollasturen ingezet. 2300 x 3804 + 1150 x 5355 + 150 x 4176 + 100 x 7649 geeft 16,6 TWh.

4.10.3.10 Warmteopslag

Het jaarlijkse volume aan opgeslagen warmte in een kortetermijnopslag wordt bepaald door de omvang van de buffer en het aantal cycli. Op basis van de elektriciteitsprijs op uurbasis volgens het ETM is het aantal cycli grofweg op 50-100 ingeschat. Bij een geschat volume van een TTES-installatie voor dagopslag van 5000 m³ of 232 MWh²⁸⁴, leidt dat tot een jaarlijks opgeslagen volume van 12-23 GWh. Als we daar een PTES voor week- en maandopslag aan toevoegen (100.000 m³ = 4640 MWh volume) en 2-5 cycli op jaarbasis veronderstellen, dan wordt op jaarbasis 20-50 GWh opgeslagen. Het ruimtebeslag van een kortetermijnopslag is beperkt: 250 m² voor een TTES en 5000 m² voor een PTES, oftewel 0,04 respectievelijk 0,78 voetbalveld. Verwacht wordt derhalve dat ruimtegebrek geen groot obstakel zal zijn voor de bouw van warmteopslag voor de korte termijn.

Voor ondergrondse seizoensopslag moet tevens naar de geschiktheid van de ondergrond worden gekeken.

Uit Dinkelman & van Bergen (2022)²⁸⁵ en de Warmteatlas kaartlaag WKOpenWarmteOpslag²⁸⁶, kan worden afgeleid dat met name het westen en zuidwesten van Nederland geschikt is voor ondergrondse warmteopslag. Voor de overige delen van Nederland worden mogelijke belemmeringen voorzien. Daarnaast is inzet van een seizoensopslag slechts rendabel voor grootschalige warmtenetten.

Het Project Middenmeer geeft een referentie voor de omvang van een seizoensopslag: 28.000 MWh²⁸⁷, waarbij moet worden opgemerkt dat Middenmeer een relatief klein warmteopslagproject is. Op basis van TNO (2021)²⁸⁸ kan het aantal warmtenetten geschat worden op 100-200 in 2050. Op basis van het aantal grootschalige warmtenetten, de warmtevraag per scenario, en de verhaallijnen is de behoefte aan seizoensopslag in 2050 voor elk van de scenario's ingeschat zoals weergegeven in tabel 4.10.2.

Tabel 4.10.2 Seizoensopslag ATES.

Seizoensopslag ATES		2025				2030				2035			
[GWh]		KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA
Streefwaarde	min	0	0	0	0	0	250	0	0	500	1.250	200	200
	max	0	0	0	0	500	750	300	300	1.000	1.750	600	600
Waarde in scenario		0	0	0	0	225	650	200	200	800	1.400	550	525
Seizoensopslag ATES		2040				2050							
[GWh]		KM	EV	GB	HA	KM	EV	GB	HA				
Streefwaarde	min	1.000	1.750	400	400	1.500	2.250	500	500				
	max	1.500	2.250	800	800	2.000	2.750	900	900				
Waarde in scenario		1.300	2.000	700	700	2.000	2.600	800	800				

Voor vroegere jaren geldt een opbouw naar de opslagvolumes in 2050, waarbij, zoals in paragraaf 4.10.3.10 aangegeven, naar verwachting pas vanaf 2030 grootschalige ontwikkeling van seizoensopslag zal plaatsvinden. Overigens laat het ETM voor de diverse scenario's een veel grotere warmtebuffer zien dan in tabel 4.10.2. Dit wordt in voetnoot 281 verder toegelicht.

Voor kortetermijnopslag is voor 2050 een schatting gemaakt van het aantal cycli en het gemiddelde volume per cyclus, zie tabel 4.10.3.

Tabel 4.10.3 Kortetermijnwarmteopslag TTES en PTES.

Korte termijn opslag TTES en PTES (geschat)	2050			
	KM	EV	GB	HA
Geschat aantal cycli	114	74	79	70
Geschatte hoeveelheid GWh per cyclus	10	8	8	8
Geschat totaal volume [GWh]	1.138	588	630	560

4.10.4 Gebruik sectorale data nationale programma's

De data uit de warmteatlas²⁸¹ en de warmte-etiketten van de grote warmtebedrijven²⁹⁰ geven al behoorlijk gedetailleerde informatie over (potentiële) warmtebronnen. De sectorale data uit nationale programma's bevatten geen additioneel bruikbare informatie:

- Het NPRES programma biedt handvatten voor lokale bestuurders en gedetailleerde data over zon en wind, maar biedt geen toegevoegde waarde voor warmtebronnen voor warmtenetten. Soms is wel een bronnenstrategie aangegeven, maar hier is bij de totstandkoming van de NBNL-scenario's geen gebruik van gemaakt.
- In de TVW's wordt voor warmtenetten met name gekeken naar het aantal warmtenet aansluitingen. In een samenvattend rapport van CE Delft²⁸⁹ is de informatie over warmtebronnen beperkt en kwalitatief van aard. Deze informatie is niet verder gebruikt.

4.10.5 Regionalisering

Voor de regionalisering van de warmtevraag is de regionalisatie van warmtenetten uit paragraaf 4.1

gebouwde omgeving en paragraaf 3.3 landbouw overgenomen. Deze regionalisatie geeft voor elk steekjaar en elk scenario per netbeheerder een relatief aandeel in percentage en een absoluut aantal aansluitingen voor warmtenetten.

Het relatieve aandeel in de warmtevraag uit warmtenetten vormt de basis voor de allocatie van het warmteaanbod aan netbeheerders. Voor locatie-onafhankelijke bronnen als aquathermie, biomassaketels en netwerkasketels is het relatieve aandeel in de warmtevraag 1-op-1 toegepast op het warmteaanbod. De beschikbaarheid van aquathermie is weliswaar locatie-afhankelijk, maar heeft een voldoende gespreide potentie over heel Nederland om deze locatie-afhankelijkheid te abstraheren.

Voor de locatie-afhankelijke bronnen geothermie, restwarmte en zonthermie, is gekeken naar de beschikbaarheid van deze bronnen binnen de gebieden van de netbeheerders. Voor geothermie is tot aan 2030 gebruik gemaakt van informatie op Geothermie.nl en op nlog.nl, en is tot aan 2050 de Warmteatlas²⁸¹ als uitgangspunt genomen. Voor restwarmte zijn tot aan 2030 de warmte-etiketten van de grote warmtebedrijven HVC²⁹⁰, Eneco, Ennatuurlijk en Vattenvall⁶ geraadpleegd. Voor de langere termijn is gekeken naar de verdeling van bedrijven in Nederland met hoge temperatuur bedrijfsprocessen. Zonthermie tenslotte is geregionaliseerd door te kijken naar gebieden waar grootschalig zon-op-land potentieerijk is, zie ook sectie 4.6 Opwek elektriciteit.

Het uitgangspunt is dat alleen power-to-heat e-boilers en warmtepompen gedeeltelijk op het landelijke hoogspanningsnet bij TenneT aangesloten worden. De overige technieken, waaronder ook basislast warmtepompen voor aquathermie, zullen naar verwachting bij de regionale netbeheerders aangesloten worden.

²⁸⁴ Schmidt et al. 2018 - Design Aspects for Large-scale Pit and Aquifer Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling, figuur 2. Er is uitgegaan van een energie-inhoud van 0,0464 MWh van 1 m³ water op deltaT 40°C (70-30).

²⁸⁵ Evaluation of the country-wide potential for High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES) in the Netherlands, Dinkelman en van Bergen, October 2022, zie www.researchgate.net/profile/Dorien-Dinkelman/publication/365202054_Evaluation_of_the_country-wide_potential_for_High-Temperature_Aquifer_Thermal_Energy_Storage-HT-ATES_in_the_Netherlands/links/636a7ac737878b3e879140f5/Evaluation-of-the-country-wide-potential-for-High-Temperature-Aquifer-Thermal-Energy-Storage-HT-ATES-in-the-Netherlands.pdf

²⁸⁶ Bron: www.warmteatlas.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2

²⁸⁷ Zie www.dggv.de/e-publikationen/first-results-of-the-full-scale-ht-ates-project-in-a-greenhouse-area-middenmeer-in-the-netherlands

²⁸⁸ Ondergrondse Energieopslag in Nederland 2030-2050, technische evaluatie van vraag en aanbod, TNO, 2021, R11125, zie: www.ebn.nl/wp-content/uploads/2022/10/Ondergrondse-energieopslag-in-Nederland-2030-%E2%80%93-2050-%E2%80%93-Technische-evaluatie-van-vraag-en-aanbod-2.pdf

²⁸⁹ OVERZICHT TRANSITIEVISIES WARMTE, Signalen, obstakels en potentieel, juni 2023, zie: www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2023-overzicht-transitievisies-warmte-signalen-obstakels-potentieel_5051.pdf

²⁹⁰ Zie www.hvcgroep.nl/warmte/warmte-etiket/warmte-etiket-2023

Tabel 4.10.4 Regionalisatie aanbod warmtenetten (%).

	Geothermie: 6,8 TWh				Restwarmte: 3,3 TWh				Aquathermie: 9,8 TWh			
	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050
Coteq Netbeheer	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Enexis	25%	25%	25%	15%	6%	6%	5%	5%	18%	20%	22%	23%
Liander	39%	39%	38%	43%	50%	51%	52%	54%	43%	41%	40%	41%
Rendo netwerken	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Stedin	35%	35%	36%	41%	43%	42%	42%	41%	38%	38%	37%	35%
Westland Infra	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	0%
TenneT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Zonthermie: 0,1 TWh				Biomassa en netwerkgas ketels: 1,8 TWh				P2H e-boilers en warmtepompen			
	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050
Coteq Netbeheer	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Enexis	38%	38%	37%	37%	18%	20%	22%	26%	11%	13%	15%	15%
Liander	28%	29%	29%	30%	43%	41%	40%	36%	26%	30%	35%	35%
Rendo netwerken	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Stedin	9%	11%	13%	14%	38%	38%	37%	36%	23%	27%	30%	30%
Westland Infra	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
TenneT	24%	21%	20%	18%	0%	0%	0%	0%	40%	30%	20%	20%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

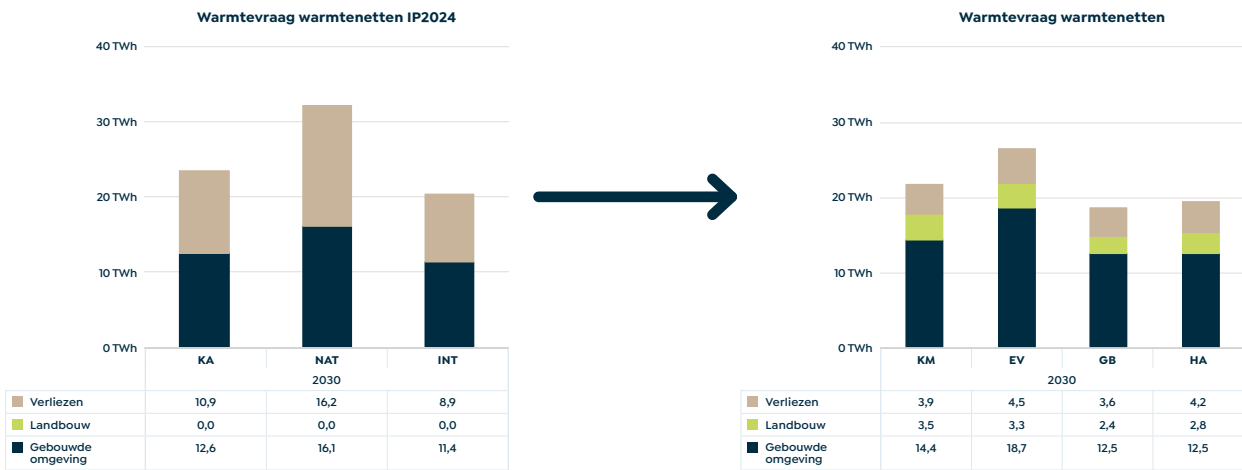
Tabel 4.10.5 Regionalisatie aanbod warmtenetten [TWh].

	Geothermie [TWh]				Restwarmte [TWh]				Aquathermie [TWh]			
	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050
Coteq Netbeheer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Enexis	0,8	1,0	1,4	1,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	1,0	1,8	2,3
Liander	1,2	1,6	2,1	2,9	1,0	1,3	1,6	1,8	1,4	2,0	3,2	4,1
Rendo netwerken	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stedin	1,1	1,5	2,0	2,8	0,8	1,1	1,3	1,4	1,2	1,8	3,0	3,5
Westland Infra	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
TenneT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal	3,1	4,2	5,6	6,8	1,9	2,5	3,1	3,3	3,3	4,8	8,0	10,1
	Zonthermie: 0,1 TWh				Biomassa, netwerkgas en H2 ketels [TWh]				P2H e-boilers en warmtepompen [%]			
	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050
Coteq Netbeheer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	0%	0%
Enexis	0,0	0,0	0,0	0,1	2,0	1,8	1,0	0,6	20%	20%	20%	20%
Liander	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	3,7	1,7	0,8	25%	30%	30%	30%
Rendo netwerken	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	0%	0%
Stedin	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	3,3	1,6	0,8	15%	20%	30%	30%
Westland Infra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	0%	0%
TenneT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40%	30%	20%	20%
Totaal	0,0	0,0	0,1	0,1	11,2	8,9	4,4	2,2	100%	100%	100%	100%

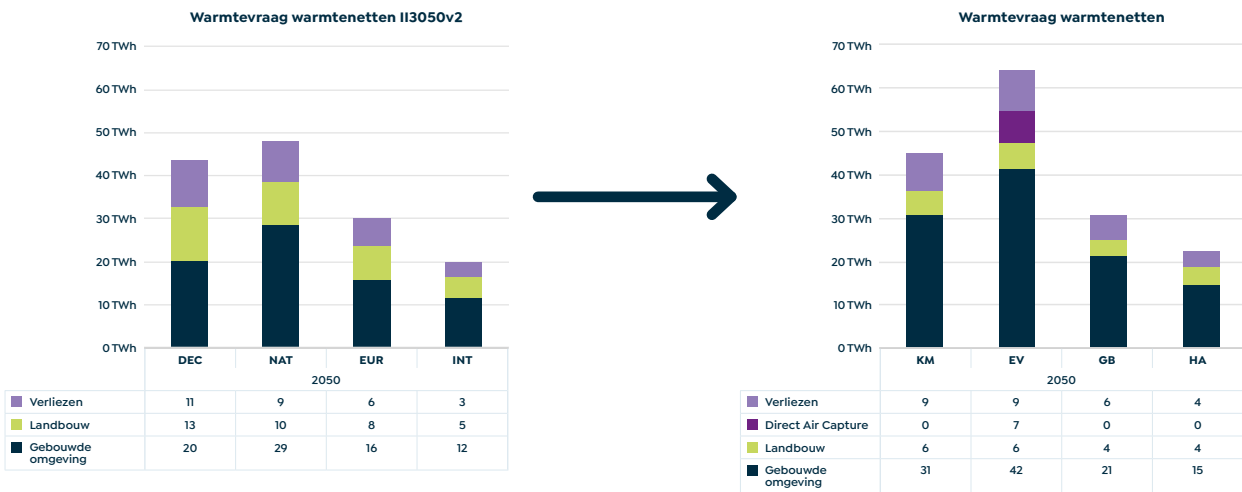
4.10.6 Vergelijking met IP2024, II3050v2 en KEV2024

4.10.6.1 Vergelijking met IP2024 / II3050v2

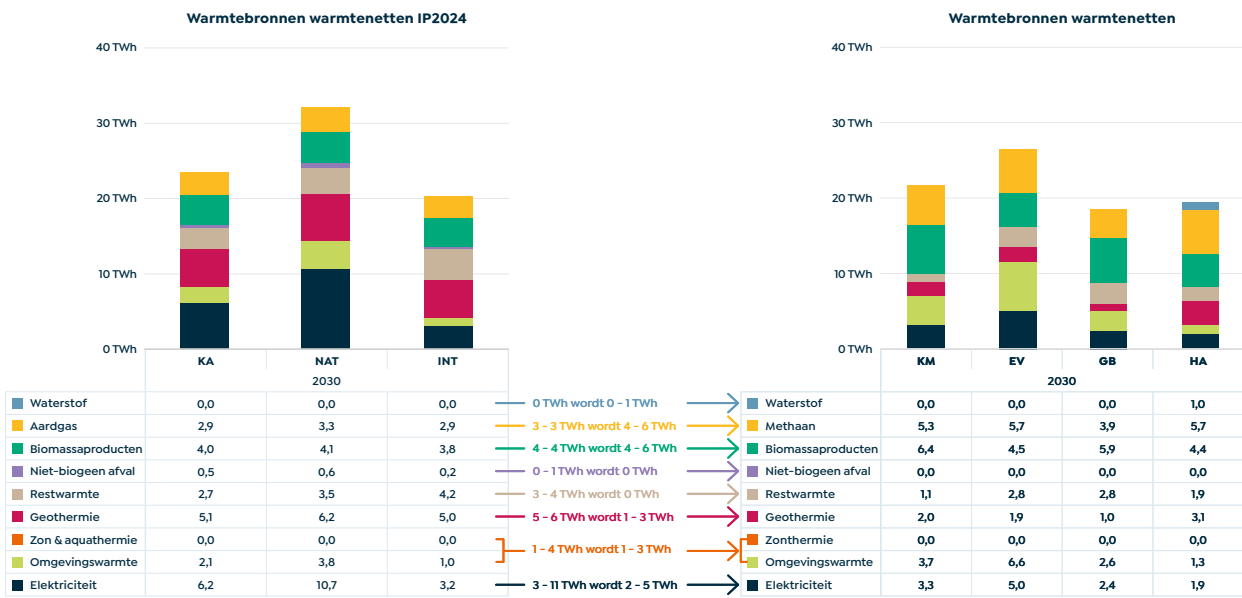
Figuur 4.10.3 Vergelijking warmtevraag IP2024 versus Netbeheer Nederland scenario's (editie 2025) voor 2030.



