

HCSS Geo-economics

Internationale ontwikkelingen en de Nederlandse energietransitie

Jilles van den Beukel en Lucia van Geuns

Februari 2021

1 Inleiding

Klimaatverandering maakt het noodzakelijk ons energiesysteem drastisch te hervormen. Of de streefdatum van 2050 voor een nieuw energiesysteem, met een (netto) uitstoot van broeikasgassen van vrijwel nul, gehaald wordt, is onzeker. Maar vast staat dat men wereldwijd, met het verdrag van Parijs als waterscheiding, nu serieus op weg is gegaan met de energietransitie.

Uiteindelijk zal er, internationaal, een nieuw energiesysteem uitkristalliseren met een veel lagere *carbon footprint*. Technologische doorbraken, kostenverlagingen (voor elektrolyzers, accu's, etc.), politieke keuzes en draagvlak in de samenleving zullen gaan bepalen hoe dat nieuwe systeem eruit gaat zien. Veel van de technologische ontwikkelingen zullen een klein land als Nederland overkomen.

Voor de meeste landen zal elektriciteit uit zon en wind het basiselement van het nieuwe elektriciteitssysteem zijn. Ook voor Nederland is die keuze de facto reeds gemaakt. Het zijn de grote kostendalingen voor elektriciteit uit zon en wind die hieraan ten grondslag liggen. Het is een keuze die gevolgen heeft: kernenergie laat zich minder goed combineren met elektriciteit uit zon en wind.

Door meer te elektrificeren (denk aan warmtepompen en elektrische auto's) zal het aandeel elektriciteit in onze energievoorziening toenemen. Sommige activiteiten kunnen echter niet of alleen tegen hoge kosten worden geëlektrificeerd. Voorbeelden zijn scheepvaart en vliegverkeer over lange afstanden of het genereren van hoge temperatuur warmte voor de industrie. Er blijven energiedragers nodig met een hoge energiedichtheid die makkelijk kunnen worden opgeslagen (anders gezegd: moleculen in plaats van elektronen). Ook dient er een betrouwbaar back-up systeem te komen voor de variabele elektriciteitsproductie uit zon en wind. Hoe deze gedeeltes van het energiesysteem eruit zullen gaan zien, en hoe groot de rol is die bijvoorbeeld waterstof hier zal gaan spelen, is minder duidelijk. Voor verschillende scenario's varieert het aandeel waterstof in de globale energievoorziening in 2050 tussen de 5 en 30%.

Niet alleen milieu en klimaat maar ook betaalbaarheid en leveringszekerheid blijven belangrijk in het energiesysteem. Daarbij speelt ook geopolitiek een rol. Terwijl voor de Europese Unie (EU) op de lange duur de grote afhankelijkheid van geïmporteerde fossiele brandstoffen zal verdwijnen, zullen nieuwe afhankelijkheden zich ontwikkelen. De EU-doelstelling van klimaatneutraliteit is sterk afhankelijk van de invoer van kritieke grondstoffen, halfproducten en eindproducten. Zonnepanelen worden voornamelijk geïmporteerd. Grondstoffen als kobalt voor accu's, iridium voor elektrolyzers en vele zeldzame aardmetalen worden slechts op een beperkt aantal locaties, buiten de EU, geproduceerd.

Terwijl het einde van het fossiele tijdperk nadert, is het waarschijnlijk dat er een verschuiving van de olie- en gasproductie zal plaatsvinden naar lage kosten producenten zoals Saoedi-Arabië en Rusland. Wij gaan nu op weg naar een fase waarin

de EU nog wel in hoge mate afhankelijk zal zijn van olie en gas maar ze zelf nauwelijks meer produceert. De piek in de olie- en gasvraag mag voor Europa dan achter de rug liggen; de piek in de importafhankelijkheid van olie en gas ligt nog voor ons. Het is geen gegeven, maar wel waarschijnlijk, dat een steeds lagere olievraag tijdens de energietransitie systematisch een neerwaartse druk op de olieprijs zal geven. Dat kan leiden tot periodes van instabiliteit bij de grote olieproducenten in het Midden-Oosten. Ook gedurende een periode met gemiddeld lage olieprijsen tijdens de energietransitie zullen olieprijsen volatiel blijven en blijft een oliecrisis mogelijk.

Lange termijn scenario's zoals een SDS (*Sustainable Development Scenario*) scenario van de IEA (Internationaal Energie Agentschap) of een Shell *Sky* scenario, waarbij de doelen van Parijs wel gehaald worden, staan tegenover scenario's als een Equinor *Rivalry* scenario (of een BP *Delayed and Disorderly* scenario) waarbij machtspolitiek tussen grootmachten en een volharden in de *free rider* rol van olie- en gas producenten de overhand hebben boven een relatief eendrachtig samenwerken om de doelen van Parijs te halen. Terwijl wij, bij het uitstippelen van beleid op het gebied van energie, willen en moeten uitgaan van *backcasting* scenario's waarbij wij de doelen van Parijs halen is het raadzaam bij het voorbereiden van ons land op een veelheid aan toekomstige ontwikkelingen ook rekening te houden met de *forecasting* scenario's waarbij deze doelen niet worden gehaald. *Forecasting* scenario's lopen het risico de snelheid van een transitie te onderschatten; omgekeerd lopen *backcasting* scenario's het risico van *wishful thinking* en een onderschatting van factoren die een snelle energietransitie bemoeilijken.

Dit paper, bedoeld als een discussiestuk, schetst de onzekerheden en dilemma's voor de Nederlandse energietransitie in het licht van de internationale ontwikkelingen op het gebied van geopolitiek en technologie.

2 Olie en gas: een toenemende afhankelijkheid van OPEC en Rusland

De Club van Rome stelde in 1972 dat grondstoffen als olie rond het jaar 2000 op zouden raken. Toentertijd werden de globale oliereserves geschat op ongeveer 650 miljard vaten. Nu, bijna 50 jaar later, zijn dat er meer dan 1700 miljard. Niemand is nog bang dat olie over 30 jaar op zal zijn.

Die grote toename van de reserves is het gevolg van technologische vooruitgang. 3D seismiek maakte het mogelijk de ondergrond veel nauwkeuriger in kaart te brengen. Het boren van horizontale putten in reservoirs leidde tot een grote toename van de productie per put. Het is nu mogelijk in diep water te boren en daar velden te ontwikkelen zonder grote vaste platforms. Die technologische vooruitgang zet ook in de nadagen van het fossiele tijdperk nog verder door.

