

Op weg naar CO₂-neutraal in 2050

De gezamenlijke inzet van de gassector voor
de toekomstige energievoorziening

Een uitgave van KVGn, december 2018





Inhoudsopgave

Ten geleide	5
Samenvatting	6
1. Ontwikkeling van het energiesysteem	11
2. De visie op hoofdlijnen	13
3. Onderbouwing vraagontwikkeling	15
3.1 <i>Ontwikkeling van de vraag</i>	16
3.2 <i>Vraag per sector</i>	18
3.2.1 <i>Industrie</i>	18
3.2.2 <i>Gebouwde omgeving</i>	20
3.2.3 <i>Transport</i>	22
4. Ontwikkeling van het aanbod	25
4.1 <i>Systeembeperkingen</i>	26
4.2 <i>Marktontwikkeling voor waterstof</i>	28
4.3 <i>Totale transitievisie</i>	30
5. Bouwstenen in het GILDE-programma – de bijdrage van KVGn	34
5.1 <i>Groen gas</i>	34
5.2 <i>CCS</i>	35
5.3 <i>Waterstof</i>	36
5.4 <i>Aardwarmte</i>	37
5.5 <i>Systeemintegratie Noordzee</i>	39
6. Literatuurlijst	40
7. Bijlagen	43
7.1 <i>Definities</i>	43



Ten geleide

De energievoorziening in Nederland staat aan de vooravond van grote veranderingen. Als de plannen uit het *Voorstel voor hoofdlijnen van het Klimaatakkoord* worden uitgevoerd, dan zal in iets meer dan tien jaar tijd de manier van verwarmen en energie opwekken, produceren en vervoeren er totaal anders uitzien dan nu. De gasector, verenigd in KVGn, onderschrijft de noodzaak van deze veranderingen en zet zich in voor een energievoorziening die in 2050 geheel CO₂-neutraal is.

Nederland heeft internationaal gezien een vooraanstaande rol op het gebied van de productie, het transport en de opslag van aardgas en de handel erin. Op weg naar een duurzame energievoorziening zullen fossiele energiebronnen, waaronder aardgas, plaats moeten maken voor CO₂-neutrale energie. Nederland beschikt over de kennis en infrastructuur die nodig zijn om grote hoeveelheden energie, op dit moment vooral in de vorm van aardgas, te transporteren en op te slaan.

Deze kennis en infrastructuur zijn ook relevant voor het gebruik van duurzame energiedragers, zoals waterstof en groen gas, alsmede voor opslag en mogelijk hergebruik van CO₂. Verder kan met deze kennis en ervaring aardwarmte verder worden ontwikkeld en opgeschaald. De huidige kennis, data, expertise en infrastructuur van de Nederlandse gasector geven Nederland een voorsprong bij de ontwikkeling en invoering van deze duurzame energievormen. Nederland beschikt hiermee over een unieke uitgangspositie die kansen biedt om kosteneffectief en snel stappen te zetten richting een volledig duurzaam energiesysteem.

In deze visie schetst KVGn hoe de klimaatdoelen kunnen worden gerealiseerd met behoud van het huidige niveau van leveringszekerheid en tegen zo laag mogelijke maatschappelijke kosten. Hierin wordt de ontwikkeling van het energiesysteem richting 2030 en 2050 uitgetekend op basis van de ambities die zijn overeengekomen in het Klimaatakkoord, in combinatie met de bevindingen uit diverse recent gepubliceerde rapporten over dit onderwerp. Daarnaast geeft dit document inzicht in de bijdrage die de gasector levert om de ambities uit het Klimaatakkoord te realiseren. Deze bijdrage is vormgegeven in het GILDE-programma (Gas In een Langetermijn Duurzame Energiehuishouding).

Samenvatting

Om de uitstoot van broeikasgassen met ongeveer de helft terug te brengen in 2030 (ten opzichte van 1990) moeten alle sectoren efficiënter met energie omgaan en overschakelen op energiebronnen met minder CO₂-uitstoot. In 2050 mogen energiebronnen helemaal geen CO₂ meer uitstoten. De gasector, verenigd in KVGn, zet zich in voor de totstandkoming van een energievoorziening die in 2050 geheel CO₂-neutraal is.

Met dit visiedocument maakt KVGn inzichtelijk welke activiteiten vanuit de gasector tot 2030 noodzakelijk zijn en wat de concrete bijdrage is. Het uitgangspunt hierbij is het realiseren van de klimaatdoelen en het behoud van het huidige niveau van leveringszekerheid tegen zo laag mogelijke maatschappelijke kosten.

Ontwikkeling van de vraag

Het totale energieverbruik delen we op in drie clusters: industrie, gebouwde omgeving en transport.

Industrie

We gaan uit van ongeveer 1% reductie in de energievraag per jaar. De vraag naar grondstoffen die nu met fossiele brandstoffen wordt ingevuld, zal dalen. De transitie naar een meer circulaire economie leidt zowel tot een efficiënter grondstoffengebruik als tot een afname van de vraag naar ruwe grondstoffen.

Elektrificatie kan toenemen tot ongeveer 70% van de energiemix in 2050, de resterende vraag zal een klein deel met restwarmte en/of aardwarmte in te vullen zijn. Verder kan een deel gedekt worden met biogene brandstoffen en groen gas, maar in de aanloop naar 2050 zullen ook nog fossiele brandstoffen ingezet moeten worden. Om de CO₂-impact hiervan te beperken, is (pre-combustion) CCS noodzakelijk.

Gebouwde omgeving

In de gebouwde omgeving is er een opgave om 7 miljoen woningen en 1 miljoen gebouwen te isoleren en duurzaam te verwarmen, en de stroom duurzaam op te wekken. Het finale eindgebruik zal moeten dalen door isolatie en efficiëntiemaatregelen.

In de bestaande bouw kan de energievraag in 2050 ongeveer gehalveerd zijn. In de toekomst wordt de warmtevraag voor het grootste deel van de woningen naar verwachting ingevuld met een mix van elektrische oplossingen, warmtenetten (o.a. aardwarmte) en duurzame gassen. Bij minimaal 10% van de woningen zal er vraag naar duurzame gassen bestaan. Ook in de gebouwde omgeving geldt dus dat met elektrificatie de resterende energievraag niet volledig gedekt kan worden en dat ook alternatieven ontwikkeld moeten worden om 100% reductie te kunnen realiseren.

Transport

De toekomstige energievraag in deze sector wordt bepaald door de verandering in transportbehoefte, modal shift, logistieke efficiëntie en brandstofefficiëntie. De energievraag neemt volgens vrijwel alle studies af in 2050. Elektrificatie zal ongeveer de helft van de nationale energievraag voor transport invullen en is er blijft in 2050 behoefte aan moleculen voor nationaal vervoer. Internationaal zijn luchtverkeer en zeevaart belangrijke componenten, maar deze worden niet meegerekend in de CO₂-emissies.

Ontwikkeling van het aanbod

Het verwachte aanbod van duurzame elektriciteit zal de verwachte vraag naar elektriciteit goed kunnen dekken. Toch betekent dit niet dat die invulling een optimale systeemoplossing biedt. In de toekomst zal namelijk zeker niet alle geproduceerde elektriciteit als elektriciteit afgeleverd worden bij de eindgebruiker vanwege kosten en systeembependingen in transport en opslag. Wellicht moet daarom bekeken worden welk deel van de vraag beter niet geëlektrificeerd kan worden.

Groene waterstof geproduceerd uit duurzame elektriciteit zal in 2050 een belangrijke rol spelen in de industrie (als grondstof en voor de productie van hogetemperatuurwarmte), voor delen van de gebouwde omgeving en voor het zware transport.

Groene waterstof zal vermoedelijk geleidelijk in de markt worden ingevoerd. Daarmee wordt echter geen structurele vraag gerealiseerd. Een brede uitrol van groene waterstof moet worden voorafgegaan door de uitrol van blauwe waterstof geproduceerd uit aardgas, waarbij het resulterende CO₂ wordt opgeslagen (pre-combustion CCS).

Op basis van de verwachte efficiëntieverbetering en het toenemende aanbod van duurzame elektriciteit kan worden gesteld dat er nog lang veel fossiele energie gebruikt zal worden, met als gevolg dat de CO₂-doelen voor 2030 en 2050 niet gehaald zullen worden en er over de gehele looptijd ook zo veel CO₂ wordt geëmitteerd dat het carbon budget wordt overschreden. Deze klimaatimpact dient zo snel en ver mogelijk te worden gereduceerd door:

1. de toenemende inzet van biobrandstoffen;
2. de inzet van post-combustion CCS bij de industrie of de inzet van blauwe waterstof op basis van pre-combustion CCS;
3. de inzet van aardwarmte als warmtebron.

De opties zijn niet volledig uitwisselbaar en de mogelijke kostendaling is onzeker, omdat deze niet alleen van technologische ontwikkelingen afhangt. Verder zijn er in alle gevallen grenzen aan de groei. Daarom dienen al deze opties verder ontwikkeld te worden.

De bijdrage van de gasector

Aan alle hierboven beschreven bouwstenen van de transitie levert de gasector een belangrijke bijdrage. Aanvullend zet de gasector in op het thema Noordzee-integratie.

Groen gas

Er is een nauwe samenwerking tussen KVGN en Groen Gas Nederland. Deze samenwerking is gericht op het verantwoord beschikbaar maken van voldoende groen gas om aan de groeiende marktvraag te voldoen. Gezamenlijk brengen we in beeld welke aardgasproductielocaties en -infrastructuur kunnen worden herbestemd voor productie en transport van groen gas. We dragen bij aan zekerheid voor investeerders door vraag en aanbod van groen gas bij elkaar te brengen en te balanceren, volumes te aggregeren en langetermijncontracten aan te bieden om risico's af te dekken en projecten te realiseren. Verder wordt dit moment gewerkt aan een routekaart voor de ontwikkeling en innovatie van groen gas, gericht op versnelde opschaling en kostenreductie.

CCS

De gasector draagt bij aan het realiseren van CO₂-opslag door kennis van de ondergrond in te zetten bij de lopende CCS-projecten. Bovendien kan de gasector infrastructuur beschikbaar maken waarmee transport en opslag van CO₂ kostenefficiënter wordt. Daarnaast assisteert de gasector door de ontbrekende wettelijke en economische kaders om

CO₂-opslag zichtbaar te maken. Om CCS in Nederland echt van de grond te krijgen zijn een business case en de juiste juridische context nodig.

Waterstof

De ontwikkeling van waterstof in het energiesysteem moet snel op gang worden gebracht. De gasector stimuleert de ontwikkeling van waterstof in het energiesysteem door deel te nemen en bij te dragen aan uiteenlopende onderzoekstrajecten en pilotprojecten. Doel hiervan is het ontwikkelen van toepassingen van waterstof voor bijvoorbeeld industrie en het stimuleren van innovaties. Daarnaast werkt de sector aan het beschikbaar maken van infrastructuur voor transport en opslag van waterstof.