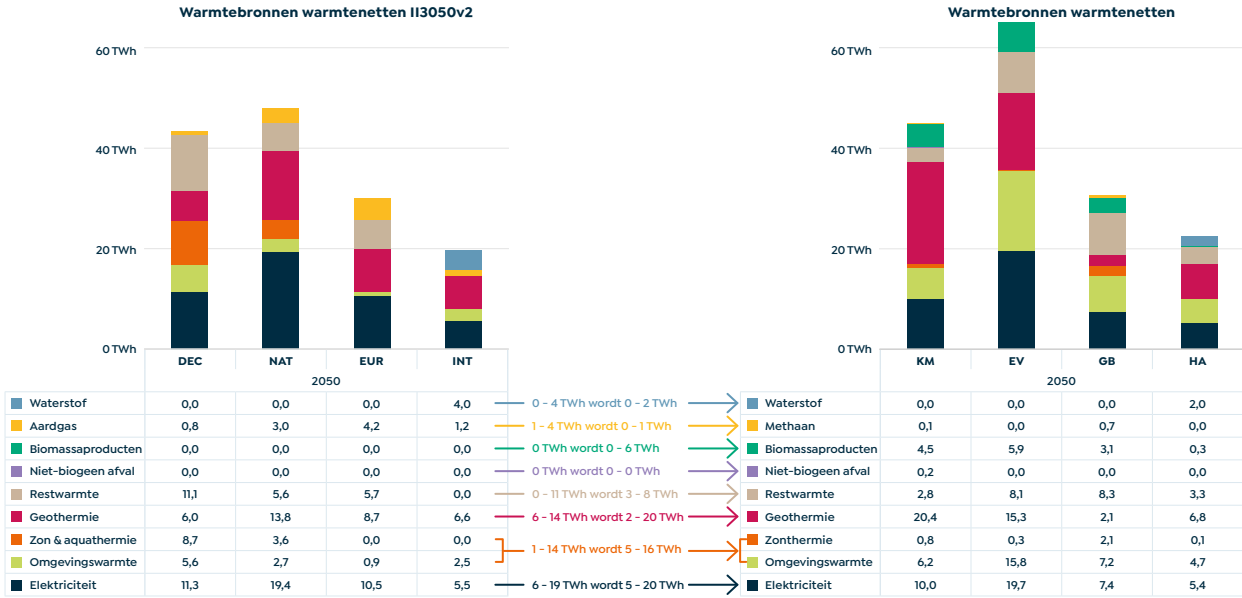
Figuur 4.10.5 Vergelijking warmtevraag II3050v2 ('oud') versus Netbeheer Nederland scenario's (editie 2025) voor 2050.



Figuur 4.10.4 Vergelijking warmtebronnen IP2024 versus Netbeheer Nederland scenario's (editie 2025) voor 2030.



Figuur 4.10.6 Vergelijking warmtebronnen II3050v2 ('oud') versus Netbeheer Nederland scenario's (editie 2025) voor 2050.



4.10.6.2 Vergelijking met KEV2024

In de KEV is zeer beperkt informatie beschikbaar over warmtenetten. Voor zover er wel informatie beschikbaar is, wordt deze informatie in onderstaande tabel vergeleken met de Netbeheer Nederland scenario's 2025:

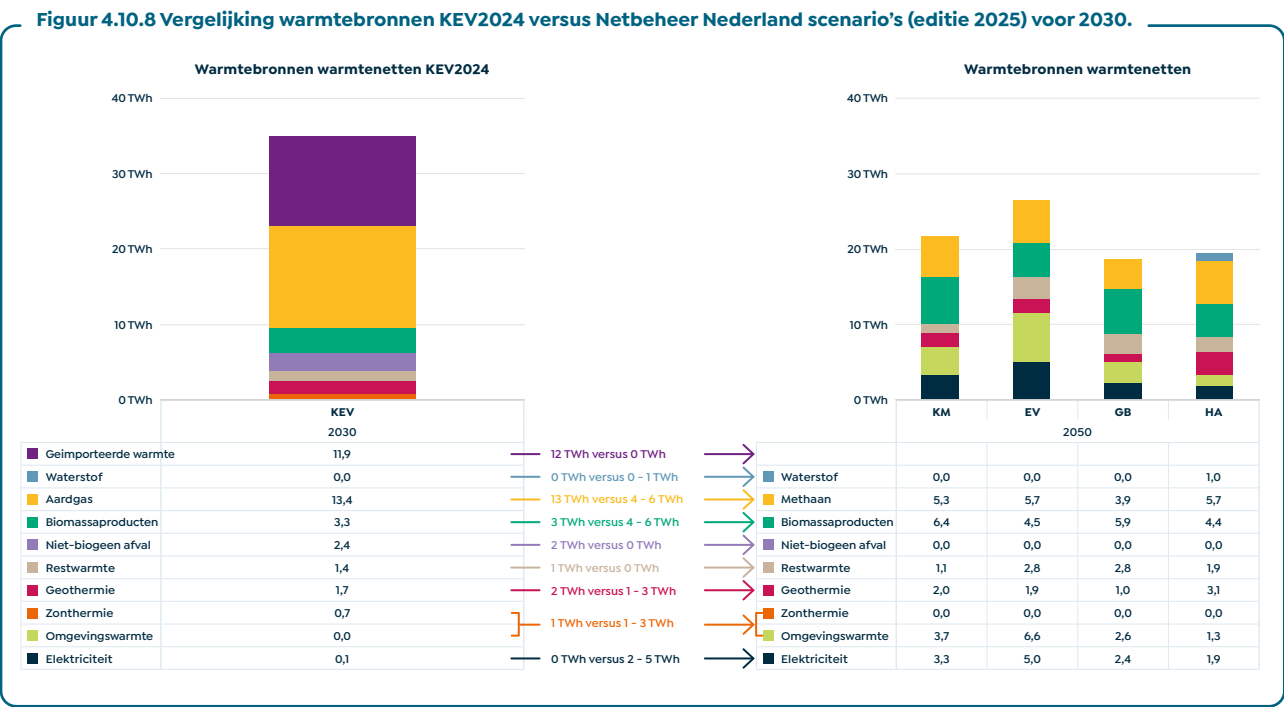
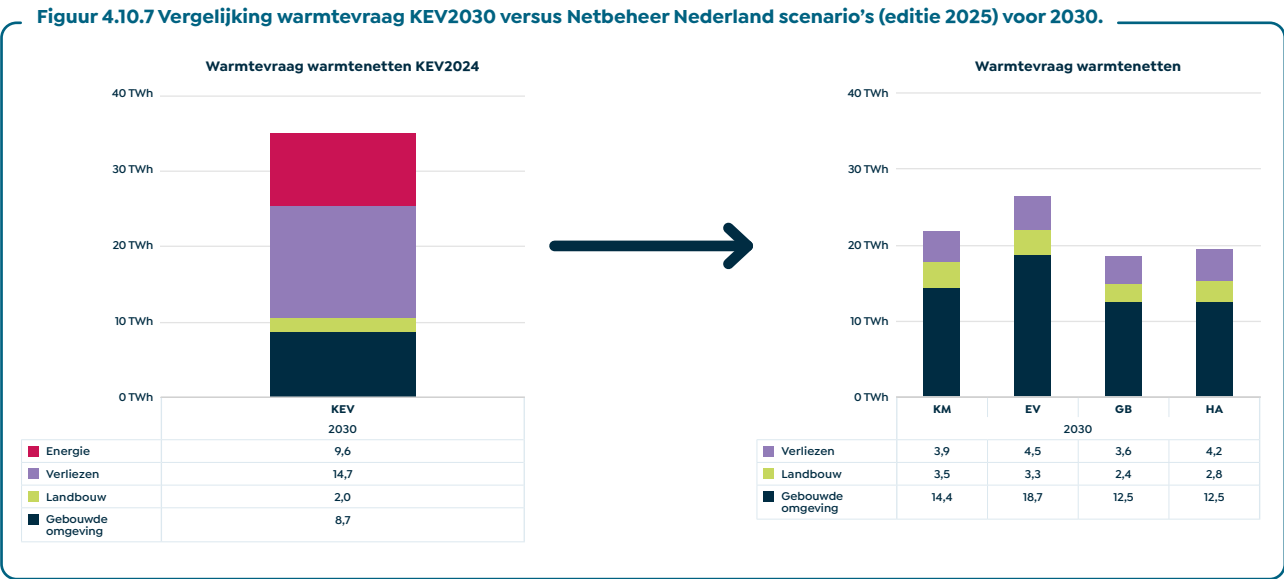
Tabel 4.10.6 Vergelijking NBNL-scenario's met de Klimaat- en Energieverkenning 2024.

Vergelijking KEV-NBNL voor 2030	KEV2024	NBNL-scenario's (editie 2025)
Geothermie	18,4 PJ (5,1 TWh), dit is inclusief geothermie in de landbouw (niet via warmtenetten)	1,0 – 3,1 TWh voor warmtenetten
Zonnewarmte	2,4 PJ (0,7 TWh)	0,0 TWh
Restwarmte	5 PJ (1,4 TWh)	1,1 – 2,8 TWh
Geleverde warmte HH	14-21 PJ (3,9-5,8 TWh)	8,2 – 12,6 TWh
Aantal nieuwe aansluitingen bestaande woningen	2024 – 2030: 70.000	HA en GB zijn ondergrens ongeveer overeenkomstig KEV; EV is bovengrens met KEV + ca 400.000

Quintel heeft op basis van geaggregeerde informatie uit de KEV2024, meer gedetailleerde informatie uit de KEV2022 en aanvullende informatie, de KEV2024 in het ETM gemodelleerd. Daarbij geeft Quintel aan dat door beperkt beschikbare data over warmtebronnen, de warmteproductie van warmtenetten een lage nauwkeurigheid heeft. Dat uit zich onder andere in:

- Het niet opnemen van aquathermie vanwege een overaanbod van andere niet-stuurbare bronnen;
- Het veronderstellen van warmte-import.

Voor de volledigheid de vergelijking van de laagnauwkeurig gemodelleerde warmtebronnen in de KEV versus de scenario's editie 2025 voor 2030:



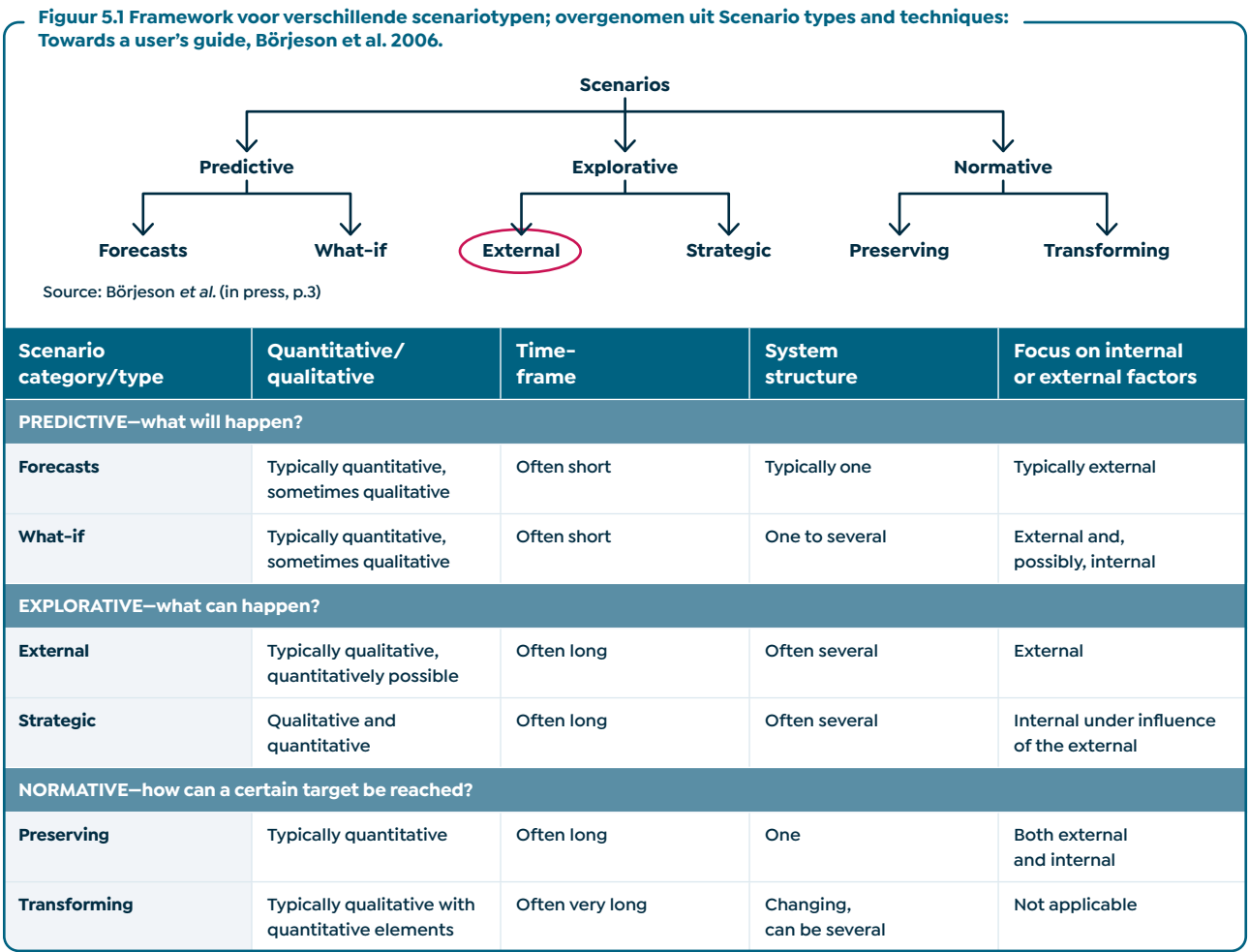
Hoofdstuk 5.

Werkproces en methode

Allereerst laat dit hoofdstuk zien wat de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 typeert en hoe deze studie verschilt van andere scenariostudies. Vervolgens bevat dit hoofdstuk een toelichting op het gevolgde werkproces, de methode van scenarioselectie en kwantificering.

5.1. Typologie van de scenario's

Scenario's bestaan in vele vormen. Het overzicht in figuur 5.1 geeft een framework voor verschillende scenariotypen.



Drie hoofdtypen worden daarin onderscheiden:

- Voorspellende scenario's zoals forecasts en what-if-scenario's, met een relatief korte tijdshorizon.
- Exploratieve scenario's met een lange tijdshorizon, bijvoorbeeld scenario's van Shell²⁹¹ met een lange tijdshorizon.
- Normatieve scenario's met een lange tijdshorizon, bijvoorbeeld de scenario's van het Planbureau voor de Leefomgeving voor de Ruimtelijke verkenning²⁹².

De Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 zijn in de eerste plaats exploratief, maar bevatten ook elementen van de andere scenariotypen. Wat er kan gebeuren, onderzoeken ze door verschillende verhaallijnen. Met zowel kwalitatieve variaties in de verhaallijnen als kwantitatieve variabelen in de uitwerking van de ontwikkelingen in het energiesysteem.

De tijdsschaal is lang en Netbeheer Nederland hanteert meerdere scenario's voor het onderzoek. De focus ligt bij ontwikkelingen buiten de netbeheerders. Onder andere voor de klimaatdoelstellingen hanteren de onderzoekers een norm; voor verschillende zichtjaren hanteren ze een vastgelegd klimaatdoel. Bij de korte termijn worden als basis vooruitzichten gebruikt, zoals bekende klantprojecten en de KEV.

In de kwantificering zijn de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 exploratief. Er wordt gekeken naar de economische of beleidstechnische omstandigheden waaronder de scenario's tot stand komen, maar dit wordt niet uitputtend onderbouwd. Dit is in tegenstelling tot bijvoorbeeld scenario's die kwantitatief tot stand komen door optimalisatie, zoals de scenario's van TNO²⁹³ die optimaliseren voor de laagst mogelijke maatschappelijke kosten.

²⁹¹ www.shell.com/news-and-insights/scenarios/the-2025-energy-security-scenarios.html

²⁹² www.pbl.nl/publicaties/vier-scenarios-voor-de-inrichting-van-nederland-in-2050

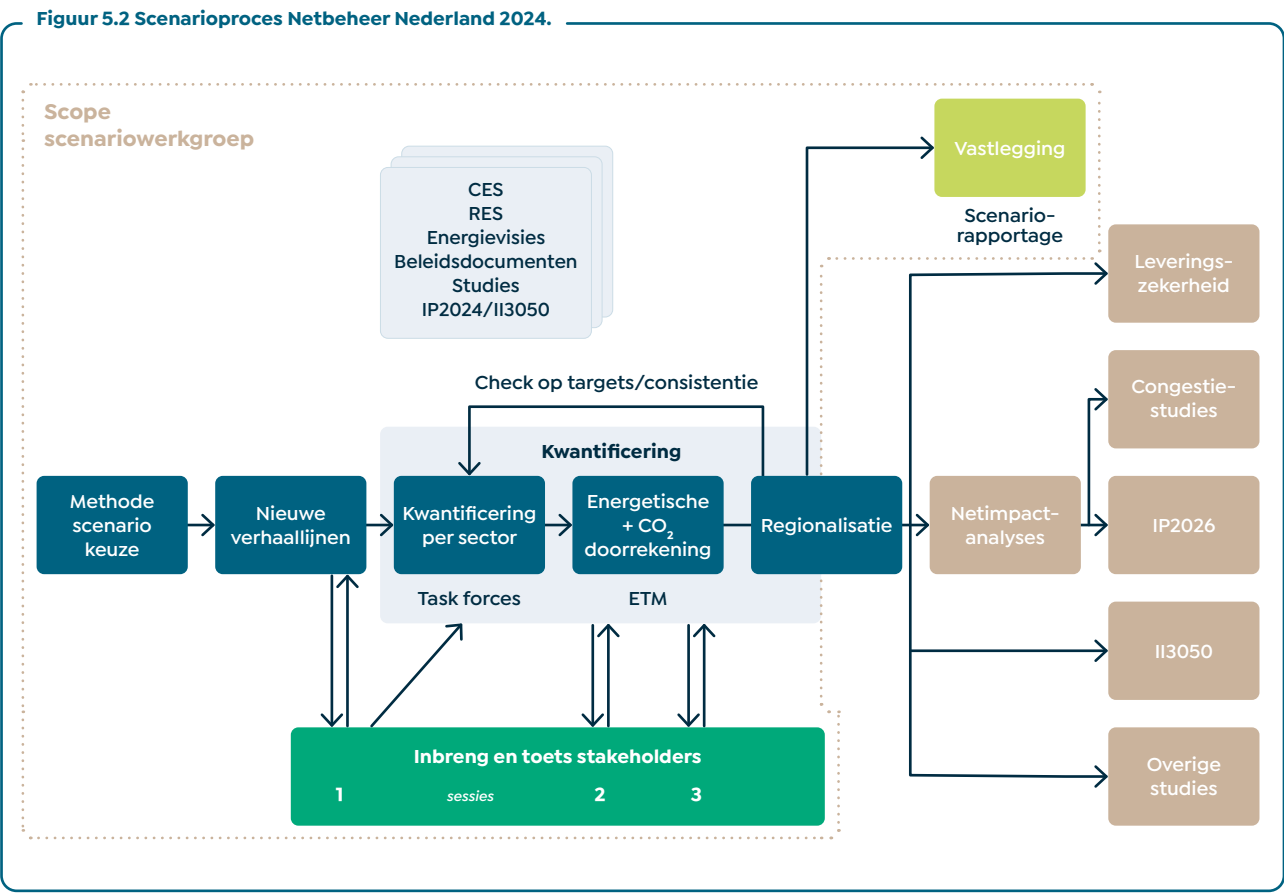
²⁹³ www.tno.nl/en/sustainable/system-solutions-environment/transition-pathways/scenarios-climate-neutral-energy-system/

5.2. Werkproces en stakeholderproces

Scenario's opstellen is een iteratief proces. Dit proces is doorlopen door het scenarioteam van Netbeheer Nederland in samenwerking met stakeholders. In het scenarioteam werken scenario- en sectordeskundigen van de netbeheerders. Een diverse groep stakeholders is uitgenodigd op basis van hun expertise en rol in het

energiesysteem of specifieke sector. Vanuit de verschillende overheden zijn vertegenwoordigers uitgenodigd van betrokkenen ministeries, provincies en gemeenten. Uit het bedrijfsleven zijn vertegenwoordigers van verschillende sectoren uitgenodigd: energie, industrie, gebouwde omgeving, datacenters, mobiliteit en landbouw.

Onderstaand figuur geeft het werkproces visueel weer.



Toelichting van de gevolgde stappen

- 1. Methode scenariokeuze:** als eerste stap van de scenario-ontwikkeling is de methode om tot scenario's te komen, verder ontwikkeld. Daarna zijn de stappen van deze nieuwe methode doorlopen. Zie paragraaf 5.3 voor een toelichting op de methode.
- 2. Nieuwe verhaallijnen:** opstellen scenarioverhaallijnen en uitwerking eerste beeld energiesysteem. Deze verhaallijnen zijn voorgelegd aan de stakeholders in de eerste stakeholdersessie.
- 3. Kwantificering per sector:** de verhaallijnen zijn gekwantificeerd tot scenario's op basis

van verschillende bronnen en klantdata van netbeheerders. Per sector is een task force aan de slag gegaan om deze kwantificatie te maken. Daarbij is een inventarisatie gemaakt en nagegaan wat de voornaamste ontwikkelingen – zekerheden en onzekerheden – verwachtingen en beleidsambities zijn bij de transitie van die sector de komende jaren. Deze factoren zijn vergeleken met de verhaallijnen. Op basis van de beschikbare beleidsdocumenten, studies en klantdata van de netbeheerders is voor elke sector een transitiepad uitgestippeld, voor ieder scenario. Deze transitiepaden zijn gevalideerd met de stakeholders in stakeholdersessies en in aanvullende individuele interviews.

4. Energetische en CO₂-doorrekening: de transitiepaden per sector zijn in het Energietransitiemodel ingevoerd, waarin het volledige energiesysteem van Nederland voor verschillende zichtjaren gemodelleerd kan worden. Waarbij de effecten van deze transitiepaden op het totale energiesysteem met elkaar in balans zijn gebracht en de broeikasgasreductie is berekend. Deze resultaten zijn vergeleken met andere studies, zoals de KEV en het NPE.

5. Inbreng en toets stakeholders: stakeholders zijn betrokken via drie stakeholdersessies. Daarnaast zijn verdiepende gesprekken gevoerd op basis van concrete vragen of inbreng. Tijdens de eerste stakeholdersessie is met een groot aantal stakeholders gesproken over belangrijke uitgangspunten, de verhaallijnen van de verschillende scenario's. In een tweede stakeholderbijeenkomst medio oktober is een '70 procent'-versie bediscussieerd. Input uit deze stakeholderbijeenkomst is wederom verwerkt tot een '95 procent'-versie. Deze '95 procent'-versie is met de stakeholders gevalideerd in de derde stakeholdersessie.

6. Regionalisatie: na de derde stakeholdersessie zijn de laatste aanpassingen doorgevoerd en is een finale versie opgesteld. De ETM-analyse, de daaruit volgende kwantitatieve uitwerking van de scenario's en de regionalisatie van de scenario's²⁹⁴, zijn begin december 2024 bevroren, zodat TenneT, Gasunie en de regionale netbeheerders aan de slag konden gaan met hun analyses en doorrekeningen.

5.3. Methode scenarioselectie

Om te komen tot de Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 is gebruik gemaakt van uitgebreide trendanalyse: de scenarioselectiemethode. De gebruikte methode is gebaseerd op "A Methodology for Future Scenario Planning"²⁹⁵ en is verrijkt met een verdere verdieping op technologie, om een goede kwantificering te kunnen maken. Daarnaast is de scoring van de scenario's uitgebreid om te komen tot passende scenario's voor de infrastructuuranalyses.

De scenariowerkgroep heeft daarin de volgende zes hoofdstappen doorlopen.

1. Trendanalyse
Op basis van literatuuronderzoek heeft de scenariowerkgroep van Netbeheer Nederland een lijst opgesteld van meer dan tweehonderd trends.

Deze trends zijn gekwalificeerd in het PESTEL-framework, wat staat voor politieke, economische, sociale, technologische, ecologisch en juridische trends. Deze long-list van trends is samengevat tot tachtig megatrends.

2. Onzekerheden

Vervolgens zijn de tachtig megatrends ontdebeld en omgezet in dertig onzekerheden voor de toekomst. Deze onzekerheden zijn gescoord op relevantie voor de toekomst en toegevoegde waarde ten opzichte van andere onzekerheden. De onzekerheden worden ingekleurd door niet-neutrale ontwikkelingen, bijvoorbeeld een positieve, neutrale en negatieve ontwikkeling. Daarnaast is er voor gezorgd dat voor elke onzekerheid de ontwikkelingen niet te veel op elkaar lijken en wel alle mogelijke richtingen afdekken.

Hiermee zijn 19 onzekerheden geselecteerd met ieder 2 tot 4 ontwikkelingen, zie paragraaf 2.3. voor de lijst van onzekerheden.

Daarnaast zijn zeven vaste uitgangspunten gedefinieerd, zie paragraaf 2.2 voor deze uitgangspunten.

Figuur 5.3 Lijst van dimensies en geselecteerde onzekerheden.

Dimensie	Descriptor
Political dimension	Internationale verhoudingen Beleidsvorming op EU-niveau Politieke koers op energietransitie in Nederland Aansturingsniveau en keuzevrijheid
Economic dimension	(Wereld)economie Economische structuur NL Grondstofschaarste Prijsontwikkeling / kosten
Social (incl. demographic)	Arbeidsmarkt Consumptiepatronen Klimaatbewustzijn Individualisme of collectivisme
Technologisch	Internationale energieketens (De-) centrale energieproductie Innovatiekracht Slimme systemen en privacy
Environmental dimension	Gebruik fossiele energie en grondstoffen Impact op de leefomgeving
Legal	Vergunning- en besluitvorming

²⁹⁴ De regionalisatie van de scenario's is niet inhoudelijk aan de orde geweest bij de stakeholdersessies.

²⁹⁵ link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-63505-3_2

3. Kruisrelatie-analyse

De scenariowerkgroep heeft de niet-neutrale ontwikkelingen op hun onderlinge relatie gescoord in de kruisrelatie-tabel. Waarbij gekeken is of de niet-neutrale ontwikkelingen in lichte of grote mate positief of negatief gecorreleerd zijn.

Vervolgens kunnen scenario's worden gemaakt, waarbij voor elke neutrale beschrijving een niet-neutrale

ontwikkeling wordt gekozen. De berekening in de kruisrelatietabel, geeft aan of het scenario consistent is. Op basis van de scoring kan het scenario aangepast worden, totdat er een consistent scenario ontstaat.

Op basis van deze kruisrelatietabel zijn dertig consistente scenario's geïdentificeerd.

Figuur 5.4 Uitsnede van de kruisrelatietabel, waarbij correlatie aangegeven is in cijfers en kleur aangegeven is, van groen en positief tot rood en negatief. Deze relatie is opgesteld vanaf de ontwikkelingen aan de linkerzijde tot de ontwikkelingen aan de bovenzijde.

Hoe werkt de ene trend (horizontaal) in op tweede trend (verticaal). Alleen directe relaties. Score sterke tegenwerkende kracht -2, -1, 0, 1, 2 sterke versterkende kracht. Hoe lager de score hoe moeilijker in te passen in een consistent scenario. Alleen directe beïnvloeding.

P.	Political dimension		Soc	Krapte voor	Krapte	Krapte arbeid	Bereid milie	Status zoals	Cons meer	Maat (o.a. v	Status raakt	Afzw op po	Same	Status	Maat van h
En. 1.1	Grondstofschaarste (metalen)	Wel belemmerend; tekort aan grondstoffen zorgt voor hoge prijzen		0	0	0	1	-1	-1	-1	0	1	0	0	0
En. 1.2		Grondstofschaarste is niet belemmerend voor de energietransitie in Nederland door economische kracht, openen van nieuwe mijnen ook in Europa, innovatie en sterke ontwikkeling van circulaire economie		0	0	0	-1	1	1	1	0	-1	0	0	0
En. 2.1	(Wereld)economie	Door snelle productiviteitsstijging groeit de wereld-economie sneller dan de afgelopen decennia. De grote techbedrijven worden opgesplitst. Europa en Nederland kunnen hiervan profiteren.		1	1	0	-1	1	1	2	1	-2	0	0	0
En. 2.2		Wereldeconomie blijft groeien volgens langjarige gemiddelde 1-2% per jaar; Nederlandse economie volgt dit.		1	1	0	0	1	1	1	1	-1	0	0	0
En. 2.3		Europese en Nederlandse economie blijven steeds verder achter bij andere delen van de wereld. China weet zijn binnenlandse markt stabiel te ontwikkelen en India en verschillende landen in Afrika groeien hard door stijgende bevolking.		-1	0	1	1	-1	-1	-2	0	2	0	0	0

4. Verdieping technologie-as

Voor deze dertig scenario's is een technologisch beeld van het energiesysteem opgesteld. Per sector is voor enkele elementen een eerste inschatting gemaakt met een score van hoog, midden, laag, gericht op het 2050-beeld. Bijvoorbeeld voor de mate van gebruik van elektriciteit en waterstof in de mobiliteitssector. Zie als voorbeeld de uitwerking van het energiebeeld in paragraaf 2.4.

5. Kans-effect score

Voor elk van de dertig scenario's is gekeken naar de waarschijnlijkheid en de impact voor verschillende delen van het energiesysteem, elektriciteit, waterstof en gas.

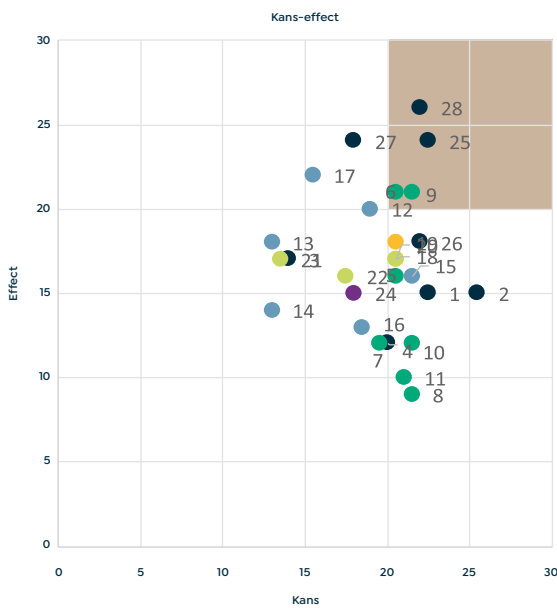
Voor elektriciteit zijn de volgende aspecten bepaald: het hoogste energievolume, het grootste decentrale aanbod en de mate waarin gedragsverandering optreedt.