De olie- en gas wereld verandert nu fundamenteel. Centraal staat hierbij de toegenomen motivatie om klimaatverandering tegen te gaan en de wens om de doelstellingen van het verdrag van Parijs te gaan halen. Schattingen voor de toekomstige vraag naar olie en gas worden naar beneden bijgesteld. Olie en gas worden niet meer gezien als brandstoffen die tot in lengte van dagen nodig zullen zijn. Om te overleven moeten IOC's (*International Oil Companies*) op zoek naar een nieuw verdienmodel. Landen als Saoedi-Arabië, die veel langer met hun reserves vooruit kunnen dan de IOC's, worden geconfronteerd met een dilemma: de prijs maximaliseren of de hoeveelheid olie die in de grond blijft zitten minimaliseren.

Schalieolie uit de Verenigde Staten (VS) leidde tot de grote val van de olieprijs in 2014 en de relatief lage prijzen in de daaropvolgende jaren. De kosten voor de winning van schalieolie zijn het afgelopen decennium ruwweg gehalveerd tot rond de 40 tot 50 dollar per vat. Bij prijzen boven de 60 tot 70 dollar per vat stijgt de productie van VS schalieolie dermate snel dat hogere prijzen, zoals die voorkwamen tussen 2006 en 2014, niet meer voor een langere periode zijn te handhaven. De kosten van schaliegas zijn in de VS gedaald tot ruim 2 dollar/MMBtu¹, overeenkomend met ongeveer 10 dollar per vat olie equivalent.

De toename in het transport van gas, over lange afstanden, in de vorm van LNG (vloeibaar gas) heeft geleid tot een convergentie van gasprijzen op de markten in de VS, Europa en Azië. LNG maakt het mogelijk om afgelegen gasvelden te ontwikkelen. Goedkoop schaliegas uit Noord Amerika kan nu naar Azië of Europa vervoerd worden. Gelijk schalieolie voor de olieprijs, geeft schaliegas een zacht plafond voor de gasprijzen. Terwijl het marktaandeel van Russisch gas in de EU is toegenomen, is de invloed van Gazprom op de gasprijzen in Europa afgenomen.

¹ MMBtu (Million British thermal units)

De wereld neemt met dit alles afscheid van de oude situatie, waar olie en gas relatief schaars waren, en gaat naar een nieuwe situatie: olie en gas zijn relatief overvloedig en hebben nog maar een beperkte toekomst. Het is geen gegeven, maar wel waarschijnlijk, dat de olie- en gasprijzen in deze wereld van overvloed gemiddeld relatief laag zullen zijn.

Toekomstige ontwikkelingen. In deze nieuwe situatie voor de olie- en gasindustrie blijft het verminderen van kosten centraal staan. Digitalisering van olie- en gasvelden zal leiden tot een beter reservoir management, meer efficiënte operaties en hogere *recovery factors*. Er zal een grotere nadruk zijn op het verlagen van bijvoorbeeld methaanlekkages, en het afgeven van certificaten voor de *carbon footprint* van het produceren en transporteren van olie en gas zal gemeengoed worden.

De productie van *deepwater* olie zal zich steeds meer concentreren in een beperkt aantal gebieden die voor producenten het beste totaalpakket bieden aan opbrengst (de beste geologische reservoirs), kosten en belastingen. De Golf van Mexico (zowel voor de VS als Mexico), Guyana/Suriname en Brazilië lijken hierbij de beste papieren te hebben. Ook schalieolie in de VS, met een relatief korte terugverdiensijd, heeft een toekomst.

Kosten, terugverdiensijd en *carbon footprint* bepalen waar de afnemende investeringen van IOC's nog heen gaan. Er wordt niet langer geïnvesteerd in oliezanden, gekenmerkt door een relatief hoge *carbon footprint* en een relatief lange terugverdiensijd. In dure olie uit de Arctische offshore zijn IOC's niet meer geïnteresseerd. Alleen een NOC (*National Oil Company*) als het Russische Rosneft heeft hier nog serieuze plannen.

De vooruitzichten voor de gasproductie in Nederland zijn uitgesproken slecht. Het wordt moeilijker nieuwe kleine velden te vinden. De verwachte gasprijzen de komende jaren zijn door de vraagvermindering gerelateerd aan COVID-19 verder naar beneden bijgesteld. Het huidige overaanbod aan LNG zal naar verwachting van de IEA tot minstens 2025 gaan duren. Langdurige procedures en een hoge belastingdruk dragen bij aan een slecht investeringsklimaat. Terwijl Rusland en de grote LNG producenten in Europa de komende jaren een slag om marktaandeel leveren, zal de productie uit kleine velden in Nederland snel afnemen. In 2025 zal de nationale gasproductie minder dan een kwart zijn van het verbruik; in 2030 nog 5-10%.

Het vervangen van Nederlands gas door Russisch gas of LNG vergroot (wereldwijd) de uitstoot van broeikasgassen per eenheid energie met ongeveer 30%. Op dit moment doet het binnen de EU vervangen van Nederlands gas door Russisch gas en LNG al de vooruitgang die wij boeken ten gevolge van een lagere uitstoot van broeikasgassen door een groter aandeel zon en wind in de Nederlandse stroomproductie volledig teniet. Voor een afname van de belastingdruk, die ook nog geld zou opleveren voor de staat door een hogere productie, lijkt het politieke draagvlak te ontbreken.

Een toenemende olieafhankelijkheid van de Organisatie van Petroleum exporterende landen (OPEC). Landen als Saoedi-Arabië en Rusland hebben, alle retoriek ten spijt, nog geen afstand genomen van hun huidige verdienmodel, het

produceren van fossiele brandstoffen. Rusland verdrievoudigde afgelopen decennium de investeringen in olie en gas en heeft de ambitie tot 2035 de olieproductie op het huidige hoge niveau te stabiliseren en de gasproductie met 30% te doen toenemen. Zowel Saoedi-Arabië als de VAE (Verenigde Arabische Emiraten) hebben plannen hun productiecapaciteit van olie te verhogen.

Westerse olie- en gasbedrijven krijgen te maken met hogere financieringskosten. Met afnemende investeringen door de IOC's zal het marktaandeel van OPEC, en met name dat van lage kosten producenten als Saoedi-Arabië en Irak, gaan toenemen. Gemiddeld is de verhouding tussen bewezen reserves en jaarlijkse productie voor IOC's niet meer dan 10 (ter vergelijking: voor Saudi Aramco is dit meer dan 60). De zelfvoorzienendheid van de EU voor olie en gas neemt steeds verder af wat zal leiden tot een fase waarin de EU nog wel in hoge mate afhankelijk zal zijn van deze brandstoffen maar ze zelf nauwelijks meer produceert. Dit kan gevolgen hebben voor de leveringszekerheid. Ook in de nadagen van het fossiele tijdperk blijft een oliecrisis mogelijk en zullen olieprijsen volatiel blijven.