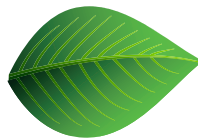
Aardwarmte

In het *Masterplan Aardwarmte* dat eerder dit jaar is gepubliceerd, staat beschreven hoe we op een duurzame, veilige en maatschappelijk verantwoorde manier en op basis van de huidige productie meer dan 200 PJ per jaar in 2050 kunnen produceren. De sector blijft nauw betrokken bij het vergroten van maatschappelijk draagvlak, de groei en uitrol van warmtenetten en verder onderzoek naar het ondergrondse potentieel. Ook draagt de gasector bij met kennis van de ondergrond en ervaring met ondergrondse operaties. Daarnaast zal de gasector meehelpen de geothermiesector verder te professionaliseren en om grootschalige inzet van aardwarmte mogelijk te maken. Tot slot zal de gasector zich inzetten voor de financiële en wettelijke kaders waarbinnen de opschaling mogelijk wordt gemaakt.

Systeemintegratie Noordzee

Met de groei van niet-regelbaar vermogen, zoals zonne-energie, windenergie en aardwarmte, wordt de behoefte aan een energiesysteem met daarin voldoende regelbaar vermogen in de vorm van duurzame energie steeds groter. De gasector levert met zijn kennis van en infrastructuur voor transport en opslag een bijdrage aan een betaalbaar duurzaam energiesysteem.

Kansen voor de energietransitie ontstaan bij het maken van slimme koppelingen tussen de nieuw te bouwen offshore windparken en de huidige olie- en gasinfrastructuur op de Noordzee. Om optimaal gebruik te kunnen maken van de kennis en infrastructuur en deze ter beschikking te hebben wanneer die nodig is, is een integrale visie op het energiesysteem noodzakelijk. De gasector zet zich ervoor in om die te bewerkstelligen.



Colofon

Dit is een uitgave van KVGn in het kader van het GILDE-programma.

Opgesteld onder begeleiding van KVGn, GILDE-programmamanager Erik Fuhler en Michaël Coppens.

Met bijdragen van: George Wurpel, Sanne Tonneijck, MSG Sustainable Strategies en Hans Warmenhoven van de Gemeent.

Betrokken GILDE-partners: Alice Elliott (Shell), Arendo Schreurs (NOGEPa), Erwin Niessen (EBN), Eveline Rosendaal (EBN), Robert-Jan Maaskant (EBN), Tjitske Brand (GasTerra), Martien Visser (Gasunie), Ronald Velthuizen (Gasunie), Marijke Kellner-van Tjonger (Gasunie), Berend-Jan Klein Swormink (Total), Barthold Schroot (EBN), Gareth Noble (EBN).

© KVGn, december 2018

1. Ontwikkeling van het energiesysteem

De energievoorziening in Nederland staat aan de vooravond van grote veranderingen. Als de plannen uit het *Voorstel voor hooflijnen van het Klimaatakkoord* worden uitgevoerd, dan zal in iets meer dan tien jaar tijd de manier van verwarmen en energie opwekken, produceren en vervoeren er totaal anders uitzien dan nu. Om de uitstoot van broeikasgassen met ongeveer de helft terug te brengen in 2030 (ten opzichte van 1990) moeten alle sectoren efficiënter met energie omgaan en overschakelen op energiebronnen met minder CO₂-uitstoot en uiteindelijk in 2050 geen CO₂-uitstoot.

De gasector, verenigd in KVGN, draagt bij aan de totstandkoming van een energievoorziening die in 2050 netto CO₂-neutraal is. Met dit visiedocument nemen wij deel aan de discussie over de aanstaande veranderingen en maken wij inzichtelijk welke activiteiten vanuit de gasector tot 2030 noodzakelijk zijn. Onze activiteiten gericht op het realiseren van de voornaamste transitiedoelen worden uitgevoerd binnen het gezamenlijke GILDE-programma.

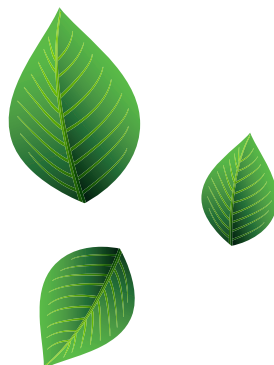
Het uitgangspunt van onze visie is het realiseren van de klimaatdoelen met behoud van het huidige niveau van leveringszekerheid tegen zo laag mogelijke maatschappelijke kosten. Dit document richt zich met name op aspecten waar de gasector een rol voor zichzelf ziet. Dat is in de productie, het transport en de opslag van gasen als brandstof en grondstof. Onze kennis en kunde kunnen – in nieuwe rollen – toegevoegde waarde leveren voor onderdelen van het energiesysteem waar gasvormige energiedragers nodig zijn voor het realiseren van de doelen.

In dit document beschrijven we voor welk deel van de energiemix andere oplossingen dan elektriciteit nodig zijn en hoe dat niet-elektrische deel eruit moet zien om in 2050 netto CO₂-neutraal te zijn. Dat zal een combinatie zijn van schone gasen en schone warmte.

We maken deze analyse op basis van studies en roadmaps waarin verwachtingen over zowel technische als economische ontwikkeling zijn meegenomen en waarin rekening is gehouden met de voorlopige resultaten van het Klimaatakkoord. De mix van opties die hier wordt gepresenteerd is op basis van de huidige inzichten haalbaar en robuust.

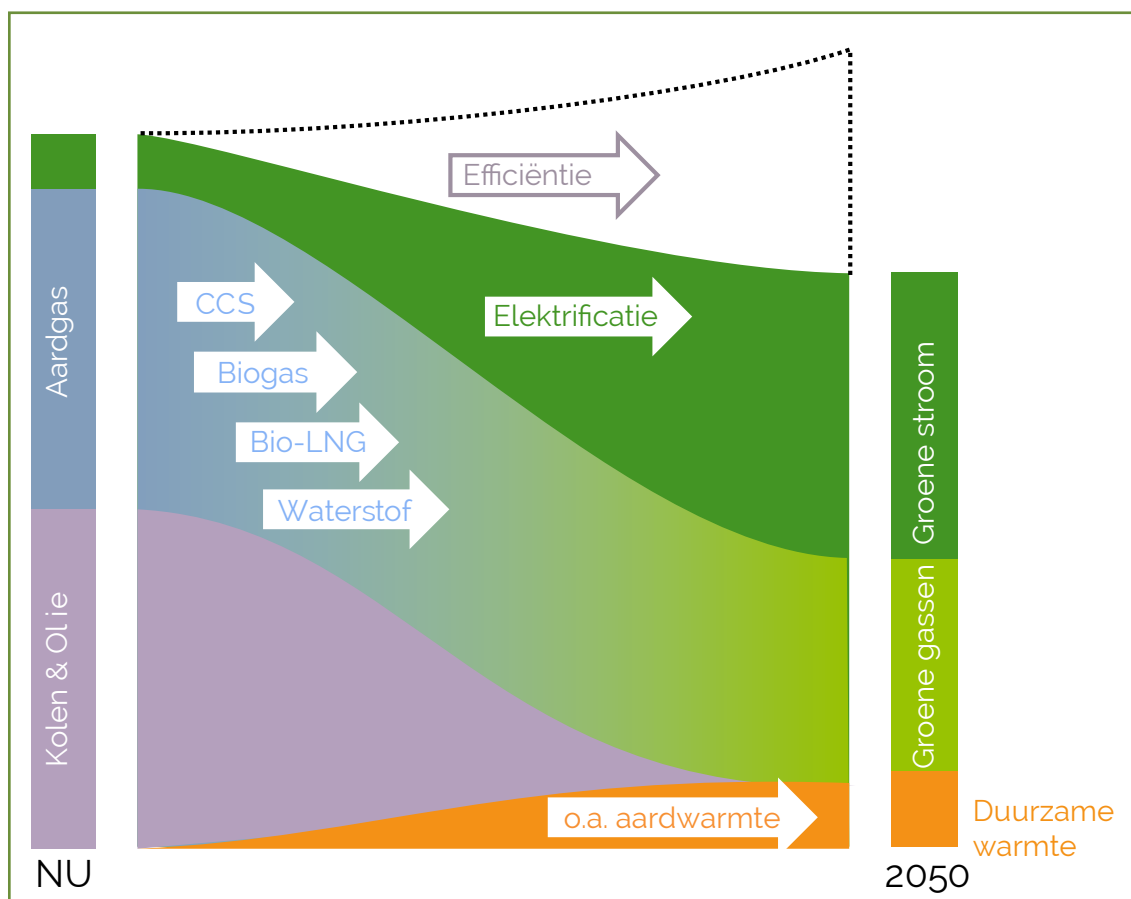
In dit visiedocument presenteren we in hoofdstuk 2 allereerst de visie op hoofdlijnen. Vervolgens geven we in hoofdstuk 3 en 4 de nadere onderbouwing van deze visie. In hoofdstuk 3 bespreken we de ontwikkeling van de energievraag tot 2050 en geven we ranges voor de verwachte verdeling van de invulling van de energievraag: elektrisch of met andere bronnen. In hoofdstuk 4 brengen we in kaart wat de consequenties zijn voor het energiesysteem van de verwachte toename in elektrificatie. In hoofdstuk 5 geven we op hoofdlijnen aan wat de gasector binnen het GILDE-programma doet om deze visie te realiseren.

Deze visie is gebaseerd op een groot aantal recent gepubliceerde scenariostudies; er zijn geen eigen berekeningen uitgevoerd naar de optimale invulling van de energievoorziening. Vanuit de resultaten van deze studies is doorgeredeneerd om te bepalen welke aan de gasvoorziening gerelateerde elementen in ieder geval een rol moeten spelen in het toekomstige energiesysteem en wat de rol van de energiesector moet zijn om te zorgen dat deze elementen in voldoende mate tot ontwikkeling komen.



2. De visie op hoofdlijnen

In Figuur 1 is schematisch weergegeven hoe KVGN de ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem ziet. Op dit moment wordt ongeveer de helft van de Nederlandse energievraag ingevuld met Nederlands aardgas. Een steeds verdere inzet van duurzame bronnen voor elektrische energie wordt beschouwd als de belangrijkste pijler van de transitie. Een zeer sterke groei van het gebruik van wind, zon en andere hernieuwbare bronnen is nodig om de huidige grijze stroom klimaatneutraal op te wekken. De vraag naar stroom zal nog verder toenemen door de verwachte toename van elektrificatie in de gebouwde omgeving, industrie en transport. Het gebruik van kolen en aardolie zal snel moeten afnemen.



Figuur 1: Schematische weergave van de KVGN-visie met betrekking tot het primaire energiegebruik (niet op schaal). In de huidige situatie wordt een deel van de inzet van kolen en aardgas gebruikt om (grijze) stroom op te wekken. Om de toekomstige energievraag klimaatneutraal in te vullen zijn schone gassen en duurzame warmte nodig. De pijlen geven de verschillende transitietrajecten aan die in dit document verder worden toegelicht.