Voor gas is het scenario bepaald waarin de vraag in volume afneemt, het aantal aansluitingen hoog blijft, een hoog decentraal aanbod van gas en veel verschil tussen aanbod en vraag in het jaar.

Voor waterstof is de impact bepaald op basis van een hoog aandeel waterstofgebruik in de sectoren, een hoge decentrale vraag, veel verschil tussen vraag en aanbod in het jaar en de meest duurzame waterstofproductie.

De mate van waarschijnlijkheid is vervolgens bepaald door te scoren op in welke mate het scenario in lijn ligt met de verwachtingen op alle dimensies en de consistentie van het scenario.

Figuur 5.5 Voorbeeld effect-kansmatrix waarbij de scenario's in de rechterbovenhoek, geel gearceerd het hoogst scoren.



6. Selectie scenario's:

Na de scoring van alle scenario's heeft de scenariowerkgroep de vier scenario's geselecteerd. Allereerst het meest kansrijke scenario zonder te kijken naar effect op de verschillende delen van het energiesysteem. Vervolgens voor elektriciteit, gas en waterstof de scenario's met het hoogste effect en de meest kans.

In aanvulling op deze scenario's is Quintel Intelligence gevraagd om de KEV2024 in het ETM uit te werken. Hierdoor kon de scenariowerkgroep de eigen scenario's goed vergelijken met het vastgestelde en voorgenomen beleid, zoals in de vorige hoofdstukken is uitgewerkt.

Daarnaast is een variantenlijst opgesteld op basis van de niet-geselecteerde scenario's en vragen van stakeholders. Deze scenario's zijn niet verder uitgewerkt.

5.4. Kwantificering van de scenario's

De kwantificering van de scenario's is per sector uitgewerkt door een taskforce, bestaand uit experts van de verschillende netbeheerders. De taskforces zijn als volgt onderverdeeld: gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie, datacenters, landbouw, elektriciteit, waterstof, biomassa en groen gas, warmte en flex.

Allereerst hebben de taskforces een inventarisatie gemaakt van de voornaamste ontwikkelingen van de betreffende sector, door te kijken naar markttrends, verwachtingen en beleidsambities. Deze ontwikkelingen zijn vervolgens gekoppeld aan de verhaallijnen.

Op basis van de beschikbare beleidsdocumenten, studies en klantdata van de netbeheerders is voor elke sector een transitiepad uitgestippeld voor ieder scenario, waarbij gekeken is naar de bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen. De transitiepaden bestaan uit verschillende parameters die de ontwikkelingen langs technologische as beschrijven. Deze transitiepaden zijn gevalideerd met de stakeholders in de stakeholdersessies en in aanvullende interviews. Daarnaast is

voor het scenario Koersvaste Middenweg een toets gedaan op de energievisies, zie laatste bijlage.

De transitiepaden zijn ingevoerd in het Energietransitiemodel. De focus lag hierbij op de technologische en energetische modellering; de economische modellering van het ETM is gebruikt voor checks en verhoudingen tussen de inzet van verschillende technieken.

Naast de modellering in het Energietransitiemodel hebben de taskforces ook parameters uitgewerkt die aansluiten bij de netimpactanalyses van de netbeheerders zelf. Het ETM heeft bijvoorbeeld parameters uitgedrukt in voertuigkilometers, terwijl de netbeheerders rekenen met aantallen laadpunten.

Daarnaast is de economische modellering in het ETM soms beperkt, bijvoorbeeld in het modelleren van de elektriciteitsmarkt. TenneT bekijkt hem in verder detail in zijn analyses. De netimpactmodellen van de netbeheerders zijn anders opgebouwd dan het ETM en rekenen ook met eigen aannames, zodat de netanalyses op hoog detailniveau doorgerekend kunnen worden.

Bijlage genodigdenlijst

Categorie	Sector	Type organisatie	Bedrijf	Categorie	Sector	Type organisatie	Bedrijf
Brancheorganisatie	Gebouwde omgeving	Branchevereniging	Aedes	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging	Brainport Development
Brancheorganisatie	Mobiliteit	Branchevereniging	DOET	Marktpartijen	Glastuinbouw		Butterfly Orchids
Brancheorganisatie	Industrie	Branchevereniging	VNG (glasindustrie)	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Cluster 6
				Marktpartijen	Voedselindustrie	Bedrijf	Cosun Beet Company
Energiebedrijven	Elektriciteit	Bedrijf	EBN	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Datasafehouse
Energiebedrijven	Warmte	Bedrijf	En Natuurlijk	Marktpartijen	Industrie	Datasafehouse	Datasafehouse
Energiebedrijven	Elektriciteit	Branchevereniging	Energie-Nederland				Rotterdam-Moerdijk
Energiebedrijven	Elektriciteit	Branchevereniging	Energiesamen	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Deltalinqs
Energiebedrijven	Elektriciteit	Bedrijf	Engie	Marktpartijen	Chemische industrie	Bedrijf	Dow
Energiebedrijven	Elektriciteit	Bedrijf	Essent	Marktpartijen	Datacenters	Branchevereniging	Dutch Data Centers
Energiebedrijven	Elektriciteit	Branchevereniging	Holland Solar	Marktpartijen	Mobiliteit	Branchevereniging	Elaad
Energiebedrijven	Wind	Branchevereniging	NedZero	Marktpartijen	Elektriciteit	Branchevereniging	Element NL
Energiebedrijven	Elektriciteit	Branchevereniging	NVDE	Marktpartijen	Raffinage	Bedrijf	Exxon Mobil
Energiebedrijven	Elektriciteit	Bedrijf	Pure Energie	Marktpartijen	Industrie	Branchevereniging	FHI
Energiebedrijven	Elektriciteit	Producent	Uniper Energy	Marktpartijen	Elektriciteit	Leverancier	Finco Energies
Energiebedrijven	Elektriciteit	Bedrijf	Vattenfall	Marktpartijen	Warmte	Technisch adviesbureau	Firan
Energiebedrijven	Elektriciteit	Branchevereniging	VEMW	Marktpartijen	Industrie	Branchevereniging	FME
Energiebedrijven	Gas	Producent	Vermilion Energy	Marktpartijen	Voedselindustrie	Branchevereniging	FNLI
				Marktpartijen	Industrie	Leverancier	Getec Emmen
Lokale overheden	Gemeenten	Gemeente	Gemeente Dordrecht	Marktpartijen	Landbouw	Branchevereniging	Glastuinbouw Nederland
Lokale overheden	Gemeenten	Gemeente	Gemeente Zwolle	Marktpartijen	Brandstoffen	Bedrijf	Goodfuels
Lokale overheden	Provincies	Overkoepelende vertegenwoordiging	IPO	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Groningen Seaports
Lokale overheden	Mobiliteit	Overkoepelende vertegenwoordiging	MRAE	Marktpartijen	Waterstof	Bedrijf	Hycc
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Drenthe	Marktpartijen	Industrie	Kennisinstituut	Institute for Sustainable
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Flevoland				Process Technology
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Friesland	Marktpartijen		Bedrijf	JUVA
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Gelderland	Marktpartijen	Industrie	Branchevereniging	KNB - keramiek
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Groningen	Marktpartijen	Industrie	Bedrijf	Lyondell
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Limburg	Marktpartijen	Staal en metaal industrie	Branchevereniging	Metaalunie
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Noord-Brabant	Marktpartijen		Vereniging	Milieu Centraal
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Noord-Holland	Marktpartijen	Chemische industrie	Branchevereniging	MVO
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Overijssel	Marktpartijen	Datacenters	Branchevereniging	NL Digital
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Utrecht	Marktpartijen	Industrie	Bedrijf	Nobian
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Zeeland	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Noordzee Kanaal Gebied
Lokale overheden	Provincies	Provincie	Provincie Zuid-Holland	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Northseaport
Lokale overheden	Gemeenten	Overkoepelende vertegenwoordiging	VNG	Marktpartijen	Elektriciteit	Bedrijf	Novar (Solarfields)
				Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	NZKG
Marktpartijen	Industrie	Bedrijf	Air Liquide	Marktpartijen	Industrie	Bedrijf	OCI Nitrogen
Marktpartijen	Industrie	Bedrijf	Airproducts	Marktpartijen	Groen gas/biomassa	Samenwerkingsverband	Platform Groen Gas
Marktpartijen	Industrie	Kennisinstelling	Avantium	Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Port of Rotterdam
Marktpartijen	Staal en metaal industrie	Branchevereniging	AVNEG	Marktpartijen	Gas	Opslag	Redshare
Marktpartijen	Groen gas/biomassa	Samenwerkingsverband	BEON	Marktpartijen	Glastuinbouw		Rosopro
Marktpartijen	Glastuinbouw		Blueterra	Marktpartijen		Technisch adviesbureau	Royal HaskoningDHV
Marktpartijen	Gebouwde omgeving	Branchevereniging	Bouwend Nederland	Marktpartijen	Elektriciteit	Producent	RWE
Marktpartijen	Industrie	Bedrijf	BP Raffinaderij	Marktpartijen	Chemische industrie	Bedrijf	Sabic Europe

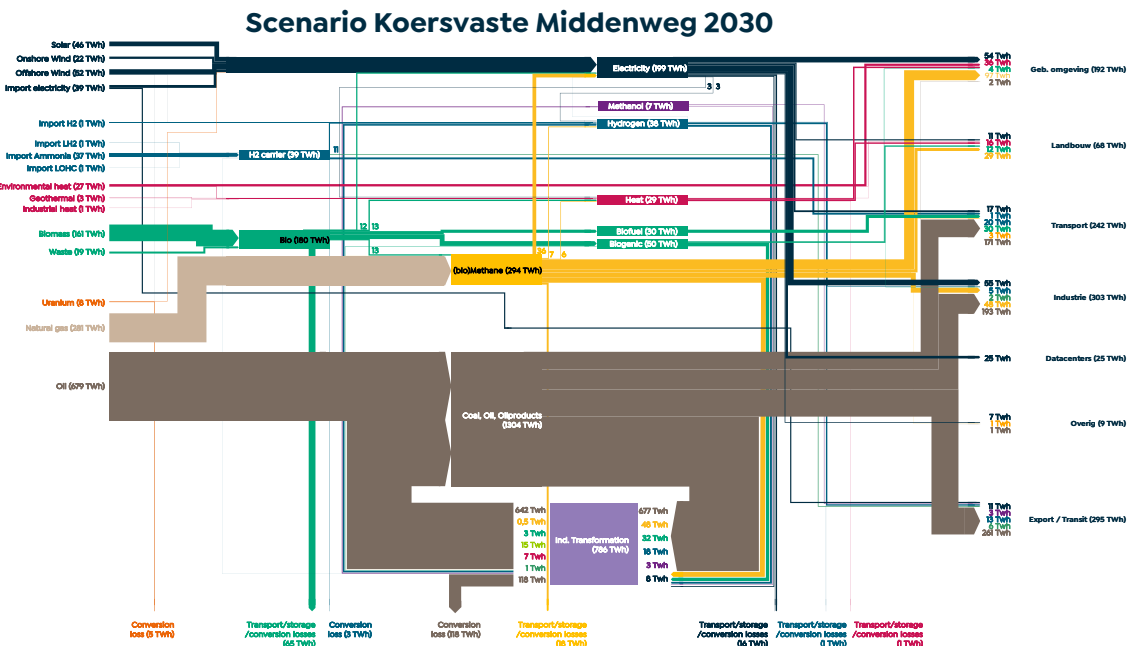
Bijlage genodigdenlijst

Categorie	Sector	Type organisatie	Bedrijf
Marktpartijen	Raffinage	Bedrijf	Shell
Marktpartijen	Elektriciteit	Bedrijf	Siemens Energy
Marktpartijen	Industrie	Klant	Sitech
Marktpartijen	Glastuinbouw		SK Roses
Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	Smart Delta Resources
Marktpartijen	Staal	Bedrijf	Tata Steel
Marktpartijen	Gebouwde omgeving	Branchevereniging	Techniek Nederland
Marktpartijen	Chemische industrie	Bedrijf	Teijin Aramid
Marktpartijen	Mobiliteit	Branchevereniging	TLN
Marktpartijen	Mobiliteit	Branchevereniging	Transport en Logistiek Nederland
Marktpartijen	Industrie	Vertegenwoordiging cluster	USG
Marktpartijen	Industrie	Leverancier	USG Company
Marktpartijen	Mobiliteit	Branchevereniging	Vemobin
Marktpartijen	Flex	Bedrijf	Ventolines
Marktpartijen	Gebouwde omgeving	Vereniging	Vereniging Eigen Huis
Marktpartijen	Gebouwde omgeving	Vereniging	Vereniging Warmtepompen
Marktpartijen	Chemische industrie	Branchevereniging	VNCI
Marktpartijen	Industrie	Branchevereniging	VNO NCW-MKB
Marktpartijen	Papier	Branchevereniging	VNP
Marktpartijen	Kunstmest	Bedrijf	Yara
Marktpartijen	Raffinage	Bedrijf	Zeeland Refinery
Marktpartijen	Landbouw	Branchevereniging	Zuidelijke Land- en Tuinbouworganisatie
Nationaal Programma	Elektriciteit	Overkoepelende vertegenwoordiging	NPRES
Rijksoverheid		Ministerie	Ministerie BZK
Rijksoverheid	IP	Ministerie	Ministerie EZK
Rijksoverheid	Elektriciteit	Ministerie	Ministerie EZK
Rijksoverheid	Congestie	Ministerie	Ministerie EZK
Rijksoverheid	PEH	Ministerie	Ministerie EZK
Rijksoverheid	Industrie	Ministerie	Ministerie EZK
Rijksoverheid	NPE	Ministerie	Ministerie EZK
Rijksoverheid		Ministerie	Ministerie IenW
Rijksoverheid		RVO	RVO
Toeziachter		ACM	ACM