Een langdurige periode van lage olieprijsen kan leiden tot meer instabiliteit van olieproducerende landen, met name in het Midden-Oosten, en een tijdelijke onderbreking van de olieaanvoer. Het ontstaan van een machtsvacuüm in olieproducerende landen is een belangrijk risico bij de energietransitie. De lage olieprijsen in de jaren 80 van de vorige eeuw waren indertijd een belangrijke factor bij het uiteenvallen van de Sovjet Unie.

Terwijl Europa in snel tempo afscheid neemt van de productie van olie en gas is in de VS het afgelopen decennium de productie van olie en gas verdubbeld. Door het grootschalig toepassen van *fracking* is het land een gasexporteur geworden en is het min of meer zelfvoorzienend qua olie. Dat de VS begonnen is zich terug te trekken uit het Midden-Oosten kan niet los van deze ontwikkeling worden gezien. De plaats van de VS wordt gedeeltelijk ingenomen door China dat in steeds grotere mate afhankelijk wordt van olie uit het Midden-Oosten. Chinese oliebedrijven nemen nu posities in olievelden in het Midden-Oosten in, met name in Irak en Iran, waarbij zij de nadruk leggen op zeggenschap over de bestemming van de in joint ventures geproduceerde olie.

Een toenemende gasafhankelijkheid van Rusland. In de nieuwe olie- en gaswereld wordt de EU afhankelijker van Rusland voor gas. Tussen 2012 en 2019 nam de import via pijpleidingen van gas uit Rusland naar Europa toe van ongeveer 140 naar 200 miljard kuub. In diezelfde tijd nam de import van LNG toe van 40 naar 90 miljard kuub (hiervan kwam ook een gedeelte uit Rusland). In 2019 was 39% van het gas dat in de EU geconsumeerd werd uit Rusland afkomstig. Lange tijd was er een streven in de EU het aandeel Russisch gas niet boven de 30% te laten komen. Men vertrouwt er nu op dat het toenemende transport van LNG een afdoende verzekering is tegen deze toenemende afhankelijkheid van Rusland.

Rusland is er afgelopen decennia, met uitzondering van 2006 en 2009 toen het de aanvoer naar de Oekraïne verminderde, voor terug geschrokken om de gasaanvoer als

strijdmiddel te gebruiken bij geopolitieke of prijs conflicten. Het realiseert zich heel goed hoe funest dat is voor het lange termijn vertrouwen in Rusland als betrouwbare gasleverancier. Maar wat als er geen lange termijn toekomst voor gas meer is? Het is niet onmogelijk dat Rusland in de 2030er jaren, als het ziet aankomen dat de energietransitie doorzet en de Europese consumptie van gas op korte termijn serieus gaat verminderen, de gaskraan gedeeltelijk dicht draait om de prijzen hoog op te drijven. Het zou een ultieme poging zijn om op het laatst nog maximaal aan gas te verdienen.

Komend decennium zal de consumptie van gas in België en Duitsland toenemen als gevolg van de uitstap uit kolen en kerncentrales. De bestaande LNG aanlandingscapaciteit in België wordt nu uitgebreid. Voor Duitsland verwacht men dat het pas in 2035 een maximale gasconsumptie bereikt van ongeveer 110 miljard kuub (huidig verbruik: ongeveer 90 miljard kuub). In Duitsland zijn nu plannen voor 3 nieuwe LNG terminals. De beslissing daartoe is nog niet genomen. Dergelijke gas infrastructuur projecten zijn weliswaar hoognodig en lucratief maar slechts voor een beperkte tijd van ongeveer 15 jaar. Het is de vraag of dat lang genoeg is om dit zonder overheidssteun te kunnen realiseren.

Voor Nederland zal het aanstaande einde van Gastera in 2022 een zekere leegte achterlaten. In de huidige markt kan een gasinkoop op de *spot markets* financieel heel goed uitpakken. Maar dat Nederland, in tegenstelling tot vrijwel alle andere landen in de EU, er straks voor lijkt te kiezen in het geheel geen lange-termijn contracten voor gas meer af te sluiten is opvallend en brengt ook een zeker risico met zich mee. Een grotere LNG import capaciteit en een ruime opslagcapaciteit kunnen deze risico's verminderen.

Samenwerking of rivaliteit? De IOC's zien zich geconfronteerd met een grote onzekerheid van de toekomstige vraag naar olie en gas en de mate waarin CO₂ prijzen zullen stijgen. Het afgelopen decennium stegen hun financieringskosten en daalden hun marktwaardes. BP (van de IOC's het bedrijf met het hoogste percentage vreemd vermogen en daaraan verbonden de hoogste financieringskosten) gaf recent aan voor 2030 een 30% lagere olie- en gasproductie te verwachten. Alle Europese IOC's hebben doelstellingen om, in meer of mindere mate, in 2050 een *low carbon* bedrijf te zijn.

De eigenlijke opgave is niet het aan boord krijgen van de IOC's maar van de NOC's. Zij hebben veel hogere reserves dan de IOC's. Zij opereren in een omgeving waar het produceren van fossiele brandstoffen veel minder ter discussie staat. Voor veel landen zijn zij van essentieel economisch belang.

Gaan wij toe naar een wereld waar klimaatsamenwerking en het algemeen belang voorop staat? Of bewegen we richting een wereld van rivaliteit waarin het korte termijn eigen belang van staten voorop staat? Als wij die laatste kant op gaan kunnen de effecten van klimaatverandering op een gegeven moment in een stroomversnelling raken en komt een *disorderly exit* van fossiele brandstoffen in beeld. Voor zo'n situatie kunnen ook nu moeilijk voor te stellen technieken als *geo-engineering* weer op tafel komen. Het injecteren van aerosols in hogere luchtlagen is technisch goed mogelijk, effectief (als het althans om temperatuurverlaging gaat) en niet bijzonder kostbaar. De kosten voor een verlaging van de temperatuur met ongeveer 1 graad worden geschat op een orde van grootte van ongeveer 10 miljard dollar per jaar.



Toekomstig aanbod van olie en gas uit bestaande velden ("Legacy supply"). Toekomstige vraag naar olie en gas met een range lopend van een scenario ("Rebalance") waarin de doelstellingen van Parijs worden gehaald tot een Business as Usual ("Rivalry") scenario. Olie- en gasvraag omvat ook die vraag waar olie en gas als grondstof worden gebruikt. Bron: Equinor.

