



Verkenning 2050

Discussiestuk



gasunie
crossing borders in energy

Verkenning 2050

Discussiestuk

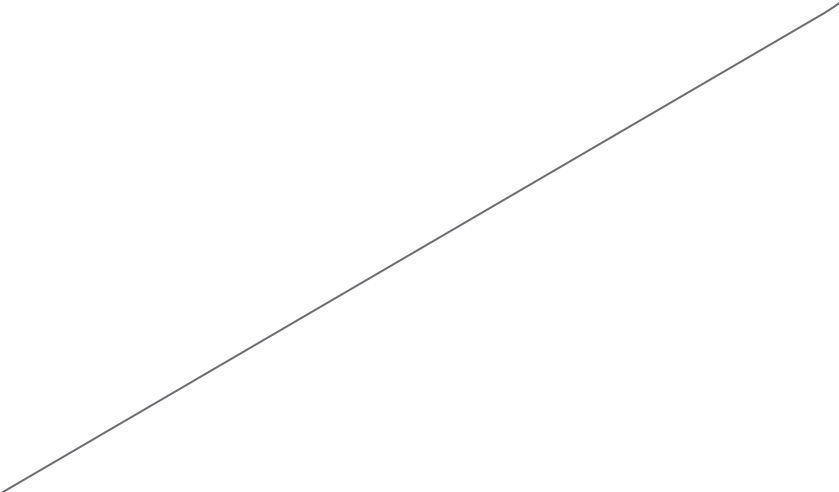
Januari 2018



LET'S DESIGN OUR ENERGY

Inhoud

Voorwoord	5
Inleiding	6
Samenvatting	8
Nederland in 2050	13
Nederland in 2030	35
Kosten	47
Tot slot	54



Voorwoord

De transitie naar een CO₂-neutrale energievoorziening in 2050 is één van de grootste uitdagingen waar de Nederlandse samenleving voor staat. Gasunie wil met een actieve bijdrage deze transitie helpen versnellen. Tegen deze achtergrond heeft Gasunie in mei 2016 haar 'Verkenning 2050' gepubliceerd. Daarin beschreven we onze visie op een mogelijke route naar een betrouwbare en betaalbare CO₂-neutrale energievoorziening in Nederland in 2050.

Naar aanleiding van de positieve reacties op deze Verkenning, de waardevolle commentaren en ook recente ontwikkelingen brengen wij nu een herziene versie van deze Gasunie Verkenning uit.

Deze Verkenning laat zien dat het mogelijk is in 2050 een betrouwbare, betaalbare en duurzame energievoorziening te realiseren, en hoe die er uit zou kunnen zien.

Het laat ook zien hoe groot en complex deze opgave is. Zij zal grote maatschappelijke inspanningen vragen, met vaak moeilijke besluiten en radicale veranderingen.

Onze conclusie is dat een duurzame, betrouwbare en betaalbare energievoorziening alleen bereikt kan worden door de geïntegreerde inzet van de verschillende energiedragers (elektriciteit, warm water, diverse gassen). Het is de taak van de energie-infrastructuurbedrijven om flexibel in te spelen op de uitdagingen die de energietransitie voortdurend aan ons zal stellen. Het aandeel duurzame energie zal toenemen, en daarmee ook de fluctuaties in energieaanbod uit diverse bronnen. Ook in die veranderende dynamiek moet de samenleving kunnen blijven rekenen op een betrouwbare energievoorziening.

Met deze Gasunie Verkenning willen wij onze kennis en visie met u delen op basis van onze meest recente inzichten. Wij vragen u bovendien om met ons in gesprek te gaan, zodat wij onze visie op energietransitie kunnen blijven aanscherpen. Wij geloven erin dat het nodig is kennis en inzichten te delen en krachten te bundelen, zodat de energietransitie op de maatschappelijk meest verantwoorde manier tot stand gebracht kan worden.

Han Fennema

CEO en Voorzitter Raad van Bestuur Gasunie



Inleiding

Sinds het verschijnen van de eerste “Gasunie Verkenning 2050” (mei 2016) lijkt de maatschappelijke discussie over de transitie naar een CO₂-neutrale energievoorziening in een stroomversnelling te zijn gekomen. De Nederlandse regering heeft haar commitment aan de 2050 Klimaatdoelstellingen van Parijs bevestigd en heeft in het recente regeerakkoord een aangescherpte ambitie voor 2030 opgenomen: Nederland moet in 2030 zijn emissies in CO₂-equivalenten met 49% hebben gereduceerd ten opzichte van 1990. Voor 2050 is een reductie van 95% gehanteerd. Op dit moment emitteert Nederland 11% minder CO₂-equivalent emissies dan in 1990¹.

Aangezien een deel van de Nederlandse emissies in CO₂-equivalenten moeilijk is terug te dringen (dat geldt vooral voor non-energetische uitstoot binnen de functionaliteit Voedsel en Natuur²), gaat deze Verkenning ervan uit dat de CO₂-uitstoot in de energiesector in 2050 teruggebracht moet zijn naar 0%. Voor 2030 is voor de Energiesector een CO₂-reductie van 54% ten opzichte van 1990 gehanteerd³. Deze doelstellingen gelden voor het energetisch gebruik van energiebronnen. Non-energetisch gebruik wordt in deze Verkenning op een enkele toelichting na buiten beschouwing gelaten.

Ten opzichte van de vorige Verkenning zijn belangrijke wijzigingen doorgevoerd. Energiebronnen als geothermie en biomassa blijven weliswaar erg belangrijk, maar zijn in deze Verkenning conservatiever ingeschat. De kostenontwikkeling van wind-op-zee is neerwaarts bijgesteld. Waterstof krijgt als energiedrager een grotere rol toebedeeld. Aan de vraagkant zijn er nieuwe inzichten over de economische groei en mogelijkheden voor efficiencyverbeteringen. Dankzij de input van diverse maatschappelijke organisaties konden deze analyses verder worden versterkt.

In de Verkenning wordt uitgegaan van bestaande technologieën, inclusief verbeterpotentieel. Er moet wel uitzicht zijn op economische toepassing in 2030 of 2050. Lock-in-investeringen worden vermeden. Revolutionaire game changers worden buiten beschouwing gelaten. Er wordt aangenomen dat Nederland zijn huidige niveau van industrie en bedrijvigheid wil behouden, de betrouwbaarheid van het energiesysteem intact wil laten en dat de samenleving een gelijkwaardig comfortniveau wat betreft energiezekerheid zal blijven houden. De Verkenning

1 Bron: ‘Emissies broeikasgassen, 1990-2015.’ Compendium voor de Leefomgeving. September 2016. <http://www.clo.nl/indicatoren/nl016529-broeikasgasemissies-in-nederland>

2 In het kader van de uitwerking van de Energieagenda worden de volgende functionaliteiten onderscheiden: 1. Kracht en Licht (elektriciteit), 2. Hoge temperatuurwarmte (intensieve industrie), 3. Lage temperatuurwarmte (gebouwde omgeving), 4. Mobiliteit en 5. Voedsel en Natuur (landbouwsector). Bron: <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/brieven/2017/06/02/bijlage-2-jaarverslag-ministerie-van-infrastructuur-en-milieu-2016-34725-xii-1/bijlage-2-jaarverslag-ministerie-van-infrastructuur-en-milieu-2016-34725-xii-1.pdf>.

3 Deze 54% reductie leidt tot een overall reductie in CO₂-equivalenten van 55%, het niveau waar Nederland in Europees verband op in zet.

is niet alleen een sectormatige volume-analyse, maar ook een analyse van de benodigde uur-capaciteiten en conversietechnieken.

Voor de modellering is gebruik gemaakt van het Energie Transitie Model (ETM) van Quintel. Daar waar dit model onvoldoende analysemogelijkheden bood zijn eigen aanvullende analyses uitgevoerd. Het Adviesbureau Berenschot heeft de kosten doorgerekend. Flowdiagrammen maken de onderlinge samenhang binnen het complexe energielandschap met sectoren, functionaliteiten, energiebronnen, energiedragers en conversietechnieken inzichtelijk.

In het eerste deel ligt de focus op 2050. In 2030 moeten al forse stappen zijn gezet om te voldoen aan de ambitie om de energiesector in Nederland in 2050 volledig CO₂-neutraal te maken. In het tweede deel wordt daarom stil gestaan bij de situatie rond het jaar 2030 en de weg daar naar toe. Tot slot volgt een kostenanalyse⁴ en een overzicht van de belangrijkste gevraagde inspanningen.

⁴ In voorgaande versie van de Verkenning 2050 was een raming van de kosten die gemoeid zijn met de realisatie van energietransitie in aparte uitgave ondergebracht. In deze herziene uitgave is een analyse van kosten geïntegreerd.



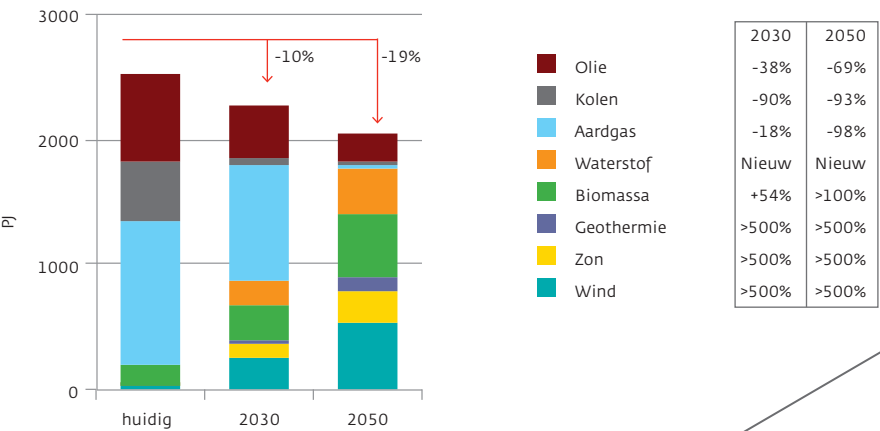
Samenvatting

CO₂-neutraal is haalbaar, forse inspanning en samenwerking vereist

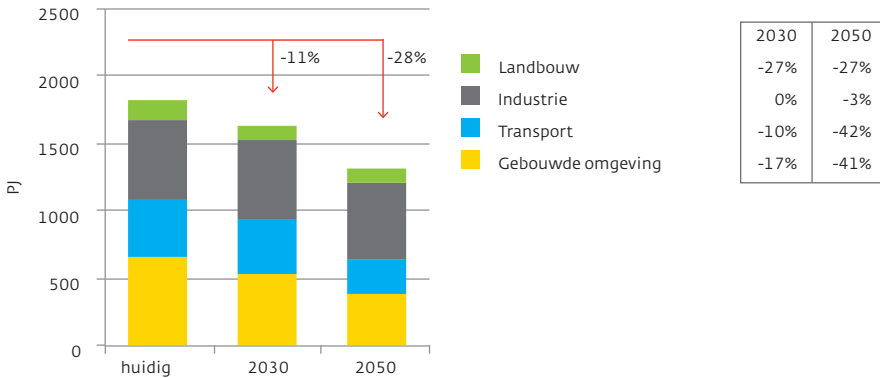
Een volledig CO₂-neutrale en betrouwbare energievoorziening in 2050 is technisch en economisch haalbaar. Om te kunnen voldoen aan die ambitie, moeten er in 2030 al forse stappen zijn gezet. Hiervoor zijn vele verschillende maatregelen noodzakelijk, die in samenhang met elkaar moeten worden beschouwd. Diverse energiebronnen, -dragers en -technieken kunnen elkaar versterken in een geïntegreerd energiesysteem. Om de (tussen)doelen te halen zijn, naast energiebesparing en energie-efficiëntie, ook wind, biomassa, CO₂-opslag, zon-PV, geothermie en waterstof van belang.

Het overbruggen van momenten met een hoge vraag naar, of een beperkt aanbod van duurzame elektriciteit is een cruciaal onderdeel van de toekomstige energievoorziening. De nationale en lokale energie-infrastructuur moet voldoende flexibiliteit bieden om ook op momenten van grote verschillen tussen vraag en aanbod een betrouwbare energievoorziening te garanderen. Grootschalige opslag van duurzame energie is hierbij essentieel. Omdat de mogelijkheden voor opslag van energie in elektrische dragers niet toereikend zal zijn, is het gebruik van duurzame gassen die kunnen worden opgeslagen noodzakelijk. Andere opties voor flexibele energieopslag op de benodigde schaal zijn er niet. Het gebruik van relatief dure biomassa is daarom nodig. Op dit moment wordt biomassa vooral voor verbranding gebruikt, dat zal grotendeels veranderen in vergassing, wat een veel hoger energetisch rendement oplevert bij dezelfde hoeveelheid biomassa. Via de inzet van bergingen kan deze productie van groen gas worden ingezet op momenten van piekvraag.

Primair Energieverbruik excl. energieverbruik voor grondstof



Finaal energieverbruik excl omgevingswarmte



De gebouwde omgeving is in 2050 volledig CO₂-neutraal

De energievraag in de gebouwde omgeving is in 2050 met ruim 40% gedaald ten opzichte van vandaag. Zonnepanelen op daken leveren elektriciteit. In aanvulling daarop is duurzame elektriciteit uit zonneweiden, windparken en waterstofcentrales beschikbaar. Een aanzienlijk deel van de warmtevoorziening is geëlektrificeerd, hetzij door toepassing van warmtepompen in all-electric (nieuwbouw)huizen, hetzij door gebruik van hybride warmtepompen. De rest van de gebouwen wordt verwarmd door warmtenetten op basis van geothermie en restwarmte.

In de gebouwde omgeving speelt gas alleen nog een rol tijdens koude dagen. Het hiervoor benodigde volume is beperkt: ongeveer 20% van wat er nu wordt gebruikt. Er is in 2050 voldoende groen gas beschikbaar om in deze gasvraag te voorzien (aardgas is dan niet meer nodig in de gebouwde omgeving).

Industrie focust op energie-efficiëntie, waterstof en CCS

De vraag naar raffinageproducten neemt af als gevolg van elektrificatie van het personenvervoer. De vraag naar andere industriële producten blijft intact. De effecten van economische groei, efficiency verbeteringen en afnemende energie-intensiteit heffen elkaar grotendeels op, waardoor de totale energievraag van de industrie per saldo licht daalt.

De brandstofmix in de industriële sector ziet er in 2050 anders uit. Elektrificatie is duidelijk toegenomen, maar de vraag naar energie in de vorm van moleculen heeft de overhand. Zo worden in 2050 nog kolen en olie in de staalindustrie en de petrochemie gebruikt, maar wel met de inzet van CCS om de CO₂ af te vangen en ondergronds op te slaan.

De industrie zal in toenemende mate waterstof gaan gebruiken (75 PJ in 2050). Ten aanzien van het non-energetisch gebruik zal aardgas steeds minder door de bedrijven zelf worden omgezet in waterstof, maar wordt de waterstof door andere partijen aangeleverd. Aardgasleidingen kunnen worden hergebruikt voor



waterstoftransport naar de industrie. Voor zover er in de industrie na 2030 nog aardgas wordt gebruikt, gebeurt dat zoveel mogelijk in combinatie met CCS. In 2050 is aardgas als primaire energiebron grotendeels verdwenen.

Wegtransport gebruikt in 2050 geen fossiele brandstoffen meer

In lijn met het toenemende aanbod van stroom en klimaatneutraal waterstof schakelt het wegtransport grootschalig over op elektrisch aangedreven voertuigen. De verdeling van het personenvervoer naar batterij-auto's en waterstofauto's zal daarbij vooral afhankelijk zijn van de gewenste functionaliteit, maar ook van de beschikbaarheid van laad- tankinfrastructuur. Duidelijk is wel dat in het zwaardere wegtransport in 2050 op beperkte schaal nog bio-olie worden gebruikt. In de transitie naar 2050 zal gebruik worden gemaakt van groen gas en aardgas of LNG.

Veel elektriciteit uit zon, wind en waterstof

In 2030 is de capaciteit van windparken gestegen naar 28 GW (momenteel 4 GW), voornamelijk op zee, en staat er voor 20 GW aan zonnepanelen op daken en op zonneweiden. Het elektriciteitsnetwerk is dan al fors uitgebreid.

In 2050 is er sprake van een verdubbeling van de mate van elektrificatie van de Nederlandse samenleving. De groei van zon en wind is verder doorgezet. Er staat voor 66 GW aan zonnepanelen en is de offshore windcapaciteit uitgebreid naar 55 GW, waarvan 15 GW voor dedicated waterstofproductie. Op land zal uit rest-electriciteit, naast opslag in accu's en gebruik voor power-to-heat, een beperkte hoeveelheid waterstof worden geproduceerd. De kostenontwikkeling van wind-op-zee is een belangrijke parameter voor de totale kosten van de energietransitie. Tijdens periodes met weinig zon en wind zullen centrales bijspringen. Deze centrales draaien in 2050 nog uitsluitend op waterstof (250 PJ). Fossiele energie wordt niet meer gebruikt voor elektriciteitsopwekking.

Waterstof door dedicated windparken, uit rest-electriciteit en uit aardgas (met CCS)

In 2050 is er 15 GW aan wind-op-zee voor dedicated productie van groene waterstof, dat via leidingen naar het vasteland wordt getransporteerd. Uit duurzaam opgewekte rest-electriciteit wordt op land waterstof geproduceerd en daarnaast is er sprake van import van Noorse waterstof. Dit laatste wordt geproduceerd uit aardgas, waarbij de CO₂ in Noorwegen wordt afgevangen en opgeslagen. Deze zogenaamde blauwe waterstof is in 2050 nog een belangrijk onderdeel van de energiemix. De toekomst moet uitwijzen of het economisch aantrekkelijker is om, in plaats van import, waterstofproductie in Nederland uit (geïmporteerd) aardgas te laten plaatsvinden. De wereldmarkt voor duurzame waterstof zal zich de komende decennia verder ontwikkelen, vooral op basis van zonne-energie in remote gebieden. De timing daarvan is buitengewoon onzeker. Omstreeks het midden van deze eeuw zal de wereldmarkt voor duurzame waterstof substantie hebben en waterstof op basis van aardgas met CCS gaan verdringen.

Biomassa en geothermie spelen een belangrijke rol

Inclusief import bedraagt in 2050 de hoeveelheid beschikbare biomassa voor binnenlands energetisch gebruik 500 PJ. Dit zal worden aangewend voor de productie van circa 180 PJ groen gas en circa 105 PJ aan biobrandstoffen. De hoeveelheid geothermie bedraagt 115 PJ, voldoende voor een kwart van de Nederlandse gebouwen en de helft van de energievraag in de land- en tuinbouw.