De toekomstige energievraag zal niet alleen met groene stroom worden ingevuld. Er zijn ook schone gassen en duurzame warmte (onder andere aardwarmte) nodig ter vervanging van het huidige aardgas. Wat als echt schoon wordt beschouwd, hangt af vanuit welk perspectief gekeken wordt. In het eindbeeld bestaan schone gassen vooral uit groene waterstof, opgewekt uit hernieuwbare stroom, en groen gas opgewekt uit biomassa. De groene-waterstofoptie is op dit moment technisch nog niet volledig uitontwikkeld en in de huidige markt te duur. Daarbij kan duurzame elektriciteitsopwekking niet zo snel groeien dat op basis daarvan de noodzakelijke hoeveelheid groene waterstof gemaakt kan worden.

Om bij het eindbeeld te komen en snel broeikasgasemissies terug te dringen, is het belangrijk om ook nu al de CO₂-emissies als gevolg van de inzet van fossiele brandstoffen zodanig te reduceren dat deze opties passen in een transitie naar het gewenste eindbeeld. Het gaat dan onder meer om de zogenaamde blauwe-waterstofroute: waterstof uit aardgas in combinatie met de ondergrondse opslag van CO₂ (CCS). Dat is een oplossing die *nu* kan worden ontwikkeld. Deze tijdelijke oplossing hoeft de ontwikkeling van het gewenste eindbeeld niet in de weg te zitten en kan daar zelfs een bijdrage aan leveren.

In Figuur 1 wordt een volledige afbouw van de inzet van olie en kolen voorzien. In hoeverre dat werkelijk zal gebeuren, is afhankelijk van het beleid dat de komende decennia ingezet wordt. Het is mogelijk dat nog langer gebruik wordt gemaakt van deze brandstoffen, waarbij de CO₂-emissies van kolen teruggedrongen worden door de inzet van CCS.



3. Onderbouwing vraagontwikkeling

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de energievraag in de verschillende sectoren. Het overzicht start bij de meest recente gegevens over het energiesysteem die gebaseerd zijn op StatLine van CBS voor het jaar 2017. Voor de trend richting 2030 en 2050 baseren we ons op de Verkenning 2050 [Gasunie, 2018] en diverse andere studies. Deze verkenning is recent vergeleken met andere scenario's die in 2030 tot minimaal 49% CO₂-reductie leiden en in 2050 tot minimaal 95% [Berenschot, 2018b]. Ten opzichte van andere scenario's laat de Verkenning 2050 geen bijzondere uitschieters zien. Zij vormt daarmee een gemiddelde van de huidige expert-opinies.

De KVGN-visie kent de volgende aannames en uitgangspunten:

1. We beschouwen niet alleen de binnenlandse energievraag, maar ook de energievraag voor internationaal transport (zeevaart en luchtvaart) en de vraag naar grondstoffen op basis van fossiele bronnen.

In de meeste scenario's wordt alleen naar de binnenlandse energievraag gekeken. Omdat de andere twee categorieën ook een aanzienlijke energievraag kennen en daarmee een klimaateffect, worden deze in de beschouwing meegenomen, maar wel steeds gescheiden van de rest.

2. Er zijn grote onzekerheden in de toekomstige ontwikkelingen van de energievraag en de mogelijke invulling daarvan. Alle gepresenteerde getallen moeten daarom gezien worden als een verwachtingswaarde binnen een substantiële bandbreedte.

De kwantitatieve onderbouwing is bedoeld als ondersteuning van de argumentatielijn. Wanneer meerdere argumentatielijnen tot een vergelijkbare conclusie komen, dan zien we dat als een robuust element in een scenario.

3.1 Ontwikkeling van de vraag

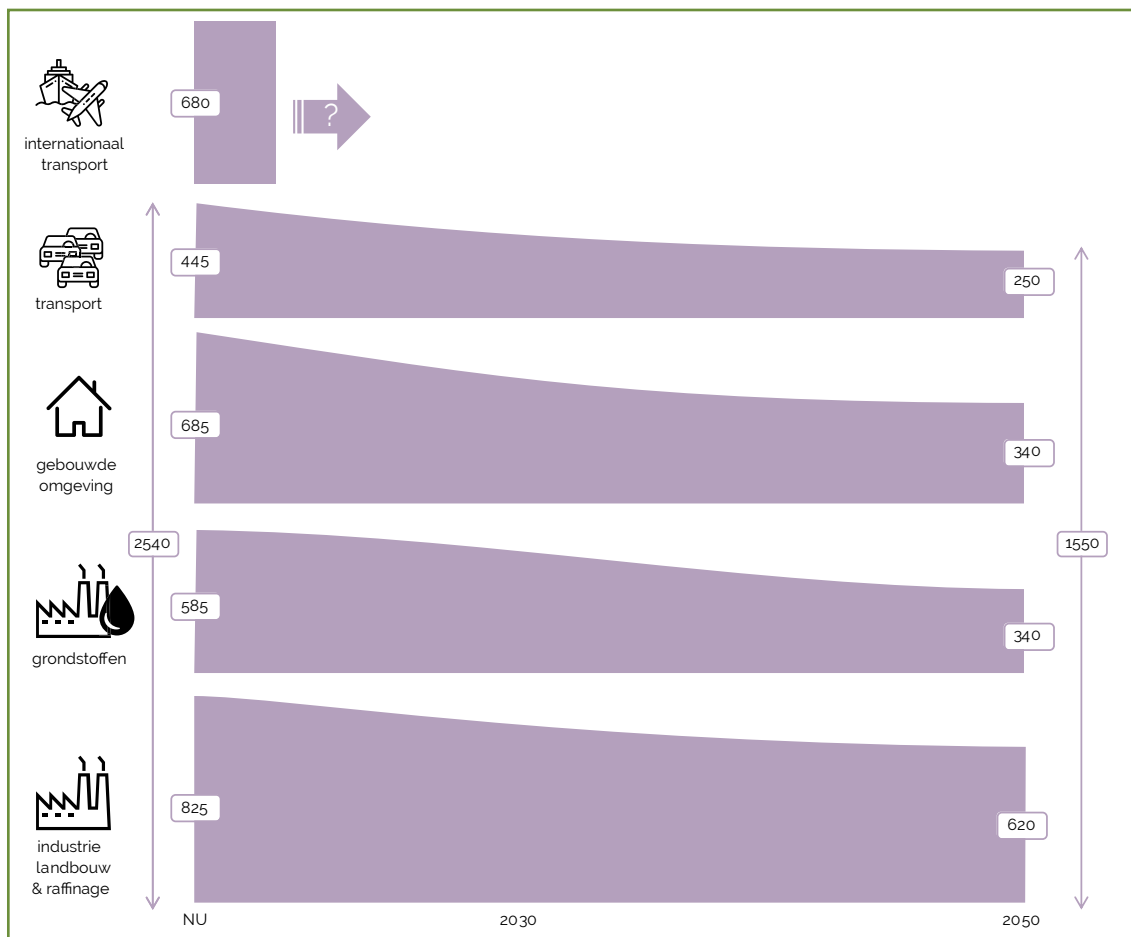
De finale energievraag in Nederland bedraagt op dit moment ongeveer 1.800 petajoule (PJ) [CBS]. Daarin is niet meegenomen:

1. het energiegebruik door raffinaderijen, die gezamenlijk ongeveer 150 PJ verbruiken (dit wordt in de energiestatistiek als een conversiepost opgenomen);
2. het niet-energetisch gebruik van fossiele brandstoffen, vooral in de vorm van grondstoffen voor de industrie (ongeveer 580 PJ in 2005; met circa 40 Mton emissies) [VNCI, 2018];
3. de vraag naar brandstoffen voor de internationale scheep- en luchtvaart (ongeveer: 520 PJ en 160 PJ respectievelijk in 2015, verantwoordelijk voor ruim 50 Mton emissies) [ECN, 2017].

Het gebruik van fossiele bronnen in deze 3 'buitencategorieën' leidt echter wel tot CO₂-emissies en vormt daarmee een grote transitieopgave. Deze buitencategorieën worden in deze visie daarom wel expliciet geadresseerd.

Het totale energieverbruik delen we eerst op in drie clusters: industrie, gebouwde omgeving en transport. Onder industrie rekenen we ook raffinage en landbouw. De vraag naar grondstoffen hoort bij industrie, maar behandelen we afzonderlijk. Bij transport behandelen we binnenlands en internationaal transport afzonderlijk.

Figuur 2 geeft per cluster een verwachting van de finale vraag naar energie. In de volgende paragrafen geven we een schatting van het deel van de vraag dat elektrisch kan worden ingevuld en het deel waarvoor andere energievormen nodig zijn. We volgen daarbij de inschattingen uit eerdere studies en schattingen van experts.



Figuur 2: Overzicht van het finale energie- en grondstoffenverbruik in Nederland (PJ) en de geschatte toekomstige ontwikkeling. Onder grondstoffen wordt verstaan de te vervangen vraag naar grondstoffen uit fossiele bronnen (niet-energetisch gebruik). Onderbouwing van deze verwachting en 'inkleuring' van de vraag worden in paragraaf 3.2 gegeven.

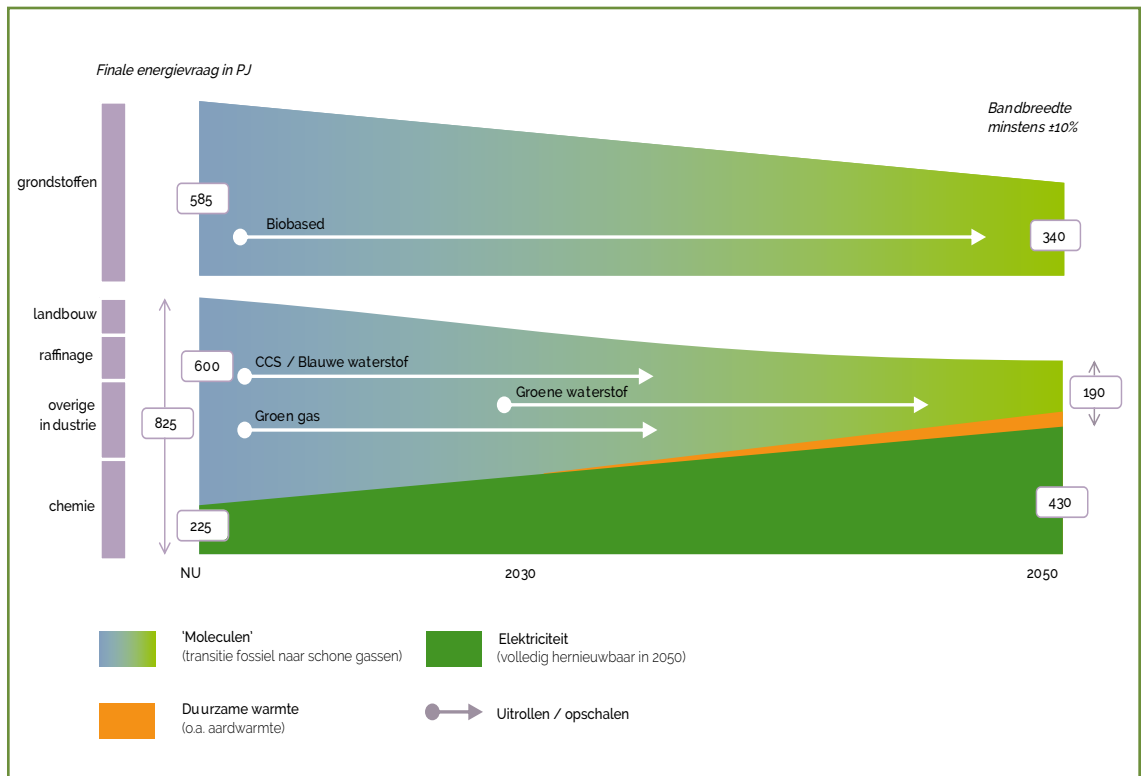
3.2 Vraag per sector

3.2.1 Industrie

Binnen de sector industrie hebben we te maken met in het algemeen zeer langjarige investeringen van 25 tot 40 jaar. Daarmee verschilt deze sector van de transportsector en de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving, waar vervangingscycli korter zijn. Systeemkeuzes leggen dus de mogelijkheden voor lange tijd vast. Tegelijk opereren er veel industrieën op internationale markten en is de concurrentiepositie een belangrijke overweging. We nemen aan dat Nederland zijn huidige niveau van industrie en bedrijvigheid wil behouden. Routekaarten van de chemische industrie [VNCI, 2018] en de industriële energiegebruikers [McKinsey & Company, 2018] laten zien dat de huidige industrie haar energievraag sterk kan verlagen door een transitie naar circulaire chemie, procesintensificatie, systeemintegratie en de ontwikkeling van biobased processen.