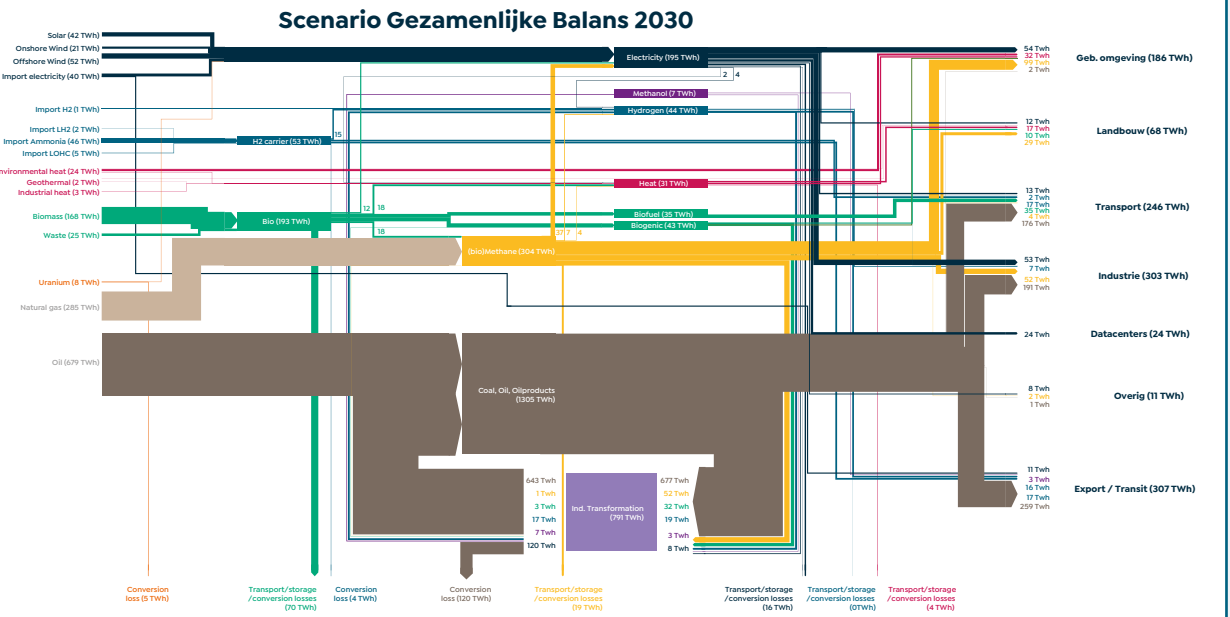
7. Inhoudelijke bijlagen

7.1 Sankeys 2030

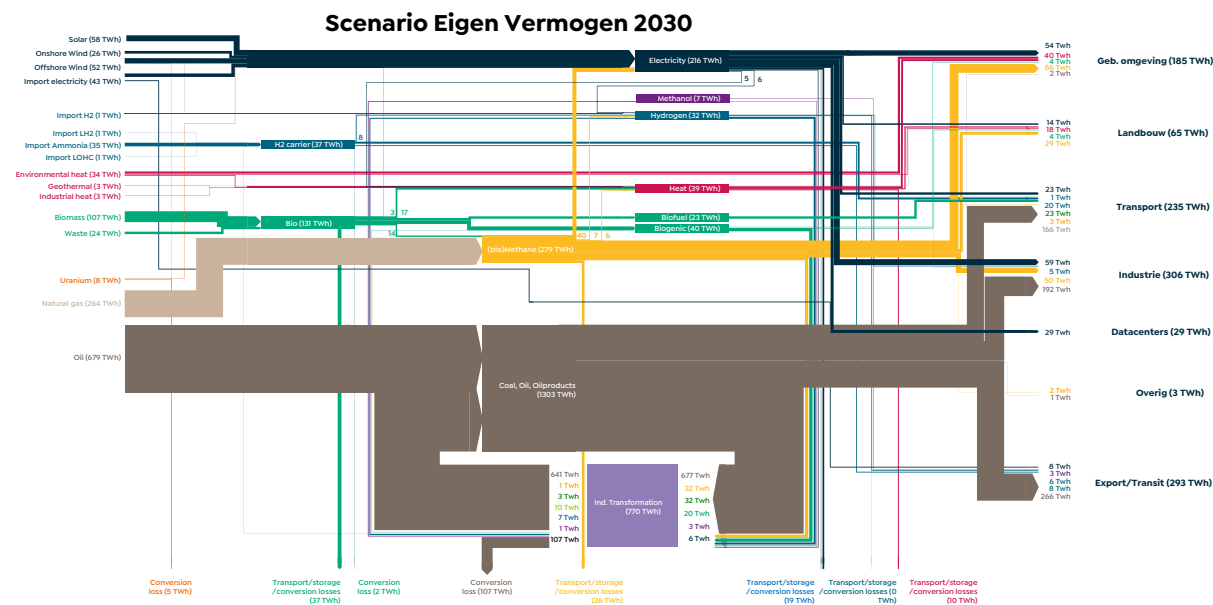
Figuur 7.1.1 Sankeydiagram scenario Koersvaste Middenweg 2030.



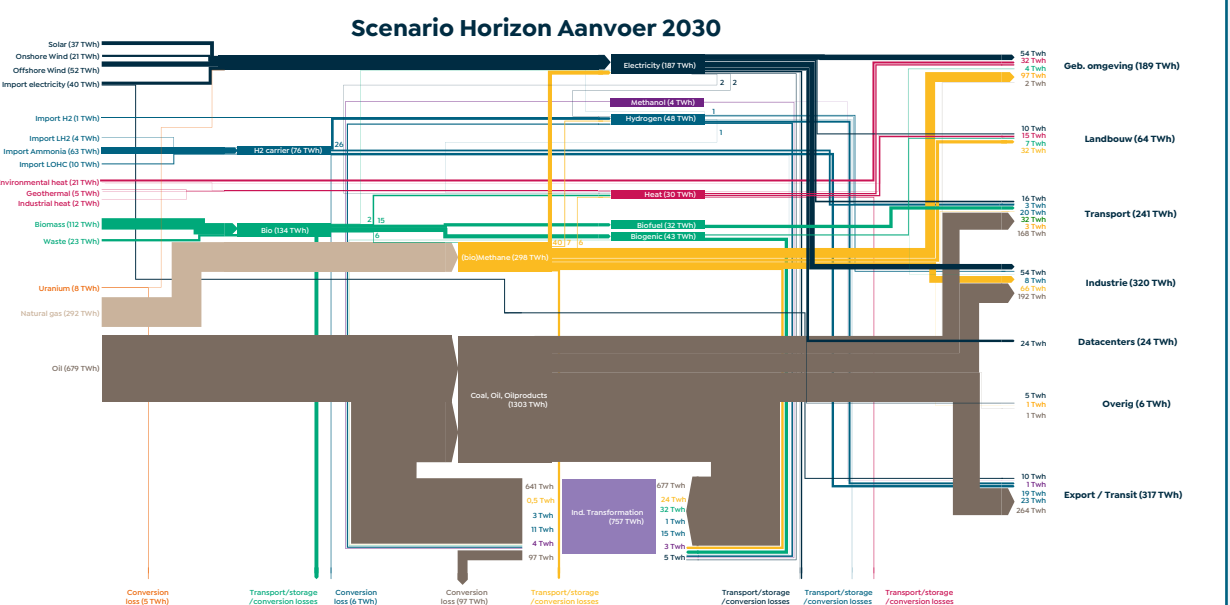
Figuur 7.1.3 Sankeydiagram scenario Gezamenlijke Balans 2030.



Figuur 7.1.2 Sankeydiagram scenario Eigen Vermogen 2030.



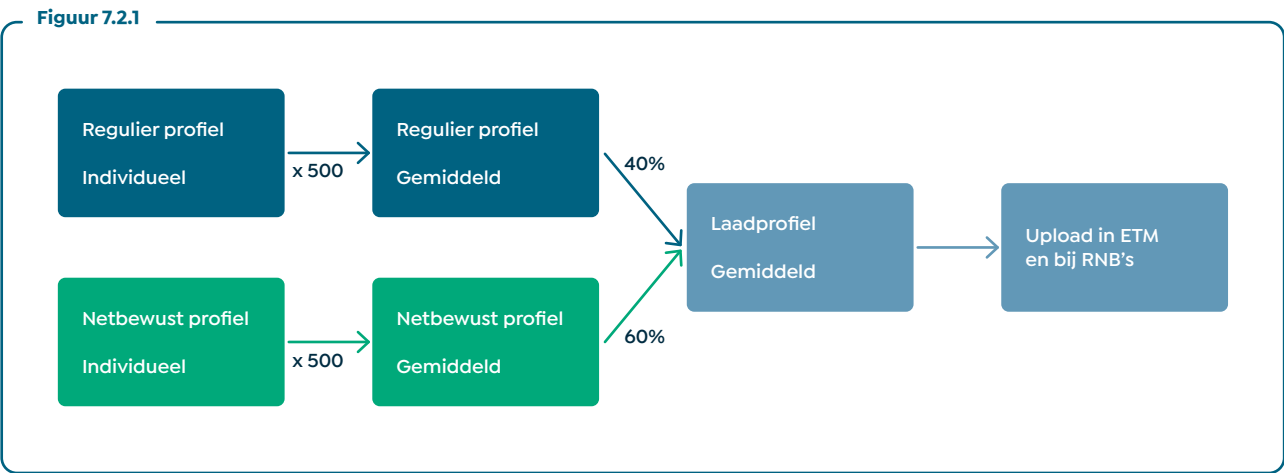
Figuur 7.1.4 Sankeydiagram scenario Horizon Aanvoer 2030.



7.2 Bijlage H4.2 Netbewust laden elektrische personenauto's

Voor het doorrekenen van de netimpact van elektrische personenauto's (EV's) zijn uitgangspunten vastgesteld voor regulier en netbewust laden. Het doel van deze uitgangspunten is om de juiste instellingen te definiëren

waarmee laadprofielen voor EV's kunnen worden gegenereerd. Dit zorgt ervoor dat zowel het Energie-transitiemodel als de regionale netbeheerders met uniforme profielen werken. Het uniformeren van deze profielen is essentieel voor een consistente en betrouwbare analyse van de impact van EV-laden op het elektriciteitsnet.



De uitgangspunten zijn in samenwerking met alle netbeheerders en ElaadNL vastgesteld. De profielen zijn gebaseerd op de aanpak en de profielengenerator van ElaadNL. Voor netbewust laden wordt gebruik gemaakt van een versimpelde methode, namelijk 'statisch netbewust laden'. Dat reduceert op alle dagen laden in de piekuren, onafhankelijk van de actuele netbelasting. Bij netbewust laden wordt, ten tijde van hoge netbelasting, het laden van EV's uitgesteld of het laadvermogen gereduceerd om de belasting op het net te verlagen.

Kernuitgangspunten Elektriciteitsvraag per laadpunt

Bij het opstellen van de laadprofielen is een prognose gemaakt van het jaarlijkse elektriciteitsverbruik per laadpunt. Deze prognose vormt de basis voor de verdere analyses.

Tabel 5: Prognose e-vraag (kWh) per jaar en per laadpunt. Cijfers zijn gebaseerd op ElaadNL Outlook Personenauto's (2024)

Tabel 7.2.1

Laadlocatie	2025	2030	2035	2040	2050
Thuisladen	1.223	1.922	2.241	2.310	2.310
Publiekladen	6.282	7.456	8.414	9.660	10.454
Werkladen	2.825	3.644	4.364	5.254	5.956

Ontwikkeling netbewust laden

Voor de jaren 2035 en 2040 ligt de nadruk op verdere flexibiliteit in het laden van EV's, met als doel een piek-reductie van 50 procent in de laadvraag te realiseren ten opzichte van regulier laden. Dit houdt in dat de capaciteit per laadpunt tijdens piekuren wordt beperkt.

Deze 50 procent reductie garandeert echter niet dat de totale piekbelasting op middenspanningsruimtes of onderstations eveneens met 50 procent zal afnemen. In de eerste jaren zal het effect van netbewust laden beperkt blijven, maar dit zal met de jaren toenemen.

Tabel 7.2.2 Ontwikkeling netbewust laden per laadlocatie en per jaar .

Laadlocatie	2025*	2030	2035**	2040	2050
Thuisladen	30%	60%	100%	100%	100%
Publiekladen	0%	30%	60%	95%	100%
Werkladen	0%	30%	60%	95%	100%

* Bron voor 2025 cijfers thuisladen: Nationaal Laadonderzoek (2024)
** Ambitie 2035: grote mate van netbewust gedrag, met verdergaande flexibiliteit van EV's

Capaciteit tijdens piekperiode per laadpunt

Om de doelstelling van 50 procent reductie in de periode 2035–2040 te realiseren, zijn de volgende uitgangspunten voor de minimale laadcapaciteit per laadpunt tijdens de piekuren vastgesteld.

Tabel 7.2.3 Netbewust laden settings in de laadprofielengenerator.

Laadlocatie	Capaciteit per laadpunt	Periode	Ramp-up
Thuisladen	3 kW	17 – 23u	Weer 100% om 06:00
Publiekladen	3 kW	17 – 23u	Weer 100% om 07:00 (1 kW oplopen per uur)
Werkladen	4 kW	7 – 11u	Weer 100% om 12:00 (timen met zonnepiek)

Resultaat

Het resultaat van deze aanpak zijn profielen op hoogspanningsniveau, waarin regulier laden en netbewust laden worden gecombineerd in een gewogen gemiddelde laadprofiel. Deze gemiddelde profielen worden toegepast in het Energietransitiemodel en andere rekentools die netbeheerders ondersteunen, specifiek gericht op de Investeringsplannen (IP2026).

Beperking Energietransitiemodel

Er zijn enkele beperkingen aan de gehanteerde aanpak. Het Energietransitiemodel kan slechts met één EV-vraagprofiel per jaar rekenen. Daarom moet er een jaarlijkse simulatie worden uitgevoerd, waarbij regulier laden en netbewust laden worden gecombineerd in één profiel. Daarnaast kan het Energietransitiemodel geen rekening houden met pooling of clustering, aangezien deze effecten sterk afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden.

7.3 Bijlage H4.3 Scenario’s ontwikkeling emissies veeteelt

Deze bijlage beschrijft de methodiek en aannames achter de krimp van de veestapel scenario’s die gebruikt zijn als onderdeel van de Netbeheer Nederland scenario’s Editie 2025. Deze notitie is opgesteld door Berenschot en Kalavasta op verzoek van het scenarioteam. De resultaten zijn gebruikt als basis van een deel van de landbouwsector emissies en zichtbaar in de figuren die de ontwikkeling van broeikasgasemissies in Nederland 2025-2050 per scenario schetsen.

7.3.1 Inleiding

Ondanks dat de emissies van veeteelt geen onderdeel uitmaken van het energiesysteem, zijn de emissies van deze sector (methaan en lachgas) wel relevant voor de berekening of en de mate waarin klimaatdoelen worden gehaald. Meer of minder reductie van emissies bij veeteelt heeft dus een relatie met de opgave om emissies te reduceren (of om negatieve emissies te creëren) binnen het energiesysteem.

In 2022 stoot de landbouw (excl glastuinbouw) nog 18,3 Mton CO_{2eq} uit, w.v. 13,2 Mton methaan, 4,9 Mton lachgas en 0,3 Mton procesemissies. Hiervan is zo’n 8,5 Mton afkomstig van pens- en darm fermentatie (methaan), 4 Mton van stal- en mest opslag (methaan), 0,5 Mton stal (lachgas) en zo’n 1,5 Mton dierlijke mest uitgereden op land (lachgas). Samen komt dit neer op circa 14,5 Mton aan emissies als gevolg van de veehouderij²⁹⁶.

We schetsen eerst de drie mogelijke scenario’s die de basis vormen voor de hoekpunten van het speelveld ‘krimp veestapel’. Vervolgens stellen we een koppeling voor tussen de inzichten uit deze studies met de scenario-verhaallijnen en ten slotte is een tabel opgesteld die in Megaton CO_{2eq} (en procentueel) weergeeft hoe de krimp van de veestapel in elk scenario eruit komt te zien. Bij het opstellen van deze notitie is geen overleg geweest met eventuele stakeholders, in een vervolg kan dit de analyse nog versterken en/of het draagvlak voor de transitiescenario’s van de veestapel vergroten.

7.3.2 Scenario’s die de transitie van de landbouw beschrijven

Er zijn ons twee voorname studies bekend die ingaan op het transitiepad (lees: krimp) van de veestapel, en als gevolg de directe reductie van methaanuitstoot en indirect de reductie van distikstofoxide. Daarnaast is door ons een derde mogelijk scenario geschetst. We geven hieronder een korte beschrijving van de drie mogelijke transitiescenario’s.

Een volledigere toelichting van de visie en de effecten van elk van de drie scenario’s is aan het eind opgenomen.

1. PBL TVKN2050 – scenario beperkte krimp, 25% reductie veestapel
Het PBL verwacht dat de broeikasgasemissies in de landbouw afnemen. Hoewel de emissiereducties minder groot zijn dan in scenario’s met een forse krimp van het landbouwareaal, biedt dit scenario een haalbare en minder disruptieve route waarbij de inzet is richting technische maatregelen zoals mestvergisting, stalmaatregelen en aanpassingen in veevoer. Het behoud van productiecapaciteit (mogelijk door innovatie) en voedselvoorziening wordt gecombineerd met een transitie naar duurzamere landbouwpraktijken. Zo vormt het een gebalanceerde aanpak die rekening houdt met zowel de klimaatdoelstellingen als de sociale en economische realiteit van de Nederlandse landbouw.

2. Urgenda – scenario ‘LandinZicht, afstemming veestapel op lokale reststromen en gras
In het Urgenda scenario is berekend hoeveel de veestapel krimpt als veevoer is afgestemd op de beschikbare gras en reststromen. De productie, verwerking en consumptie van voedsel zijn in het scenario gebalanceerd en vallen binnen de planetaire grenzen voor Nederland. De maatregelen binnen het scenario zijn doorgaans niet-technologisch van aard. De krimp van de veestapel volgens “Landinzicht” leidt tot een aanzienlijke vermindering van de ecologische voetafdruk van Nederland. De uitstoot van broeikas-gassen, stikstof en andere schadelijke stoffen neemt fors af. Tegelijkertijd ontstaat er meer ruimte voor natuur. De krimp vraagt om een zorgvuldig begeleide transitie om sociaaleconomische gevolgen voor boeren en plattelandsgemeenschappen te verzachten.