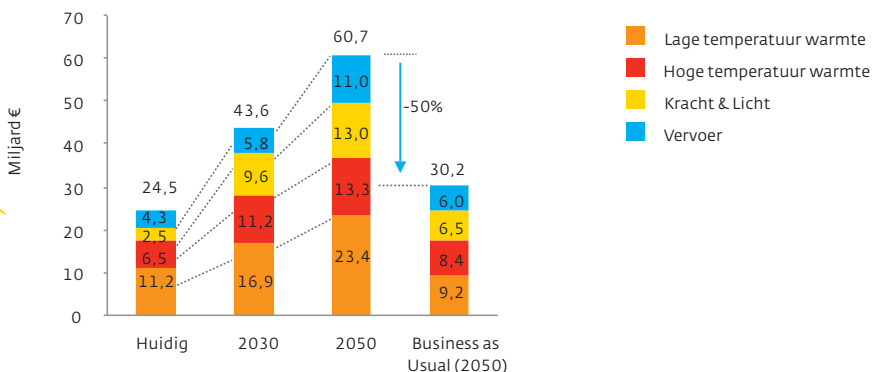
CCS is noodzakelijk

Om aan de targets van 100% CO₂-reductie in de energievoorziening in 2050 en 54% CO₂-reductie in 2030 op betaalbare en betrouwbare wijze te voldoen, is de inzet van CCS onontkoombaar. Door grootschalige inzet van duurzame elektriciteit kan de afvang van CO₂ beperkt blijven tot raffinaderijen (olie) en staalproductie (kolen), samen goed voor circa 16 Mton CO₂-productie. Daarnaast wordt de CO₂ afgevangen bij de productie van groen gas en biobrandstoffen uit biomassa, en uit afvalcentrales, waardoor hierbij negatieve emissies ontstaan. Deze Verkenning gaat ervan uit dat tussen 2030 en 2050 circa 20 Mton per jaar aan CO₂ zal worden afgevangen en opgeslagen in lege gasvelden op zee. Hiervan betreft 3 tot 6 Mton CO₂-afvang bij groen gas productie (negatieve emissies).

Een CO₂-neutrale energievoorziening zal leiden tot fors stijgende energiekosten

De totale jaarlijkse kosten van de energievoorziening stijgen van nu 25 miljard euro naar ruim 60 miljard euro in 2050. Bij een dergelijk toekomst gerichte kostenberekening moet worden bedacht dat de uitkomsten met een grote onzekerheid omgeven zijn vanwege de vele vooronderstellingen. De uitkomsten moeten daarom gezien worden als indicatief. Belastingen, heffingen op CO₂-emissies en subsidies maken geen onderdeel uit van de berekende jaarkosten.

Totale kosten van CO₂ reductie volgens de Gasunie Verkenning in 2030 en 2050 vergeleken met het huidige niveau (in € mrd).





De verschillen in kosten tussen 2030 en 2050 zijn voor een deel toe te schrijven aan de veronderstelde forse stijging van de biomassaprijs tussen 2030 en 2050 (+250%). Een kleiner deel van de kostentoename wordt veroorzaakt door de verhoogde inzet van waterstof in plaats van aardgas.

Een gevoeligheidsanalyse laat zien dat de kosten in 2050 ook veel lager, rond 47 miljard euro, zouden kunnen uitkomen. Als de kosten voor offshore windmolens 50% lager liggen dan is aangenomen op basis van IEA-veronderstellingen voor 2050, dan kunnen de jaarlijkse kosten met 8 miljard euro dalen. De laatste veilingen in de Noordzee geven hiervoor een hoopvol beeld. Een andere belangrijke kostenparameter zijn de biomassakosten. Nu is uitgegaan van hoge schaarste-kosten (WLO hoog scenario⁵), waarbij de biomassaprijs in 2050 ruim drie keer hoger is dan op dit moment. Als voor de biomassaprijs een meer gematigde stijging van 50% wordt verondersteld⁶, bijvoorbeeld omdat vraag en aanbod op de wereldmarkt beter in balans zijn, dan zullen de energiekosten 6 miljard euro lager uitkomen.

In een Business as Usual scenario is de huidige energievoorziening doorgerekend met de veronderstelde prijzen voor 2050, zonder dat er sprake is van een afname van de CO₂-emissies. Ten opzichte van het Business as Usual scenario bedragen de meerkosten in 2050 per jaar ruim 30 miljard euro, maar dat kan zoals in de vorige alinea aangegeven, dus ook slechts 17 miljard euro zijn.

5 In deze Verkenning 2.0 zijn prijzen voor gas, biomassa, kolen en olie conform het WLO hoog scenario gehanteerd. Dit is in lijn met het PBL rapport "Verkenning van klimaatdoelen - Van lange termijn beelden naar korte termijn actie (2017)". Met name de prijs voor biomassa is aanzienlijk hoger dan in de vorige versie van de Verkenning. In de kosten zijn geen CO₂-prijzen meegenomen.

6 Conform het WLO laag scenario.

Nederland in 2050

Doelstelling emissiereductie

De Klimaatovereenkomst van Parijs vraagt een verregaande reductie van broeikasgassen. In deze Verkenning wordt een analyse uitgevoerd, gericht op een emissiereductie van 95% in 2050 ten opzichte van 1990. De analyse is gericht op het in beeld brengen van de grootste toekomstige uitdagingen. Voor de Nederlandse energiesector betekent bovenstaande dat 100% CO₂-reductie moet worden gerealiseerd.

Algemeen beeld

In 2050 is de CO₂-uitstoot in de Nederlandse energiesector verwaarloosbaar, waarmee wordt voldaan aan de ambitie om de energiesector in Nederland volledig CO₂-neutraal te maken. Hiertoe is de energievraag in 2050 teruggebracht, is het aandeel duurzame energie fors toegenomen en worden nieuwe technieken en energiedragers toegepast. Energiebewustzijn is alom aanwezig, efficiënt gebruik van de beschikbare energie gemeengoed. De prijsprikkels en andere marktmechanismen zijn zo ingericht dat burgers en bedrijven dagelijks worden gestimuleerd, al dan niet via geautomatiseerde systemen, om energie te besparen en de energievorm te kiezen die het meest beschikbaar is.⁷

De kosten die de noodzakelijke veranderingen met zich meebrengen zullen het debat sterk bepalen. Het is daarom de verwachting dat naast politieke sturing en stimulansen, vooral prikkels vanuit de financiële en technische sectoren een rol zullen gaan spelen.

Energievraag⁸

Algemeen beeld

Ondanks een economische groei van gemiddeld 1,6% per jaar is het finaal energiegebruik⁹ (exclusief omgevingswarmte) in 2050 met 28% afgenomen ten opzichte van de huidige vraag. Vooral in de gebouwde omgeving en de transportsector wordt een forse energiebesparing van rond de 40% gerealiseerd.

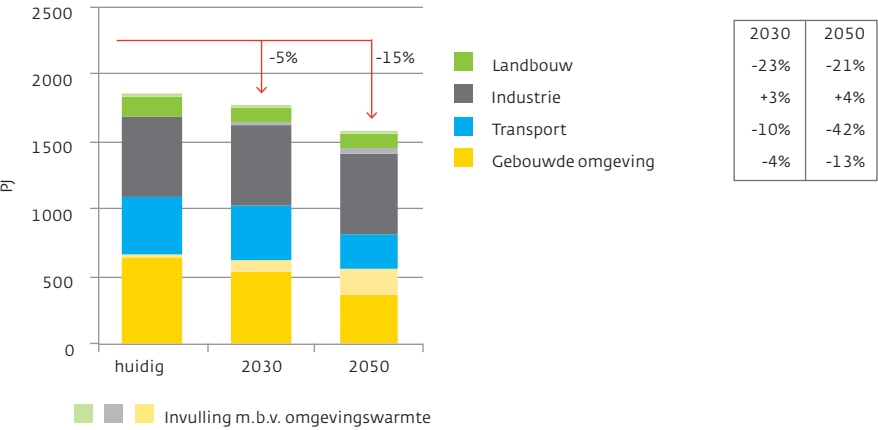
⁷ Energiehandelsplaatsen maken dit mede mogelijk. Gasunie, Alliander en DNVGL ontwikkelen hiertoe EN | square.

⁸ Dit betreft de finale energievraag. Dit is het energieverbruik op het eindgebruikers niveau (finaal), na de omzettingsverliezen. De primaire energievraag is de vraag naar energiedragers, vóór de omzettingsverliezen.

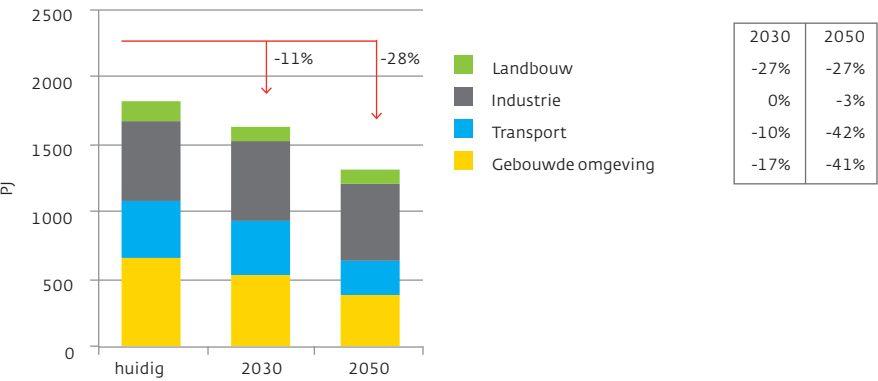
⁹ Met finaal energieverbruik wordt in dit document steeds het bruto finaal energieverbruik aangeduid.



Finaal energieverbruik incl. omgevingswarmte



Finaal energieverbruik excl. omgevingswarmte



Omgevingswarmte is conform de definitie van het CBS meegenomen in het **finaal** energieverbruik. Zoals uit grafieken hierboven kan worden afgeleid, wordt er momenteel weinig, maar in 2050 veel omgevingswarmte gebruikt (vooral in de gebouwde omgeving). Om verwarring te voorkomen is er voor gekozen om in de grafieken van de verschillende marktsectoren omgevingswarmte niet op te nemen. In de berekeningen is de vraag naar omgevingswarmte wel meegenomen.

Gebouwde omgeving

Door de combinatie van groen gas, groene stroom, omgevingswarmte, geothermie en restwarmte is de gebouwde omgeving in 2050 CO₂-neutraal. In 2050 is 25% van alle gebouwen aangesloten op een warmtenet en beschikt de rest van de gebouwen over een (hybride) warmtepomp of Warmte Koude Opslag-installatie.

Het finaal energieverbruik in de gebouwde omgeving is in 2050 met ruim 40% afgenomen ten opzichte van de huidige vraag¹⁰. Het aantal elektrische apparaten in huishoudens en utiliteitsgebouwen is in 2050 verder toegenomen, maar door aanzienlijke efficiencyverbeteringen is de uiteindelijke energievraag voor verlichting en andere apparaten (exclusief warmtepompen) een fractie lager dan nu.

Twee derde van de afname van de energievraag is het resultaat van het breed inzetten van doorontwikkelde, zeer efficiënte warmtetechnieken die optimaal gebruik maken van beschikbare omgevingswarmte¹¹. Toepassing van isolatie en een toegenomen energiebewustzijn van de consument zijn goed voor het resterende deel. Stand-alone HR-ketels, kooktoestellen op gas en luxe gastoeepassingen zoals sfeerhaarden zijn vrijwel niet meer in gebruik.

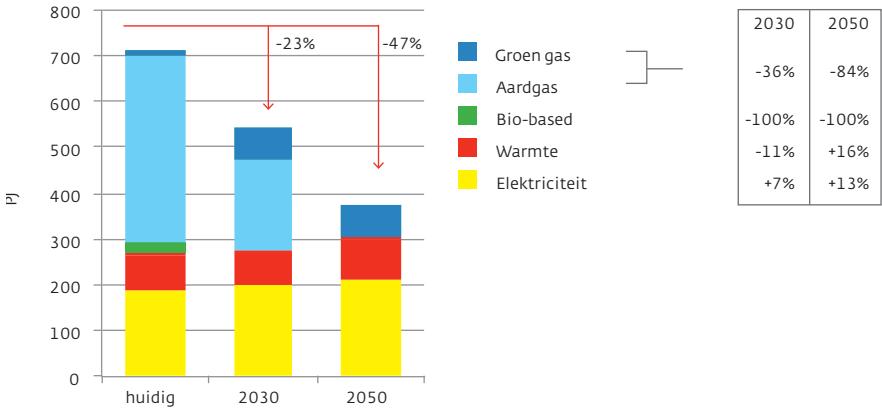
In 2050 wordt 25% van de woningen van warmte voorzien via een warmtenet. Geothermie is na 2020 in toenemende mate beschikbaar gekomen en heeft daarmee een belangrijke impuls gegeven aan de verdere ontwikkeling van warmtenetten. Ten tijde van hoge vraag en in onvoorziene omstandigheden wordt groen gas (of waterstof) via hulpketels ingezet om voldoende warmte te kunnen leveren. Hiermee is de leveringszekerheid gegarandeerd. In 2050 wordt (vaste) biomassa niet meer gebruikt als voeding voor warmtenetten.

¹⁰ Bron: 'De systeemkosten van warmte voor woningen' van Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en adviesbureau Ecofys, in samenwerking met onder andere netwerkbeheerders TenneT, Gasunie Transport Services en Alliander. November 2015. <http://www.ecofys.com/nl/press/keuze-verwarmingstechnologie-huishoudens-grote-invloed-op-netwerkkosten/> en 'Verkenning Energievoorziening 2035' van Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN). Mei 2017. <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-E--17-026> en 'Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving "update 2016" van CE Delft'. September 2016. <http://www.ce.nl/publicaties/1838/een-klimaatneutrale-warmtevoorziening-voor-de-gebouwde-omgeving-a-update-2016>.

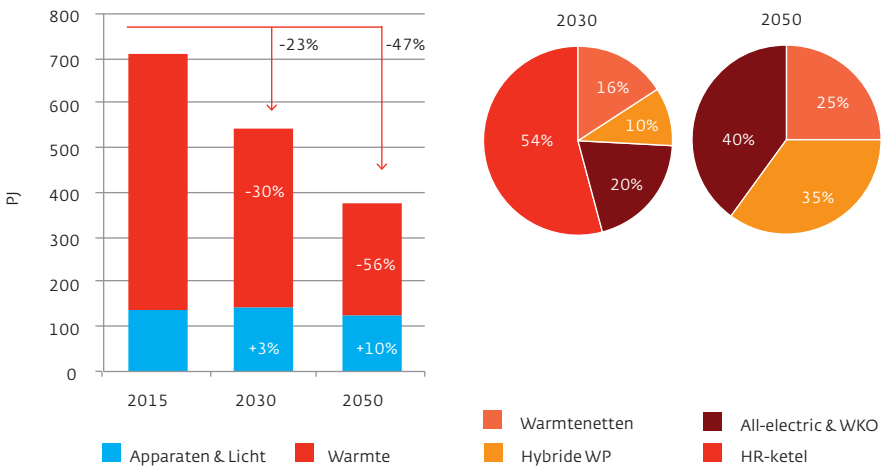
¹¹ Alleen de "grote" technieken zijn benoemd. Onder warmtenet valt ook wijk-WKK. Binnen de groep hybride warmtepompen vallen ook brandstofcellen en binnen de groep all-elektrisch valt WKO.



Finaal energieverbruik gebouwde omgeving excl. omgevingswarmte



Finaal energieverbruik gebouwde omgeving naar functionaliteit



In gebieden in Nederland zonder geothermie en / of restwarmte spelen elektrische warmtepompen in 2050 een belangrijke rol. In huizen (vooral nieuwbouw) die goed geïsoleerd kunnen worden zijn elektrische bodem-warmtepompen gemeengoed, grotere gebouwen (utiliteit) of woningcomplexen worden met WKO uitgerust. In gebouwen waar isolatie problematischer is en de warmtevraag onvoldoende naar beneden kan worden gebracht (bestaande bouw) zorgen hybride warmtepompen in combinatie met groen gas voor een duurzame warmtevoorziening. Omgevingswarmte uit de bodem of de lucht is daarmee een belangrijke bron van warmte voor de verwarming van woningen en gebouwen geworden.¹²

¹² Omgevingswarmte is niet opgenomen in de grafiek "Energiegebruik gebouwde omgeving" omdat dit energie betreft die niet concurreert met inzet elders. Onder warmte valt o.a. wel geothermie en warmte uit WKK voor een warmtenet.

Veel huizen of woonwijken zullen een thuisbatterij hebben om dag-nacht onbalans te overbruggen. De batterijtechnologie biedt echter ook in 2050 nog geen goede oplossing om seizoenonbalans te kunnen opvangen. Thermochemische technieken waarmee warmte kan worden opgeslagen zijn in 2050 in opkomst, maar nog niet grootschalig toegepast.

In 2050 wordt de gasvraag van de gebouwde omgeving volledig ingevuld met groen gas (68 PJ). Groen gas wordt, in combinatie met duurzame elektriciteit, preferent in die delen van de gebouwde omgeving ingezet waar verduurzaming op een andere manier lastig realiseerbaar is. All-electric is het preferente alternatief voor goed geïsoleerde (nieuwbouw)woningen, maar is op andere plaatsen niet efficiënt toepasbaar. Warmtenetten op basis van geothermie en restwarmte zijn naar verwachting in 25% van de gebouwde omgeving beschikbaar. Biomassa wordt niet langer gebruikt als energiebron voor warmtenetten.

Een alternatief voor groen gas gebruik in de gebouwde omgeving is waterstof. Dankzij onderzoek in het buitenland (Leeds) is het denken hierover in Nederland in een stroomversnelling gekomen¹³. De bestaande gasinfrastructuur kan hiervoor, met beperkte aanpassingen, gebruikt worden; vervanging van de branders in de huishoudelijke verwarmingstoestellen is wel vereist. In deze Verkenning is verondersteld dat er in 2050 voldoende groen gas beschikbaar is voor de resterende warmtevraag in de gebouwde omgeving en dat deze optie prijstechnisch preferenceert boven de inzet van waterstof. De komende 5-10 jaar zal veel duidelijk gaan worden over een mogelijke rol van waterstof in de gebouwde omgeving.

Industrie

De industrie is in 2050 nog steeds de sector met de grootste energievraag, maar gebruikt dan 3% minder energie dan nu. Dit is het gevolg van een afname van de energie-intensiteit van de industriële sector en een economische groei van gemiddeld 1,6%¹⁴ per jaar. Waar mogelijk wordt de geproduceerde restwarmte uit de industriële sector hergebruikt.

In 2050 zullen sommige industrieën zijn verdwenen uit Nederland, andere industrieën hebben een proces redesign doorgevoerd¹⁵ en weer andere industrieën zijn gegroeid of nieuw. Bepaalde industriële activiteiten, die in de twintigste eeuw zijn verplaatst naar andere continenten, zullen na 2030 terugkomen naar Europa en Nederland. Naast ontwikkelingen zoals nanotechnologie, 3D-printing en robotisering, spelen daarbij mondiale CO₂-overwegingen een rol: productie verplaatsing overzee leidt niet tot een vermindering van de mondiale CO₂-uitstoot in het productieproces, maar verhoogt wel de mondiale CO₂-uitstoot van zeetransport.