Tegelijkertijd gaan we uit van een groeiende productie van de industriële sector als geheel. Daarbij kan er niet op voorhand van uit worden gegaan dat nieuwe industriële sectoren een lagere energievraag hebben. Denk bijvoorbeeld aan datacentra. Een zeer grote daling van de energievraag is daarom niet te verwachten. In lijn met andere scenario's kiezen we hier voor een gematigd effect van ongeveer 1% reductie in de energievraag per jaar, ofwel -25% in 2050.

In Figuur 3 is schematisch weergegeven hoe de toekomstige vraag van de industrie ingevuld zou kunnen worden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de binnenlandse energievraag en de niet-energetische vraag naar grondstoffen. De binnenlandse energievraag is verder uitgesplitst naar de verschillende sectoren.



Figuur 3: De invulling van het finale energieverbruik (PJ) in de industrie.

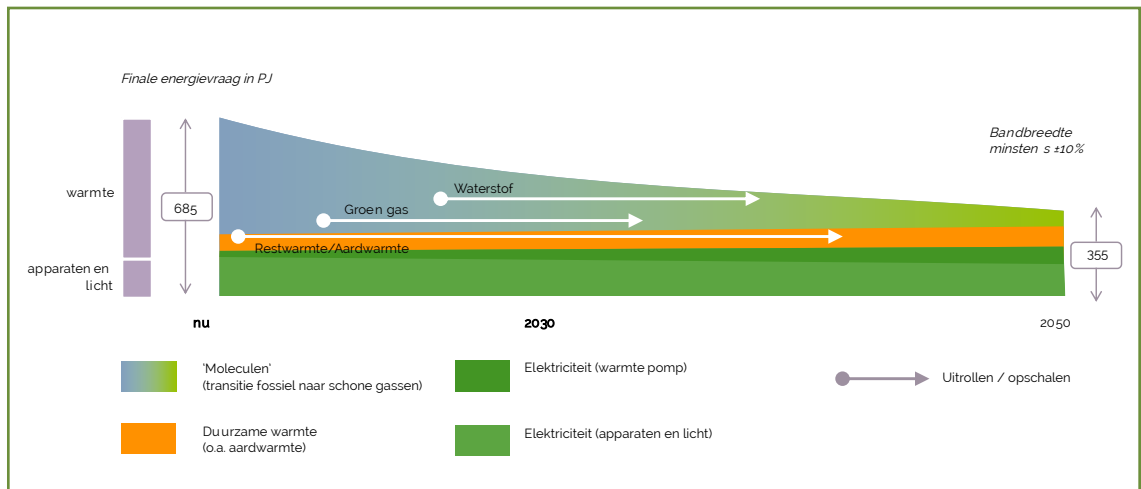
De vraag naar grondstoffen die nu met fossiele brandstoffen wordt ingevuld, zal naar verwachting dalen [De Gemeiynt, 2018]. De transitie naar een meer circulaire economie leidt zowel tot een efficiënter grondstoffengebruik als tot een afname van de vraag naar ruwe grondstoffen.

Elektrificatie kan toenemen tot ongeveer 70% van de energiemix in 2050 [McKinsey & Company, 2016]. In hoeverre deze mate van elektrificatie gerealiseerd wordt, is echter wel sterk afhankelijk van de uiteindelijke prijs van elektriciteit. Veel andere studies gaan uit van 40 tot 50% elektrificatie. In het eindbeeld zal bij 70% elektrificatie bij benadering nog 200 PJ ingevuld moeten worden met andere bronnen dan elektriciteit. Een klein deel hiervan zou technisch met (rest)warmte en/of aardwarmte in te vullen zijn in 2050: 50 tot 100 PJ [Berenschot, 2018b]. In pilots met aardwarmte voor temperaturen boven de 130°C (ultradiepe geothermie) wordt toegewerkt naar 1 tot 10 PJ voor lichte industrie en kan – afhankelijk van het succes van de pilots in 2050 – tussen de 1 en 60 PJ geleverd worden [Platform Geothermie et al., 2018].

In totaal moet dan bij industrie en landbouw ongeveer 540 PJ in 2050 ingevuld worden met andere bronnen dan stroom: het equivalent van 340 PJ in de vorm van grondstoffen en 190 PJ als energie. Deze resterende vraag zal deels gedekt kunnen worden met biogene brandstoffen en groen gas, maar in de aanloop naar 2050 zullen ook nog veel fossiele brandstoffen ingezet moeten worden. Om de CO₂-impact hiervan te beperken, is CCS de enige andere optie. Pre-combustion CCS om blauwe waterstof te produceren, is daarbij goedkoper dan post-combustion CCS.

3.2.2 Gebouwde omgeving

In de gebouwde omgeving is er een opgave om 7 miljoen woningen en 1 miljoen gebouwen goed te isoleren en duurzaam te verwarmen, en de stroom (zelf) duurzaam op te wekken [Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2018]. Het finale eindgebruik in de gebouwde omgeving zal hierbij eveneens sterk moeten dalen (zie Figuur 4). Isolatie en efficiëntiemaatregelen zijn immers opties die zichzelf terugverdienen, al is financiering en implementatie vaak een horde. Goede isolatie is verder een voorwaarde voor all-electric-opties.



Figuur 4: De invulling het finale verbruik (PJ) in de gebouwde omgeving.

Voor de vraagontwikkeling is aangenomen dat nieuwbouw voor 2030 klimaatneutraal wordt gebouwd. In de bestaande bouw kan de energievraag met ongeveer 2% per jaar verminderen, zodat de energievraag van bijna 700 PJ in 2050 ongeveer gehalveerd is. Nog sneller lijkt technisch mogelijk en ook wenselijk om de klimaatdoelstellingen te halen. Er is wat dit betreft een grote spreiding in verwachtingen bij verschillende scenariostudies [Berenschot, 2018b].

De vraag naar elektriciteit bevat zowel het gebruik voor apparaten (kracht en licht) als het gebruik voor het opwekken van warmte (middels warmtepompen).

Op dit moment wordt de warmtevraag voor het grootste deel van de woningen met aardgas ingevuld. In de toekomst wordt daar een mix verwacht van elektrische oplossingen, warmtenetten en duurzame gassen. De warmtenetten worden nu vooral gevoed met industriële restwarmte. Naar de toekomst toe wordt aardwarmte in combinatie met biomassa de belangrijkste optie.

Welke optie gekozen wordt, is in de eerste plaats afhankelijk van de pandeigenschappen: (1) de inschatting hoe snel/eenvoudig panden zijn te isoleren en (2) de dichtheid van bebouwing in combinatie met de aanwezigheid van warmtebronnen. De eerste eigenschap bepaalt of een hoge- (70°C) of lage- (40°C) temperatuuroplossing mogelijk is, de tweede of een warmtenet of andere collectieve oplossing denkbaar is. In onderstaande tabel wordt schematisch weergegeven wat een voor de hand liggende oplossing is, afhankelijk van verschillende karakteristieken van een wijk.

	Goed geïsoleerd of goed te isoleren (relatief jonge panden)	Slecht geïsoleerd of slecht te isoleren
Lage dichtheid	All-electric	Duurzame gassen (waterstof of biogas)
Hoge dichtheid	Lage-temperatuur-warmtenet	Hoge-temperatuur-warmtenet

Tabel 1: Optimale verwarmingsopties afhankelijk van karakteristieken van het vastgoed.

Deze indeling is niet uitputtend, noch zijn de mogelijke opties compleet. Er zijn bijvoorbeeld interessante mogelijkheden om de warmte-inhoud van oppervlakte- of rioolwater (riothermie) op te waarderen om woningen te verwarmen. Op hoofdlijnen bepaalt bovenstaand schema wat de verdeling in aanbodopties in 2050 wordt. Schattingen voor collectieve warmtenetten lopen uiteen van 25% [Gasunie, 2018] tot 40% [Platform Geothermie et al., 2018]. Het aandeel panden dat met all-electric-oplossingen is te verwarmen, wordt geschat op ongeveer 30 tot 50%. Daarmee ontstaat bij minimaal 10% van de woningen een vraag naar duurzame gassen, maar mogelijk fors meer, omdat de aanleg van collectieve voorzieningen en de uitvoering van isolatie in de praktijk langzaam gaan.

De grote variatie in aannames zorgt voor grote verschillen in projecties in de vraag in de gebouwde omgeving in 2050 [Berenschot, 2018a]. De uiteindelijke invulling is sterk afhankelijk van politieke keuzes. Als een middenvariant houden we aan: 100 PJ kracht-en-licht, 100 PJ elektrische verwarming, 100 PJ warmtenetten en 100 PJ schone gassen (biogas en/of waterstof).