Kernboodschap Olie en Gas

- Een lagere olievraag door de strijd tegen klimaatverandering geeft een systematische neerwaartse druk op de olieprijs. Dit kan leiden tot financiële tekorten en politieke instabiliteit bij de grote olieproducenten als Saoedi-Arabië. Ook in een wereld die op weg is naar een *zero carbon* energiesysteem blijft een oliecrisis mogelijk.
- De westerse olie- en gasindustrie investeert steeds minder in nieuwe velden. Men concentreert zich op een beperkt aantal *sweet spots* qua geologie, kosten en belastingen. De EU behoort daar niet bij. Olie- en gasproductie verschuift geleidelijk steeds meer naar NOC's in een beperkt aantal landen met relatief lage kosten. Het aandeel Russisch gas in de EU, dat in 2019 een record hoogte van 39% bereikte, zal verder stijgen.
- De *carbon footprint* van de productie van veel NOC's is systematisch hoger dan die van de westerse olie- en gasindustrie. Er moet meer duidelijkheid komen over bijvoorbeeld methaanlekkages. Beleid moet meer worden gebaseerd op de wereldwijde *carbon footprint* gerelateerd aan het verbruik van olie en gas in Nederland.
- Nederland en de EU moeten zich voorbereiden op een fase waarin men nog in hoge mate afhankelijk is van olie en gas maar deze nauwelijks nog zelf produceert. De Nederlandse gasproductie (met een substantieel lagere globale *carbon footprint* dan die van geïmporteerd gas) heeft steun nodig om een snelle en totale ineenstorting te voorkomen.
- Het niet afsluiten in Nederland van lange termijn gascontracten en een zich volledig verlaten op de *spot markets* kan financieel goed uitpakken maar brengt ook risico's met zich mee qua leveringszekerheid. Een grotere LNG import capaciteit en een ruime opslagcapaciteit kunnen deze risico's verminderen.

Geselecteerde referenties

Bordoff, J., Columbia Energy Institute, [Geopolitics of climate change](#)

Butler, N., [Energy insecurity in a changing world](#).

DNV, [New directions, complex choices](#). The outlook for the oil and gas industry.

Equinor, [Energy perspectives](#) (Equinor lange termijn scenario's).

Helm, D., [The carbon crunch](#), Oxford University Press

HCSS, [The deteriorating outlook for Dutch small natural gas fields](#)

IEA, [World Energy Outlook 2020](#).

3 Zon en wind: door dalende kosten de basiselementen van onze toekomstige energievoorziening

De kosten van *low carbon* hernieuwbare elektriciteit (vaak uitgedrukt als LCOE: *levelised cost of electricity*) uit zon en wind zijn het afgelopen decennium sneller gedaald dan verwacht en zijn nu in veel landen vergelijkbaar met die van elektriciteit uit fossiele bronnen. Sinds 2010 zijn de gemiddelde kosten (wereldwijd) van elektriciteit uit zon en wind gedaald met respectievelijk ruim 70% en ruim 20%. In diezelfde tijd daalden de kosten van de nu in elektrische auto's gebruikte lithium accu's met ongeveer 80%. De verwachting is dat deze kostendalingen het komende decennium verder door zullen zetten. IRENA (*International Renewable Energy Agency*) schatte in 2019 dat tot 2025 de gemiddelde (wereldwijd) kosten van elektriciteit dalen met 26% (onshore wind), 35% (offshore wind) en 60% (zon). De kosten van accu's zouden met 60% kunnen dalen en er is een toenemend vertrouwen dat elektrische auto's en auto's met verbrandingsmotoren over ongeveer 5 jaar vergelijkbare kosten zullen hebben.

Door de variabiliteit van elektriciteit uit zon en wind liggen de systeemkosten (evt. uitgedrukt als *value adjusted LCOE*) voor elektriciteit uit zon en wind hoger. Bij een hoger aandeel zon en wind in de stroommix daalt de systeemwaarde van stroom uit variabele bronnen als zon en wind.

Met een CO₂ prijs van 25 euro per ton, de gemiddelde EU ETS (*EU Emissions Trading System*) prijs in 2019 en 2020, is elektriciteitsproductie uit kolen als aanvulling op elektriciteit uit zon en wind weinig aantrekkelijk meer. Met de relatief lage gasprijzen van de afgelopen jaren was elektriciteit uit gas in de EU aantrekkelijker dan die uit kolen. In veel Europese landen vond de laatste jaren dan ook een switch plaats van kolen naar gas in de elektriciteitsvoorziening. De verwachting is dat die switch zich verder zal voortzetten; het is goed mogelijk dat lang voordat kolen in bijvoorbeeld Duitsland uit gefaseerd moet zijn om politieke redenen dit al gebeurd is om commerciële redenen. De huidige EU ETS prijzen zijn optimaal voor gas; hoog genoeg om het aandeel kolen in de elektriciteitsmix te verminderen en niet zo hoog dat het grote gevolgen heeft voor het marktaandeel gas. Veel landen convergeren nu dan ook naar een elektriciteitsmix van zon en wind gecombineerd met gas.

Op de korte termijn is de opgave om het aandeel zon en wind snel omhoog te laten gaan. Het vereist grote aanpassingen in het elektriciteitsnet. De *back-up* van meer variabele en minder goed regelbare elektriciteit uit zon en wind zal een grotere uitdaging worden naarmate het aandeel zon en wind verder toeneemt. Maar het is een opgave die te overzien valt en de ambities voor het aandeel zon en wind in de Nederlandse elektriciteitsmix van 2030 lijken haalbaar. De grotere opgave die nu aan de horizon verschijnt is niet zozeer het verhogen van het aandeel zon en wind in de Nederlandse elektriciteitsmix maar het vervangen van gas (aardgas wel te verstaan).

Voor veel landen zal elektriciteit uit zon en wind het basiselement van het nieuwe elektriciteitssysteem zijn. Ook voor Nederland is die keuze de facto reeds gemaakt. Het is een voor de hand liggende keuze gezien de grote kostendalingen voor elektriciteit uit zon en wind. Nieuwe kernenergie is naar onze inschatting ongeveer een factor 2 te duur om aantrekkelijk te zijn in Nederland (zie ook de sectie over kernenergie hieronder). Naarmate wij verder de nu ingeslagen weg zullen gaan, met zon/wind als basiselement van onze stroomvoorziening, zal het moeilijker worden om kernenergie nog in te passen. Voor de voortgang van de energietransitie is het raadzaam consistent beleid te voeren met het Klimaatakkoord als leidraad.