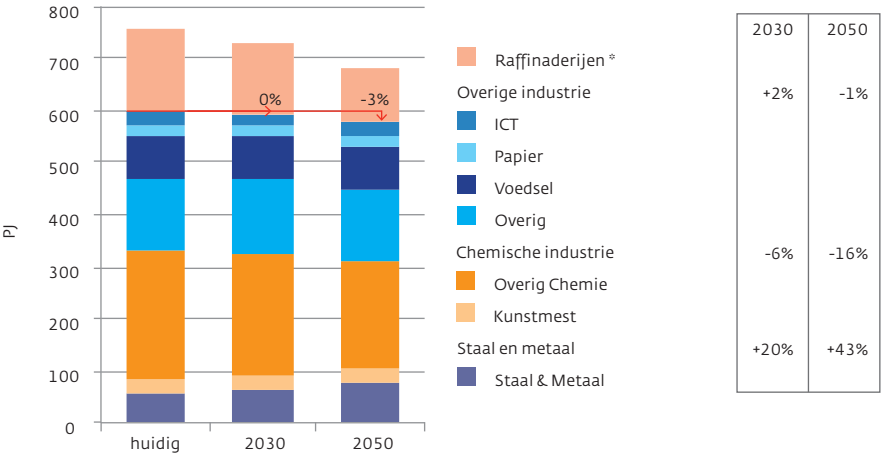
¹³ Zie o.a. "Net voor de Toekomst" door CE-Delft, 2017

¹⁴ Bron: 'Verkenning Energievoorziening 2035' van Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN). Mei 2017. <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-F--17-026>

¹⁵ Bron: 'Economische ontwikkeling energie-intensieve sectoren,' CE Delft. September 2014. http://www.ce.nl/publicatie/economische_ontwikkeling_energie-intensieve_sectoren/1516 en 'Energy Transition: Mission (im)possible for industry?', McKinsey in opdracht van VEMW. April 2017. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/energy-transition-mission-impossible-for-industry>

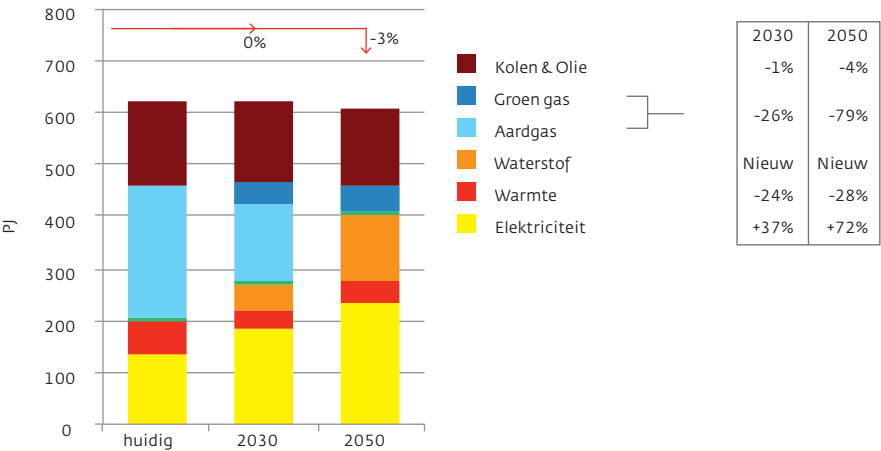


Finaal energieverbruik industrie excl. grondstof en omgevingswarmte



*Ter illustratie: Energievraag raffinaderijen telt in de statistieken van CBS niet mee

Finaal energieverbruik Industrie (excl. grondstof en omgevingswarmte)



In 2050 is de elektriciteitsvraag door de industrie fors toegenomen. Een flink deel van de huidige industriële aardgasgebruikers is in 2050 overgeschakeld op waterstof. Daarnaast wordt een deel van de energiebehoefte met groen gas ingevuld. Industrieën die aardgas of andere fossiele brandstoffen gebruiken vangen hun CO₂-emissies af om te worden opgeslagen (CCS). De hoeveelheid CCS neemt na 2050 overigens gestaag af vanwege vervanging door duurzame alternatieven.

De grootste daling in de energievraag doet zich voor in de sector raffinage, waar de vraag naar olie met 25% afneemt door elektrificatie van een groot deel van de

wegtransportsector. De vraag naar olieproducten in de internationale scheepvaart, luchtvaart en de petrochemie¹⁶ blijft zeker tot 2030 en wellicht nog langer bestaan.

De huidige relatief moderne staalindustrie in Nederland zal zich verder moderniseren richting 2050, maar desalniettemin kolen (met CCS) blijven gebruiken. Overschakeling naar waterstof is mogelijk maar complex en prijzig. Daarbij zullen internationale concerns eerst de minder efficiënte fabrieken in het buitenland ombouwen. Verondersteld is dat de Nederlandse staalindustrie niet voor 2050 grootschalig op waterstof zal overschakelen.

Waar mogelijk en (kosten)efficiënt zijn industriële processen in 2050 geëlektrificeerd of overgeschakeld op hybride vormen. Op deze manier kan een aanzienlijke hoeveelheid (50 PJ) overproductie aan duurzame elektriciteit worden gebruikt. De vraag naar energie in moleculaire vorm ten behoeve van hogetemperatuurwarmte blijft echter overheersen¹⁷. Als gevolg van vaak overvloedig beschikbare duurzame elektriciteit worden in 2050 nog maar nauwelijks industriële Warmte Kracht Koppeling (WKK) installaties gebruikt.

Agrarische sector

Als gevolg van een (mondiale) bevolkingsgroei, zal de vraag naar land- en tuinbouwproducten in 2050 hoger liggen dan momenteel. Door technologische ontwikkelingen kan in de agrarische sector efficiënt met energie worden omgegaan. Daardoor daalt het verbruik van energie in de periode tot 2030, waarna deze stabiliseert.

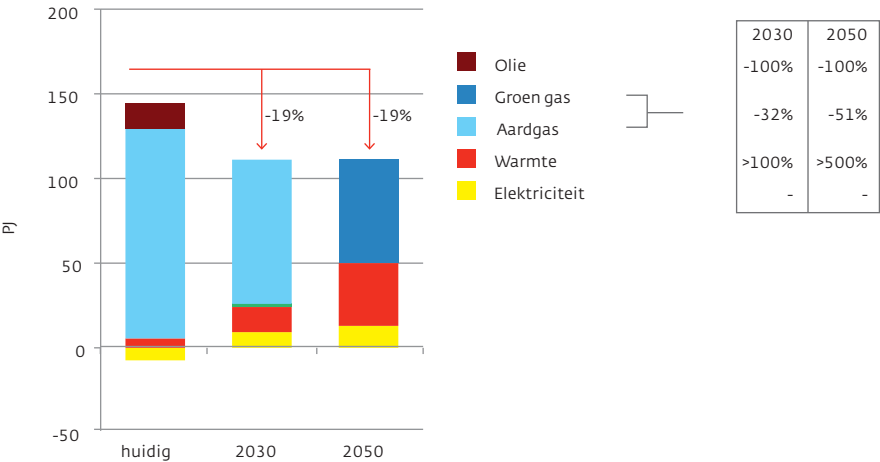
De wijze waarop in de energievraag van de sector wordt voorzien, verandert. Het opgesteld WKK-vermogen met aardgas in de tuinbouw is in 2050 nog maar een derde ten opzichte van nu (voor meer informatie over aannames WKK zie paragraaf elektriciteitsopwekking). Er is voorts een groeiende inzet van (vooral) geothermie en elektrische warmtepompen.

¹⁶ Het betreft hier NAFTA en andere aardolieproducten als brandstof voor de petrochemische industrie, momenteel circa 100 PJ.

¹⁷ In het EU referentiescenario [1] wordt uitgegaan van een elektrificatie van het finale energiegebruik voor Nederland van 28% in 2050. Hierbij wordt uitgegaan van een voortzetting van het huidige beleid. De elektrificatie varieert per lidstaat, waarbij Zweden met 43% het hoogste aandeel haalt. Daarnaast worden een aantal decarbonisatie scenario's in dezelfde studie doorgerekend middels het PRIMES model, resulterend in aandelen tussen de 29 en 39%. Andere studies zoals de scenario's van de World Energy Council [2] komt tot een wereldwijde elektrificatie tussen de 25 en 29%. De Nederlandse overheid [3] gaat uit van een elektrificatie van 18% in 2030 op basis van bestaand beleid, oplopend tot 26% bij toenemende elektrificatie van verwarming en vervoer. Bronnen: [1] Roadmap 2050, impact assessment and scenario analysis (https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/roadmap2050_ia_20120430_en_o.pdf); [2] World Energy Council, World Energy Scenarios 2016 (https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Scenarios-2016_Full-Report.pdf); [3] Min EZ, Energierapport, 2016 (<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/01/18/energierapport-transitie-naar-duurzaam>)



Finaal energieverbruik land- en tuinbouw



Transport¹⁸

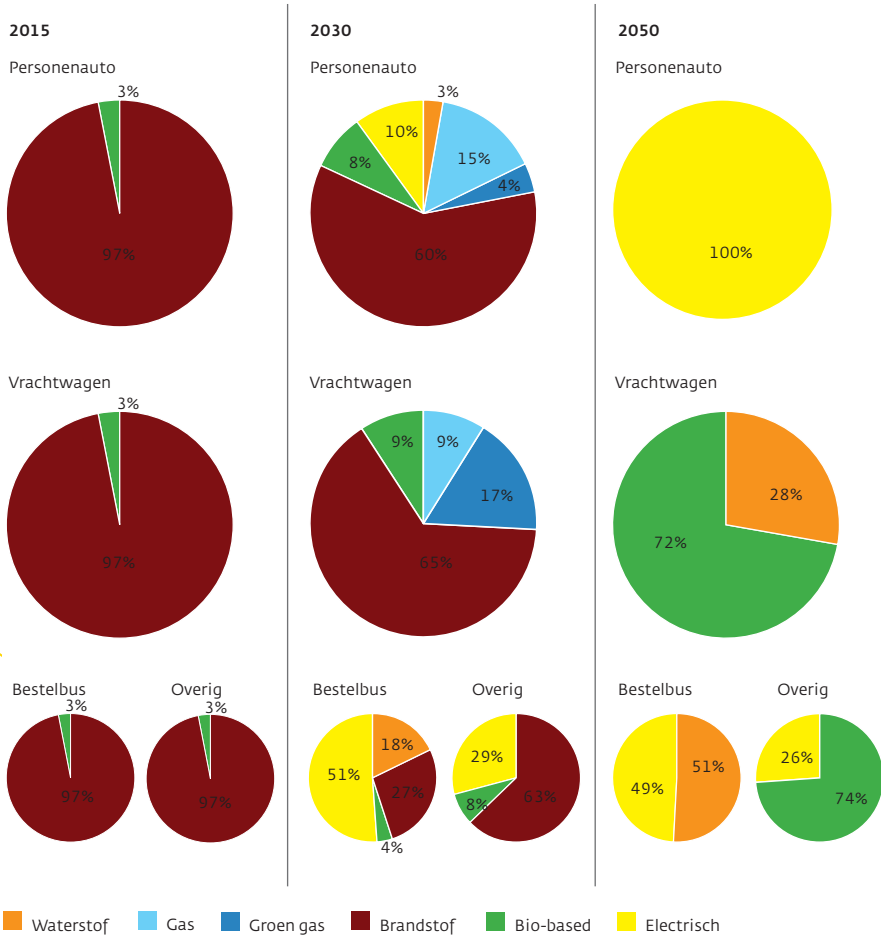
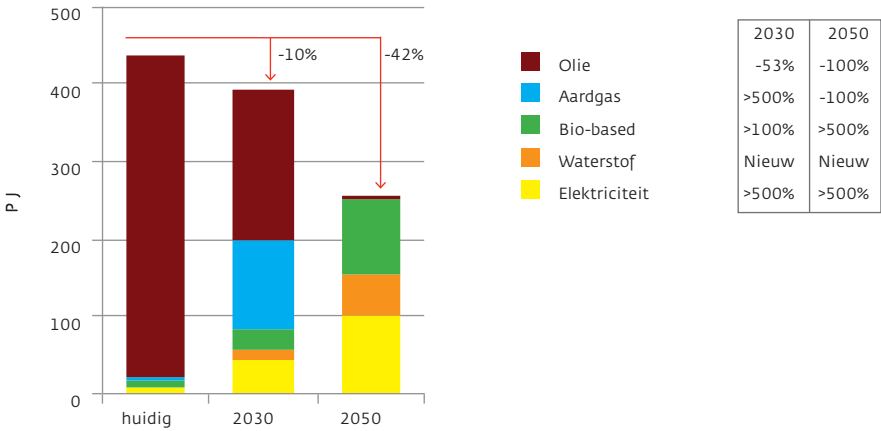
Het wegtransport is in 2050 CO₂-neutraal. De vraag naar fossiele brandstoffen is tot nul gereduceerd in deze sector.

Personenauto's rijden in 2050 waarschijnlijk grotendeels batterij-elektrisch. Lange afstand vrachtverkeer 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 overgangsbrandstof uitgefaseerd zijn.

Internationale lucht- en scheepvaart zijn niet meegenomen in de nationale CO₂-targets en zijn daarom buiten de figuren in deze Verkenning gehouden. Beide sectoren zullen in 2050 deels op olie, deels op (bio) LNG en deels op biomassa zijn gebaseerd. Of elektrisch vliegen, met waterstof als energiedrager, een grote vlucht neemt, valt nu niet te voorspellen.

¹⁸ 'De Brandstofvisie' deelrapporten en eindrapport van de Brandstof Tafels geeft de richting aan voor de gewenste ontwikkelingen, TNO, ECN en CE Delft. Juni 2014. <https://www.energieakkoordser.nl/nieuws/brandstofvisie.aspx>

Finaal energieverbruik transport

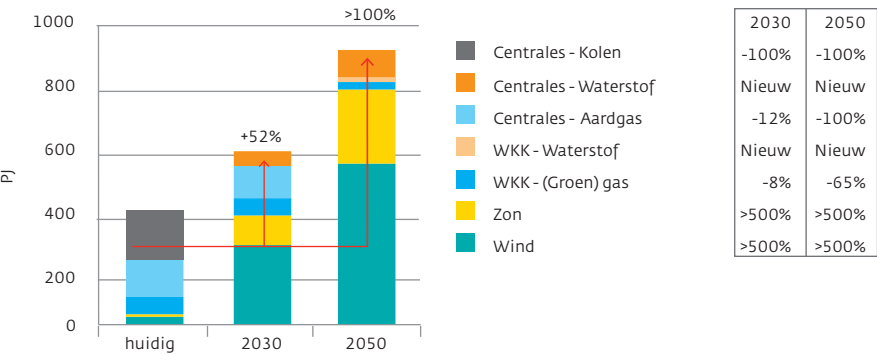




Elektriciteitsopwekking

Het verbruik van elektriciteit is in 2050 in vrijwel alle marktsectoren fors toegenomen. Er is sprake van een verdubbeling van de mate van elektrificatie van de Nederlandse samenleving (zie blz. 54: De relatie tussen CO₂-emissies, hernieuwbare energie en de mate van elektrificatie van de samenleving). De bronnen waarmee al deze elektriciteit geproduceerd worden verschillen van de huidige. Fossiele bronnen zijn volledig uitgefaseerd, wind, zon en waterstof zijn de belangrijkste vervangers. Op jaarbasis wordt geen netto import/export van elektriciteit voorzien.

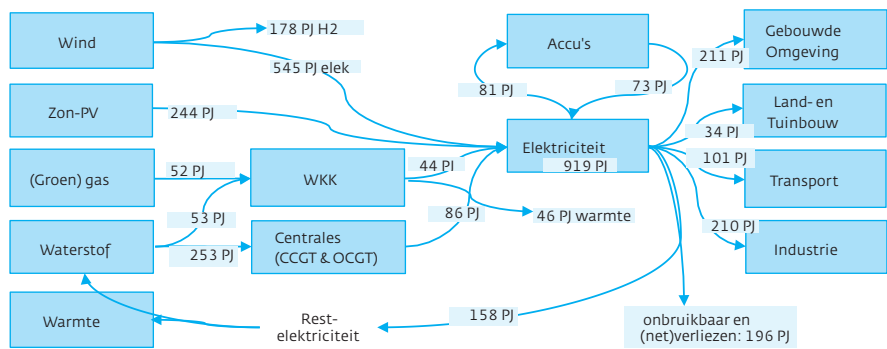
Electriciteitsaanbod



Zon en wind vormen in 2050 veruit de belangrijkste bron voor productie van elektriciteit, met in totaal bijna 800 PJ. Er blijven echter ook in 2050 flinke perioden waarin onvoldoende duurzame elektriciteit in Nederland wordt geproduceerd, en het is onzeker of voldoende (duurzame) elektriciteit uit buurlanden beschikbaar is¹⁹. Perioden met onvoldoende duurzame elektriciteit treden typisch op in de winter (geen zon en periodes met minder wind), of in de nachten in de flankmaanden. Een dergelijke situatie strekt zich over het algemeen gelijktijdig uit over een groot deel van Noordwest-Europa.²⁰ Thuisbatterijen worden in deze perioden onvoldoende opgeladen om het tekort aan duurzame elektriciteit te kunnen opvangen. Om de leveringszekerheid te kunnen garanderen is in 2050 28 GW aan back-up capaciteit nodig. Hiervoor wordt een combinatie van CCGTs en OCGTs gebruikt, met waterstof als energiebron. In deze waterstofcentrales wordt 86 PJ elektriciteit geproduceerd, circa 10% van de totale elektriciteitsbehoefte in Nederland. De back-up centrales worden dus netto ongeveer 1 maand per jaar ingezet, op de momenten van tekorten van aanbod van duurzame energie.

19 Zie ook de grafiek in de paragraaf over conversietechnieken
20 Bron: 'Windless Winter Weeks.' Whitepaper Ecofys. Juriaan van Tilburg, Rees van der Leun, Maarten Staats, and Carsten Petersdorff (Ecofys). December 2016. <https://www.ecofys.com/en/news/windless-winter-weeks-the-impact-of-future-heating-supply-on-the-energy-inf/>

Elektriciteit 2050



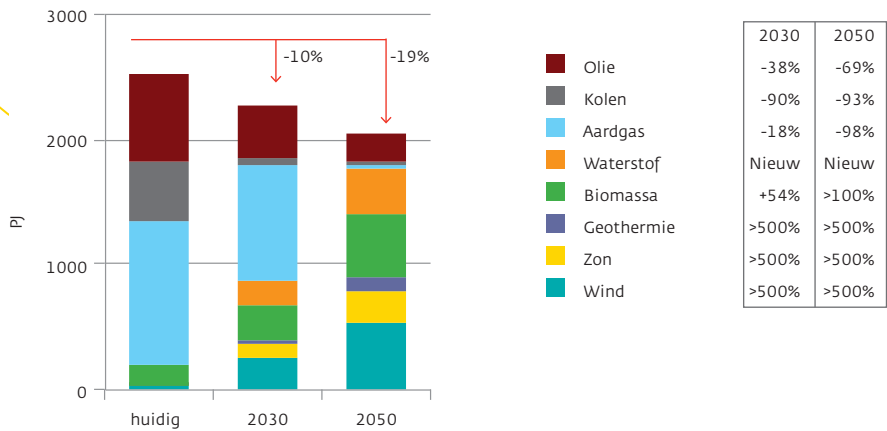
Energie-aanbod

Algemeen beeld

Het aanbod van primaire energie in Nederland ziet er in 2050 volledig anders uit. Wind, zon en biomassa vormen de belangrijkste bijdrage in de energiemix van 2050. Voor zover er nog fossiele brandstoffen worden gebruikt, is dat veelal in combinatie met CCS.