3. Technologische disruptie – industriële productie van kaas, vlees en zuivel
In dit scenario is de voedselketen in Nederland fundamenteel veranderd. De productie van melk, kaas en vlees is grotendeels verplaatst naar biotechnologische installaties, wat resulteert in een duurzamere en (kosten-) efficiëntere voedselvoorziening, zeker op moment dat emissies uit de landbouw via het ETS3 worden geprijsd net zoals in andere sectoren. De traditionele veehouderij speelt nog slechts een kleine rol, gericht op nichemarkten en bijzondere producten. Consumenten hebben zich grotendeels aangepast aan deze nieuwe realiteit en omarmen de voordelen van een duurzamer en goedkoper voedselsysteem.

7.3.3 Koppeling scenario’s transitie landbouw met II3050v3-verhaallijnen

Wij stellen de volgende koppeling tussen de drie transitie landbouw hoekpunten en de II3050v3-verhaallijnen voor:

1. Koersvaste Middenweg: dit scenario volgt het midden van de drie verhaallijnen, we stellen voor om het gemiddelde van de drie sectoren te pakken en te hanteren.

2. Eigen Vermogen: dit scenario volgt het scenario zoals beschreven in de ‘Landinzicht’ studie, waar de landbouw is afgestemd op de lokale consumptie. Handel wordt nog steeds toegepast, maar op kleinere schaal dan vandaag de dag.

3. Gezamenlijke Balan: dit scenario volgt het PBL beperkte krimp scenario, de sector krimpt beperkt en zet in op innovatie van de eigen processen en handel met Europa.

4. Horizon Aanvoer: dit scenario volgt internationale marktwerking en als gevolg van technologische disruptie krimpt de veehouderij in Nederland sterk, groei van de biochemie.

7.3.4 Tabellen met Mton CO_{2eq} en procentuele reductie t.o.v. huidige uitstoot per scenario

Onderstaande twee tabellen tonen de kwantitatieve resultaten van de geschetste scenario’s voor krimp van de veestapel. De eerste tabel toont de ontwikkeling van de restemissies afkomstig uit de veehouderij. De tweede tabel vertaald dit in de procentuele reductie van de uitstoot. De waarden in deze tabel zijn gebruikt in sectie 3.3.1.

Tabel 7.3.1 Inschatting ontwikkeling broeikasgasemissies veehouderij (in Mton CO₂-equivalenten).

Scenario	2030	2030	2040	2050
KM	11,0	7,8	6,0	5,2
EV	8,1	4,1 ²⁹⁷	4,1	4,1
GB	11,9	10,7	9,5	8,7
HA	13,1	8,7	4,4	2,9

Tabel 7.3.2 Inschatting ontwikkeling broeikasgasemissies veehouderij (in procenten t.o.v. 14,5 Mton/huidig).

Scenario	2030	2030	2040	2050
KM	18%	34%	50%	57%
EV	25%	35%	45%	50%
GB	18%	26%	34%	40%
HA	10%	40%	70%	80%

²⁹⁶ Trajecten naar een klimaatneutrale landbouw, landgebruik en glastuinbouw, PBL 2024.

²⁹⁷ Toelichting: 3.3 directe emissies veestapel + 0.8 emissies weidemest en dierlijke mest.

7.3.5 Beschrijving van de transitiepaden ‘emissies veestapel van nu naar 2050’

1. PBL: Trajecten naar een klimaatneutrale landbouw, landgebruik en glastuinbouw in 2050

Het PBL TVKN scenario ‘Klimaat Basis’ streeft naar een evenwichtige transitie naar klimaatneutraliteit in de landbouw, met een minimale afname van de omvang van de sector. Het uitgangspunt van dit scenario is dat Nederland de landbouwproductie grotendeels behoudt, terwijl tegelijkertijd stappen worden gezet om de uitstoot van broeikasgassen drastisch te verminderen en koolstofopslag te stimuleren. In dit scenario speelt technologische innovatie een centrale rol. Boeren maken gebruik van nieuwe technieken en praktijken, zoals precisielandbouw, voeroptimalisatie en verbeterd mestmanagement, om efficiënter te produceren met minder emissies.

De reductie van de emissies is in dit scenario bedraagt circa 40 procent t.o.v. 2022 (8,7 Mton in 2050 t.o.v. 14,5 Mton CO₂equivalent huidig). Er is een gematigde krimp van dierlijke productie en veestapel, van circa 10 procent in 2030, en 25 procent in 2050. De reductie in emissies is groter dan krimp van de veestapel vanwege technologische innovatie. De focus ligt op efficiëntere productie en een verschuiving van exportgerichte naar duurzame, meer binnenlandse productie. Dit betekent dat de omvang van de veehouderij afneemt, maar op een minder ingrijpende manier zoals in sommige andere scenario's.

Dit is een gematigd scenario dat voornamelijk vasthoudt aan de huidige landbouwpraktijk in Nederland. Daarmee voorkomt mogelijk sociale spanningen die als gevolg van (natuurlijke) krimp spelen in de landbouwsector. Ook blijft de economische impact voor de sector relatief beperkt, doordat er minder grond wordt onttrokken aan landbouw dan in andere, meer ingrijpende scenario's.

2. Urgenda: Land in Zicht – grond voor een vruchtbaar gesprek

De studie ‘Landinzicht’ schetst een scenario waarin de landbouwsector in Nederland een aanzienlijke transformatie ondergaat. De focus ligt op landbouw gericht op humane consumptie en het veevoer is afgestemd op de beschikbare

reststromen en graslanden. Er worden 75 procent minder pesticiden gebruikt en kunstmest wordt gereduceerd wanneer mogelijk. De productie, verwerking en consumptie van voedsel in Nederland worden dichter naar elkaar toe gebracht. In dit scenario blijft Nederland binnen de planetaire grenzen.

In dit scenario wordt de veestapel met ongeveer 50 procent teruggebracht. Deze reductie heeft directe gevolgen voor de productie van vlees en zuivel in Nederland, waarbij de focus verschuift van grootschalige exportgerichte productie naar kleinschaligere, duurzamere landbouw die vooral gericht is op de binnenlandse markt. Het verminderen van het aantal dieren leidt niet alleen tot een aanzienlijke daling van de uitstoot van methaan en stikstof, maar verlaagt ook de druk op de bodem en het water.

Een gevolg van deze krimp is de herbestemming van vrijgekomen landbouwgrond. Een deel van deze grond wordt omgezet in natuurgebieden en bossen, wat bijdraagt aan het herstel van biodiversiteit en de capaciteit voor koolstofopslag vergroot. Veengebieden krijgen bijzondere aandacht, omdat het herstel daarvan helpt om bodemdaling tegen te gaan en CO₂-uitstoot uit veengronden te beperken.

De resterende landbouw schakelt over op natuurinclusieve en circulaire methoden. Dit betekent dat landbouwbedrijven ecosystemen actief ondersteunen en gebruik maken van duurzame technieken, zoals bloemrijke akkerranden, agroforestry en extensieve begrazing. De inzet van kunstmest en pesticiden wordt daarbij grotendeels uitgefaseerd, wat de gezondheid van de bodem en de waterkwaliteit ten goede komt.

Een dergelijke transitie kan ook een verandering in het Nederlandse eetpatroon vereisen, maar dit hoeft zeker niet omdat landbouw sterk op internationale schaal opereert. In de studie zijn deze veranderingen wel op elkaar afgestemd. De studie gaat ervan uit dat mensen minder dierlijke en meer plantaardige producten gaan consumeren, wat de vraag naar vlees en zuivel verder verlaagt. Daarnaast ligt de nadruk op lokale voedselproductie, waarmee de afhankelijkheid van import en export afneemt en de ecologische voetafdruk wordt verkleind.

De voorgestelde krimp van de landbouw brengt sociaaleconomische veranderingen met zich mee. Dit vraagt om uitgebreide ondersteuning voor boeren, bijvoorbeeld via een transitiefonds dat hen helpt bij het stoppen met hun bedrijf, het omschakelen naar duurzame landbouw of het zoeken naar andere functies voor hun land. Tegelijkertijd biedt deze verandering nieuwe economische kansen in sectoren zoals natuurbeheer en sterk verminderde natuurkosten.

3. Technologische disruptie – industriële productie van kaas, vlees en zuivel

We voorzien tenslotte ook nog een derde hoekpunt, namelijk een transitie van de veestapel als gevolg van technologische disruptie. Door industriële innovatie wordt een revolutie in de productie van voedsel teweeggebracht en hierdoor wordt de veestapel in Nederland aanzienlijk kleiner. Nieuwe productiemethoden maken het mogelijk om melk, kaas en vlees op grote schaal te produceren met behulp van gisten en schimmels in bioreactoren. Deze technologieën bieden efficiëntere, goedkopere en duurzamere alternatieven voor dierlijke producten, wat leidt tot grote verschuivingen in de landbouwsector.

De kern van deze disruptie ligt in bioreactoren waarin genetisch geoptimaliseerde gisten en schimmels worden gebruikt om dierlijke eiwitten na te bootsen. Deze processen maken het mogelijk om eiwit, caseïne (voor kaas), en zelfs spierweefsel (voor vlees) te produceren zonder dat dieren nodig zijn. De technologie is schaalbaar, heeft een minimale milieu-impact en vereist slechts een fractie van de grondstoffen die traditionele veehouderij gebruikt (zowel direct als indirect voor de productie van voedsel). Hierdoor worden de productiekosten drastisch verlaagd.

Door de lage productiekosten van deze nieuwe methoden worden biotechnologische producten goedkoper dan dierlijke producten. Dit prijsverschil veroorzaakt een snelle verschuiving in de markt. Consumenten, vooral in prijsgevoelige segmenten, stappen massaal over naar de nieuwe producten. De vraag naar conventionele melk, kaas en vlees daalt scherp, waardoor boeren steeds meer moeite hebben om concurrerend te blijven. Zelfs premiumsegmenten ervaren druk, omdat hoogwaardige

biotechnologische alternatieven vergelijkbare smaak- en textuurprofielen bereiken. Deze ontwikkeling is nu nog ver weg, maar niet ondenkbaar omtrent 2040.

Naast de economische factoren speelt gedragsverandering een cruciale rol. Consumenten worden zich steeds bewuster van de milieueffecten van traditionele veehouderij, zoals broeikasgasemissies, waterverbruik en landgebruik. De nieuwe producten worden niet alleen goedkoper, maar ook gepositioneerd als milieuvriendelijk en ethisch verantwoord, zonder het gebruik van dieren. Vooral jongere generaties omarmen deze alternatieven als de norm. Marketingcampagnes benadrukken de voordelen, zoals een lager klimaatimpact en een verbeterde voedselveiligheid, wat de overstap verder versnelt.

De gecombineerde impact van dalende vraag en lage prijzen leidt tot een structurele krimp van de veestapel in Nederland. Veel melkveehouders en veehouderijen voor vleesproductie worden economisch onhoudbaar en stoppen of schakelen over naar andere bedrijfsmodellen. Dit gebeurt grotendeels zonder direct overheidsingrijpen, maar door de kracht van marktwerking. De veestapel krimpt met zo'n 80 procent, waarbij de overgebleven boerderijen zich richten op nichemarkten zoals biologische productie of traditionele producten met een hoge toegevoegde waarde.

De vrijgekomen landbouwgrond krijgt nieuwe bestemmingen. Een groot deel wordt ingezet voor natuurherstel en biodiversiteit, wat bijdraagt aan nationale en internationale klimaatdoelen. Andere delen worden gebruikt voor de productie van grondstoffen die nodig zijn voor biotechnologische processen, zoals suikerbiet en andere biomassa.

De transitie brengt grote veranderingen met zich mee voor boeren en de landbouwsector. Veel boeren stoppen met hun bedrijf of stappen over naar nieuwe activiteiten, zoals natuurbeheer of energieproductie. De landbouwsector wordt aanzienlijk kleiner, maar innovatieve bedrijven en start-ups in de biotechnologische voedselproductie creëren nieuwe banen. Overheidsprogramma's ondersteunen boeren in de omschakeling en bieden scholing en financiële middelen om de overgang sociaal rechtvaardig te maken.

**Bijlage vergelijking energievizies
en concept KM-2026**

**Vergelijking provinciale energievizies
en concept Koersvaste Middenweg-
2026 scenario**

Versie 1.0
27 maart 2025



Over dit document

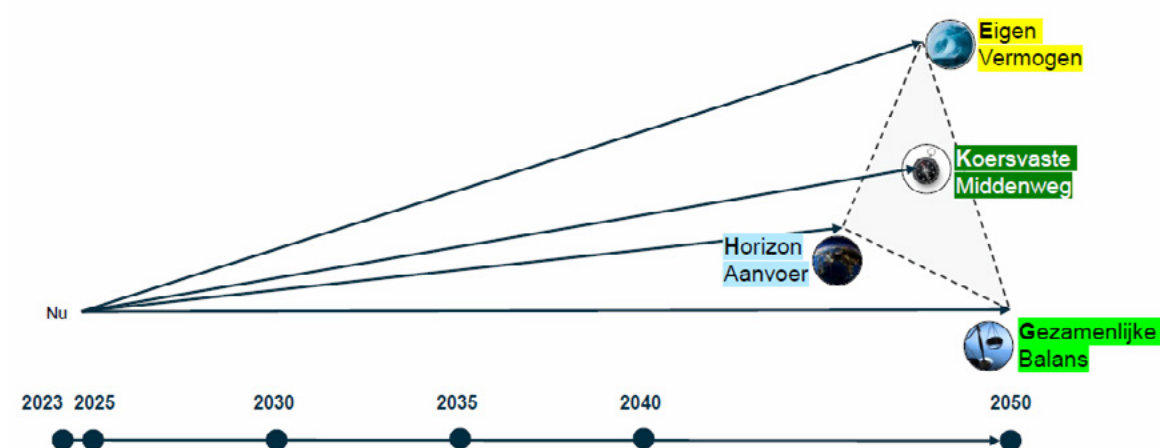
Netbeheer Nederland streeft ernaar om de provincies beter te betrekken in de ruimtelijke en maatschappelijke uitwerking van haar energiesysteemscenario's. In de periode oktober 2024 - januari 2025 is Netbeheer Nederland daarom in gesprek gegaan met de provincies om de inzichten uit haar energievisies te vergelijken met een conceptversie (80%) van het Koersvaste Middenweg scenario. Het Koersvaste Middenweg scenario is één van de vier energiesysteemscenario's die Netbeheer Nederland heeft ontwikkeld voor het Investeringsplan 2026 en haar lange termijnstudies naar het toekomstig energiesysteem (II3050).

Het doel van deze gesprekken was om te komen tot een uitwisseling van kwantitatieve gegevens en kwalitatieve inzichten voor de verdere ontwikkeling van zowel de energiesysteemscenario's als de provinciale energievisies. We vergeleken de beschikbare energievraag en –aanbod cijfers voor het jaar 2050 uit de energievisies met geregionaliseerde provinciale versies van het concept Koersvaste Middenweg scenario. Deze vergelijking is uitgevoerd door Quintel en hiervoor is gebruik gemaakt van het Energietransitiemodel (ETM).

Dit document beschrijft de aanleiding voor de gesprekkreeks, de gehanteerde aanpak en de resultaten. Dit betreft zowel kwantitatieve resultaten volgend uit de vergelijkingen, als kwalitatieve resultaten volgend uit de gevoerde gesprekken met de provincies. Tot slot worden er in dit document concrete aanbevelingen aan Netbeheer Nederland gedaan voor het versterken van de iteratieve wisselwerking tussen de energiesysteemscenario's van Netbeheer Nederland en de energievisies van de provincies.

Aanleiding

In mei 2024 startte Netbeheer Nederland met het uitwerken van de energiesysteemscenario's die de basis vormen voor haar investeringsplannen (IP 2026) en lange termijnstudies naar het toekomstig energiesysteem (II3050). Op basis van eerdere scenariotrajecten en het beschikbaar komen van het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) van het ministerie van EZK (nu KGG), heeft Netbeheer Nederland besloten om een Koersvaste Middenweg scenariotraject (KM-2026) uit te werken (zie *Figuur 1*). Omdat het KM-2026 scenario een realistische weergave voorstelt van het NPE voor 2040 en 2050, is het interessant om een geregionaliseerde provinciale versie van het KM-2026 scenario te vergelijken met de eigen toekomstbeelden van de provincies voor 2050. De provincies hebben, nu zij in september 2024 de eerste versie van hun energievisies hebben opgeleverd, immers een interessante uitgangspositie om gegevens aan te leveren die de energiesysteemscenario's van Netbeheer Nederland kunnen verrijken.