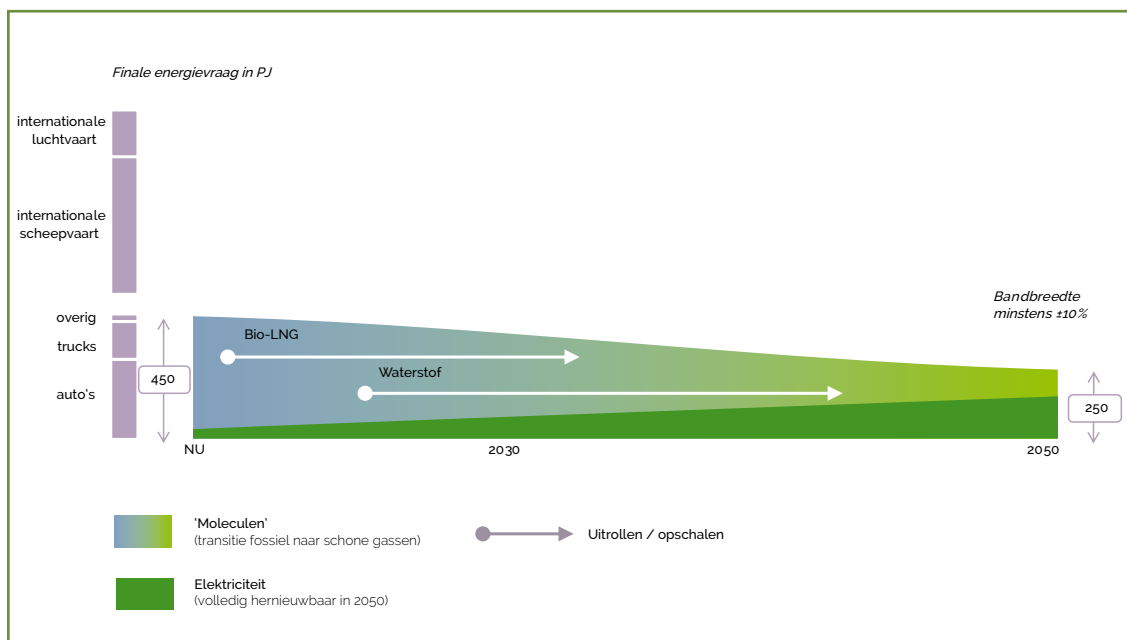
Voor het deel van de woningvoorraad dat niet all-electric en ook niet met warmtenetten verwarmd kan worden, zijn er verschillende transitiepaden:

- Via hybride warmtepompen in combinatie met aardgas voor piekvraag (richting 2030) naar bijmengen met biogas en/of waterstof tot volledig koolstofvrij gas in 2050. Bij wijze van alternatief kan door de verbetering van warmtepompen in combinatie met renovatie ook richting all-electric worden gegaan.
- Vergroenen van het gasnetwerk met bijmengen van biogas en/of waterstof voor rechtstreekse verwarming van woningen die aan het gasnet zijn gebleven.

Ook in de gebouwde omgeving geldt dus – net als in de industrie – dat met elektrificatie de resterende energievraag niet volledig gedekt kan worden en dat er dus ook alternatieven ontwikkeld moeten worden om 100% reductie te kunnen realiseren.

3.2.3 Transport

Transport bestaat uit de modaliteiten weg, spoor, water en lucht. Binnenlands draagt vooral wegtransport bij aan broeikasgasemissies en luchtvervuiling. Internationaal zijn luchtverkeer en zeevaart belangrijke componenten, maar deze worden niet meegerekend in de CO₂-emissies. De toekomstige energievraag wordt bepaald door de verandering in transportbehoefte, modal shift, logistieke efficiëntie en brandstofefficiëntie.



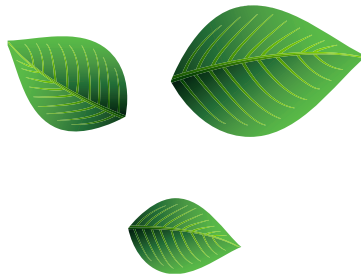
Figuur 5: De invulling het finale verbruik (PJ) in transport.

Figuur 5 geeft een schatting van de toekomstige energievraag, die volgens vrijwel alle studies afneemt van 450 PJ naar circa 250 PJ in 2050. Personenvervoer zal in 2050 volledig batterij-elektrisch zijn. Langeafstandsvrachtverkeer rijdt deels waterstof-elektrisch, deels op biobrandstof en deels op groen gas of bio-LNG. De verhouding tussen batterij-elektrisch en waterstof-elektrisch zal uiteindelijk worden bepaald op basis van economische aspecten. Fossiel CNG en LNG zullen in 2050 als overgangsbbrandstof uitgefaseerd zijn [Gasunie, 2018].

Daarmee zal elektrificatie uiteindelijk ongeveer de helft van de nationale energievraag voor transport invullen (40 tot 60%, 100 tot 200 PJ) [Berenschot, 2018b] en is er een behoefte van 50 tot 150 PJ aan moleculen in 2050 voor nationaal vervoer.

De energievraag voor internationale zeescheepvaart (520 PJ) zal naar verwachting niet dalen en kan niet elektrisch worden ingevuld. Hier zijn LNG richting 2030 en bio-LNG richting 2050 vooralsnog twee van de weinige oplossingen voor verduurzaming. Voor internationale

luchtvaart (160 PJ) geldt dezelfde verwachting voor vraagontwikkeling. Invulling van die vraag zal alleen met biobrandstoffen mogelijk zijn [Luchtvaart Nederland, 2018] of met synthetische brandstoffen op basis van waterstof en CO₂.



4. Ontwikkeling van het aanbod

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de wijze waarop de energievraag kan worden ingevuld. We gaan ook in op de argumenten om de technologische keuzes te onderbouwen. Daarbij hanteren we de volgende uitgangspunten:

We gaan uit van bestaande technologieën en houden rekening met het verbeterpotentieel.

Revolutionaire gamechangers worden buiten beschouwing gelaten, omdat deze zich niet laten voorspellen.

Bijvoorbeeld: goedkope supergeleidende kabels, en lichte en compacte grootschalige opslag die elektrisch vliegen mogelijk maakt. Meer algemeen worden geen betaalbare opslagtechnologieën voor stroom verwacht die seizoenfluctuaties kunnen opvangen.

De betrouwbaarheid en het comfort van het energiesysteem blijft intact. De samenleving behoudt een gelijkwaardig niveau van comfort, betaalbaarheid en energiezekerheid.

Het energieaanbod kan op alle relevante tijdschalen op een betrouwbare manier voldoen aan de energievraag. Energie blijft betaalbaar en beschikbaar, ook in geval van bijzondere weersomstandigheden, bijvoorbeeld koude winters.

We zoeken een pad dat tot vergaande CO₂-reducties leidt en hanteren de logica van een carbon budget.

Dat betekent concreet: Parijsdoelen voor emissiereductie in 2030 en 2050, en een streven – vanuit carbon-budgetoverwegingen – naar verdere reductie op kortere termijn.

We zoeken een pad dat tot de laagste nationale kosten (volgens PBL) leidt.

We nemen de mogelijkheid van energie-import mee.

Als het een duurzame en kosteneffectieve optie is, zijn er geen fundamentele bezwaren tegen import. We denken hierbij aan goedkope zonnestroom (in de vorm van waterstof) uit landen met veel zon. Wel is het zo dat regionale opties – denk aan wind op zee – over het algemeen veel voordelen bieden in termen van geopolitieke risico's, maar ook voor de Nederlandse economie.

Biomassa wordt alleen ingezet als dat duurzaam kan.

We nemen ketenemissies mee en kunnen gebruik maken van import. Biomassa voldoet aan duurzaamheidscriteria.

In deze visie kan het einddoel zonder negatieve emissies bereikt worden.

Als technologieën zoals BECCS (bio-energie gecombineerd met CO₂-afvang en -opslag) op verantwoorde wijze kunnen opschalen, dan is dit een mogelijke optie.

In de sterke groei van de vraag naar elektriciteit zal voorzien moeten worden met een vergelijkbaar grote groei van het aanbod. Tussen nu en 2030 stijgt dat met meer dan 50% van ruim 400 PJ naar 600 PJ. Volgens het Klimaatakkoord zal daarvan de helft hernieuwbare productie moeten zijn met een grote rol voor wind op zee (bijna 180 PJ uit 11,5 GW opgesteld vermogen). In 2050 zal het elektriciteitsaanbod met meer dan 100% gestegen zijn en volledig opgewekt zijn uit hernieuwbare bronnen.

4.1 Systeembeperkingen

In principe verdient het de voorkeur om alle duurzaam opgewekte elektriciteit ook als elektriciteit te benutten, want dan ontstaan er de minste conversieverliezen. Het voorgaande hoofdstuk laat dan ook zien dat zowel de finale vraag naar duurzame elektriciteit als het aanbod van duurzame elektriciteit fors zal toenemen. Tabel 2 laat zien dat de vraag naar elektriciteit, als alle potentiële elektrificatiestappen worden gezet, fors oploopt en uiteindelijk groter wordt dan de vraag naar andere energievormen.

	2018			2030			2050		
	mol.	elek.	totaal	mol.	elek.	totaal	mol.	elek.	totaal
Finaal verbruik binnenland (PJ)	1.513	442	1.955	975	530	1.503	509	705	1.209
Relatief	77%	23%	0%	65%	35%	0%	42%	58%	0%
Duurzame elektriciteitsproductie (PJ)		60			400			800	

Tabel 2: Invulling van het binnenlandse finale energetische gebruik (in PJ). De invulling hiervan is onderverdeeld in elektrisch en niet-elektrisch op basis van de analyse in hoofdstuk 2. Het totale aanbod van elektriciteit is overgenomen uit de Verkenning 2050, het aandeel hernieuwbaar in 2030 uit het Klimaatakkoord. Exclusief grondstoffen en internationaal transport.

Tabel 2 laat zien dat over het gehele jaar het verwachte aanbod van duurzame elektriciteit de verwachte vraag naar elektriciteit goed zal kunnen dekken. Toch betekent dit niet dat die invulling een optimale systeemoplossing biedt. Twee factoren spelen een rol:

1. **Opslag:** De toenemende productie van duurzame elektriciteit zal in belangrijke mate plaatsvinden met windmolens en PV-cellen. Het gaat hierbij dus steeds om niet-regelbaar vermogen, waarbij afhankelijk van het weer van uur tot uur en van dag tot dag bij een toenemend aandeel van deze opties in de totale productie, periodes zullen voorkomen met forse overschotten en forse tekorten. Deze onbalans zal veel vaker optreden dan bij energieopwekking uit de huidige fossiele bronnen, omdat deze regelbaar zijn. Dit zal deels opgevangen kunnen worden met behulp van internationale in- en export van elektriciteit en door veel meer te werken aan de regelbare inzet van elektriciteit in de industrie, (hybridisering), maar het zal zeker ook nodig zijn om in te zetten op energieopslag. Voor de langeretermijnopslag zal dit, aangezien elektriciteitsopslag binnen de Nederlandse context veel duurder is, in de vorm van waterstof of ammoniak kunnen.
2. **Transport:** Transport van elektriciteit is per eenheid energie en afstand een factor 10 tot 20 duurder dan het transport van gassen [TU Delft, 2018]. Daarbij is de ruimtelijke impact van het vergaand uitbreiden van het Nederlandse hoogspanningsnet groot. In het steeds dichter bevolkte Nederland zal een dergelijke ontwikkeling op steeds meer weerstand stuiten. Het ligt daarom voor de hand om elektriciteit die over grotere afstand moet worden getransporteerd, als waterstof te transporteren. De huidige olie- en gasinfrastructuur kan daarvoor als meest kostenefficiënte optie ingezet worden. Ook in dit geval geldt dat het niet voor de hand ligt om deze waterstof dan bij de eindgebruiker weer om te zetten in elektriciteit.