Het resterende fossiele energieverbruik in de industrie in 2050 bestaat vooral uit kolen in de staalindustrie, en olie ten behoeve van de productie van kerosine, stookolie/diesel, smeerolie en halffabricaten voor de petrochemische industrie. In vrijwel alle gevallen is waterstof een alternatief. In geval van de halffabricaten voor de petrochemische industrie is dat een combinatie van waterstof met CO₂ ("CO₂-utilisation"). De snelheid waarmee de conversie naar waterstof plaats zal vinden hangt af van technologische voortgang en kostenontwikkelingen. In deze Verkenning is voorzichtigheidshalve voorzien, dat in de petrochemische industrie conversie naar waterstof na 2050 gebeurt.

Primair energieverbruik excl. energieverbruik voor grondstof





Zon en wind voor elektriciteitsproductie

Nederland genereert in 2050 grootschalig energie uit zon en wind. De Noordzee heeft zich doorontwikkeld tot de grootste windlocatie in Europa en zonnepanelen op daken zijn gemeen goed geworden in heel Noordwest Europa. Accu's worden vrijwel standaard in ieder huis gebruikt voor dag/nacht balancerings. Bovendien wordt 'nutteloze' publieke ruimte (langs snelwegen, bij vliegvelden, enzovoorts) zoveel mogelijk gebruikt als locatie voor zonnepanelen.

De forse uitbreiding van geïnstalleerd vermogen aan zon-PV en wind-op-zee heeft zich ook na 2030 doorgezet. Op de Noordzee zijn er windparken die elektriciteit produceren en windparken die waterstof produceren.

	Zonnepanelen op daken	Zonneweiden	Wind-op-Land	Wind-op-Zee Elektriciteit	Ter info: Wind-op-Zee Waterstof
Heden	2,5 GW		3 GW	1 GW	0 GW
2030	12 GW	8 GW	8 GW	19 GW	0 GW
2050	32 GW	34 GW	10 GW	40 GW	15 GW

Het geïnstalleerd vermogen wind-op-land kent nog slechts een beperkte groei na 2030 door gebrek aan geschikte lokaties en is gestabiliseerd op een al forse 10 GW²¹. In 2050 wordt uit wind 545 PJ elektriciteit en 178 PJ waterstof geproduceerd.

Het toenemende bewustzijn voor verduurzaming, en een doorbraak in ontwerp van de panelen hebben de toepassing van zonnepanelen op woningen en andere gebouwen sterk vergroot. Veel partijen en coöperaties hebben geïnvesteerd in zonneweiden. In 2050 zal er een totaal geïnstalleerd vermogen van 66 GW aan zon PV zijn. Hiermee wordt, op basis van een bedrijfstijd van 1000 uur, in 2050 244 PJ elektriciteit geproduceerd.

De elektriciteitsproductie door zon en wind is in 2050 vaak groter dan de elektriciteitsvraag. Omdat ook de omringende landen hebben geïnvesteerd in zon en wind is er slechts beperkt sprake van uitwisselingsmogelijkheden. Een belangrijk deel van de elektriciteit die dan rest wordt opgeslagen in accu's, of via power-to-heat omgezet in warmte, of via power-to-gas in waterstof. De hoogste pieken in zon- en windproductie komen relatief weinig voor en worden daarom niet benut.

21 Bron: 'Verkenning van klimaatdoelen: van lange termijn beelden naar korte termijn acties' van Plan Bureau voor de Leefomgeving. Oktober 2017. <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-verkenning-van-klimaatdoelen-van-lange-termijnbeelden-naar-korte-termijn-actie-2966.pdf>

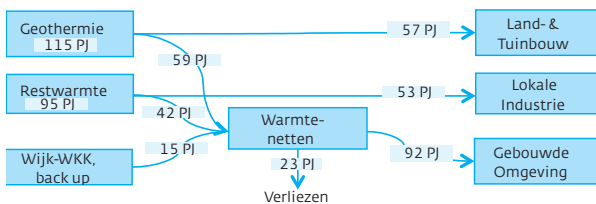
Omgevingswarmte

De warmtepompen in de gebouwde omgeving onttrekken in 2050 ruim 190 PJ (duurzame) omgevingswarmte aan de binnen- en buitenlucht en aan de bodem voor de verwarming van gebouwen en verbruiken daarvoor circa 60 PJ elektriciteit. Ook in de agrarische sector en in de industrie worden warmtepompen toegepast, waarbij in totaal circa 55 PJ aan omgevingswarmte wordt onttrokken, waarvoor 18 PJ elektriciteit nodig is. Het totaal aan gebruikte omgevingswarmte ligt hiermee op bijna 250 PJ in 2050.

Geothermie en restwarmte

Op plaatsen waar dit voorhanden is zal rond 2050 geothermie de belangrijkste warmtebron zijn en lokaal aan de markt beschikbaar worden gesteld. Schattingen over het potentieel aan geothermie variëren.²² In deze Verkenning is de beschikbare hoeveelheid geothermie op 115 PJ geschat. De pompen van de warmte/geothermiesystemen verbruiken circa 25 PJ aan elektriciteit.

Geothermie en restwarmte 2050



Uit industriële processen is ook in 2050 restwarmte beschikbaar. In totaal wordt in 2050 95 PJ industriële restwarmte hergebruikt. Iets minder dan de helft van dit totale aanbod aan restwarmte van de industrie²³ (42 PJ) en ongeveer de helft van het aanbod van geothermie (59 PJ) wordt ingevoerd in warmtenetten.

De leveringszekerheid van warmte door warmtenetten wordt gegarandeerd door middel van hulpketels op groen gas. Deze hulpketels worden ingezet om voldoende warmte op momenten van zeer hoge vraag of uitval van systemen (back up) te kunnen garanderen.

²² PBL en CE Delft (PBL: <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-toekomstbeeld-klimaatneutrale-warmtenetten-in-nederland-1926.pdf>, of CE Delft: <http://www.ce.nl/publicaties/download/2166>)

²³ PBL en CE Delft (PBL: <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-toekomstbeeld-klimaatneutrale-warmtenetten-in-nederland-1926.pdf>, of CE Delft: <http://www.ce.nl/publicaties/download/2166>)



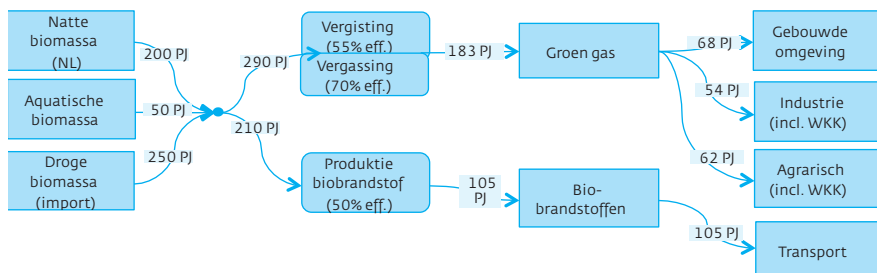
Biomassa

Biomassa is een schaars en kostbaar goed waarmee zorgvuldig mee moeten worden omgegaan. In 2050 is niet alleen het ethische aspect, de afweging voedselvoorziening – energievoorziening, goed geregeld, maar is ook de logistiek volwassen geworden.

Nederland is een dichtbevolkt land en voor biomassa al snel aangewezen op import. In 2050 is circa 850 PJ beschikbaar, waarvan 600 PJ import²⁴. Van deze biomassa wordt 350 PJ gebruikt voor het vliegverkeer/scheepvaart en non-energetisch. Door opschaling van de inmiddels uitontwikkeling vergassings- en vergistingstechnieken wordt de resterende 500 PJ biomassa in 2050 omgezet in groen gas en biobrandstoffen voor mobiliteit (biodiesel, bio-ethanol). Groen gas wordt preferent in de lastig te verduurzamen gebouwde omgeving ingezet en verder in de agrarische sector (WKKs) en kleinere industrie. Biobrandstoffen worden voor zwaar transport ingezet. Aangezien waterstof al grootschalig beschikbaar is wordt biomassa niet ingezet voor waterstofproductie.

CO₂-emissies bij omzetting van biomassa naar groen gas en afvang van CO₂ bij afvalverbranding worden in 2050 afgevangen en opgeslagen, wat leidt tot negatieve CO₂-emissies (6 Mton).

Biomassa 2050



Er is veel discussie over de beschikbare hoeveelheid biomassa op lange termijn, vooral op de wereldmarkt. In deze Verkenning 2.0 is de beschikbare hoeveelheid conservatiever ingeschat dan in de versie van mei 2016. In de praktijk kan de rol van biomassa nog wel eens groter worden dan nu verondersteld.

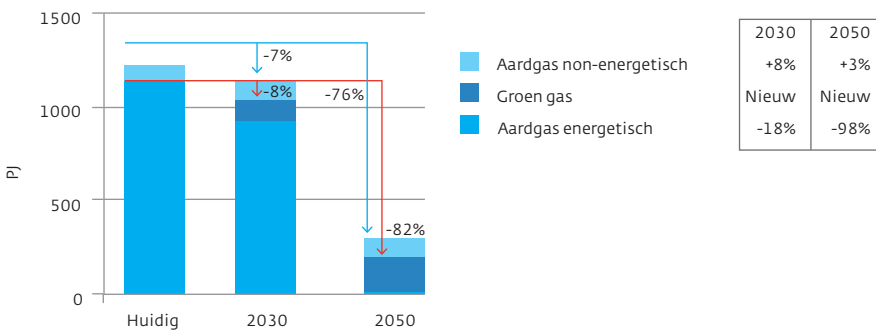
²⁴ In 2035 is een potentieel van 203 PJ aan biomassa beschikbaar, DNVGL studie <https://www.gasunie.nl/uploads/fckconnector/5105fcb4-372b-4da0-b4b4-56fd9f0e1854>

Gassen

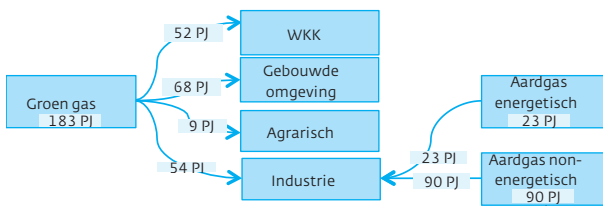
In 2050 worden meerdere gassen gebruikt: aardgas, groen gas en waterstof. Ten opzichte van vandaag wordt er in 2050 nauwelijks meer aardgas gebruikt. Thans is dit circa 1130 PJ, in 2050 is dat nog circa 20 PJ voor energetisch en 90 PJ non-energetisch (grondstof) gebruik. De Nederlandse vraag naar aardgas daalt met circa 90%.

Naast aardgas wordt er 183 PJ groen gas geproduceerd uit biomassa. In de paragraaf over biomassa staat dit nader omschreven.

Gasvraag



Gasgebruik2050



Waterstof is in 2050 een belangrijke energiedrager (444 PJ) en wordt breed ingezet in de energievoorziening. Het is net als andere hernieuwbare gassen CO_2 -neutraal, kan relatief goedkoop grootschalig worden opgeslagen (in bijvoorbeeld zoutcavernes), en kan eveneens goedkoop worden getransporteerd via bestaande (gas)infrastructuur.²⁵

²⁵ In principe kan het leidingnet van Gasunie met beperkte investeringen geschikt gemaakt worden voor waterstoftransport. Investerings betreffen hoofdzakelijk compressoren. Daarnaast moet uiteraard vooraf een check plaatsvinden voor elk om te schakelen leidingsegment. Als eindafnemers omschakelen naar het gebruik van waterstof zullen zij hun branders moeten aanpassen. Zie tevens 'Verkenning waterstofinfrastructuur in opdracht van Ministerie van economische zaken.' DNVGL, November 2017. <https://topsectorenergie.nl/nieuws/waterstoftransport-gasnet-dichterbij>



Op dit moment wordt in Nederland ongeveer 110 PJ waterstof gebruikt. Voor een deel komt dit vrij als bijproduct in de industrie, voor een ander deel wordt het gemaakt van aardgas waarbij de vrijkomende CO₂ wordt uitgestoten (grijze waterstof). Voorzien wordt dat deze CO₂-uitstoot in de toekomst wordt opgevangen en opgeslagen. Op deze manier kan waterstof worden gemaakt zonder CO₂-uitstoot, maar wel met fossiele energie als basis (blauwe waterstof). De conversie kan in Nederland gebeuren, met opslag van CO₂ in Nederlandse offshore gasvelden, maar ook upstream waardoor Nederland waterstof gaat importeren. In dat model is de producent, bijvoorbeeld Noorwegen, verantwoordelijk voor de afvang en opslag van de CO₂ in eigen land. In deze verkenning wordt uitgegaan van dit laatste model.

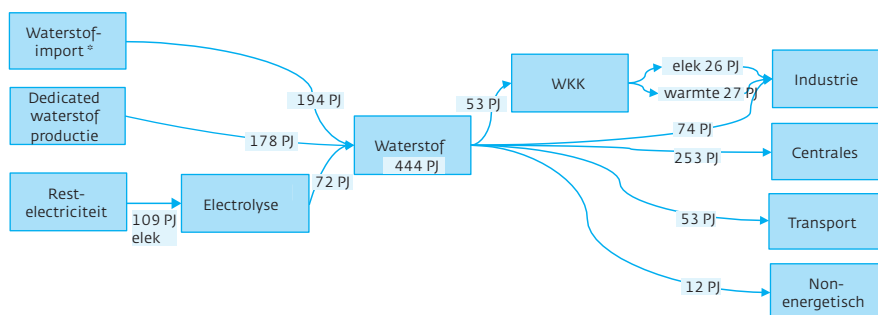
Een tweede manier om waterstof te maken is door gebruik te maken van tijdelijke overschotten op de elektriciteitsmarkt ('rest-energie'). Deze technologie, ook wel bekend als power-to-gas, kan nuttig zijn om rest-energie nuttig te gebruiken door omzetting in groene waterstof. Het volume van waterstof uit rest-energie zal om economische redenen beperkt blijven.

Na 2030 komt er in Nederland een nieuwe manier van groene waterstof productie bij: dedicated windparken op de Noordzee. De waterstofparken liggen vaak wat verder van de kust. Het waait daar meer constant en transport van waterstof naar de kust is circa 10 maal goedkoper dan transport van elektriciteit.

In 2050 zal naar verwachting 15 GW (elektrisch) aan dedicated capaciteit voor de productie van waterstof uit windenergie beschikbaar zijn, goed voor de productie van 178 PJ groene waterstof. Na 2050 zal de capaciteit in waterstofwindparken verder groeien.

Wellicht dat er op den duur ook groene waterstof wordt geïmporteerd uit Afrika of het Midden- Oosten, waar het wordt gemaakt met zonne-energie. De rol van aardgas met CCS als bron voor blauwe waterstof zal daardoor op de langere termijn gaan verminderen en uiteindelijk verdwijnen.

Waterstof 2050



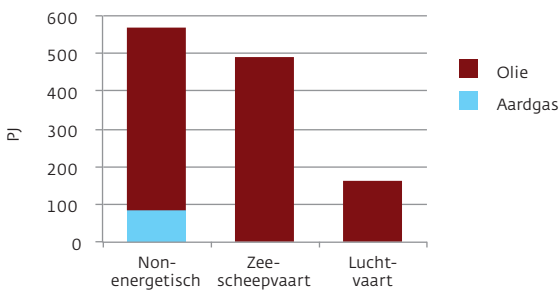
* Indien productie van waterstof uit aardgas in Nederland plaatsvindt, dan is hier 259 PJ aardgas voor nodig.

Indien Nederland in 2050 CO₂-neutrale blauwe waterstof niet importeert (zoals nu de aanname is), maar zelf produceert uit aardgas, dan is daar 259 PJ aardgas voor nodig. Indien deze hoeveelheid mee wordt genomen, dan is de daling in aardgasverbruik circa 70% in plaats van ruim 90%. Omzetting in eigen land betekent additionele afvang van CO₂- van maximaal 14 Mton. In dat geval zal het aardgasverbruik na 2050 verder dalen, omdat het groeiende aanbod van groene waterstof de blauwe waterstof zal verdringen.

Non-energetisch brandstofverbruik, vliegverkeer en zeescheepvaart

Deze drie sectoren vallen buiten de nationale CO₂-targets en worden in veel scenario's en beleidsdocumenten daarom niet meegenomen. Er gaat echter veel (fossiele) energie in om en bovendien veroorzaken vliegverkeer en internationale scheepvaart naast CO₂ ook veel fijnstof, stikstofoxiden en zwaveloxiden.

Energieverbruik bijzondere sectoren (2015, CBS)



De CO₂-emissies van deze sectoren tellen niet mee in de nationale targets

Een CO₂-vrije samenleving vereist dat ook in deze sectoren stappen worden gezet om de CO₂-uitstoot te verminderen. Een eerste stap voor internationale scheepvaart en vliegverkeer is het gebruik van LNG. Daardoor wordt in elk geval de emissie van fijnstof, stikstofoxiden en zwaveloxiden fors verminderd. De Verkenning gaat ervan uit dat op middellange termijn biomassa een deel van deze vraag zal invullen en voor 2050 hebben we een aanzienlijk deel van de voor Nederland beschikbare biomassa aan deze categorieën toebedeeld. Op lange termijn, in deze Verkenning denken we aan de periode na 2050, zal waterstof haar intrede in deze sectoren doen. Bij gebruik van waterstof als (non-energetische) grondstof is veelal ook koolstof nodig. Daarvoor kan dan biomassa dienen, of eventueel CO₂.

Het energieverbruik verbruikt door deze sectoren, wordt op deze paragraaf na, in de analyses verder buiten beschouwing gelaten.



Energie-infrastructuur

Netwerken

2050 kent een uitgebreid en gevarieerd energielandschap. De systemen zijn met elkaar geïntegreerd, strekken zich uit tot ver op de Noordzee en zijn nauw verbonden met de landen om ons heen. Forse investeringen in het elektriciteitsnetwerk op zee en op land zijn noodzakelijk. Warmtenetten dienen uitgebreid en aan elkaar gekoppeld te worden. Hergebruik van aardgasleidingen is het uitgangspunt bij de ontwikkelingen van een waterstof en CO₂-infrastructuur, waardoor deze kosten beperkt zijn.