Figuur 1. Visualisatie van de Netbeheer Nederland energiesysteemscenario's voor het IP2026 en lange termijn studies

Aanpak

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de algehele aanpak voor de vergelijking van de provinciale energievizies met het concept KM-2026 scenario. Hierin wordt eerst de methode beschreven voor het regionaliseren van nationale scenario's met het Energietransitiemodel (ETM). Daarna wordt er een overzicht gegeven van de provincie waarmee gesproken is. Tot slot wordt er een overzicht getoond van de gebruikte databronnen die per provincie zijn gebruikt voor het maken van het vergelijk met het provinciale versies van het concept KM-2026.

Methode voor regionaliseren nationale scenario's in het ETM

Om een kwantitatieve vergelijking tussen het nationale concept KM-2026 en de provinciale energievizies te maken is het noodzakelijk om het concept KM-2026 naar provinciale schaal te regionaliseren. Voor deze regionalisatie heeft Quintel de aannames uit een nationaal ETM-scenario overgezet op een provinciale versie van het ETM. Enkele aanvullingen hierbij zijn:

- Vrijwel alle aannames in het ETM gaan over relatieve veranderingen ten opzichte van het startjaar, bijvoorbeeld groei van sectoren, marktaandelen van technologieën. Deze aannames zijn één op één overgenomen.
- Enkele aannames, bijvoorbeeld aantal inwoners of opgestelde vermogens, zijn absoluut. Om deze aannames te regionaliseren naar de provincies is gebruik gemaakt van de verdeelsleutels uit [Energiekompas 2050](#) (zie *tabel 1*).
- Er is verder geen aanvullende data gebruikt in de regionalisatie. Dit om de basis eenduidig te houden.

Beperkingen van de regionalisatiemethode

- Het regionaliseren van een nationaal ETM-scenario naar provinciaal niveau levert nadrukkelijk geen compleet provinciaal scenario op. Dit geldt met name voor de onderdelen van het scenario die provincie-specifiek zijn, zoals de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving, aanlanding wind op zee en opwek via small modular reactors. De geregionaliseerde scenario's zijn een startpunt voor de kwantitatieve vergelijking, maar hebben geen officiële status.
- Er waren beperkt gegevens beschikbaar om het energiegebruik van de decentrale industrie te regionaliseren. Als gevolg hiervan is de sector industrie niet meegenomen in het vergelijk.

Tabel 1. Toegepaste verdeelsleutels voor regionalisatie KM-2026 naar de provincies

Aanname	Verdeelsleutel
Aantal inwoners	Absolute groei in aantal inwoners verdeeld naar provincies op basis van de huidige verdeling van het aantal inwoners
Nieuwe huizen per type	Absolute groei per type verdeeld op basis van de huidige verdeling van aantal huizen per type per provincie
Nieuwe gebouwen	Absolute groei verdeeld op basis van de huidige verdeling van aantal gebouwen per type per provincie
Opgestelde vermogens elektriciteitsproductie	Verdeeld op basis van de verdeelsleutels naar gemeente zoals beschikbaar voor het II3050-scenario 'Nationaal Leiderschap' op Energiekompas 2050 opgeteld naar provincie
Opgestelde vermogens warmteproductie	
Opgestelde vermogens flexibiliteitsmiddelen	

Overzicht van provincies waarmee gesproken is

De kwantitatieve vergelijking diende als een onderlegger voor een kwalitatief gesprek met de provincies. Alle provincies zijn door Netbeheer Nederland benaderd voor een gesprek. In dit gesprek lag de focus niet alleen op de exacte getallen, veel energievizies zijn immer nog in ontwerp, maar vooral over de uitgangspunten, het systeembeeld, belangrijke ontwikkelingen en de blinde vlekken op energievlak.

In de provincies **Friesland, Drenthe, Flevoland, Overijssel, Utrecht, Zuid-Holland** en **Zeeland** is er een kwantitatieve vergelijking gemaakt tussen het concept KM-2026 scenario en de energievizie of een document dat een aanzet tot de energievizie vormt. Omdat de provincie Utrecht al had meegedraaid in de pilot, is er in deze gesprekreeks niet opnieuw met deze provincie gesproken.

Daarnaast gaven vijf provincies aan (nog) niet over voldoende data voor de vergelijking te beschikken. Met de provincies **Noord-Holland, Gelderland** en **Groningen** is een kwalitatief gesprek gevoerd over hun energievizies en de energiesysteemscenario's van Netbeheer Nederland. Met de provincie **Limburg** is een vergelijking gemaakt op basis van haar energiesysteemstudie 2040. Met de provincie **Noord-Brabant** is afgesproken om op een later moment in gesprek te gaan met relevante netbeheerders.

Overzicht van de gebruikte databronnen voor de vergelijking met concept KM-2026

Aan de hand van een overzicht van vraag- en aanbodparameters is bij de provincies een data uitvraag gedaan. Het overzicht van de uitgevraagde parameters is toegevoegd in *Appendix A*. Alle provincies maken voor het opstellen van haar 2050 toekomstbeelden veelal gebruik van de Netbeheer Nederland scenario's (II3050 v2). Echter, zitten er nog grote verschillen tussen de provincies in de mate waarin zij deze parameters verrijken met provinciale getallen, aannames en beleidskeuzes. Dit heeft meerdere redenen:

- Het merendeel van de provincies waren in de periode van de kwantitatieve vergelijking nog volop bezig met het uitwerken van hun product energievizie.
- De provincies vliegen de uitwerking van haar toekomstbeelden voor 2050 verschillend aan. Hiervoor wordt nadrukkelijk niet altijd gebruik gemaakt van een kwantitatieve benadering.
- Het gebruik van de Netbeheer Nederland scenario's is niet vanzelfsprekend of een vereiste voor de kwantitatieve onderbouwing van provinciale toekomstbeelden.

Tabel 2 toont een overzicht van de databronnen die per provincie zijn gebruikt voor het vergelijk met het concept KM-2026.

Tabel 2. Overzicht van databronnen per provincie en de resulterende ETM-scenario's

Provincie	Data voor vergelijking afkomstig uit	Voor toekomstbeeld 2050 gebruik gemaakt NBNL scenario's (II3050 v2)?
Friesland	Kennisdocument Energievisie (Berenschot, 2023)	Deels, basisbronnen zijn modellen van Liander en ElaadNL, aangevuld met extra informatie via kengetallen
Drenthe	Aanzet tot een energievisie en pMIEK 2.0 (APPM, 2024)	Nee, data afkomstig uit cijfers op gemeenteniveau uit de Klimaatmonitor met projecties richting 2050, aangevuld met informatie uit TVW's en de RES
Overijssel	Energievisie Overijssel (provincie, 2024)	Ja, regionale data uit ontwikkelpaden ii3050 v2 zijn gebruikt om basisscenario vorm te geven
Utrecht	Energievisie Utrecht (provincie, 2024)	Ja, basisscenario gebaseerd op ii3050 v2 nationaal leiderschap
Flevoland	Advies voor een energievisie (CE Delft, 2024)	Ja, energievisie scenario's zijn gebaseerd op data uit II3050 v2 scenarioset
Zuid-Holland	Ontwikkelvarianten Zuid-Holland (Quintel, 2024)	Deels, enkele parameters ontwikkelvarianten zijn gebaseerd op II3050 v2 nationaal leiderschap.
Zeeland	Excelbestand "Energievisie" (Generation Energy, 2024)	Deels, cijfers uit energiekompas 2050 worden gebruikt als vergelijkingsmateriaal

Resultaten van de kwantitatieve vergelijking energievisies met concept KM-2026

De kwantitatieve vergelijking biedt inzicht in hoe de vraag- en aanbodsectoren in de energievisies in 2050 zich verhouden tot de “gemiddelde” lijn, zoals weergegeven in het concept KM-2026. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de kwantitatieve vergelijking per sector weergegeven. Daarbij worden steeds één of meerdere voorbeelden uit de vergelijkingen getoond ter illustratie. In de vergelijkingen is er gekeken naar eindverbruik, technologieën en modaliteiten.

Sector gebouwde omgeving

Eindverbruik

Alle provincies gaan in hun energievisies uit van een groter aantal woningen dan het concept KM-2026. Alleen voor provincie Zeeland is hier geen data over beschikbaar. *Tabel 3* toont een voorbeeld uit Friesland.

Tabel 3. Aantal woningen en gebouwen – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Friesland

Parameter	Kennisdocument 2023 Friesland - 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Friesland - 2050
<i>Eindverbruik</i>		
Aantal woningen	355 k	301,6 k
Aantal gebouwen	54,5 k	47,9 k

Een andere bevinding is dat het energieverbruik voor de gebouwde omgeving in de provincies structureel lager ligt dan het concept KM-2026. Een belangrijke reden voor minder energiegebruik is besparing via isolatie en zuinigere verwarmingstechnologieën ten opzichte van het concept KM-2026. Zo maakt een hogere isolatiegraad in de energievisie van Utrecht het mogelijk om geen gasvormige energiedragers in te zetten in de gebouwde omgeving, terwijl dat in het concept KM-2026 voor Utrecht wel is gebeurd (*tabel 4*).

Tabel 4. Verwarmingstechnologieën – uit vergelijking energievisie en concept NPE scenario voor provincie Utrecht

Parameter	Energievisie Utrecht 2050	NBNL concept NPE scenario Utrecht 2050
<i>Verwarmings-technologieën</i>		
(Duurzaam) gas	Géén gas of waterstof	Beperkt gas en waterstof (ketel en hybride)
Warmtepompen	Meer elektrische warmtepompen	Minder elektrische warmtepompen
Warmtenetten	Meer warmtenetten; MT (28%) en LT (9%)	Enkel HT warmtenetten (20%)

De provincie Zuid-Holland voorziet een substantieel grotere rol voor warmte in de gebouwde omgeving ten opzichte van het concept KM-2026 (tabel 5). Anderzijds is de rol voor elektriciteit juist weer lager dan het concept KM-2026.

Tabel 5. Eindverbruik – uit vergelijking ontwikkelvariant A en concept KM-2026 voor provincie Zuid-Holland

Parameter	Ontwikkelvariant A Zuid-Holland 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Zuid-Holland - 2050
<i>Eindverbruik</i>		
Elektriciteit GO	36,0 PJ	62,4 PJ
Gas GO	0,1 PJ	9,4 PJ
Warmte GO	46,6 PJ (MT)	12,2 PJ (MT); 7,5 PJ (LT)
H2 in GO	0,1 PJ	-

Verwarmingstechnologieën

De energievisie van de provincie Overijssel doet geen eigen aannames voor de verwarmingstechnologieën, maar neemt de mix over van de Netbeheer Nederland scenario's. In de energievisies van de provincies Zuid-Holland, Flevoland, Zeeland, Friesland en Drenthe spelen warmtenetten een proportioneel grotere rol in de verwarmingstechnologiemix dan het concept KM-2026. Opvallend hierbij is dat de energievisies van Zeeland, Drenthe en Friesland geen gegevens bevatten over de beoogde bronnen voor deze warmtenetten. In tabel 6 een voorbeeld uit Zuid-Holland.

Tabel 6. Verwarmingstechnologieën – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Zuid-Holland

Parameter	Ontwikkelvariant A Zuid-Holland 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Zuid-Holland - 2050
<i>Verwarmings-technologieën</i>		
(Duurzaam) gas	Heel beperkt	Beperkt gas en waterstof (ketel en hybride)
Warmtepompen	Elektriciteit; 49% all electric	Elektriciteit; 50% warmtepompen
Warmtenetten	MT warmtenetten; 51% in HH en gebouwen	MT warmtenetten; 19% (HH), LT-w-net: 20% (gebouwen)

Zoals benoemd in de sectie *Eindverbruik* voorziet de energievisie Utrecht geen rol voor duurzame gassen in de gebouwde omgeving en wordt er vol ingezet op de elektrische warmtepomp en warmtenetten.

Sector mobiliteit

Eindverbruik

De energievisies van de provincies Zuid-Holland, Friesland en Drenthe doen geen aannames over eindverbruik. In de energievisie Utrecht zijn er geen grote verschillen voor eindverbruik ten opzichte van het concept KM-2026. Als gevolg van de regionalisatiemethode van het concept KM-2026 zijn er echter wel verschillen in het eindgebruik in Flevoland en Zeeland. Dit heeft in beide gevallen te maken met de relatief grote rol van scheepvaart in deze provincies. In tabel 7 een voorbeeld uit de provincie Zeeland.

Tabel 7. Eindverbruik – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Zeeland

Parameter	Energievisie Zeeland 2050		NBNL concept KM-2026 scenario Zeeland - 2050
<i>Eindverbruik</i>	<i>Scenario A</i>	<i>Scenario B</i>	
Personenvervoer	2,9 PJ	2,9 PJ	2,5 PJ
Goederenvervoer en werktuigen	3,7 PJ	2,5 PJ	33,4 PJ
Visserij	0,20 PJ	0,011 PJ	-

Daarnaast is het opvallend dat de provincie Overijssel in vergelijking tot het concept KM-2026 stevig inzet op waterstof voor vrachtvervoer (5.1 PJ). De provincie volgt hierin de aannames uit de Netbeheer Nederland scenario's (II3050 v2). In tabel 8 een voorbeeld uit de provincie Overijssel.

Tabel 8. Eindverbruik – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Overijssel

Parameter	Energievisie Overijssel 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Overijssel 2050
<i>Eindverbruik</i>		
Personenvervoer	E: 6,4 PJ, H2: 0,5 PJ	E: 7,1 PJ, H2: 0 PJ, Benzine: 0,3 PJ
Vrachtwervoer	E: 7,6 PJ; H2: 5,1 PJ	E: 8,9 PJ; H2: 1,2 PJ, Biobrandstof + diesel: 1,6 PJ

Modaliteiten

De energievisies van Zuid-Holland, Friesland, Flevoland en Drenthe doen geen aannames over hun modaliteitenmix. De provincie Overijssel heeft haar modaliteitenmix overgenomen van de Netbeheer Nederland scenario's. Er is wel een groot verschil in de modaliteitenmix in de energievisie Zeeland, waarin scheepvaart sterk domineert. De modaliteitenmix in Utrecht wijkt wel sterk af van het concept KM-2026. Zo wordt er in de energievisie 21,7% meer gefietst en 15,6% minder afstand met de auto afgelegd, zoals getoond in tabel 9.

Tabel 9. Modaliteiten – uit vergelijking energievisie en concept NPE scenario voor provincie Utrecht

Parameter	Energievisie Utrecht 2050	NBNL concept NPE scenario Utrecht 2050
Modaliteiten		
Auto	45%	60,6%
Trein	6%	16,4%
Tram	5%	0,8%
Bus	13%	9,3%
Fietsen	32%	10,3%
Overig	0%	3,6%

Brandstofmix binnen de modaliteit

De energievisies van Friesland, Flevoland en Zeeland doen geen aannames over de brandstofmix. De energievisies van de provincies Overijssel, Utrecht, Zuid-Holland en Drenthe tonen wel verschillen met het concept KM-scenario. Zo gaat Overijssel uit van een grote rol voor waterstof (25%) voor bussen en vrachtwagens in haar technologiemix. Daarnaast zet de provincie Zuid-Holland enkel in op elektriciteit (85%) en waterstof (15%), terwijl de mix in het concept KM-2026 breder is. Ook de energievisie Utrecht zet in op een andere brandstofmix dan het concept KM-2026. In *tabel 10* wordt het voorbeeld voor Overijssel getoond.

Tabel 10. Technologiemix – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Overijssel

Parameter	Energievisie Overijssel 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Overijssel 2050
Modaliteiten		
Auto	E: 100%	E: 100%
Bus	E: 100% , H2: 25%	E: 99% ?, H2: 1%
Fietsen	E: 100% , H2: 25%	E: 78,8%, H2: 8,5%, bio-diesel: 4,2%, bio-LNG: 8,4%
Overig	(bio) LNG: 25%, E: 75%	Diesel: 10%, bio-LNG: 15%, H2: 25%, E: 25%, NH3: 25%

Zoals getoond in *tabel 11*, is het verder opvallend dat de energievisie Drenthe uitgaat van 100% elektrisch voor alle modaliteiten.