Al met al zal dus in de toekomst zeker niet alle geproduceerde elektriciteit als elektriciteit afgeleverd worden bij de eindgebruiker. Momenteel is het aandeel van elektriciteit in het totale energiegebruik circa 20%. Naar schatting zal dit aandeel in 2050 als gevolg van de hierboven beschreven factoren niet meer dan circa 40% van het finale binnenlandse energiegebruik kunnen bedragen (expert judgement). Dit is dus duidelijk minder dan wat dit aandeel zou kunnen zijn op basis van de geprognostiseerde potentiële vraag naar elektriciteit. Deze zou op basis van Tabel 2 op kunnen lopen naar ongeveer 60% van de totale vraag. Wat dit betekent voor de verschillende eindgebruikerssectoren is een belangrijke vraag binnen de transitie. Wellicht moet bekeken worden welk deel van de vraag beter niet geëlektrificeerd kan worden, om daarmee te zorgen dat de elektriciteitsvraag niet hoger wordt dan hetgeen vanuit de systeembepalingen haalbaar is.

4.2 Marktontwikkeling voor waterstof

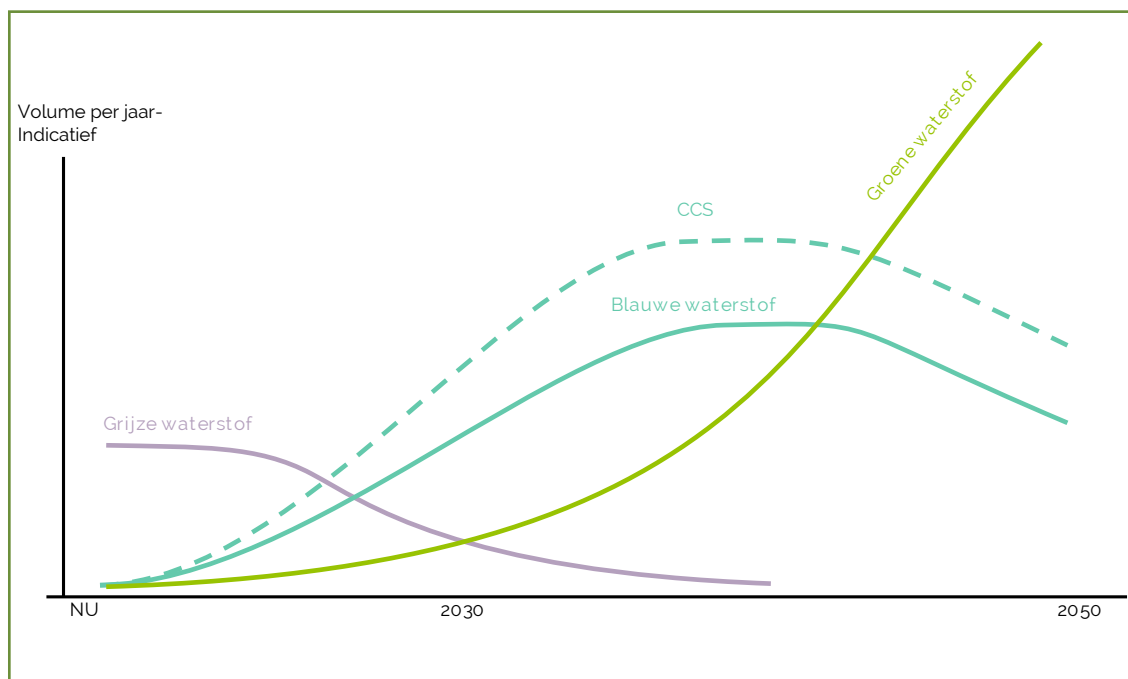
Groene waterstof geproduceerd uit duurzame elektriciteit zal in 2050 een belangrijke rol spelen in het energiesysteem. Dat kan omdat in Nederland dan waterstof geproduceerd wordt op basis van zonne- en windenergie. Maar ook omdat op gunstige locaties elders in de wereld grote hoeveelheden zonne-energie worden geproduceerd die na conversie tot waterstof over lange afstanden getransporteerd kunnen worden. Deze waterstof kan dan (eventueel na omzetting in koolwaterstoffen) benut worden in de industrie als grondstof en voor de productie van hogetemperatuurwarmte, voor delen van de gebouwde omgeving en voor het zware transport [TKI Nieuw Gas, 2018].

De vraag is echter hoe in de tussentijd de markt voor waterstof verder tot ontwikkeling kan worden gebracht. In de basis kan men ervan uitgaan dat groene waterstof geleidelijk in de markt ingevoerd wordt. Dit omdat zij geproduceerd zal worden uit de toenemende overschotten aan duurzame elektriciteit en ook uit windvermogen dat 100% ingezet zal worden om daarmee groene waterstof te maken. Deze groene waterstof kan dan bijgemengd worden bij aardgas dat benut wordt door industrie die een variabele gaskwaliteit aankan, of in pure vorm door industrieën die waterstof als grondstof gebruiken. Het gaat hier echter om een geleidelijke ontwikkeling waarmee geen structurele vraag wordt gerealiseerd.

KVGN is van mening dat een brede uitrol van groene waterstof voorafgegaan zou moeten worden door de uitrol van blauwe waterstof geproduceerd uit aardgas, waarbij het resulterende CO₂ wordt opgeslagen (pre-combustion CCS). De brede uitrol van blauwe waterstof wordt om de volgende redenen als noodzakelijk gezien:

1. De productie van grote volumes blauwe waterstof is relatief snel te realiseren vanuit de huidige, grote markt voor grijze waterstof.
2. In de vergelijking tussen blauwe en groene waterstof geldt: blauw heeft een vergelijkbare CO₂-footprint als groen, maar blauw is op dit moment kosteneffectiever dan groen en daarmee sneller te implementeren. Vanuit carbon-budgetperspectief (zie hierna) is dat gunstiger.
3. De opschaling van de productie van groene stroom wordt tot 2030 vooral gebruikt om grijze stroom te vervangen. Pas daarna komt er meer capaciteit beschikbaar om op grotere schaal groene waterstof te produceren voor sectoren als mobiliteit en industrie.
4. De huidige infrastructuur kan nu kosteneffectief worden ingezet voor (blauwe) waterstof en blijft daarmee behouden om na 2030 in te zetten voor groene waterstof.

In de visie van KVGN zal de marktontwikkeling van waterstof en CCS eruitzien zoals weergegeven in Figuur 6. Er is al een markt die gebruik maakt van grijze waterstof en die vooral waterstof gebruikt als grondstof. Deze markt zou snel over kunnen stappen op blauwe waterstof. Als meer blauwe waterstof gemaakt wordt, vindt deze een potentiële markt bij alle sectoren die niet eenvoudig kunnen elektrificeren. De industrie zal relatief eenvoudig kunnen overstappen van aardgas op waterstof, al is het bij sommige processen lastig. CCS is noodzakelijk voor de ontwikkeling van blauwe waterstof, maar zal voor een deel als post-combustion ingezet kunnen worden in industrieën waarvoor het gebruik van waterstof geen optie is. Zoals in de volgende alinea beschreven wordt, zou een dergelijke ontwikkeling goed zijn voor het carbon budget. Daarnaast kan het bijdragen aan een versnelde ontwikkeling van de totale waterstofmarkt.



Figuur 6: Schematische weergave van de transitie van de huidige waterstof uit aardgas (grijs) naar waterstof op basis van elektrolyse van water met (overschotten van) zon- en windstroom (groen).

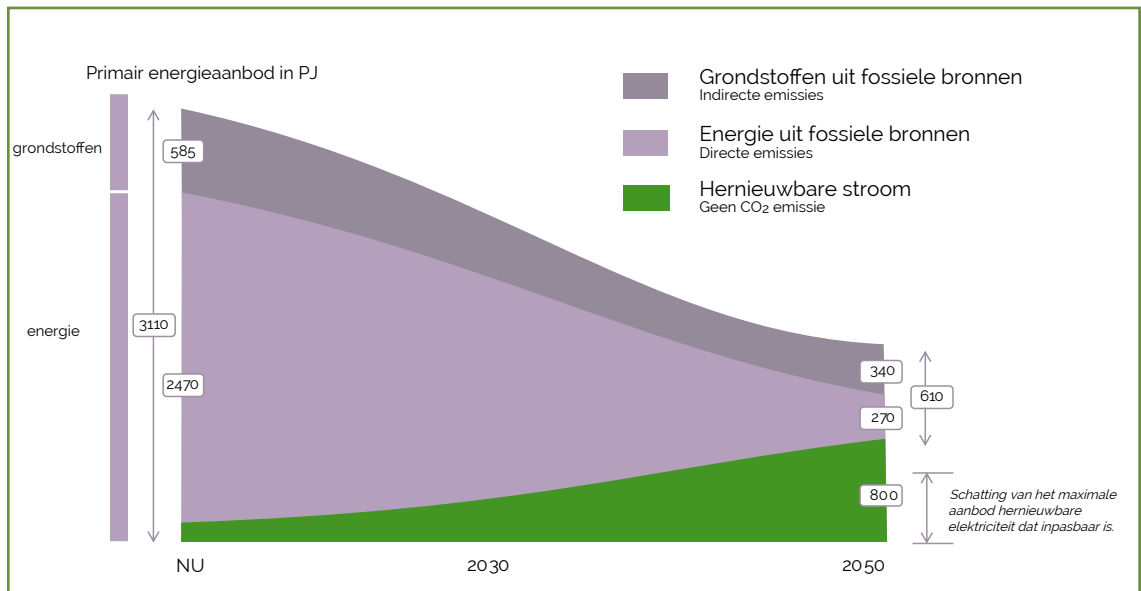
De markt voor blauwe waterstof kan zich parallel ontwikkelen aan die van groene waterstof. De twee ontwikkelingen sluiten elkaar niet uit. Sterker nog, de productie van groene waterstof zal gebruik kunnen maken van de schaalvoordelen die met blauwe waterstof worden bereikt. Door de invoering van blauwe waterstof ontstaat namelijk een grotere vraag naar waterstof en ontstaat een waterstofinfrastructuur waar groene waterstof op termijn op kan aansluiten [CE Delft, 2018].

4.3 Totale transitievisie

Waarom een carbon-budgetbenadering?

Anders dan bij andere luchtverontreinigingen spoelen broeikasgassen niet snel uit de atmosfeer, maar hopen zij zich daarin op. Het totale klimaateffect van emissies wordt dus niet bepaald door de emissie op een bepaald tijdstip in de toekomst, maar door de cumulatieve emissies tot dat moment. Deze cumulatieve emissies worden het carbon budget genoemd. Voor het klimaat is het dus bij uitstek van belang om zo snel mogelijk de emissies naar beneden te krijgen en niet te wachten tot het laatste moment om een bepaald emissiedoel te bereiken.

Op basis van de verwachte energievraag en het aanbod van duurzame opties kan worden berekend hoe de CO₂-emissie zich over de jaren zal ontwikkelen. Als er – in een hypothetische situatie – van uitgegaan wordt dat alleen efficiëntieverbetering en de toenemende inzet van duurzame elektriciteit bepalend zijn, ontstaat het plaatje zoals weergegeven in Figuur 7.