Figure 2. World solar potential

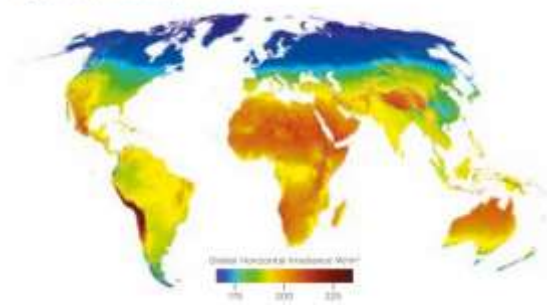
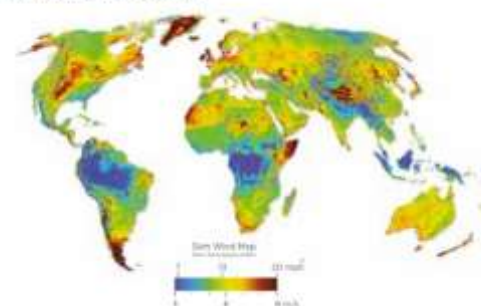


Figure 3. World wind potential



Potentieel voor elektriciteit uit zon en wind. Bron: IRENA.

De toenemende rol van hernieuwbare energie en de afnemende rol van fossiele brandstoffen heeft grote geopolitieke consequenties. Er zijn fundamentele verschillen tussen hernieuwbare energie en fossiele energie:

- Hernieuwbare energie kan vrijwel overal ter wereld worden opgewekt terwijl fossiele reserves geconcentreerd zijn in specifieke gebieden (het meest voor olie, het minst voor kolen). Dit vermindert de afhankelijkheid van landen met grote fossiele reserves en de rol van bottlenecks, zoals de Straat van Hormuz, bij het transport van fossiele brandstoffen.
- Hernieuwbare energie kan geproduceerd worden op heel verschillende schaalgroottes en leent zich daarmee beter voor kleinschalige en gedecentraliseerde productie.
- Hernieuwbare energie zal leiden tot een grotere elektrificatie. Elektriciteit is, vergeleken met fossiele brandstoffen, moeilijker op te slaan en te transporteren. Ook dit impliceert een meer verspreide productie.
- Hernieuwbare energie heeft veelal zeer lage marginale kosten. Dat impliceert de noodzaak van een andersoortige regulering van de elektriciteitsproductie dan die bij fossiele brandstoffen.

Winnaars en verliezers van de energietransitie. Voor verschillende landen en regio's heeft de energietransitie heel verschillende consequenties. China heeft het meest te winnen van de energietransitie. Het loopt voorop in innovatie, fabricage en toepassing op het gebied van hernieuwbare energie (zowel in zon als in wind) en accu's. Het is de grootste producent ter wereld van zonnepanelen, windturbines, accu's, elektrische auto's en elektrolyzers. In het segment van elektrische auto's heeft het een veel betere positie dan bij auto's met verbrandingsmotoren. De grote afhankelijkheid van geïmporteerde olie zal gaan verminderen. Dat geldt ook voor de grote milieuvervuiling door kolen die grote gevolgen heeft voor de gezondheid van miljoenen mensen in China.

Voor Europa is de balans meer gemengd. Het heeft een sterke positie in innovatie en technologie, maar veel minder in fabricage (met name bij zonnepanelen). Duitsland was vooroploper bij het installeren van zonnepanelen en windturbines maar dat heeft zich niet vertaald in een leidende positie bij de fabricage ervan. Het is geen gegeven dat de Duitse automobiellindustrie de huidige, leidende positie kan behouden bij de omschakeling van auto's met verbrandingsmotoren op elektrische auto's. Positief is het op termijn verdwijnen van de grote afhankelijkheid van olie en gas.

De kansen voor de VS qua hernieuwbare energie zijn vergelijkbaar met die van de EU. De VS heeft echter een achterstand op het gebied van efficiëntie op het gebied van energie. De schalieolie en -gas revolutie in de VS heeft er voor gezorgd dat het land nu de grootste gasproducent ter wereld is (en een netto gas exporteur) en met Saoedi-Arabië en Rusland een van de drie grote olieproducenten ter wereld is (met een productie vergelijkbaar aan die van de consumptie). Het voordeel van die dominante positie in olie en gas zal geleidelijk verminderen.

Voor Rusland, de grootste gasexporteur en de op een na grootste olie-exporteur ter wereld, is de energietransitie een grote uitdaging waarvoor het tot nu toe de ogen gesloten heeft. Olie en gas waren het laatste decennium verantwoordelijk voor 40-50% van het staatsbudget en 60-70% van de exportinkomsten. Voor het Poetin regime is de energietransitie een bedreiging. Om over te schakelen op een verdienmodel dat niet afhankelijk is van bodemschatten is een meer open en minder corrupte samenleving vereist; een prijs die voor het Poetin regime vooralsnog te hoog lijkt.

Leiders op het gebied van hernieuwbare energie zullen niet licht eenzelfde soort afhankelijkheid creëren als de grote fossiele olie- en gasproducenten. Dat betekent niet dat er geen afhankelijkheden zullen ontstaan. Voor de fabricage van accu's en zonnepanelen heeft China een grote voorsprong opgebouwd. Ook voor een aantal grondstoffen heeft China nu een dominante positie verkregen. Een meer actieve industriepolitiek in de EU is nodig om te voorkomen dat de EU al te zeer van China afhankelijk wordt op een aantal voor de energietransitie essentiële technieken.

Grondstoffen: China op weg naar een dominante positie. De klimaatneutraliteits- en digitale soevereiniteitsdoelstellingen van de EU zijn sterk afhankelijk van de invoer van kritieke grondstoffen, halffabricaten en eindproducten. Momenteel is er een grote

Europese afhankelijkheid van de invoer uit China voor technologieën en componenten in de nieuwe energiesector, waaronder windturbines, zonnepanelen, infrastructuur voor energienetten; bij de elektrificatie van het vervoer; en in digitale technologieën. China's controle over belangrijke grondstoffen waardeketens is ontwikkeld over tientallen jaren van planning en investeren in mijnen, logistiek, handelsplatformen en in de productiesectoren. Bijna alle mijnbouw, productie en verwerking van zeldzame aardmetalen, kobalt en andere mineralen en metalen waar de EU van afhankelijk is, vindt plaats in China.

China hanteert een breed scala aan strategieën, niet alleen om segmenten van binnenlandse toeleveringsketens te ontwikkelen, maar ook om toegang tot strategische hulpbronnen in het buitenland te beveiligen. Dankzij de nauwe samenwerking tussen staat en industrie kon China een geïntegreerde langetermijnstrategie volgen met als doel het nationale belang te bevorderen. Dit heeft China in een zeer gunstige internationale positie gebracht, wat leidde tot een gestage toename van de afhankelijkheid van de EU van de Chinese invoer.