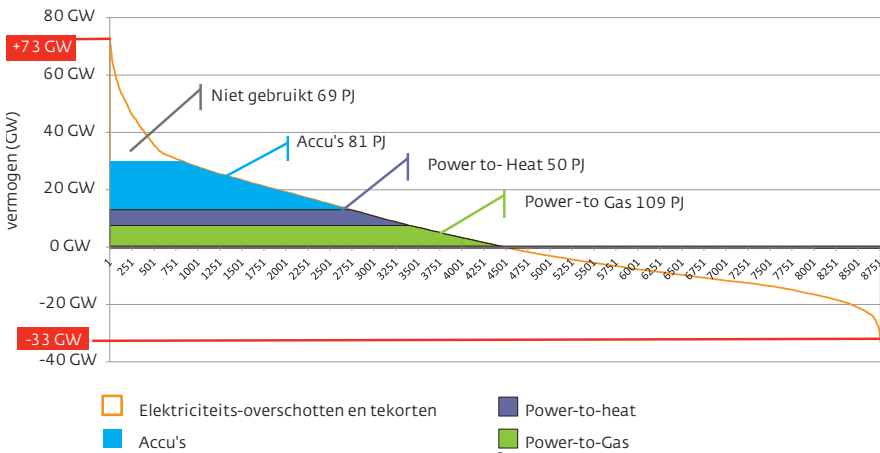
Door de vervlechting van gassen, warmte en elektriciteit heeft Nederland ook in 2050 een zeer solide en betrouwbare energie-infrastructuur. Veranderingen in de productie van energie of technische storingen worden binnen het systeem (elektriciteit, gas, warmte) opgevangen. Energie-infrastructuur maakt het mogelijk dat energievormen elkaar versterken en aanvullen.

Conversietechnieken

Er is in 2050 zo veel opgesteld vermogen dat aan hernieuwbare elektriciteitsopwekking niet alle elektriciteit direct kan worden gebruikt. Gebruik van de allerhoogste pieken aan elektriciteitsproductie is nog steeds niet rendabel, deze pieken worden daarom niet binnen Nederland gebruikt. Als uitwisseling met buurlanden niet mogelijk is, vindt productie niet plaats en worden windmolens deels stilgezet.

De voor conversie gebruikte rest-energie wordt gebruikt voor opslag in thuisbatterijen en de in 2050 volwassen en economisch rendabele technieken power-to-heat (6 GW bij industrie) en power-to-gas (7,5 GW voor waterstofproductie). Daarbij is de aanname dat power-to-gas installaties economisch rendabel kunnen worden ingezet bij een bedrijfstijd van circa 3500 uur. Als grove schatting kan een bedrijfstijd voor power-to-heat van circa 2500 uur worden verondersteld.

Gebruik van elektriciteits- overschotten en tekorten

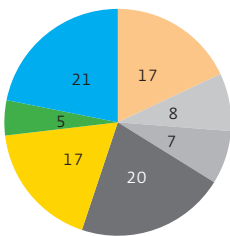


Carbon Capture and Storage

Vanwege het niet-duurzame karakter en het efficiency-verlies als gevolg van de inzet van CCS²⁶ wordt CCS beschouwd als een "least preferred" optie. Het is echter een onontkoombare optie om de duurzaamheid-doelstellingen te behalen. Vanuit kosten oogpunt is CCS alleen aantrekkelijk indien een voldoende hoge bedrijfstijd kan worden gerealiseerd, en er in het productieproces sprake is van gecentraliseerde punten van verbranding en afvang.

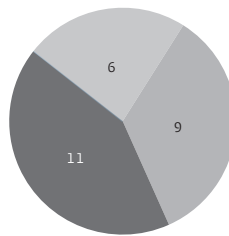
Post-combustion CO₂-afvang wordt in 2050 vooral toegepast bij raffinaderijen (olie) en staalproductie (kolen). Omdat deze industrieën zich vooral in de kustregio bevinden is voor transport van de afgevangen CO₂ geen uitgebreid netwerk op land nodig. Daarnaast wordt de CO₂ afgevangen bij de productie van groen gas en biobrandstoffen uit biomassa. In totaal wordt in 2050 22 Mton aan CO₂ afgevangen.

2030

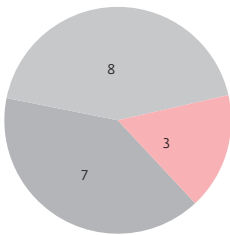


CO₂-uitstoot vóór toepassing CCS

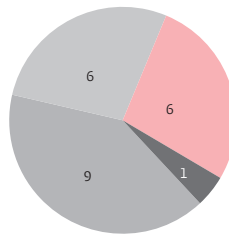
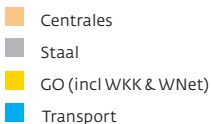
2050



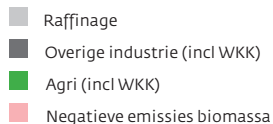
CO₂-uitstoot vóór toepassing CCS



CCS



CCS



26 Bron: IEA ETSAP October 2010 CO₂ Capture & Storage: efficiency 85%, efficiency loss: 10% (kolencentrale van 45% naar 35%). Overigens is pre-combustion CCS een veel efficiëntere methode voor het afvangen van CO₂, zie de Berenschot studie: <https://www.berenschot.nl/publish/pages/5757/berenschot-rapportage-co2-vrije-waterstofproductie-uit-gas.pdf>



Voor de industriële sector betekent bovenstaande dat alleen industrieën die niet zijn overgeschakeld op waterstof (vooral raffinage en staal) zullen moeten investeren in de afvang van CO₂ die vrijkomt in het productieproces. Het betreft hier de afvang van in totaal 16 Mton CO₂.

Door afvang van CO₂ bij de productie van groen gas en biobrandstoffen wordt 6 Mton aan negatieve emissies gerealiseerd. Deze negatieve emissies kunnen de beperkte emissies van kleinere industrieën compenseren (waarvoor overschakeling op waterstof niet haalbaar is en CCS te duur).

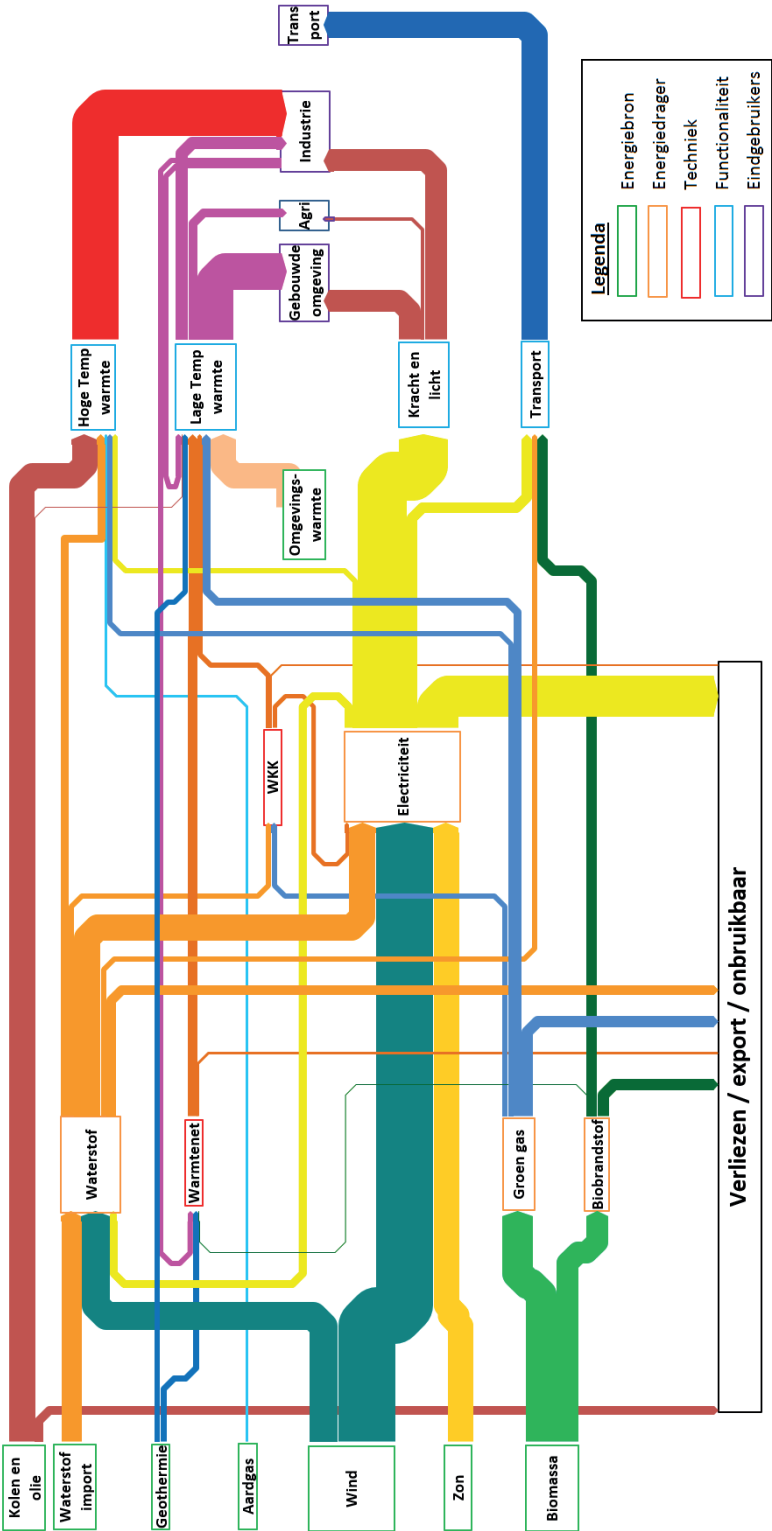
Lege gasvelden (op zee) kunnen in 2050 worden benut voor de opslag van CO₂.²⁷ Hiertoe moet een CO₂ transport infrastructuur worden ingericht. Een alternatief is om CO₂ per schip of leiding naar Noorse aquifers op zee te transporteren en de CO₂ daar op te slaan.

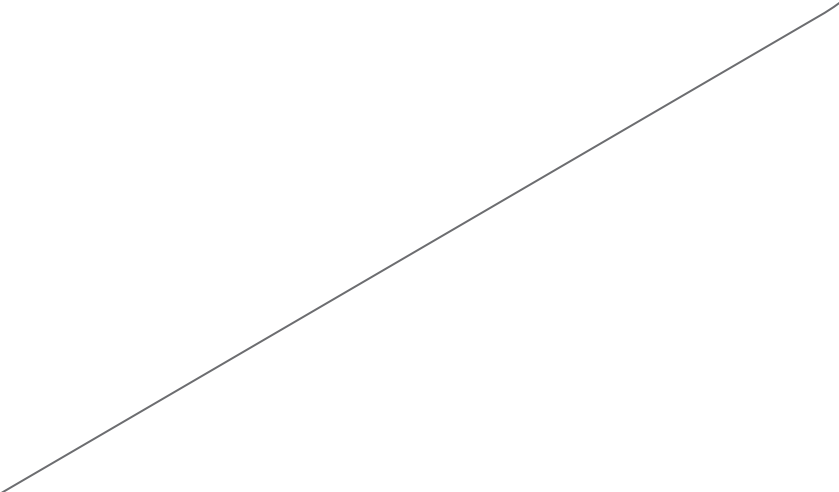
Zoals omschreven in de paragraaf over gassen, moet gerekend worden met een extra afvang van CO₂ van maximaal 14 Mton (pre-combustion) indien de productie van blauwe waterstof uit aardgas in Nederland zou plaatsvinden.

Naast Carbon Capture Transport en Storage zal ook de verdere toepassing van Carbon Capture Utilization worden onderzocht, bijvoorbeeld in kassen (relatief kleine hoeveelheid) of voor non-energetisch gebruik. In combinatie met duurzame energie en het sluiten van de CO₂-kringloop zou daarmee een duurzame oplossing kunnen ontstaan.

²⁷ Theoretisch bedraagt de opslagcapaciteit in Nederland 2340 Mton CO₂ (exclusief Groningen 7000 Mton) waarvan ruim 50% op zee.

Visualisatie visie 2050





Nederland in 2030

Doelstelling emissiereductie

Voor 2030 is voor de energiesector een doelstelling gehanteerd van 54% CO₂-equivalent emissiereductie ten opzichte van 1990²⁸. Dit betekent dat er ten opzichte van de huidige situatie forse stappen moeten worden gezet in een relatief korte periode. Dit hoofdstuk geeft de voorziene situatie in 2030 beknopt weer. De mogelijke weg er naartoe wordt aan de hand van diverse lopende projecten geïllustreerd.

Algemeen beeld

Om in 2030 aan de target van 54% CO₂-reductie in de energiesector te kunnen voldoen moet de CO₂-uitstoot worden teruggebracht naar 75 Mton. Door energiebesparing en grootschalig gebruik van biomassa, waterstof en duurzame elektriciteit kan de uitstoot van CO₂ teruggebracht worden naar 91 Mton. Deze terugdringing vindt vooral plaats in de industrie (35 Mton²⁹), in de transportsector (21 Mton³⁰) en in de gebouwde omgeving (17 Mton³¹). De additioneel benodigde 16 Mton aan CO₂-reductie kan worden gerealiseerd³² door toepassing van CO₂-afvang bij raffinaderijen (olie), bij staalproductie (kolen) en bij de productie van groen gas en biobrandstoffen.

De finale energievraag ligt in 2030 11% lager dan de huidige vraag. Daar zorgen met name de ontwikkelingen in de gebouwde omgeving voor. De energietransitie is al duidelijk zichtbaar in de samenstelling van de energiemix: olie en kolen, maar ook aardgas zijn op hun retour en al deels vervangen door groen gas en biobrandstoffen uit biomassa, geothermie en waterstof. Fossiele brandstoffen vullen nog circa 60%³³ van de energievraag in. Circa 70% van de elektriciteit kan duurzaam worden opgewekt. Voor verschillende industriële processen wordt nog steeds overwegend fossiele energie gebruikt. Toch is er al een duidelijke verschuiving zichtbaar: olie en gas zijn al voor een deel vervangen door waterstof, goed voor invulling van 10% van de totale energievraag.

28 Deze 54% CO₂-reductie in de energiesector leidt tot een 55% reductie van de CO₂-equivalent emissies in Nederland.

29 Inclusief WKK

30 Inclusief WKK

31 Inclusief WKK

32 Omdat in de groen gas productieketen de CO₂ in de biologische kringloop eerder al uit de atmosfeer is gehaald is hier zelfs sprake van negatieve CO₂-emissies. Dit is een voordeel van het gebruik van vergassing en vergisting om biomassa om te zetten in groen gas.

33 Exclusief non-energetisch gebruik



Energievraag

Gebouwde omgeving

Een toename in gebruik van nieuwe, doorontwikkelde warmtetechnieken en verdere isolatie zorgt er voor dat de energievraag in de gebouwde omgeving, exclusief omgevingswarmte, in 2030 met 23% is gedaald. Het aandeel stand-alone HR-ketels is bijna gehalveerd. Woningen hebben inmiddels vaak een hybride warmtepomp, een aansluiting op een warmtenet of een all-elektrische warmtevoorziening. Nieuwbouwwoningen hebben geen gasaansluiting meer.

Van de benodigde hoeveelheid gas in de gebouwde omgeving (circa 295 PJ), inclusief gas voor warmtenetten en wijk-WKKs kan in 2030 circa 25% (68 PJ) groen zijn. Aanpassingen in de salderingsregeling hebben tot gevolg gehad dat er meer thuisbatterijen in gebruik zijn dan nu³⁴. Er wordt circa 13 PJ in thuisbatterijen opgeslagen.

Er is ruim voor 2030 een breed palet aan maatregelen en initiatieven nodig om een afname van het gebruik van aardgas in de gebouwde omgeving te stimuleren. De belangrijkste prikkel zal een kostendaling zijn van energiebesparende maatregelen zoals woningisolatie en warmtepompen. Initiatieven zoals de greendeals aardgasvrije wijken bieden nieuwe inzichten in oplossingsrichtingen. Langjarige regionale planmatige transitiepaden geven richting aan een gestructureerde integrale aanpak.

De burger wil laagdrempelig advies welke maatregelen door hem kunnen worden getroffen als bijdrage aan de energietransitie. Gemeentelijke energieloketten en (commerciële) adviesbureaus kunnen in aanloop naar 2030 deze rol op pakken. De installatiebranche dient voldoende kennis en mankracht te hebben om grote aantallen verwarmingsinstallaties aan te passen en/of te vervangen. Het bewegen van gebouw eigenaren om over te gaan tot aanzienlijk investeringen, blijft daarbij een van de grootste uitdagingen.

Het aantal huizen en gebouwen dat van warmte wordt voorzien door middel van warmtenetten ligt in 2030 rond de 16%. Er is nog een belangrijke rol weggelegd voor warmtenetten gevoed vanuit een WKK (bestaande situatie, geen bouw van nieuwe). Deze WKK's zijn goed voor ongeveer de helft van de warmte die via warmtenetten aan de gebouwde omgeving wordt geleverd. De al aanwezige infrastructuur 'achter de WKKs' kan zonder noemenswaardige aanpassingen hergebruikt worden voor warmtelevering uit andere bronnen dan aardgas.

Onder andere het project Warmterotonde Zuid-Holland³⁵ moet resulteren in het groeiend aantal gebouwen dat in deze regio gebruik maakt van warmte als energiebron. Uitbreiding van dit warmtenet met nieuwe CO₂-vrije bronnen en nieuwe aansluitingen is nodig. Om storingen en andere momenten van onvoldoende

³⁴ Bron: zie onder andere <https://www.energieleveranciers.nl/nieuws/salderingsregeling-zonnepanelen-tot-2023>

³⁵ Zie onder andere <http://warmopweg.nl/warmterotonde/>

aanbod van warmte op te kunnen vangen, wordt ook gas ingezet. De benodigde hoeveelheid gas voor de piekvraag van warmtenetten is ordegrrootte 20% van de totale volumevraag van het warmtenet.³⁶

Industrie

De energievraag van de industrie is in 2030 vergelijkbaar met de huidige energievraag. Een uitzondering hierop vormt de raffinagesector. Deze sector kent een lichte daling in de energievraag, vanwege het langzaam wegvallen van de vraag naar benzine en diesel.

De samenstelling van de energiemix voor de industrie is in 2030 al aan het veranderen. Het elektriciteitsverbruik stijgt relatief het meest, terwijl waterstof zijn intrede doet. Het gebruik van aardgas neemt af.

In gebieden waar een waterstofinfrastructuur voorhanden is of relatief eenvoudig ontwikkeld kan worden door het hergebruik van aardgasleidingen, zoals in Zeeland al rond 2020 wordt voorzien,³⁷ stappen ook andere industrieën over op waterstof.