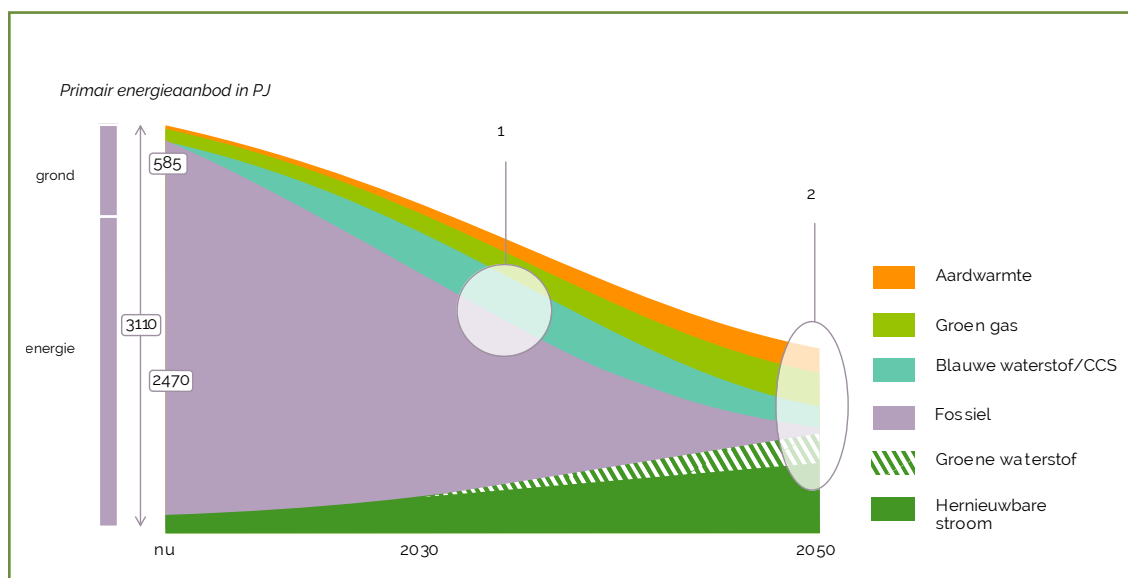
Figuur 7: Primair energiegebruik (in PJ) in het hypothetische geval dat alleen de opwekking van stroom hernieuwbaar wordt, dus zonder de inzet van klimaatneutrale alternatieven voor fossiele vraag.

Figuur 7 laat zien dat er in dit geval nog lang veel fossiele energie gebruikt wordt, met als gevolg dat de CO₂-doelen voor 2030 en 2050 niet gehaald zullen worden en er over de gehele looptijd ook zo veel CO₂ wordt geëmitteerd dat het carbon budget (zie tekstblok) wordt overschreden. Aangezien in dit scenario al ambitieuze aannames zijn gedaan voor de hernieuwbare energieproductie in 2050, zou alleen binnen het carbon budget gebleven kunnen worden met een reductie in energie- en grondstoffenvraag, die op dit moment in geen enkel scenario wordt voorzien [Berenschot, 2018a]. Dit betekent dat de klimaatimpact als gevolg van de resterende inzet van fossiele brandstoffen op een andere wijze zo snel en ver mogelijk dient te worden gereduceerd. Daarvoor dienen zich drie opties aan:

1. De toenemende inzet van biobrandstoffen.
2. De inzet van post-combustion CCS bij de industrie of de inzet van blauwe waterstof op basis van pre-combustion CCS.
3. De inzet van aardwarmte als warmtebron.

Groene waterstof staat niet in dit rijtje, omdat deze wordt gemaakt uit groene stroom. Per saldo zorgt groene waterstof dus niet voor meer energieaanbod of lagere CO₂-emissies.

In Figuur 8 is op basis van verschillende studies een aanname gedaan voor de mogelijke inzet van deze drie opties in de tijd, waarmee de cumulatieve emissies wel binnen het carbon budget blijven. Hoe de mix er uiteindelijk uit komt te zien is onduidelijk, maar de figuur laat zien dat in 2030 en 2050 in respectievelijk circa 300 en 800 PJ van de resterende energievraag op basis van deze drie opties zal moeten worden voorzien. In de figuur is ook een fors aandeel groene waterstof opgenomen om het aandeel elektriciteit in het totale energiesysteem niet te ver te laten stijgen.



Figuur 8: Invulling van het primaire energiegebruik (PJ), met de inzet van klimaatneutrale opties voor fossiele vraag.

Ad 1. Blauwe waterstof/CCS is een tijdelijke oplossing die – bij gunstige randvoorwaarden – op korte termijn kan worden toegepast. In 2050 is er naar verwachting nog steeds een markt voor blauwe waterstof.

Ad 2. De omvang van niet-elektrische opties moet gezien worden als een minimaal in te vullen hoeveelheid. Die kan groter zijn afhankelijk van de mate van inpassing en toepassing van hernieuwbare stroom en het succes van efficiëntiemaatregelen. De verhouding tussen de voorgestelde opties is indicatief: (1) de ontwikkeling van iedere afzonderlijke technologie is onzeker en (2) bij geen van de technologieën wordt voorzien dat deze de volledige vraag kan invullen. Een mix van opties zal nodig zijn.

Figuur 8 maakt zichtbaar dat blauwe waterstof tot een versnelde afname van het gebruik van fossiele brandstoffen leidt. Die bijdrage neemt weer af richting 2050, omdat de voor blauwe waterstof noodzakelijke CCS als een tijdelijke optie wordt gezien. De andere opties worden dominant na 2030. Daar zit ook een toenemend deel groene waterstof bij.

De precieze verhouding tussen waterstof, groen gas en aardwarmte in 2050 kan niet worden gegeven. De opties zijn niet volledig uitwisselbaar en de mogelijke kostendaling is onzeker, omdat deze niet alleen van technologische ontwikkelingen afhangt. Verder zijn er in alle gevallen grenzen aan de groei. De hoeveelheid groen gas wordt gelimiteerd door de beschikbaarheid van duurzame biomassa; het potentieel van blauwe waterstof hangt samen met de maximaal beschikbare capaciteit voor het ondergronds opslaan van CO₂ waar maatschappelijk draagvlak voor te vinden is; en zowel aardwarmte als groene waterstof kent ruimtelijke beperkingen. Daarom dienen al deze opties verder ontwikkeld te worden.



5. Bouwstenen in het GILDE-programma – de bijdrage van de gassector

De visie zoals beschreven in de vorige hoofdstukken laat zien dat het naast vergaande efficiëntieverbetering en de inzet op grootschalige duurzame elektriciteitsproductie nodig is om gelijktijdig in te zetten op groen gas, aardwarmte, waterstof en CCS. Aan deze bouwstenen van de transitie levert de gassector een belangrijke bijdrage. Aanvullend zet de gassector in op het thema Noordzee-integratie, omdat daarmee bijgedragen wordt aan de thema's CCS en waterstof en ook aan het thema wind op zee.

In de onderstaande paragrafen wordt aangegeven welke activiteiten de gassector in samenwerking met de voor deze thema's relevante andere stakeholders onderneemt om optimaal bij te dragen aan de realisatie van de doelstellingen uit het Klimaatakkoord en de realisatie van de transitie als geheel.

5.1 Groen gas

Het *Voorstel voor hoofdlijnen van het Klimaatakkoord* bevestigt de noodzaak van groen gas voor de verduurzaming. Groen gas is belangrijk als grondstof voor de industrie en als energiebron voor gebouwde omgeving, transport en industrie, sectoren waarvoor elektrificatie (nog) geen optie is. Zelfs negatieve emissies kunnen met groen gas worden gerealiseerd door de productietechniek te combineren met CCS of CCU.

Er is een nauwe samenwerking tussen KVGN en Groen Gas Nederland. Deze samenwerking is gericht op het verantwoord beschikbaar maken van voldoende groen gas om aan deze groeiende marktvrage te voldoen (circa 127 PJ in 2030 en 419 PJ in 2050). De gassector intensiveert de komende jaren ondersteuning en financiering van innovatieve productietechnieken die zijn gebaseerd op principes van het gebruik van reststromen, meervoudige verwaarding en opschaling van de productie. Voorbeelden hiervan zijn superkritische watervergassing en hogedrukvergisting.

Gezamenlijk brengen we in beeld welke aardgasproductielocaties en -infrastructuur kunnen worden herbestemd voor productie en transport van groen gas. Een voorbeeld van een succesvolle samenwerking tussen de groengasprojectontwikkelaars en de gassector is de voorgenomen herbestemming van de NAM-locatie GZI Emmen, onder andere voor groengasproductie.

Uitbreiding van de groengasproductie is mede afhankelijk van de vraag. We dragen bij aan zekerheid voor investeerders door vraag en aanbod van groen gas bij elkaar te brengen en te balanceren, volumes te aggregeren en langetermijncontracten aan te bieden om risico's af te dekken en projecten te realiseren.

Op dit moment wordt gewerkt aan een routekaart voor de ontwikkeling en innovatie van groen gas, gericht op versnelde opschaling en kostenreductie, inclusief de wettelijke en economische kaders¹. De routekaart zal in 2019 gereed zijn.

5.2 CCS

Het recent gepubliceerde IPCC-rapport maakt duidelijk dat een versnelde inspanning noodzakelijk is om de CO₂-uitstoot in de atmosfeer te beperken en zodoende de opwarming van de aarde te remmen [IPCC, 2018]. In dit kader wordt ook verwezen naar de noodzaak van CO₂-opslag. CO₂-opslag is op dit moment de meest haalbare en betaalbare wijze om de CO₂-uitstoot in de atmosfeer op korte termijn fors te reduceren. Bovendien biedt het gebruik van duurzame energie in combinatie met CO₂-afvang en -opslag de mogelijkheid om negatieve emissies te realiseren. Het afgevangen CO₂ kan in de toekomst worden hergebruikt als grondstof.

De gassector draagt bij aan het realiseren van CO₂-opslag door kennis van de ondergrond in te zetten bij de lopende CCS-projecten. Bovendien kan de gassector infrastructuur beschikbaar maken waarmee transport en opslag van CO₂ kostenefficiënter wordt. Ook assisteert de gassector door de ontbrekende wettelijke en economische kaders voor CO₂-opslag zichtbaar te maken.

Weliswaar zijn er geen technische belemmeringen voor de toepassing van CCS, maar binnen de Nederlandse context is nog nooit in de praktijk een CCS-keten van afvang, transport en opslag gerealiseerd. Er zijn wel verschillende grootschalige projecten van start gegaan in Canada, Australië, China, de VS en Noorwegen. Enkele spelers in de gassector ontwikkelen nu concrete projecten in Nederland om meer ervaring op te doen bij de afvang en opslag van CO₂ in grote industrieën en om de mogelijkheid te creëren later op te schalen. Om CCS in Nederland echt van de grond te krijgen zijn een business case en de juiste juridische context nodig [De Gemeeynt, CE Delft, 2018].