Het ondersteunen van de inspanningen van de industrie om de voorzieningszekerheid van kritieke technologieën te waarborgen, zou een prioriteit moeten worden voor Nederland. Gezien de tijdsdruk om binnenlandse industrieën te ontwikkelen en de huidige quasi-monopolistische positie van China voor kritische grondstoffen is het onwaarschijnlijk dat Nederland of de EU op korte en middellange termijn volledig autonoom zullen worden. Nederland zou veeleer moeten streven naar meer veerkracht om maatschappelijke en economische doelen te bereiken. Gediversifieerde en veilige wereldwijde toeleveringsketens zijn essentieel om ervoor te zorgen dat mogelijke verstoringen op een snelle, flexibele en effectieve manier kunnen worden beheerst.

Kernboodschap Zon en Wind

- Voor veel landen wordt elektriciteit uit zon en wind het basiselement van het nieuwe elektriciteitssysteem. Het is een voor de hand liggende keuze gezien de grote kostendalingen voor elektriciteit uit zon en wind. Ook voor Nederland is deze keuze de facto reeds gemaakt.
- Op de kortere termijn convergeren veel landen nu naar een elektriciteitssysteem gebaseerd op zon/wind en aardgas. Een relatief snelle switch van kolen naar gas wordt vooral gedreven door commerciële redenen. De huidige EU ETS prijs is optimaal voor aardgas.
- Hernieuwbare energie uit zon en wind vermindert op termijn de grote EU afhankelijkheid van geïmporteerde olie en gas. Het kan meer kleinschalig en meer gedecentraliseerd worden geproduceerd. Elektriciteit gaat een groter aandeel krijgen in de finale energievoorziening.
- China is de grote winnaar van de nu komende energietransitie. Voor een groot aantal grondstoffen voor de energietransitie en voor de fabricage van accu's en zonnepanelen heeft het land een grote voorsprong opgebouwd. Een meer actieve industriepolitiek in de EU is vereist om te voorkomen dat de EU al te zeer van China afhankelijk wordt op een aantal voor de energietransitie essentiële grondstoffen en technieken.

Geselecteerde referenties

HCSS, [Securing Critical Materials for Critical Sectors: Policy options for the Netherlands and the European Union](#).

IEA, [Projected costs of generating electricity 2020](#)

IEA, [World Energy Outlook 2020](#).

Irena, [A new world. The geopolitics of the energy transformation](#)

Lazard, [Levelised cost of energy 2020](#)

4 Kernenergie: een kostenprobleem

Kernenergie maakte in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw een snelle groei door. Dat werd niet zozeer gedreven door de wens iets tegen klimaatverandering of milieuvervuiling te doen maar door het verlangen om niet afhankelijk te zijn van olie- en gasproducenten als Saoedi-Arabië en Rusland. Frankrijk besloot tot een grootschalig programma van de bouw van kerncentrales in 1974; direct na de eerste oliecrisis. Daarnaast was er de verwachting dat fossiele brandstoffen schaars zouden worden en daarmee in prijs zouden stijgen.

Kernenergie is, met uitzondering van enkele landen waaronder Frankrijk, nergens echt dominant geworden in de stroomvoorziening. Zorgen over veiligheid (denk aan Tsjernobyl), kernafval en de verspreiding van kernwapens brachten het imago van kernenergie grote schade toe en zorgden ervoor dat de groei van kernenergie stopte rond 1990. Hoewel sindsdien de toon is veranderd blijft het beperkte draagvlak voor kernenergie in de westerse wereld een probleem.

Kernenergie valt goed te combineren met waterkracht maar laat zich minder goed combineren met variabele bronnen als zon en wind. Voor de commerciële aantrekkelijkheid van kerncentrales, met hun relatief hoge initiële kosten en lage operationele kosten, is het van groot belang is dat ze steeds op (vrijwel) volledige capaciteit kunnen draaien. Gascentrales (en dat hoeft in de toekomst geen aardgas te zijn) met een hoge flexibiliteit en relatief lage initiële kosten laten zich veel beter combineren met zon en wind. De kosten van een gascentrale worden vooral bepaald door het gasverbruik. Veel Europese landen convergeren nu dan ook naar een systeem van zon/wind gecombineerd met aardgas. Het is, althans voor de korte termijn, een voor de hand liggende keuze.

Het kernprobleem: de hoge kosten van nieuwe centrales. De grote waarde van kernenergie ligt in de opwekking van elektriciteit op een veilige manier, zonder uitstoot van broeikasgassen en met een minimaal ruimtebeslag. Het opslaan, eerst in speciale containers en op de lange termijn in geologisch stabiele lagen als klei, graniet of zout, is vanuit technisch oogpunt geen probleem. Qua veiligheid is de track record van kernenergie voor de bestaande generatie 2 centrales uitstekend. Inclusief incidenten als Tsjernobyl en Fukushima is het aantal doden per eenheid opgewekte energie vergelijkbaar aan dat van zon en wind en een aantal ordes van grootte lager dan dat van fossiele energiebronnen. Bij het huidige verbruik zijn de reserves aan Uranium goed voor ongeveer 250 jaar en is er geen noodzaak voor mijnbouwbedrijven op zoek te gaan naar nieuwe reserves. Bij hogere prijzen voor Uranium zullen reserves stijgen; uiteindelijk kunnen dan zelfs de grote hoeveelheden Uranium in graniet of zeewater in zicht komen.

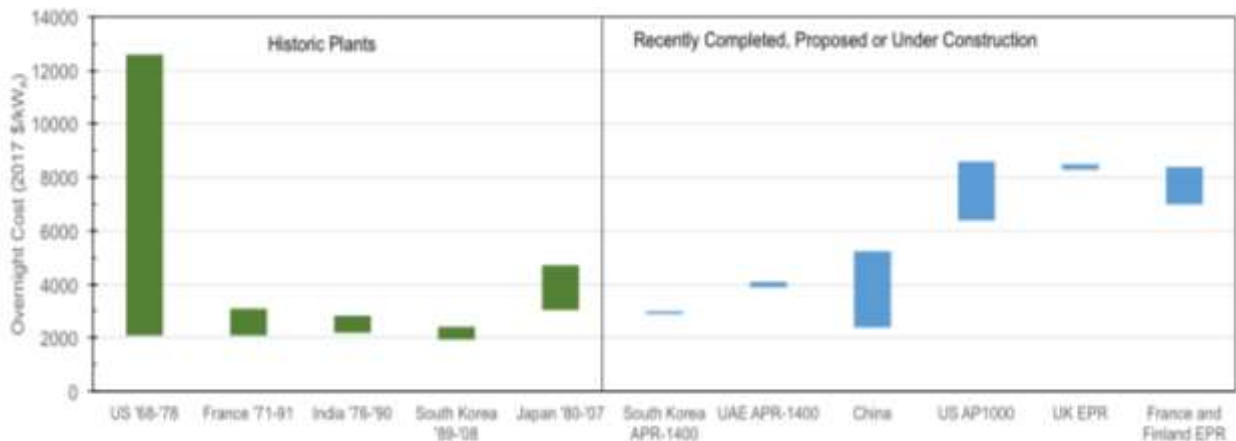
De grote uitdaging zijn de kosten van nieuwe centrales. Terwijl de kosten van elektriciteit uit zon en wind deze eeuw in snel tempo omlaag zijn gekomen zijn de