Tabel 11. Technologiemix – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Drenthe

Parameter	Energievisie Drenthe 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Drenthe 2050
Modaliteiten		
Auto	E: 100%	E: 100%
Bus	E: 100%	E: 99%, H2: 1%
Fietsen	E: 100%	E: 78,8%, H2: 8,5%, bio-diesel: 4,2%, bio-LNG: 8,4%
Overig	E: 100%	E: 25%, H2: 25%, NH3: 25%, Diesel: 10%, bio-LNG: 15%

Sector land- en tuinbouw

De energievisies van Friesland, Overijssel, Utrecht en Drenthe doen geen aannames over de sector land- en tuinbouw. De provincie Flevoland heeft enkel aannames over het elektriciteitsgebruik. In ontwikkelvariant A van de provincie Zuid-Holland worden aannames gedaan over de energievraag per drager en de verwarmingstechnologie. Opvallend hier is de rol van warmtepompen (minder dan concept KM-2026) en geothermie (meer dan KM-2026). In *tabel 12* wordt het voorbeeld voor Zuid-Holland getoond.

Tabel 12. Verwarmingstechnologieën – uit vergelijking ontwikkelvariant A en concept KM-2026 voor Zuid-Holland

Parameter	Ontwikkelvariant A Zuid-Holland 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Zuid-Holland - 2050
<i>Verwarmings-technologieën</i>		
(Duurzaam) gas	Niet	Beperkt gas: 2%
Biomassa	Beperkt: 1%	6,3%
Warmtepompen	Elektriciteit; 24% all elec. warmtepomp	Elektriciteit; 34,3% warmtepompen
Warmenetten	31%	MT w-net 30m7%
Geothermie	Direct: 44%	Direct: 23%

Daarnaast ligt de warmtevraag voor de land- en tuinbouwsector in de energievisie Zeeland een factor 6 hoger dan het concept KM-2026. Elektriciteitsgebruik ligt juist weer fors lager (*tabel 13*).

Tabel 13. Eindverbruik – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Zeeland

Parameter	Energievisie Zeeland 2050		NBNL concept KM-2026 scenario Zeeland - 2050
<i>Eindverbruik (PJ)</i>	<i>Scenario A</i>	<i>Scenario B</i>	
Elektriciteit (incl. WP)	0,52	1,1	1,4
(Groen)gas	0,16	0	0
Biomassa	0	0	0,040
Warmte HT	1,1	0	0
Warmte MT	0,89	0	0,28
Warmtepomp E	0,26	0,81	0,012
Warmtepomp OW	0,78	2,4	0,16

Energieproductie

De energievisies van Friesland, Zeeland en Zuid-Holland bevatten geen directe aannames voor energieproductie. De energievisie van Zeeland bevat wel potenties voor wind op land en zon PV, groengas, geothermie, aquathermie en restwarmte. De productie met zon en wind en van groengas in het concept KM-2026 scenario voor Zeeland valt ruim binnen deze potenties (*tabel 14*).

Tabel 14. Eindverbruik – uit vergelijking energievisie en concept KM-2026 voor provincie Zeeland

Parameter	Energievisie Zeeland 2050	NBNL concept KM-2026 scenario Zeeland - 2050
<i>Overige opwek</i>		
(Groen)gas	Potentie: 9,99 PJ	7,1 PJ
Geothermie	Potentie: 23 MW _{th}	0,1 PJ ~5,2 MW bij 6000 vollasturen
Aquathermie	Potentie: 170 PJ	0 PJ
Restwarmte	Potentie: 2,6 MW _{th}	0 PJ

De energievisie Utrecht voorziet een vergelijkbare hoeveelheid zon PV productie als het concept KM-2026, maar de verdeling tussen zon op dak en zon op land is precies omgekeerd. De energievisie voorziet namelijk veel minder zon op dak. Voor zowel zon als wind gaat concept KM-2026 daarnaast uit van fors hogere vollasturen en is er dus minder opgesteld vermogen nodig.

Een andere bevinding is dat de provincie Flevoland rekening houdt met 200 MW kernenergie (SMR). Daarnaast ligt de productie uit zon PV en wind in het concept KM-2026 scenario binnen de bandbreedte van de opgegeven scenario’s uit het advies Energievisie (*tabel 15*).

Tabel 15. Eindverbruik – uit vergelijking advies energievisie en concept KM-2026 voor provincie Flevoland

Parameter	Advies Energievisie Flevoland 2050		NBNL concept KM-2026 scenario Flevoland - 2050
<i>Elektriciteitslevering (PJ)</i>	<i>Decentrale hubs</i>	<i>Nationaal verbonden</i>	
Zon PV	14,3 (MW? – FLH?)	4,32 (MW? – FLH?)	8,72 PJ (3353 MW – 907 FLH)
Op daken	8,44	2,45	5,63 (2256 MW)
Op land	5,9	1,87	3,09 (1097 MW)
Wind op land	30,9 (2586 MW – 3350 FLH)	16,6 (1337 MW – 3350 FLH)	26,8 PJ (2323 MW – 3200 FLH)
Kern	5,76 (200 MW – 8000 FLH)	-	-

Tot slot verschillen de beelden voor de provincie Overijssel behoorlijk wat betreft de opwek uit zon, wind en andere bronnen. Uit het gesprek met de provincie bleek dat dit verschil waarschijnlijk kan worden verklaard door het feit dat de aannames uit de energievisie, bijvoorbeeld over vermogen waarop zonneparken worden aangesloten, wezenlijk verschillen van de aannames uit het concept KM-2026.

Bevindingen uit de gesprekken

Dit hoofdstuk biedt een overzicht van de rode draden uit de gevoerde gesprekken met de provincies over hun energievisie en de energiesysteemscenario’s van de netbeheerders. De belangrijkste bevindingen zijn hieronder puntsgewijs opgesomd:

- Alle provincies waarderen de mogelijkheid om op strategisch niveau met hun netbeheerder te kunnen sparren over de lange termijnontwikkeling van het energiesysteem.
- Door hoge mate van tijdsdruk en beperkingen in capaciteit zijn er op dit moment nog grote verschillen in het product energievisie. Een andere belangrijke reden voor deze verschillen is dat de [Bouwstenennotitie Energievisie](#) ook veel ruimte laat aan de provincies voor de precieze uitwerking van het product energievisie.
- De energievisies worden, mede als gevolg van bovenstaande, veelal uitgewerkt met (zware) ondersteuning van externe consultants. Hierdoor is er een risico dat de provincies niet optimaal profiteren van de baten, met als belangrijkste het leerproces, van het ontwikkelen van een toekomstbeeld 2050.
- In alle vergelijkingen, behalve Drenthe, maken de provincies gebruik van de parameters van de Netbeheer Nederland scenario's (vorige editie; II3050 v2). Echter, is de energiebalans voor 2050 nog vaak niet sluitend en worden de getallen nog beperkt verrijkt met provinciale aannames.
- Ook de mate waarin de provincies regie voeren op de dataverzameling varieert. Wat opvalt is dat de provincies Utrecht, Zuid-Holland en Overijssel vooroplopen in de kwantitatieve onderbouwing van hun energievisie. Dit zijn alle drie provincies die een hoge mate van regie voeren op de eigen dataverzameling.
- De vergelijking met het concept KM-2026 wordt door alle provincies beschouwd als waardevol en geeft veel aanleidingen voor vervolgstudies, bijvoorbeeld voor mobiliteit.
- Omdat het ETM aannames bevat over alle vraagsectoren, aanbod en flexibiliteit, wordt de energievisie vanuit een energiebalansgedachte vergeleken. Hierbij wordt het ook overzichtelijk aan welke knoppen de provincie zelf draait, en welke niet, en welke keuzes de provincie anders maakt dan haar netbeheerder.
- Tot slot tonen de gesprekken aan dat de energievisie zeker verrijkende inzichten kan bieden voor de energiesysteemscenario’s van Netbeheer Nederland. Een aantal voorbeelden:
 - Datacenters zijn in meerdere provincies een belangrijk, maar onzeker vraagstuk voor de ontwikkeling van het energiesysteem.
 - Meerdere provincies, zoals Friesland en Gelderland, oriënteren zich op het plaatsen van small modular reactors (SMRs).
 - De provincie Zuid-Holland heeft cijfermatige ontwikkelpaden uitgewerkt met veel relevante informatie op gemeenteniveau.
 - De Lelylijn is een goed voorbeeld van een interprovinciale ontwikkeling met een groot effect op de ontwikkeling van o.a. woningbouw en economische activiteit in de regio.

Aanbevelingen

De verwachting is dat het product energievisie in toenemende mate een belangrijke informatiebron kan worden om de energiesysteems scenario's van Netbeheer Nederland te verrijken met provinciale inzichten. In dit hoofdstuk worden er daarom concrete aanbevelingen gedaan aan Netbeheer Nederland voor het versterken van de iteratieve wisselwerking tussen haar energiesysteem scenario's en de provinciale energieviesies.

Korte-termijn aanbevelingen voor Netbeheer Nederland

Uit de gesprekken blijkt dat de provincies nog onvoldoende zicht hebben op de energiesysteems scenario's van Netbeheer Nederland. Met name hoe de netbeheerders de scenario's gebruiken en hoe de nieuwe energiesysteems scenario's zich verhouden de vorige iteratie (II3050 v2). Concrete aanbevelingen om de energiesysteems scenario's beter bij de provincies te laten landen zijn:

- Organiseer een rondje langs de velden bij de provincies over de nieuwe set energiesysteems scenario's. Maak hierin duidelijk hoe de netbeheerders gebruik maken van de scenario's, hoe netbeheerders op basis van deze scenario's tot investeringsbeslissingen komen en hoe de energiesysteems scenario's gebruikt kunnen worden voor het creëren van provinciale basisscenario's.
- Start een pilot met de provincies Zuid-Holland, Overijssel en Utrecht om een aanpak uit te werken waarmee de inzichten uit deze energieviesies worden gebruikt om de Netbeheer Nederland scenario's te verrijken.
- Maak met de publicatie van de nieuwe Netbeheer Nederland scenario's, en de regionalisatie hiervan, inzichtelijk welke parameters zijn aangescherpt op basis van informatie uit de energieviesies, en welke niet. Dit is in het bijzonder van belang voor provincies waarbij de beelden uit de energievisie afwijken van het KM-2026 scenario, zoals bijvoorbeeld de brandstofmix van zwaar transport in de provincie Overijssel.
- Bedenk een heldere verhaallijn voor de positionering van het concept KM-2026 scenario. Te uitgesproken positionering van het KM-2026 als het midden scenario kan tot vervelende gesprekken leiden binnen de provincies waarin de toekomstbeelden verschillen van het KM-2026.

Lange-termijn aanbevelingen voor Netbeheer Nederland

Het is ook belangrijk om nu al vooruit te kijken op het proces voor de volgende iteratie Netbeheer Nederland scenario's voor onder andere het IP2028. En wat er nodig is om het product energievisie hierin mee te nemen als volwaardige informatiebron. Concrete aanbevelingen hiervoor zijn:

- Om samen met de nationale en decentrale overheden de timing van producten die de verschillende nationale programma's en trajecten produceren beter op elkaar af te stemmen. Mogelijk kan hiermee bijvoorbeeld in de toekomst de energievisie ook resultaten uit de CES meenemen.
- Maak op basis van de gesprekken met de overheden een update van het "Ganzenbord". Geef hierin duidelijk aan wanneer de energieviesies door de provincies moeten worden opgeleverd om deze mee te kunnen nemen als informatiebron in de uitwerking van de energiesysteems scenario's voor het IP2028. Zorg in samenwerking met de regio-collega's er vervolgens voor dat het geüpdatete "Ganzenbord" goed land bij de provincies.
- Creëer een lijst met randvoorwaarden waar de energievisie aan moet voldoen om deze mee te nemen als informatiebron voor de update van de Netbeheer Nederland scenario's. Uitgangspunt hierbij is dat een energievisie aanvullende inzichten biedt op de scenario parameters op basis van provinciale beleidskeuzes en voortschrijdend inzicht. Belangrijke vragen hierbij zijn:
 - Welke informatiestromen zijn er nodig vanuit de provincie?
 - Wat mag je verwachten van een provincie? Voor welke sector kunnen zij aanvullende informatie aanleveren?
 - Zijn integrale energiesysteems scenario's te veel gevraagd, gezien bijvoorbeeld de bijzondere positie van de sector industrie in de energievisie?

Appendix A: uitgevraagde vraag- en aanbod parameters

Tabel 16. Selectie van de vraagparameters

Thema	Sub thema	Eenheid (voorkeur)
Gebouwde omgeving	Woningvoorraad	Aantallen
	Gebouwvoorraad (uitgesplitst naar gebruik/sector mits beschikbaar)	Aantallen
	Energievraag	TWh (uitgesplitst E/G/H2)
	Mix warmtetechnologieën (all-electric warmtepompen, hybride wp, warmtenet HT/MT/LT, etc)	Aantallen aansluitingen / verhoudingen
Mobiliteit	Personenvervoer (groei + energievraag per drager)	% + energievraag
	Vrachtervervoer (groei + energievraag per drager)	% + energievraag
	Modal shift ontwikkeling (verdeling auto/bus/trein/... & truck/binnenvaart/trein) (óf personenvervoer/vrachtervervoer per modaliteit)	Aantallen / verhoudingen
	Internationale Lucht- en Scheepvaart	Energievraag
Industrie	Energievraag Industrie + bedrijven (excl 5 grote CES clusters, incl CES6)	TWh (uitgesplitst E/G/H2)
	Groei industrie	%
Landbouw	Energievraag	TWh (uitgesplitst Elektriciteit / Warmte)
	Warmtebron / technologie (WP, WKK, ...)	Aandeel, TWh,

Tabel 17. Selectie van de aanbodparameters

Thema	Sub thema	Eenheid (voorkeur)
Aanbod Elektriciteit	Zon (land, dak grootschalig en kleinschalig)	MW, TWh, PJ
	Wind (land, zee)	MW, TWh, PJ
	Kernenergie	MW, TWh, PJ
	(Ombouw) centrales (Waterstof / Biomassa)	MW, TWh, PJ
	WKK	MW, TWh, PJ
Aanbod Groen gas / Biomassa	Beschikbare biomassa	TWh, PJ
	Groen gas productie	m3/h, TWh, PJ
Aanbod Waterstof	Groen (elektrolyse, ...)	Kg / TWh
	Blauw (SMR+CCS, ...)	Kg / TWh
Aanbod Warmte (bronnen)	Geothermie	TWh
	Aquathermie	TWh
	Restwarmte	TWh
	WKK	TWh
	Power-to-heat	TWh
	E-boiler	TWh
Flex, Conversie & Opslag	Pieklast bronnen warmtenetten (e-boilers, gasketels)	TWh
	Flexibele elektriciteitsvraag (Demand response)	Categorie / potentie
	Opslag (batterijen, waterstof, methaan, warmte)	MW / TWh
	Conversie (PtX, ...)	MW / TWh

Colofon

Voorzitter werkgroep

Jan Warnaars

Werkgroep & begeleiding

Arjan Bakkeren

Bineke Visman

Thijs Scholten

Florine Romijn

Raoul Bernards

Kees Alberts

Pieter Boersma

Wouter Terlouw

Jelle Oliemans

Fabian Kruiper

Tim Gassmann

Emmanuel van Ruitenbeek

Emiel van Druten

Rick den Hartog

Michiel den Haan

Cor Brockhoven

Tjarko Neerken

Ronald Velthuizen

Ka Wang Man

Maarten Venselaar

Mart Bles

Adriaan Bakker

Hensley Djoe

Matthijs van der Laan

Florine Knotnerus

Nazir Reefa

Ellen Klaassen

Daan den Ouden

Roel van de Wiel

Viktor Beelen

Maarten Muter

Randy Rensen

Johan van der Zwan

Sybe bij de Leij

Suzan Stevens

Roos de Kok

Gertjan Mulder

Jeroen Reinders

Berno Veldkamp

Dana de Vreede

Mark Diesveld

Ton van Cuijk

Maarten Staats

Frank van Dijck

Roos de Kok

Sytze Buruma

Marieke van Amstel

Maikel Klerx

Drik Senden

Oscar Tanis

Rico Doldersum

Begeleiding

Joachim Schellekens – Berenschot

Thijs Verboon – Berenschot

Sophieke Langeberg – Netbeheer Nederland

Laurèle Schuurman – Netbeheer Nederland

Bedrijven en organisaties klankbordgroep

Zie genodigdenlijst

Redactie

EnterEnter

Ontwerp en opmaak

Shake Moutafian – Aandagt reclame & marketing