Het grootschaliger gebruik van waterstof is een belangrijke uitdaging voor de industrie. In 2030 wordt 47 PJ waterstof in de industrie gebruikt en is er in met name de geïndustrialiseerde regio's van Nederland een waterstofinfrastructuur gerealiseerd. Het Noordelijk Waterstofplan van professor Ad van Wijk is een belangrijke aanjager³⁸ om meer waterstof te gaan gebruiken in de Noord-Nederlandse industriële sector.

In de regio Europoort werken netbeheerders, lokale industrieën en het Havenbedrijf samen om uitvoering te geven aan de transitie naar een CO₂-neutrale haven, waarbij waterstof een belangrijke rol speelt. De kennis uit de initiële proeftuin is een driver voor andere industrieën om hun blik te richten op deze energiedrager.³⁹

36 20% aanname o.b.v. waargenomen realisaties warmtenet door GTS.

37 Waterstof gaat van Dow via een oude gasleiding van Gasunie getransporteerd worden naar Yara en ICL-IP. Door het beperken van de transportbewegingen zal de CO₂-emissie afnemen, en bovendien is het transport door leidingen veiliger. Bron: <http://www.greendeals.nl/waterstof-gaat-veilig-door-de-buis/>

38 Bron: zie onder andere <http://verslag.noordelijkeinnovationboard.nl/> en <http://profadvanwijk.com/tag/noordelijke-innovation-board>

39 Bron: 'Europoort West, Stappen voor een gecontroleerde ontwikkeling van aanbod, transport en afzetmarkten met de nieuwe energiedrager.' Havenbedrijf Rotterdam, Deltalinqs, Stedin, GTS, TenneT. November 2017 en zie ook Wuppertal Institute, 2016. Decarbonisation pathways for the industrial cluster of the Port of Rotterdam, Wuppertal Institute. <https://www.portofrotterdam.com/nl/file/18544/download?token=4Ri58reM>



Agrarische sector

In de periode tot 2030 liggen er in de tuinbouw veel kansen om verder te innoveren. Een belangrijke rol is bijvoorbeeld weggelegd voor het 'slimme kassen' concept ⁴⁰, waardoor de efficiency toeneemt.

Een andere belangrijke verandering in de tuinbouw tot 2030 betreft de vervanging van must-run WKK systemen door geothermie. Vanwege de lage elektriciteitsprijzen zijn de must-run WKK's voor de sector niet meer economisch. De opgestelde capaciteit aan WKK in de tuinbouw halveert hierdoor. Alleen de non-must run systemen blijven in bedrijf. Geothermie en WKKs voorzien elk in ongeveer de helft in de totale warmtevraag van de agrarische sector. Als gevolg van het wegvallen van de lokale elektriciteitsproductie neemt de vraag van deze sector naar elektriciteit 'van het net' toe.

Transport

In 2030 is er sprake van een overgangssituatie, waarbij voor personenvervoer een mix van elektrische, benzine, diesel en gasauto's wordt gebruikt. Het merendeel van de auto's rijdt nog op fossiele brandstoffen. Auto's op (groen)gas, CNG en LPG vormen een tijdelijk nichemarkt, waarmee ten opzichte van benzine en diesel al de nodige CO₂ uitstoot wordt bespaard. Elektrische auto's hebben sterk aan populariteit gewonnen en zijn inmiddels een bekend verschijnsel op de weg geworden. Een kwart van de personen auto's en de helft van de bestelbusjes is elektrisch.

Een nog vrij nieuwe techniek op de weg is het rijden op waterstof. Met name in het zwaardere transport wordt elektrisch rijden op waterstof toegepast. Circa 20% van de bestelbussen heeft een brandstofcel die waterstof omzet in elektriciteit waarmee de motor wordt aangedreven. Deze bestelbussen hebben een grotere actieradius dan elektrische voertuigen die hun elektriciteit opslaan in batterijen. De groei in aantal waterstof-tankstations geeft een belangrijke stimulans voor een toenemend aantal voertuigen op waterstof.⁴¹

Zwaardere vrachtwagens hebben in 2030 de omslag gemaakt van diesel naar meer duurzame energiebronnen, zoals (bio-)LNG⁴² en biodiesel. Een enkele waterstoftruck zal ook al zijn weg gevonden hebben.

⁴⁰ Voor allerlei innovaties in de tuinbouw zie bijvoorbeeld: <https://www.agriholland.nl/dossiers/kassenbouw/dosnieuws.html> en <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/landbouw/7393/markt-voor-slimme-kassen-is-in-2020-12-mrd-waard>

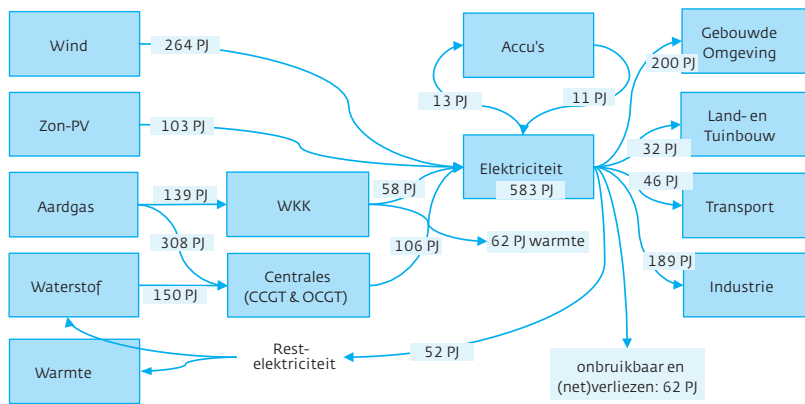
⁴¹ Zie bijvoorbeeld <http://www.waterstofautos.nl/> en https://www.holthausen.nl/sites/default/files/downloads/our_number_1_element.pdf

⁴² Zie bijvoorbeeld: <https://www.vopak.com/newsroom/news/gasunie-and-vopak-sign-agreement-shell-launching-customer-lng-break-bulk-terminal>

Elektriciteitsopwekking

Het aandeel duurzame elektriciteit is fors toegenomen (circa 70% van het totaal). Toch is er in 2030 nog een aanzienlijke hoeveelheid elektriciteit uit conventionele centrales nodig, want er zijn flinke perioden waarin onvoldoende duurzame elektriciteit beschikbaar is. Kolen- en nucleaire centrales zijn al voor 2030 uitgefaseerd. Centrales draaien grotendeels op aardgas (65%). Een derde van de centrales is in navolging van de Magnum Centrale overgeschakeld op waterstof (35%).⁴³ Vanuit dit project zijn nieuwe toepassingsmogelijkheden en kansen ontstaan voor het gebruik van waterstof in centrales.

Elektriciteit 2030



In 2030 is er 52 PJ rest-elektriciteit beschikbaar om waterstof via power-to-gas of warmte via power-to-Heat van te maken. Power-to-gas is een bestaande techniek die in 2030 verder ontwikkeld is en vervolgens fors wordt opgeschaald. Het project HyStock gaf in 2017 een belangrijke eerste aanzet in Nederland door een installatie van 1 MW in gebruik te nemen.⁴⁴

43 <https://www.nuon.com/nieuws/nieuws/2017/nuon-statoil-en-gasunie-werken-samen-aan-de-inzet-van-waterstof-in-een-co2-vrije-energiecentrale/>

44 Bron: <https://www.gasunie.nl/nieuws/gasunie-zet-duurzame-energie-om-in-waterstof-met-eerste-1-mw-powe>



Energie-aanbod

Zon en wind voor elektriciteitsproductie

Het opgesteld vermogen zon en windenergie moet tussen nu en 2030 fors toenemen. Alle aangewezen gebieden op land hebben in 2030, met 8 GW, hun maximale capaciteit al bijna bereikt.

Wind-op-zee kan volop ontwikkeld worden als kostendalingen door concurrentie en innovatiekracht doorzetten, met 19 GW wind-op-zee in 2030 als resultaat. De bedrijfstijd zal iets toenemen, omdat windparken verder op zee worden gebouwd en daar meer wind vangen.

Naast de al geplande windmolenparken op zee (Borssele, Hollandse Kust Zuid en Noord), moeten er meer grote parken ontwikkeld worden om de targets te halen. Dit zal waarschijnlijk gebeuren op locaties verder uit de kust, zoals IJmuiden Ver, Dogger Bank en ten noorden van de Eemshaven (Duitse bocht), welke nu al aangewezen worden als potentiële locaties.⁴⁵

Omgevingswarmte

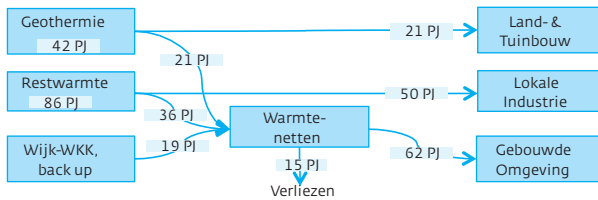
De belangrijke rol van omgevingswarmte wordt in 2030 goed zichtbaar. 30% van de gebouwen gebruikt dan een (al dan niet hybride) warmtepomp. Deze bestaande technieken kan verder uitontwikkeld worden. (Hybride) warmtepompen onttrekken in 2030 circa 81 PJ omgevingswarmte aan de binnen- en buitenlucht en bodem voor de verwarming van gebouwen. Ook in de agrarische sector en in de industrie worden op beperkte schaal warmtepompen toegepast, waarbij in totaal bijna 30 PJ aan omgevingswarmte wordt gebruikt.

⁴⁵ Bron: zie bijvoorbeeld gepland op https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_windmolenparken_in_de_Noordzee

Geothermie en restwarmte

Industrieën en centrales leveren in 2030 met name restwarmte voor lokaal industrieel gebruik (50 PJ). Bijvoorbeeld de staalindustrie zal al voor 2030 overschakelen op de efficiëntere HIsarna-techniek, waarbij restwarmte vrij komt.⁴⁶ In warmtenetten wordt 36 PJ restwarmte gebruikt.

Geothermie en restwarmte 2030



Geothermie vormt in 2030 met 42 PJ een relevante energiebron. Ongeveer de helft van de beschikbare geothermie wordt ingezet in warmtenetten voor de gebouwde omgeving, de andere helft wordt rechtstreeks in de agrarische sector ingezet. De Verkenning voorziet dat de ontwikkeling van geothermie nog enige tijd nodig zal hebben, alvorens het grootschalig buiten de tuinbouwsector zal worden ingezet.

Biomassa

In Nederland is in 2030 circa 250 PJ biomassa, meest binnenlandse (natte) biomassa, beschikbaar voor binnenlands energetisch gebruik. Door inzet van doorontwikkelde vergassings- en vergistingstechnieken kan deze 250 PJ biomassa worden omgezet in 31 PJ biobrandstoffen voor mobiliteit (biodiesel, bio-ethanol) en 114 PJ groen gas. De CO₂-emissies bij omzetting van biomassa worden in 2030 afgevangen en opgeslagen, wat leidt tot negatieve CO₂-emissies (3 Mton).

Nieuwe technieken betreffen bijvoorbeeld SCW (vergassing), Ambigo (vergisting), Torrgas (vergassing via torrefactie)⁴⁷ en Bareau (vergisting)⁴⁸. Deze projecten bevinden zich momenteel in een onderzoeks- dan wel pilotfase en vragen nog forse inspanningen en investeringen om in 2030 substantiële hoeveelheden groen gas en biobrandstof beschikbaar maken.

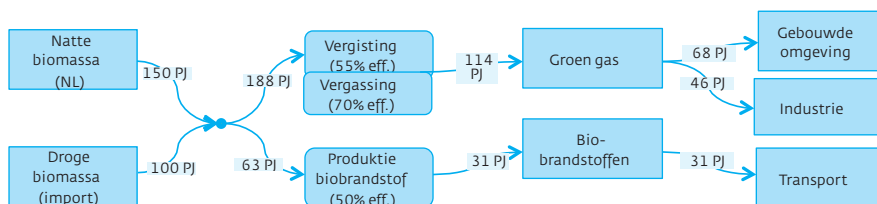
⁴⁶ Bron: <https://www.tatasteel.nl/nl/innovatie/HIsarna/De-mensen-achter-HIsarna> en <https://www.tatasteeleurope.com/en/innovation/hisarna/timeline>

⁴⁷ Bron zie: <https://www.gasunienewenergy.nl/>

⁴⁸ Bron: <http://www.bareau.nl/>



Biomassa 2030



Gassen

Het primair gebruik van aardgas is in 2030 met 16% afgenomen naar 1018 PJ (waarvan 924 PJ energetisch). Het finaal gebruik van aardgas neemt weliswaar duidelijk af, maar wordt grotendeels gecompenseerd door vervanging van kolencentrales door gascentrales.

Groen gas levert een belangrijke bijdrage aan het verduurzamen van de gebouwde omgeving. In de paragraaf over biomassa staat de productie ervan nader omschreven.

Het gebruik van waterstof als energiedrager is in opkomst rond 2030. Door het sterk toegenomen opgesteld vermogen zon en wind zijn er soms overschotten duurzaam opgewekte elektriciteit die omgezet kunnen worden in waterstof. Het Noorse bedrijf Statoil begon in 2017 om de mogelijkheden te verkennen om waterstof geproduceerd uit aardgas te exporteren.⁴⁹ Het betreft hier zogenaamde blauwe waterstof.⁵⁰ Gezien deze ontwikkeling⁵¹ is het de verwachting dat Nederland in 2030 in het buitenland geproduceerd waterstof kan importeren.

Een andere productiemethode voor waterstof zijn windmolens op zee die dedicated waterstof produceren. De eerste aanzet om te komen tot een 'North Sea Wind Power Hub' is in 2017 gegeven door TenneT, Energienet.dk en Gasunie.⁵² Centraal staat hierbij het uitgangspunt dat na 2030 het aanbod van offshore windenergie dermate groot wordt, dat afvoer van deze energie niet alleen via stroomverbindingen maar ook door middel van waterstoftransportleidingen gaat plaatsvinden. Daarbij is hergebruik van bestaande offshore aardgasleidingen mogelijk.

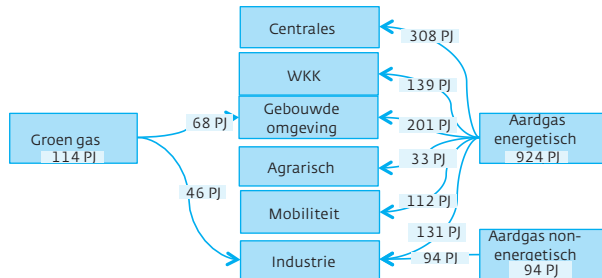
49 Bron Statoil: <https://www.statoil.com/en/news/evaluating-conversion-natural-gas-hydrogen.html>

50 De International Hydrogen Council noemt dit schone waterstof.

51 Bron: <https://www.statoil.com/en/news/evaluating-conversion-natural-gas-hydrogen.html>

52 <https://www.tennet.eu/nl/nieuws/nieuws/gasunie-treedt-toe-tot-north-sea-wind-power-hub/>

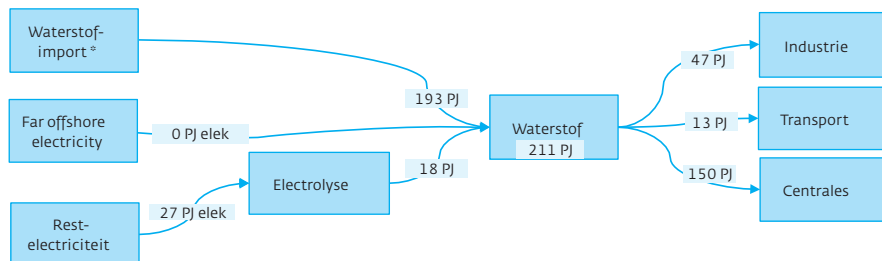
Gasgebruik2030



Verschillende factoren bepalen uiteindelijk de hoeveel waterstof die op zee wordt geproduceerd, bijvoorbeeld: kostenontwikkelingen van kabels en electrolysers, de vraag naar waterstof en elektriciteit en de flexibiliteit van afnemers om tussen verschillende energievormen te kunnen schakelen.

Op land worden aardgasleidingen ook hergebruikt voor het transport van waterstof. Het hergebruik van een voormalige aardgastransportleiding voor het transport van waterstof van het bedrijf Dow naar het bedrijf Yara in Zeeuws Vlaanderen legt de basis voor het omzetten van aardgasleidingen naar waterstof.⁵³ Projecten zoals HyStock effenen de weg om waterstof op te gaan slaan in cavernes.⁵⁴

Waterstof 2030



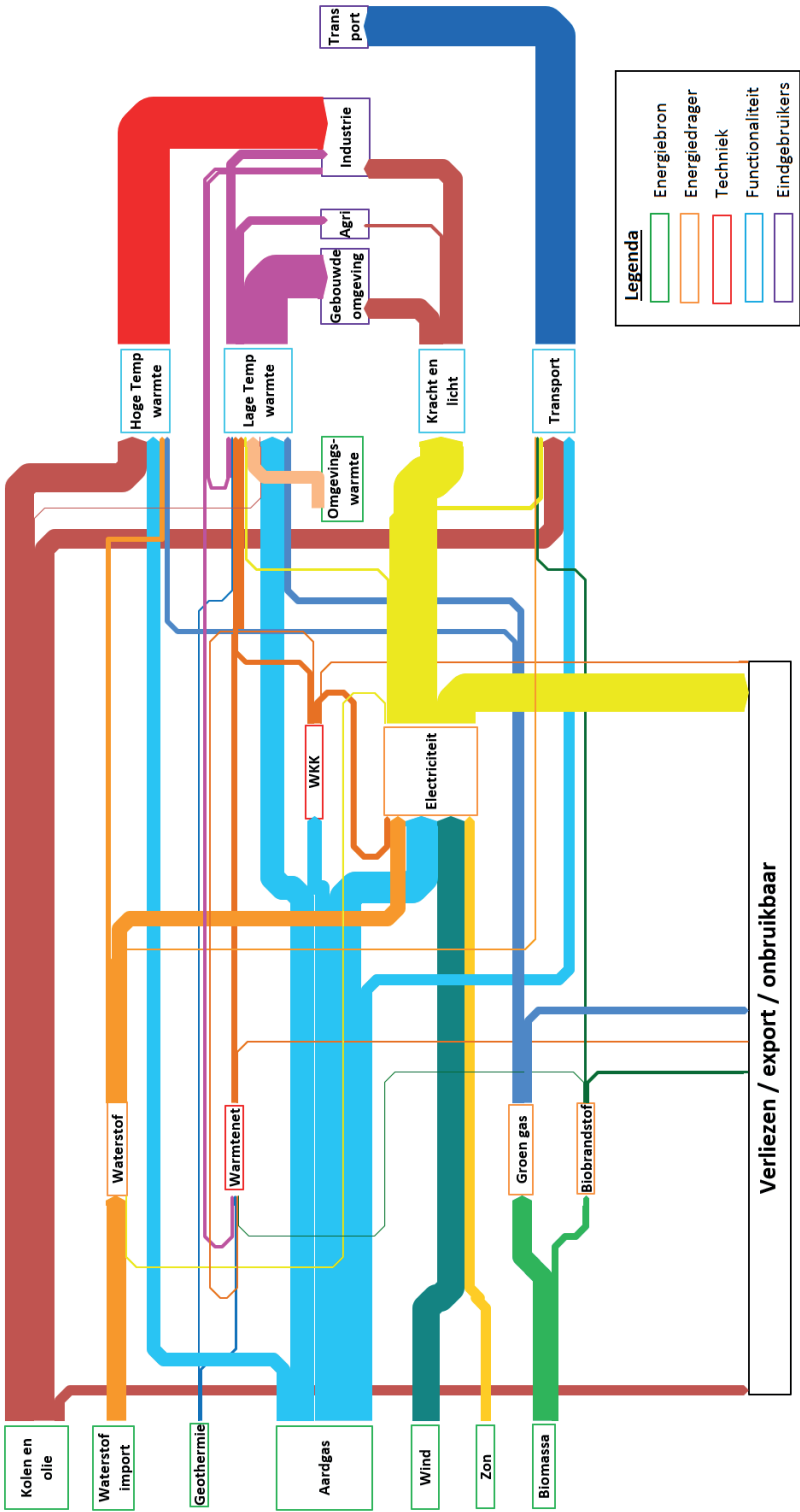
* Indien productie van waterstof uit aardgas in Nederland plaatsvindt, dan is hiervoor 257 PJ aardgas nodig.