kosten van nieuwe kerncentrales gestegen. Een [analyse van het MIT](#) van de kosten van kerncentrales laat zien dat de enkele nieuwe kerncentrales die nu nog in Europa worden gebouwd ongeveer een factor 3 duurder (gecorrigeerd voor inflatie) zijn dan de centrales die in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw in Frankrijk gebouwd werden.

Uit het MIT rapport (en vergelijkbare studies van Enco, IEA en de Franse rekenkamer) kunnen een aantal redenen voor deze kostenstijging worden gedestilleerd. In het algemeen zijn de kosten van grote infrastructurele projecten in de westerse wereld toegenomen. Voor kerncentrales zijn de veiligheidseisen op een veelheid van gebieden (aardbevingen, impact van explosies of vliegtuigen, de aanwezigheid van back-up systemen) verscherpt. Met die aanscherpingen is de kans op een ernstig incident met de reactorkern gedaald van ongeveer $1E-3$ per jaar (voor de generatie 2 reactoren zoals die in de jaren 70 en 80 gebouwd werden) tot $1E-6$ per jaar voor de nu gebouwde generatie 3 reactoren (de veiligheid voor de bestaande generatie 2 reactoren is door geleidelijke aanpassingen nu wel substantieel verbeterd).

Daarnaast zijn de huidige Europese projecten de eerste projecten van een nieuw ontwerp. Uit de studie van de Franse rekenkamer naar de kostenoverschrijdingen bij de bouw van de Flamanville EPR reactor werd duidelijk hoe groot de uitdaging is om voor het eerst na meer dan 20 jaar weer een kernreactor te bouwen, met name door een verlies aan kennis, en hoe funest het is om tijdens de bouw veranderingen aan het ontwerp, hoe klein ook, te moeten incorporeren. Bij een serie van projecten, zoals recent gebouwd in de VAE, bleken de tweede tot vijfde reactor ongeveer 30-40% goedkoper dan de eerste. Onduidelijk is hoe groot verdere kostenverlagingen kunnen zijn als er tientallen reactoren in serie worden gebouwd. De Enco studie verwacht dat de kostendaling dan zal oplopen tot ruim 50%.

Vergelijkbare nieuwe kerncentrales die nu in China of Zuid-Korea worden gebouwd (of in het Midden-Oosten gebouwd worden door Chinese of Koreaanse bedrijven) zijn een ongeveer een factor 2 goedkoper dan de nieuwe centrales die in Europa of de VS worden gebouwd. Dit wordt toegeschreven aan een combinatie van lagere lonen, een beter projectmanagement en een grotere steun van de staat qua *permitting*, *site preparation* en regulering. Het lijkt erop dat dit verschil in kosten tussen Europa en de VS enerzijds en Azië anderzijds structureel is.



Kosten voor de constructie van nieuwe kerncentrales. Historische kosten voor de generatie 2 reactoren in de VS vertonen een grote range door een beperkt aantal grote kostenoverschrijdingen na het Three Miles Island incident. Bron: MIT.

Bij dergelijke kosten maakt kernenergie in landen als China een veel betere kans. In scenario's voor de toekomstige energievoorziening blijft het aandeel nucleair in de niet westerse wereld ongeveer gelijk (waarbij stroom uit kernenergie in absolute zin licht toeneemt) terwijl het in de westerse wereld verder afneemt (afhankelijk van de snelheid waarmee bestaande centrales gesloten worden). In 2030 zal China het land met de grootste nucleaire productie van elektriciteit zijn.

Nieuwe ontwikkelingen. Verschillende centrales van een nieuw generatie 3 ontwerp, zoals de eerste Franse EPR en Amerikaanse AP1000 (Westinghouse) centrales, zijn nu opgeleverd. Naast deze grote centrales is er een groeiende interesse in SMR's (*small modular reactors*) die minder initiële investering nodig hebben en perspectief bieden op standaardisatie en een meer industriële bouwwijze. Nieuwe ontwerpen zullen kerncentrales een grotere flexibiliteit gaan geven.

De Engelse regering heeft het ontwerp van de nieuwe Rolls Royce SMR mede gefinancierd en overweegt het bouwen van een eerste dergelijke SMR te steunen. Qua kosten lijken de voordelen van een meer industriële en *offsite* fabricage, en kortere bouwtijd, de kleinere schaalgrootte (ten opzichte van een veel grotere conventionele generatie 3 centrale) te compenseren (maar niet meer dan dat). Met veel lagere initiële kosten is de barrière om aan een dergelijk project te beginnen een stuk kleiner.

Traditioneel werden kerncentrales vooral gebouwd door bedrijven uit de VS, Europa en Japan. De kostenoverschrijdingen bij recente projecten hebben deze bedrijven in grote problemen gebracht. Westinghouse (indertijd onderdeel van Toshiba) ging in 2017 failliet en in Europa werd Areva in 2016 gered door de Franse staat. Het verlies aan kennis betreffende het bouwen van nieuwe centrales dreigt op veel plaatsen in de westerse wereld structureel te worden.

De plaats van de westerse bedrijven wordt nu ingenomen door bedrijven uit China, Zuid-Korea en Rusland. Sommige van deze nieuwe bedrijven zijn bereid centrales niet alleen te bouwen maar deze ook te opereren (inclusief de terugname van nucleair afval).

Terwijl dit wereldwijd een meer competitieve industrie oplevert bemoeilijkt dit het bouwen van nieuwe centrales in West Europa en de VS; het hier bouwen van een nieuwe centrale door een Russisch of Chinees bedrijf is geen realistische optie. Voor landen in Oost Europa als Bulgarije kan het baseren van de elektriciteitsvoorziening op door Rusland geleverde kerncentrales een groot geopolitiek risico betekenen.