¹ Motie 32813-234 van het lid Agnes Mulder c.s. over een routekaart voor groen gas.
<https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2018Z19634&did=2018D51729>

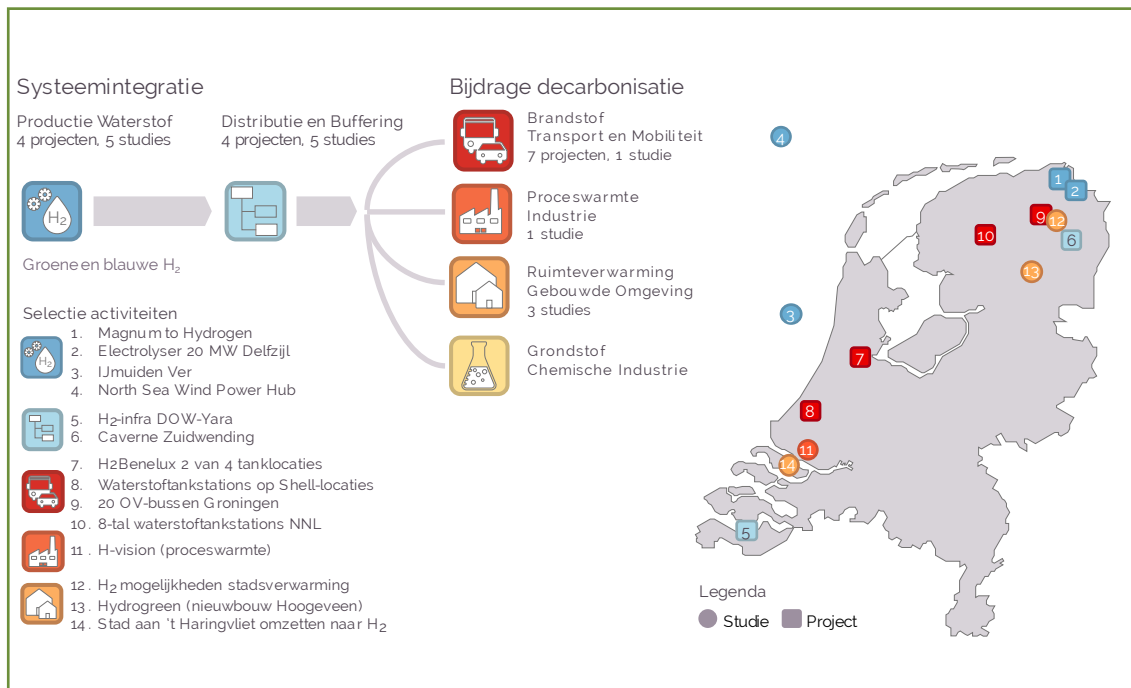
5.3 Waterstof

In het *Voorstel voor hoofdlijnen van het Klimaatakkoord* is ook voor waterstof een belangrijke rol weggelegd. Om deze rol daadwerkelijk te kunnen invullen, zal de ontwikkeling van waterstof in het energiesysteem snel op gang moeten worden gebracht. Hiervoor is een ontwikkelprogramma nodig waarin in elk geval een aantal van de hierna beschreven onderwerpen dient te worden geadresseerd.

Om te beginnen is dat de rol van blauwe waterstof als wegbereider voor een groene-waterstofeconomie. Het vervangen van grijze waterstof door blauwe waterstof kan al voor 2030 zorgen voor een substantiële CO₂-emissiereductie en voor voldoende volume om zowel de benodigde infrastructuur als de markt (in industrie, transport en gebouwde omgeving) voor waterstof te ontwikkelen. Standaardisatie en normering spelen hierbij een belangrijke rol.

Productie van waterstof uit groene elektriciteit is eigenlijk pas aan de orde bij overschotten aan groene elektriciteit (zoals uit windmolens op zee). Op basis van de afspraken in het Klimaatakkoord zal tot 2030 nog geen sprake zijn van significante overschotten aan groene elektriciteit waaruit in Nederland grootschalig groene waterstof kan worden gemaakt. Desalniettemin is het belangrijk om aan opschaling van de elektrolysefabrieken te werken, in parallel met de uitbreiding van wind op zee. Eventueel kan groene waterstof uit het buitenland worden geïmporteerd.

De leden van KVGN stimuleren de ontwikkeling van waterstof in het energiesysteem door deel te nemen en bij te dragen aan vele uiteenlopende onderzoekstrajecten en pilotprojecten (zie Figuur 9). Doel hiervan is het ontwikkelen van toepassingen van waterstof voor bijvoorbeeld industrie en het stimuleren van innovaties, zoals het verbeteren van elektrolyzers om groene waterstof te maken. Daarnaast werkt de gasector aan het beschikbaar maken van infrastructuur voor transport en opslag van waterstof, uiteenlopend van waterstoftankstations tot ondergrondse opslagen voor waterstof.



Figuur 9: Selectie van activiteiten op het gebied van waterstof (mei 2018).

5.4 Aardwarmte

Aardwarmte heeft de afgelopen jaren in Nederland aan populariteit gewonnen. Aardwarmte biedt een kansrijk en duurzaam alternatief om in de gebouwde omgeving, de industrie en de agrarische sector (met name in de glastuinbouw) toegepast te worden. Hiervoor zijn goede afspraken nodig tussen onder meer bewoners en gebruikers, betrokken gemeenten, energiebedrijven en producenten van aardwarmte.

In het *Masterplan Aardwarmte* dat eerder dit jaar is gepubliceerd [Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN, 2018], staat beschreven hoe we op een duurzame, veilige en maatschappelijk verantwoorde manier en op basis van de productie van de huidige 3 PJ Nederlandse aardwarmte per jaar, via 50 PJ per jaar in 2030, meer dan 200 PJ per jaar in 2050 kunnen produceren.

De ontwikkeling van aardwarmte is sterk afhankelijk van onder andere maatschappelijk draagvlak, de groei en uitrol van warmtenetten en verder onderzoek naar het ondergrondse potentieel. Hier blijft de sector in de komende jaren nauw bij betrokken.

De bijdrage van aardwarmte kan naar verwachting een totale CO₂besparing opleveren van 3 Mton in 2030 en 12 Mton in 2050. Aardwarmte groeit naar verwachting als warmtebron van 0,5% van de totale warmteproductie naar 5% in 2030 en 23% in 2050 [Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN, 2018].

De gassector draagt bij met kennis van de ondergrond en ervaring met ondergrondse operaties. Tevens zal de gassector meehelpen om de geothermiesector verder te professionaliseren en om grootschalige inzet van aardwarmte mogelijk te maken. Verder zal de gassector zich inzetten voor de juiste financiële en wettelijke kaders waarbinnen de opschaling mogelijk wordt gemaakt.

Tegelijkertijd is de ambitie afhankelijk van een kostenreductie van 30 tot 50% over de levenscyclus van een aardwarmteput, die juist mogelijk wordt door opschaling en gecoördineerde exploratie en exploitatie. Hiermee zullen schaalvoordelen de kosten, geologische onzekerheden en technische risico's van exploitatie verminderen. Ook is verdere kostenreductie mogelijk door onder andere een structurele opzet van R&D en innovatie.

5.5 Systemintegratie Noordzee

De verschillende duurzame energiedragers zullen verschillende rollen in het energiesysteem van de toekomst krijgen. Een belangrijk thema hierbij is de vraag hoe deze verschillende energiedragers met elkaar interacteren, hoe ze samen het energiesysteem vormen en hoe ze integreren met het bestaande energiesysteem.

Met de groei van niet-regelbaar vermogen, zoals zonne-energie, windenergie en aardwarmte, wordt de behoefte aan een energiesysteem met daarin voldoende regelbaar vermogen in de vorm van duurzame energie steeds groter. De gassector levert met zijn kennis van en infrastructuur voor transport en opslag graag een bijdrage aan een betaalbaar duurzaam energiesysteem.

De energietransitie zal in belangrijke mate plaatsvinden op het Nederlandse deel van de Noordzee. Een groeispurt van wind op zee en de afname van offshore olie- en gasproductie zijn hierbij twee belangrijke trends voor de komende decennia. Kansen voor deze energietransitie ontstaan bij het maken van slimme koppelingen tussen de nieuw te bouwen offshore windparken en de huidige olie- en gasinfrastructuur op de Noordzee [TNO, 2018]. Om optimaal gebruik te kunnen maken van deze kennis en infrastructuur en deze ter beschikking te hebben wanneer die nodig is, is het noodzakelijk een integrale visie te ontwikkelen op de inrichting van het energiesysteem waarmee we CO₂-emissies tegen zo laag mogelijke kosten kunnen reduceren. De gassector zet zich ervoor in om die te bewerkstelligen, samen met onder andere Nexstep.



6. Literatuurlijst

Berenschot (2018a), Elektronen en/of Moleculen, april 2018

Berenschot (2018b), Richting 2050: systeemkeuzes en afhankelijkheden in de energietransitie, mei 2018

CBS StatLine, Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik, geraadpleegd in augustus 2018

CE Delft (2018), Waterstofroutes Nederland. Blauw, groen en import, juni 2018

De Gemeeynt (2018), Green Liaisons, april 2018

De Gemeeynt, CE Delft (2018), Routekaart CCS

ECN (2017), Nationale Energieverkenning 2017

Gasunie (2018), Verkenning 2050, januari 2018

IPCC (2018), Special Report on Global Warming of 1.5°C

Luchtvaart Nederland (2018), Actieplan Slim én duurzaam, oktober 2018

McKinsey & Company (2016), Versnellen van de energietransitie: kostbaar of kansrijk?, september 2016

McKinsey & Company (2018), Energy transition: mission (im)possible for industry?, 2018

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018), Voorstel voor hoofdlijnen Klimaatakkoord, juli 2018

Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN (2018), Masterplan Aardwarmte in Nederland, mei 2018

TKI Nieuw Gas (2018), Contouren van een Routekaart Waterstof

TNO (2018), Offshore systeemintegratie als transitieversneller op de Noordzee

TU Delft (2018), Waterstof – de sleutel voor de energietransitie, mei 2018

VNCI (2018), Chemistry for Climate: Acting on the need for speed - Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050, februari 2018





7. Bijlagen

7.1 Definities

Toelichting op de begrippen zoals gebruikt in dit document.

Binnenlandse energievraag	De som van het finale energetische gebruik en de inzet voor de productie van brandstoffen en/of warmte. De laatste post wordt gedomineerd door het energiegebruik voor raffinage.
Grondstoffen	Het finale niet-energetische gebruik van (fossiele) energiedragers voor het maken van producten zoals plastic, kunstmest, etc.
Biogas	Het mengsel van gassen (hoofdzakelijk methaan en CO ₂) dat ontstaat door vergisting of vergassing.
Groen gas	Biogas dat is opgewerkt tot aardgaskwaliteit.
Grijze waterstof	Productie van waterstof door stoom-reforming van aardgas. Bij dit proces komt CO ₂ vrij.
Blauwe waterstof	Hetzelfde productieproces als bij grijze waterstof. De CO ₂ wordt afgevangen en opgeslagen (CCS). Blauwe waterstof is daarmee CO ₂ -neutraal.
Groene waterstof	Waterstofproductie door middel van elektrolyse. Als hiervoor duurzaam opgewekte elektriciteit wordt gebruikt, is de waterstof CO ₂ -neutraal.