⁵³ Bron: <http://www.greendeals.nl/waterstof-gaat-veilig-door-de-buis/> en <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2016/03/14/chemiebedrijven-wisselen-waterstof-uit-via-pijpleiding>

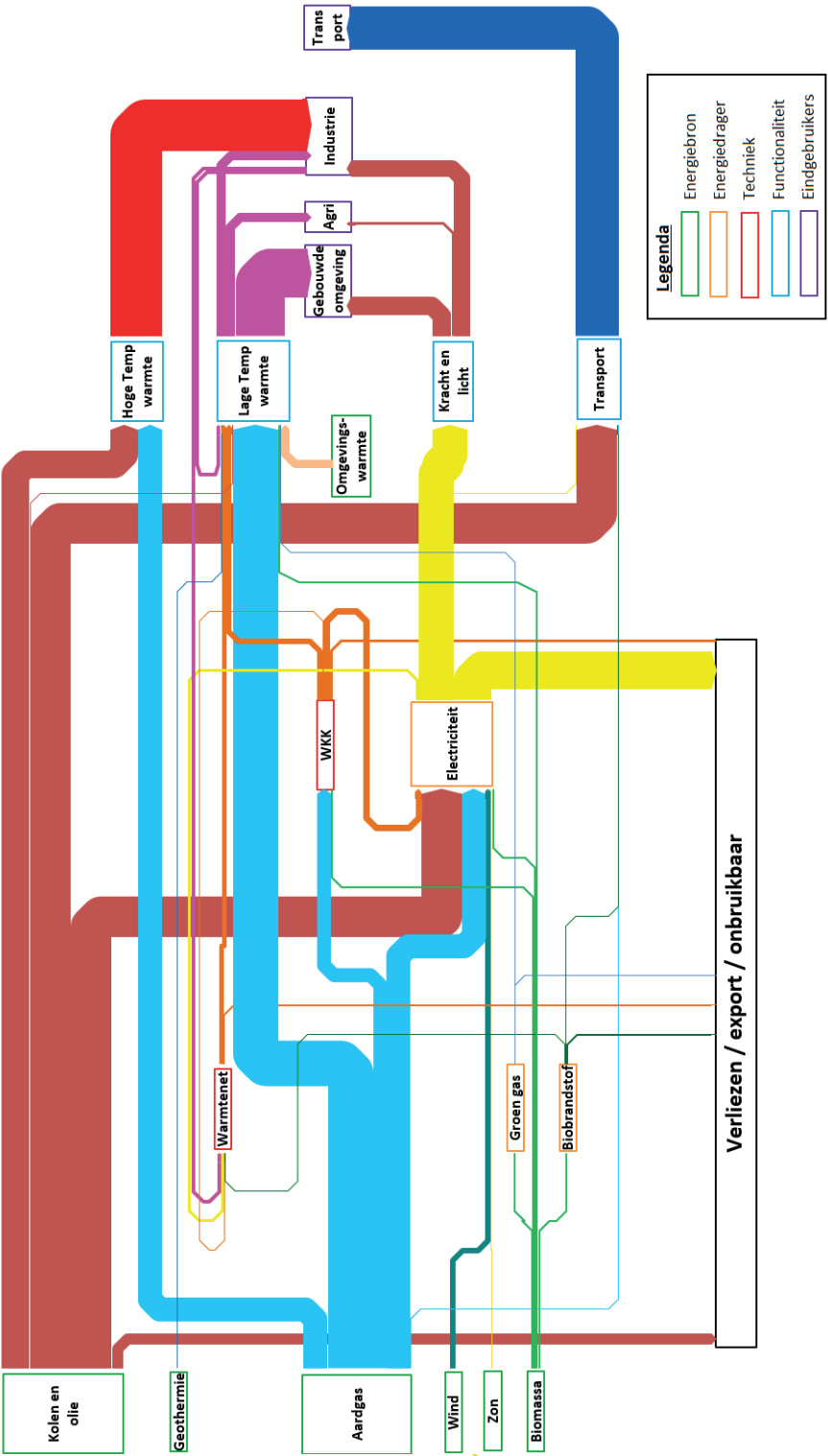
⁵⁴ Bron: <https://www.gasunie.nl/nieuws/gasunie-zet-duurzame-energie-om-in-waterstof-met-eerste-i-mw-powe>

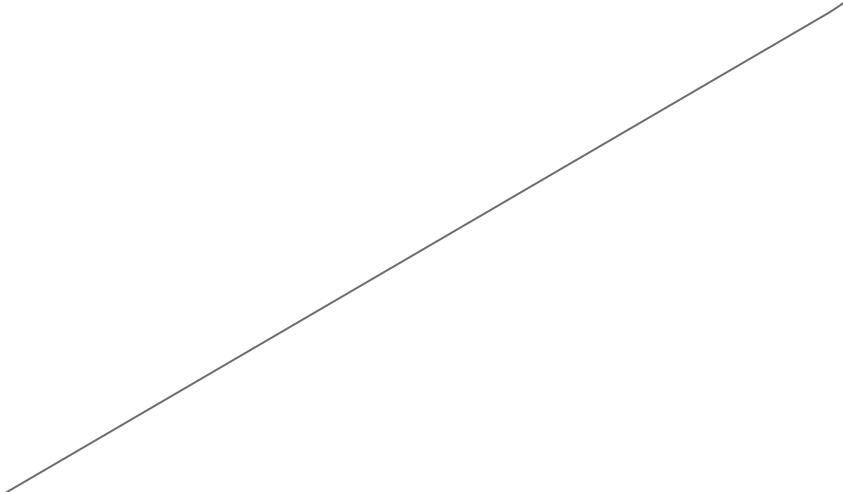


Visualisatie visie 2030



Visualisatie huidige situatie





Kosten

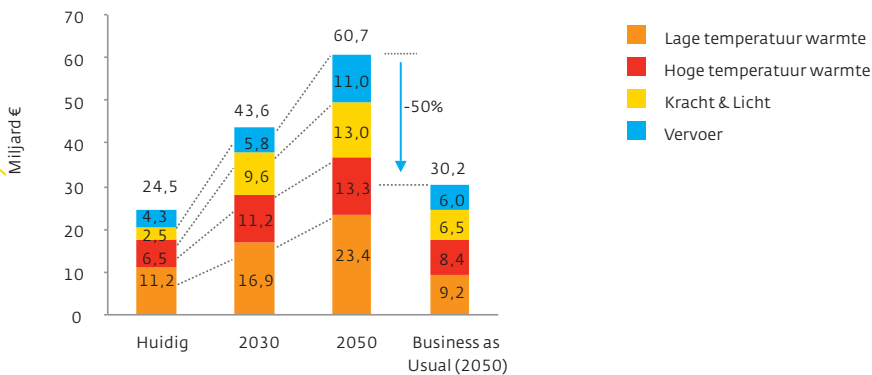
De kosten die behoren bij de hiervoor geschetste visie voor 2030 en 2050 zijn op verzoek van Gasunie door Berenschot berekend. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van het Energietransitie-model van Quintel, aangevuld met nacalculaties buiten het model om. De uiteindelijke totaalkosten voor de Nederlandse energievoorziening zijn uitgerekend op jaarbasis. Belastingen, heffingen op CO₂-emissies en subsidies maken geen onderdeel uit van de berekende jaarkosten. Voor de brandstofkosten is het WLO-hoog scenario gebruikt.⁵⁵ De brandstofkosten voor non-energetisch gebruik zijn niet meegenomen in de kostenberekening. De aannames zijn zoveel mogelijk onderbouwd op basis van recente literatuur maar is altijd sprake van onzekerheid van de toekomstige kosten en brandstofprijzen. De resultaten van de kostenberekening moeten daarom als een inschatting worden beschouwd.

De kosten zijn gecategoriseerd naar de vier functionaliteiten zoals opgesteld door de Rijksoverheid: lage temperatuurwarmte, hoge temperatuurwarmte, vervoer, en kracht en licht. Daarbij zijn kosten van elektriciteit (bijvoorbeeld voor plaatsing van windmolens, zon-PV en waterstofcentrales), gealloceerd naar de verschillende functionaliteiten op basis van elektriciteitsverbruik. Deze kosten zijn dus niet allemaal toegewezen aan de categorie Kracht & Licht (maar alleen het aandeel van de kosten, dat wordt gebruikt voor energie voor verlichting en apparaten).

De kosten nemen fors toe ten opzichte van het huidige niveau

De jaarlijkse kosten voor de energievoorziening stijgen op basis van deze Verkenning van de huidige 25 miljard euro naar bijna 44 miljard euro in 2030, en naar 61 miljard euro in 2050.

Totale kosten van CO₂ reductie volgens de Gasunie Verkenning in 2030 en 2050 vergeleken met het huidige niveau (in € mrd).



⁵⁵ WLO scenario's opgesteld door het Planbureau voor de Leefomgeving. Aalbers et al. 2016, Matthijsen et al. 2015. www.wlo2015.nl



De verschillen in kosten van de Verkenning tussen 2030 en 2050 zijn voor een aanzienlijk deel toe te schrijven aan de stijging van de biomassaprijs in 2050, die ten opzichte van 2030 volgens het WLO met 250% stijgt.

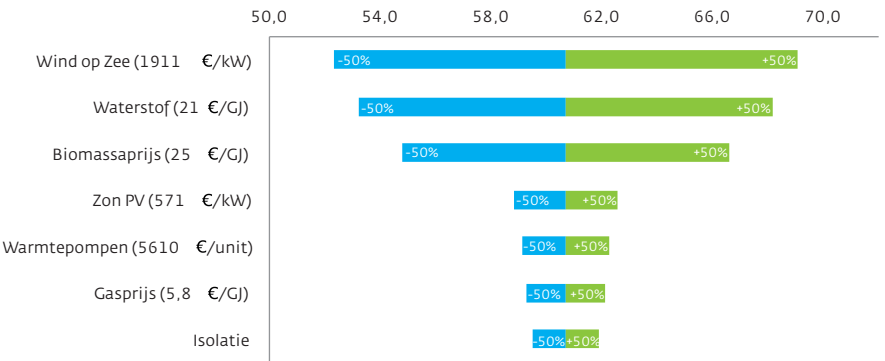
Indien de huidige situatie van de energievoorziening wordt doorgerekend met de veronderstelde prijzen voor 2050 dan bedragen de kosten in 2050 circa 30 miljard euro. Dit is ruim 5 miljard euro meer dan de huidige kosten, met name vanwege de veronderstelde prijsstijgingen voor de fossiele brandstoffen. In dit scenario, aangeduid als 'Business as Usual scenario', is er geen sprake van CO₂-emissie reductie.

Gevoeligheidsanalyse geeft beeld van mogelijkheid veel lagere kosten

Een gevoeligheidsanalyse heeft uitgewezen dat de kosten in 2050 ook veel lager, rond de 47 miljard euro, zouden kunnen uitkomen. In die analyse zijn niet de IEA aannames voor de windmolens en WLO-hoog aannames voor de biomassa overgenomen, maar is gekeken naar actuele ontwikkelingen (gerealiseerde projecten) van bijvoorbeeld de kosten van wind-op-zee, die eveneens van invloed zijn op de kosten van met wind-op-zee dedicated geproduceerd waterstof.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor de grootste kostenposten zijn in een tornadodiagram weergegeven.

Gevoeligheidsanalyse van de kostenberekening gehanteerd voor relevante parameters, met een aangenomen 50% verschuiving (in mrd € per jaar)



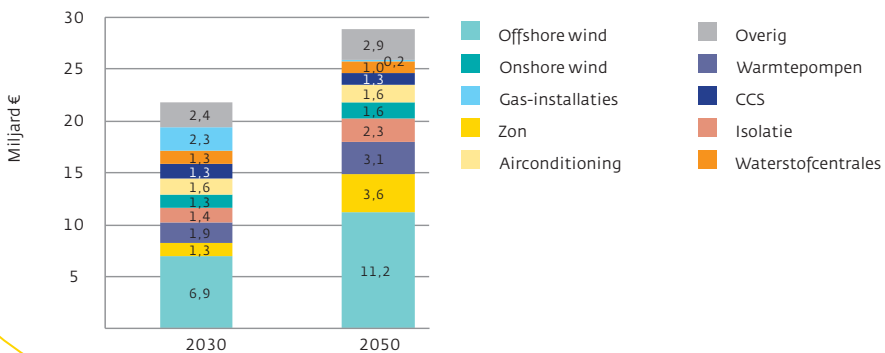
Vooral een forsere daling van de kosten van wind-op-zee in vergelijking met de verwachting van IEA voor 2050 heeft een grote impact op de kosten. Nu al lijken de kosten van wind-op-zee zicht te bevinden op het niveau dat de IEA voor 2050 voorspelt. Een aanname van 50% lagere kosten dan IEA in 2050 verwacht, resulteert in 8 miljard euro lagere jaarkosten: ruim 5 miljard euro elektriciteitsproductie op zee, en bijna 3 miljard euro dedicated waterstof productie op zee. Met de huidige ontwikkelingen in de windmolenkosten lijkt het reëel dat de kosten harder dalen dan IEA aangeeft. De laatste veilingen in de Noordzee⁵⁶ geven hiervoor een bemoedigend beeld. Overigens betekent dit voor de gemiddelde waterstofprijs een daling van 21 naar 14 euro per GJ.

Een andere belangrijke kostenparameter is de biomassakosten, waarbij nu is uitgegaan van hoge schaarste-kosten (WLO hoog scenario⁵⁷). Als voor de biomasprijs het WLO laag scenario wordt gehanteerd, dan kunnen de energiekosten met 6 miljard euro dalen. Daarnaast zijn ook de kosten voor waterstof belangrijk, deze zijn mede afhankelijk van de genoemde windmolenkosten, de kostenontwikkelingen voor de elektrolyse en de aardgasprijs.

Wind-op-zee is zowel in 2030 als in 2050 de grootste post binnen investerings- en onderhoudskosten

In 2050 wordt 47% van de kosten van de energievoorziening bepaald door de investerings- en onderhoudskosten. Zowel in 2030 als in 2050 zijn de investeringskosten voor offshore wind verreweg het grootst. In 2050 vormen warmtepompen, zon-PV en isolatie de andere belangrijkste kostenposten.

Investerings- en onderhoudskosten in de GasunieVerkenning (in € mrd)



⁵⁶ Veilingprijzen van 50-65 €/MWh voor Denemarken, Nederland en het VK. Let wel, het kan dan gaan om windparken die pas in 2021-2025 gereed hoeven te zijn, en waarin kostendalingen, bijvoorbeeld ten gevolge van grotere windmolens, ingecalculeerd zijn, en waarin een hoop planningonzekerheden door de overheden zijn weggehaald. Vaak zijn deze veilingprijzen ook exclusief de kabelkosten. Een Engelse studie uit 2017 geeft voor de windmolenprijzen van 2020 nog prijzen van 90-120 €/MWh. <https://www.thecrownestate.co.uk/media/5493/ei-offshore-wind-cost-reduction-pathways-study.pdf> Zowel de kostenkanten van de IEA, die Berenschot gebruikt, als deze Engelse getallen zijn inclusief de kosten van de kabels. Onshore kosten voor aanpassingen van het elektriciteitsnetwerk om stroom van windparken te kunnen inpassen zijn onderdeel van het ETM model van Quintel

⁵⁷ In deze Verkenning 2.0 zijn prijzen voor gas, biomassa, kolen en olie conform het WLO hoog scenario gehanteerd. Dit is in lijn met het PBL rapport "Verkenning van klimaatdoelen - Van lange termijn beelden naar korte termijn actie (2017)". Met name de prijs voor biomassa is aanzienlijk hoger dan in de vorige versie van de Verkenning. In de kosten zijn geen CO₂-prijzen meegenomen.



Voor isolatiekosten is daarbij uitgegaan van een verschuiving van categorie “laag” naar “hoog” (categorisering Ecofys 2015) voor de 1,5 miljoen woningen in de categorie “laag”. Dit staat gelijk aan een verschuiving van label D t/m G naar label A+ en hoger. Voor de woningen in de categorie C tot en met A zijn geen significante aanpassingen verondersteld.

Onder de categorie overig vallen thuisaccu's, WKKs, geothermie, olie- en koleninstallaties (industrie), elektrische boilers, stoomrecompressie (MVR-installaties), hydro, biomassa-installaties en meerkosten voor elektrisch vervoer ten opzichte van conventioneel vervoer.

De totale brandstofkosten nemen toe en verschuiven van fossiel naar groen gas, biobrandstoffen en waterstof. De aanname in biomassaprijs is daarbij relevant

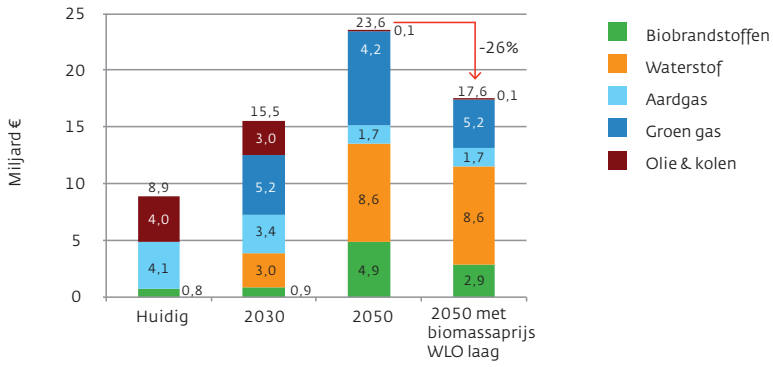
In 2050 wordt 40% van de kosten van de energievoorziening bepaald door de brandstofkosten. Brandstofkosten nemen toe van de huidige 9 miljard naar 16 miljard in 2030 en 25 miljard in 2050. Deze kostenverschuiving is met name toe te rekenen aan de geleidelijke verschuiving naar waterstof, biobrandstoffen en groen gas.

In 2050 worden hogere brandstofprijzen (WLO hoog scenario) aangenomen dan in 2030. Met name de biomassaprijs heeft grote invloed op de kosten voor groen gas en biobrandstoffen. Indien voor biomassa uit zou zijn gegaan van het WLO laag scenario dan zouden de brandstofkosten 6 miljard euro lager liggen. Dit is te zien in de gevoeligheidsanalyse in kolom 4 in de grafiek op de volgende bladzijde.

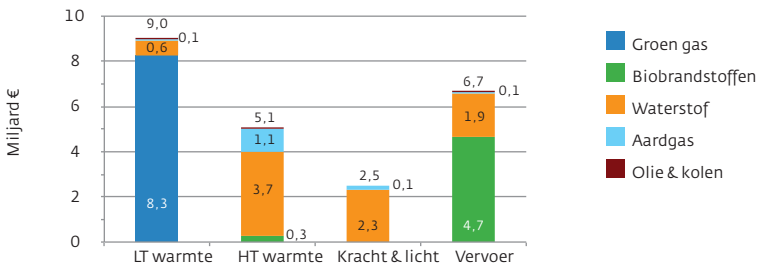
Kosten voor waterstof bestaan in 2050 voor het grootste deel uit kosten voor dedicated waterstofproductie uit wind-op-zee. Het overige deel is afkomstig van waterstof uit aardgas en waterstof uit power-to-gas (rest-elektriciteit).

In 2050 kennen de diverse functionaliteiten een zeer verschillende inzet van brandstoffen. Dat vertaalt zich door in de kosten van brandstoffen. Groen gas neemt een groot deel (8,3 miljard euro) van de totale kosten in beslag, en wordt uitsluitend ingezet bij lage temperatuur warmte. Waterstof daarentegen valt qua totale kosten in dezelfde ordegrootte (9,5 miljard euro), maar is verspreid over meerdere functionaliteiten. Biobrandstof vormt de grootste kostenpost in de functionaliteit vervoer. Dit komt door de inzet van biobrandstoffen voor vrachtwagens in combinatie met een relatief hoge biomassaprijs.

Brandstofkosten in de GasunieVerkenning in 2030 en 2050, vergeleken met huidige niveau (in € mrd)



Brandstofkosten in de GasunieVerkenning in 2050, uitgesplitst naar functionaliteiten (in € mrd)

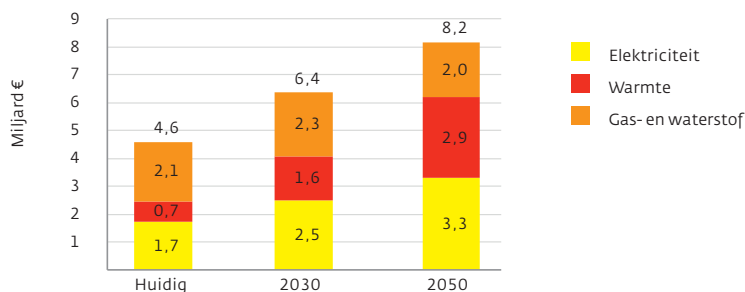




De kosten voor de infrastructuur zijn voornamelijk toe te schrijven aan het elektriciteitsnetwerk en het warmtenet

In 2050 wordt 13% van de kosten van de energievoorziening bepaald door kosten van de energienetwerken.

Infrastructuurkosten in de Gasunie Verkenning in 2030 en 2050 vergeleken met huidige niveau (in € mrd)



In 2030 stijgen de kosten voor de energie infrastructuur ten gevolge van elektrificatie en een groter aandeel energie uit warmte. Ook de kosten voor het gas- en waterstofnetwerk stijgen licht.

In 2050 neemt elektrificatie verder toe, waarmee de kosten voor dit netwerk verder stijgen. Ook het aantal warmtenetten neemt toe. Kosten voor het gas- en waterstofnetwerk dalen in 2050 licht als gevolg van een lager distributievolume van gas in de gebouwde omgeving. De infrastructuurkosten voor waterstofproductie op zee zijn niet opgenomen in de infrastructuurkosten, maar zijn in plaats daarvan opgenomen in de brandstofkosten voor waterstof.

Belangrijkste aannames bij kostenberekening

Brandstofprijzen

Kostenelement	Uitgangswaarde 2015 (ETM)	Waarde 2030	Waarde 2050	Bron voor 2030/2050
Gas	13,50 €/MWh	18,00 €/MWh	20,50 €/MWh	WLO 2016
Olie	30.39 \$/vat	80.00 \$/vat	80,00 \$/vat	WLO 2016
Kolen	37.00 \$/ton	85.00 \$/ton	85,00 \$/ton	WLO 2016
Biomassa	139.09 €/ton	125,44 €/ton	439.00 €/ton	WLO 2016

PV - Investeringskosten

Kostenelement	Uitgangswaarde 2015 (ETM)	Waarde 2030	Waarde 2050	Bron voor 2030 / 2050
PV investering	980 €/kW	800 €/kW	571 €/kW	Henning & Palzer (2015)

Windturbines - Investeringskosten

Kostenelement	Uitgangswaarde 2015 (ETM)	Waarde 2030	Waarde 2050	Bron voor 2030/2050
Onshore wind	1391 k€/Mwe	1443 k€/Mwe	1410 k€/Mwe	IEA World Energy Outlook 2016
Offshore wind	3902 k€/Mwe	2506 k€/Mwe	1911 k€/Mwe	IEA World Energy Outlook 2016

Power2Gas

Kostenelement	Uitgangswaarde 2015 (ETM)	Waarde 2030	Waarde 2050	Bron voor 2030/2050
P2G investering	N.v.t.	650 €/kW	300 €/kW	Dechema for Cefic (2017)
P2G O&M	N.v.t.	2-5% van CAPEX/ jaar	2-5% van CAPEX/ jaar	Dechema for Cefic (2017)

Waterstof uit aardgas

Kostenelement	Uitgangswaarde 2015 (ETM)	Waarde 2030	Waarde 2050	Bron voor 2030/2050
Productiekosten waterstof (bovenop aardgasprijs)	N.v.t.	7,60 €/GJ	7,60 €/GJ	TNO, Berenschot. Haalbaarheidsstudie waterstof uit aardgas (2017)

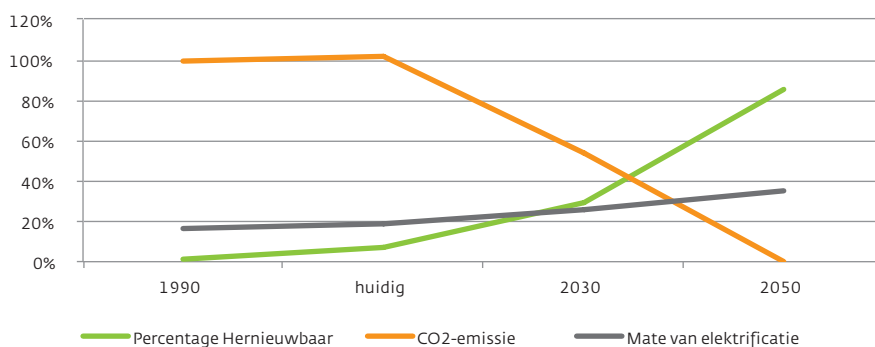


Tot slot

De relatie tussen CO₂-emissies, hernieuwbare energie en mate van elektrificatie van de samenleving

In de Verkenning zijn de CO₂-emissies conform de ambities van de Nederlandse overheid als uitgangspunt gehanteerd. Naast verlaging van de CO₂-emissie in de energievoorziening is ook de mate van verduurzaming van belang. Om de CO₂ ambities te halen voorziet de Verkenning grootschalige uitbreiding van wind en zon, veel warmtepompen, forse uitbreiding van geothermie, gebruik van groene waterstof en stijgende import van biomassa. Zoals uit de grafiek kan worden afgeleid, stijgt het percentage hernieuwbare energie daardoor van ruim 6% naar bijna 30% in 2030 tot circa 85% in 2050.

Ontwikkeling van het percentage hernieuwbare energie, de CO₂ emissie en de mate van elektrificatie vanaf 1990



Uit de figuur kan tevens worden afgeleid dat de aannames in de Verkenning leiden tot een verdubbeling van de mate van elektrificatie van de Nederlandse samenleving. Deze grootheid is gedefinieerd als de ratio tussen de totale elektriciteitsvraag (zie gebruik marktsectoren in schema Elektriciteit 2050) en de bruto finale energievraag (zie grafiek Finaal energieverbruik). De mate van elektrificatie was in 1990 bijna 17%. Sindsdien is dit langzaam gestegen naar ongeveer 19%. De Verkenning voorziet een forse stijging naar 26% in 2030 en vervolgens naar 35% in 2050. Dit betekent tevens dat in 2050 nog 65% van de energievraag zal worden ingevuld door moleculen, waarbij met name waterstof en groen gas een prominente rol spelen.

Kosten per vermeden ton CO₂

In de Verkenning wordt de CO₂-emissie door de energiesector afgebouwd naar nul in 2050. Ten opzichte van het scenario waarin dit niet gebeurt, Business as Usual, worden totale meerkosten berekend op 30,5 miljard euro per jaar. Dit betekent dat de gemiddelde kosten per ton vermeden CO₂ uitkomen op 185 euro. Voor 2030 geldt een CO₂-besparingspercentage van 54% en dit komt neer op 195 euro per ton vermeden CO₂. Hierbij kan worden aangetekend dat er sprake is van een aanzienlijke onzekerheid van de berekende kosten.

Beide bedragen zijn zeer aanzienlijk hoger dan de huidige marktprijs van CO₂ onder het ETS. Dit impliceert dat, tenzij de CO₂-marktprijs fors gaat stijgen, er aanvullende maatregelen nodig zijn omdat de markt het niet vanzelf zal oplossen.

De gemiddelde kosten per ton vermeden CO₂ in 2050 blijken vergelijkbaar met 2030. Hierbij spelen twee zaken een rol. In de eerste plaats zijn er leereffecten waardoor de kosten van maatregelen steeds goedkoper worden. Anderzijds is er sprake van steeds hoger hangend fruit.

Gevraagde inspanningen

Teneinde in Nederland te kunnen komen tot een CO₂-neutrale energievoorziening in 2050 worden zeer forse inspanningen gevraagd, waaronder:

Gebouwde omgeving:

- Nieuwbouw EPC=0 of hoger en geen gasaansluiting.
- 50.000 bestaande woningen per jaar in de labelcategorie G tot en met D isoleren tot nivo label A+ of hoger.
- De helft van alle HR-ketels die jaarlijks vervangen wordt, moet vervangen worden door een (hybride) warmtepomp. Jaarlijkse installatie van 180.000 (hybride) warmtepompen (excl vervanging).
- Installatie van 250.000 thuisbatterijen per jaar (excl vervanging).

Industrie:

- Het huidige gebruik van aardgas zal met een gemiddeld tempo van ongeveer 1% per jaar omgezet moeten gaan worden door gebruik van waterstof en eveneens 1% per jaar door gebruik van elektriciteit.
- Door het treffen van efficiëntiemaatregelen moet de energie-intensiteit in de industrie met 2% per jaar worden verbeterd.



Transport:

- De 8 miljoen personenauto's zullen in 2050 grotendeels elektrisch worden, hiervoor is een vervangingstempo van 250.000 per jaar nodig.⁵⁸
- Een kleine 1 miljoen voertuigen voor vrachtvervoer (voornamelijk bestelauto's) zullen in 2050 biobrandstof, waterstof, groen gas en elektriciteit moeten gaan gebruiken. Hiervoor is een vervangingstempo van 30.000 voertuigen per jaar nodig.
- De circa 4000 tankstations in Nederland zullen in een tempo van 125 per jaar omschakelen naar het aanbieden van duurzame brandstoffen en elektriciteit.

Elektriciteitsopwekking:

- Installatie van 10 nieuwe windturbines van 10 MW op zee per maand < 2050 (exclusief vervanging).
- Installatie van 5 windmolens van 3 MW op land per maand < 2030 (exclusief vervanging).
- Iedere maand worden er 300.000 zonnepanelen op daken geïnstalleerd, en ongeveer hetzelfde aantal worden er in zonneweides geplaatst (exclusief vervanging).
- Kolencentrales en kerncentrales zijn voor 2030 uitgefaseerd.
- Constructie van 28 GW vermogen aan waterstofcentrales < 2050, hetzij door nieuwbouw, hetzij door ombouw van bestaande aardgascentrales.

Duurzame warmte:

- Constructie van 2 geothermie-doublers (putten) per maand.

Glossary

In de Gasunie Verkenning wordt de Petajoule (PJ) als eenheid van energie gebruikt. De Joule is de eenheid van energie, maar deze is erg klein, en daarom wordt de prefix peta (= 10^{15} = 1000 biljoen) hier gebruikt.

1 PJ is ongeveer⁵⁹ gelijk aan (in stand der techniek van nu uitgedrukt) :

- De energie die 9 grote windmolens op zee per jaar produceren (8 MW windmolens)
- De energie die opgewekt wordt door 1 miljoen zonnepanelen
- De energie die wordt opgewekt door 6 geothermiedoublers
- De energie die wordt opgewekt door 6 groen gas vergisters
- Circa 30 miljoen m³ groen gas/Groningen gas
- Circa 0,3 TWh elektriciteit

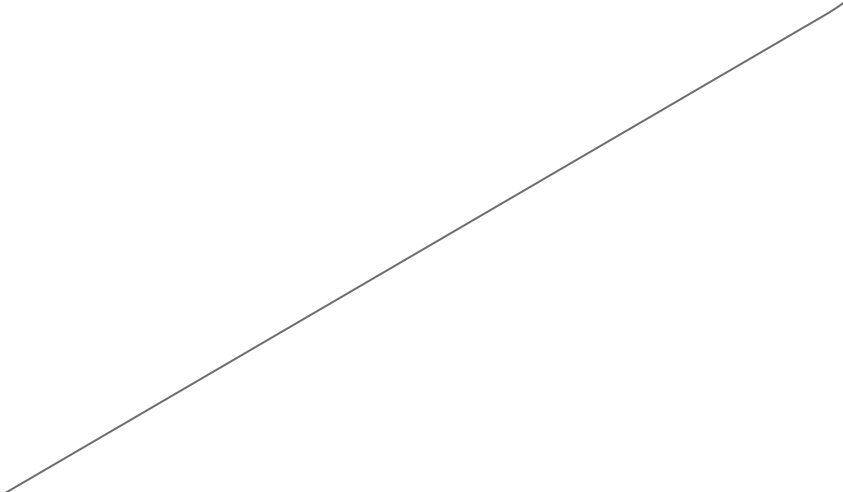
⁵⁸ In 2015 werden er 450.000 personenauto's per jaar verkocht [CBS – https://www.cbs.nl/-/media/_pdf/2016/25/tm2016_web.pdf]

⁵⁹ De geproduceerde energie is afhankelijk van aspecten zoals grootte van de windmolens, windsnelheden, efficiëntie van het zonnepaneel, diepte van de geothermiedoublers, grootte van de vergisterinstallatie, etc.etc.

Om 1 PJ per dag te vervoeren:

- Heb je 1 gasleiding nodig (36 inch leiding)
- Heb je 12 elektriciteitskabels nodig (1 GW per kabel)

Biomassa	In dit document wordt hiermee duurzame biomassa aangeduid. Het gebruik voor energiedoeleinden leidt slechts tot emissie van CO ₂ die eerder aan de lucht is onttrokken.
Business as Usual scenario	Scenario waarbij de huidige situatie van de energievoorziening wordt doorgerekend met de veronderstelde prijzen voor 2050.
CC(T)S	Carbon Capture (Transport) and Storage. Het afvangen van CO ₂ in processen, en het vervolgens transporteren en definitief opslaan in ondergrondse aardlagen. In deze Verkenning alleen onder de zeebodem.
CCGT	Combined Cycle Gas Turbine.
CNG	Compressed Natural Gas. Aardgas dat sterk gecomprimeerd is (bijvoorbeeld 300 bar) en daardoor beter in de mobiliteit gebruikt kan worden.
CO ₂ -neutraal	Een maatregel of situatie waarbij netto geen CO ₂ -emissies plaatsvinden, bijvoorbeeld doordat de CO ₂ -emissies ondergronds worden opgeslagen, of CO ₂ -emissies worden gecompenseerd.
ETM	Energie Transitie Model. Zie www.energytransitionmodel.com .
Finaal energieverbruik	De hoeveelheid energie die is verbruikt door bedrijven, huishoudens en vervoer in Nederland (conform definitie CBS).
Geothermie	Het gebruik van aardwarmte uit zowel ondiepe, diepe als ultradiepe aardlagen.
GW	Gigawatt. Energie die per tijdseenheid geproduceerd wordt (vermogen), in dit geval 1 miljard Joule per seconde.
Hybride	Het gebruik van verschillende energiedragers in 1 apparaat.
IEA	International Energy Agency.
LNG	Liquefied Natural Gas. Sterk gekoeld aardgas wat daardoor vloeibaar is geworden.
OCGT	Open Cycle Gas Turbine.
Power-to-gas (P2G)	Het met behulp van elektrolyse van water omzetten van elektriciteit in waterstof.
Power-to-heat (P2H)	Het omzetten van elektriciteit in warmte die gebruikt wordt.
Primair energieverbruik	(of: Energieaanbod) De hoeveelheid energie die primair beschikbaar is gekomen voor verbruik in Nederland (conform definitie CBS).
PV	Photo Voltaïsch. Hierbij wordt zonlicht omgezet in elektriciteit.
Rest-energie	Het deel van de elektriciteitsproductie dat op dat moment de elektriciteitsvraag te boven gaat.
WKK	Warmte Kracht Koppeling. Het gelijktijdig opwekken en gebruiken van elektriciteit en warmte uit groen gas, aardgas of waterstof.
WKO	Warmte Koude Opslag.
WLO	Welvaart en LeefOmgeving. Toekomstscenario's opgesteld door het Planbureau voor de Leefomgeving.



Colofon

N.V. Nederlandse Gasunie
Concourslaan 17
9727 KC Groningen
050 – 521 9111
www.gasunie.nl
www.letsdesignourenergy.nl

Vormgeving

Graphic Design Gasunie, Groningen

Vragen naar aanleiding van deze
publicatie?
communicatie@gasunie.nl

Maart 2018, 2e druk