Toekomst van kernenergie. Systeemanalyses laten nu zien dat nieuwe kernenergie, voor westerse landen zonder een groot bestaand aandeel nucleair, door de hoge kosten van nieuwe kerncentrales geen aantrekkelijke optie meer is vanuit financieel oogpunt. Dat geldt ook, zij het in mindere mate, als de financieringskosten voor nieuwe kerncentrales omlaag worden gebracht naar het relatief lage niveau van zon en wind. Het niet meenemen van nieuwe kernenergie als optie maakt, in analyses van IPCC, TNO en Berenschot/Kalavasta het bereiken van een klimaatneutraal energiesysteem niet moeilijker of duurder. Voor Nederland is het weglaten van CCS (*Carbon Capture and Storage*) of biomassa als optie een veel groter gemis dan het weglaten van nieuwe kernenergie. Dat betekent niet dat nieuwe kernenergie geen serieuze optie is. Kernenergie heeft voordelen qua veiligheid, ruimtebeslag en leveringszekerheid ten opzichte van sommige alternatieven. Of die opwegen tegen de financiële nadelen is een politieke keuze.

Nieuwe kernenergie is naar onze inschatting ongeveer een factor 2 te duur om aantrekkelijk te zijn in Nederland. Naarmate wij verder de nu ingeslagen weg zullen gaan, met zon/wind als basiselement van onze stroomvoorziening, zal het ook moeilijker worden kernenergie nog in te passen. Grotere Europese landen als Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk worstelen al met nieuwe kernenergie. Of het in deze landen lukt om in serie nieuwe kerncentrales te gaan bouwen is onzeker. Het vereist grote en langdurige staatssteun en het is onduidelijk of het beperkte draagvlak voor kernenergie dit toestaat.

Voor Nederland is het raadzaam de bestaande centrale in Borssele open te houden, de kennis op het gebied van kernenergie op peil te houden en er rekening mee te houden dat nieuwe kernenergie in landen als Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk door grote kostendalingen wel van de grond komt (en dat Nederland als *smart follower* dan later ooit kan instappen).

Kernboodschap Kernenergie

- Kernenergie is een veilige manier van stroomvoorziening met een vergelijkbare kleine uitstoot van broeikasgassen als zon en wind (over de gehele keten). Het minimale ruimtebeslag van kernenergie is een substantieel voordeel.
- De kosten van nieuwe kerncentrales zijn, met name in Europa en de VS, substantieel gestegen. Als er op kosten wordt geoptimaliseerd zullen er nu geen nieuwe kerncentrales gebouwd worden in Nederland (ook niet als de kosten voor financiering van nieuwe kerncentrales dezelfde zijn als de lage financieringskosten voor zon en wind).
- Het zwaartepunt van de nucleaire industrie verschuift naar Azië (met name China en Zuid-Korea) waar, ten gevolge van lagere kosten, er wel nieuwe centrales in grotere aantallen worden gebouwd. Ook hier lijkt kernenergie echter geen dominante plek in de elektriciteitsproductie te gaan innemen.
- Voor Nederland is het raadzaam de kennis op het gebied van kernenergie op peil te houden en, mocht nieuwe kernenergie in landen als Frankrijk of het Verenigd Koninkrijk wel grote kostendalingen realiseren, mogelijk ooit later in te stappen.

Geselecteerde referenties

Berenschot, Kalavasta, Systemeffecten van nucleaire centrales in klimaatneutrale energiescenario's 2050

Cour des comptes, La filière EPR (rapport van de Franse rekenkamer over de bouw van de Flamanville EPR reactor)

ENCO, Rapport over de mogelijke rol van kernenergie in de Nederlandse energiemix van de toekomst.

IEA, Nuclear power in a clean energy system.

MIT, The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World.

TNO, Scenario's voor een klimaatneutraal energiesysteem

5 Waterstof: decarbonisatie van die gedeelten van het energiesysteem waar elektriciteit niet bij komt

Het aandeel van elektriciteit in de finale energievoorziening mag dan toenemen, er zijn veel activiteiten die men niet kan elektrificeren of waarvoor elektriciteit niet de optimale keuze is qua kosten, leveringszekerheid en milieubelasting. Scheepvaart en vliegverkeer dat niet over korte afstanden gaat vallen hier onder. Datzelfde geldt voor warmtevoorziening; speciaal voor industriële hoge temperaturen. Ook dient er een betrouwbaar back-up systeem te zijn voor de variabele elektriciteitsproductie uit zon en wind. Dit alles impliceert de noodzaak voor energiedragers met een hoge energiedichtheid die makkelijk kunnen worden opgeslagen en getransporteerd. Waterstof is hiervoor de belangrijkste kandidaat in de EU Green Deal.

Er zijn vele voordelen, en nadelen, van waterstof. Het kan worden gebruikt om elektriciteit of warmte te genereren zonder uitstoot van broeikasgassen. Het kan zonder uitstoot van broeikasgassen als groene waterstof overal geproduceerd worden waar *zero carbon* elektriciteit en water voorhanden is. Het kan met een lage uitstoot van broeikasgassen als blauwe waterstof overal worden geproduceerd waar aardgas en water voorhanden is en de mogelijkheid bestaat om CO₂ te gebruiken of in aquifers of lege gasvelden te injecteren. Het heeft een energiedichtheid van dezelfde orde van grootte als fossiele brandstoffen (hoger per eenheid van gewicht en lager per eenheid van volume). Het kan in vergelijkbare hoeveelheden als fossiele brandstoffen worden getransporteerd of opgeslagen (maar dit brengt wel meer kosten met zich mee). Het kan worden omgezet in elektriciteit (en vice versa) maar dit gebeurt met een beperkte efficiëntie.

Zonder een substantiële beprijzing van broeikasgassen zal groene waterstof het niet redden in concurrentie met olie en gas en zou het gebruik van waterstof beperkt blijven tot het huidige gebruik: dat als grondstof in de chemische industrie, bij voorbeeld voor het maken van kunstmest en bij raffinage.

Als grondstof voor de chemische industrie valt waterstof moeilijk te vervangen. Als energiedrager in een nieuw energiesysteem is het een van de opties en moet het een plaats in dat nieuwe systeem veroveren. Voor de opslag van energie speelt dat de efficiëntie van het gehele traject (elektriciteit – waterstof – elektriciteit) slechts ongeveer 50% is. Voor transport is er een efficiëntie van ongeveer 60% (wat de *full cycle* efficiëntie voor transport met groene waterstof op 30% brengt); beduidend lager dan voor elektromotors. Voor warmte zijn de kosten relatief hoog en is een gebruik van het bestaande gasnetwerk, tenzij men slechts een klein percentage waterstof bij aardgas bijmengt, minder gemakkelijk dan soms wordt gedacht.

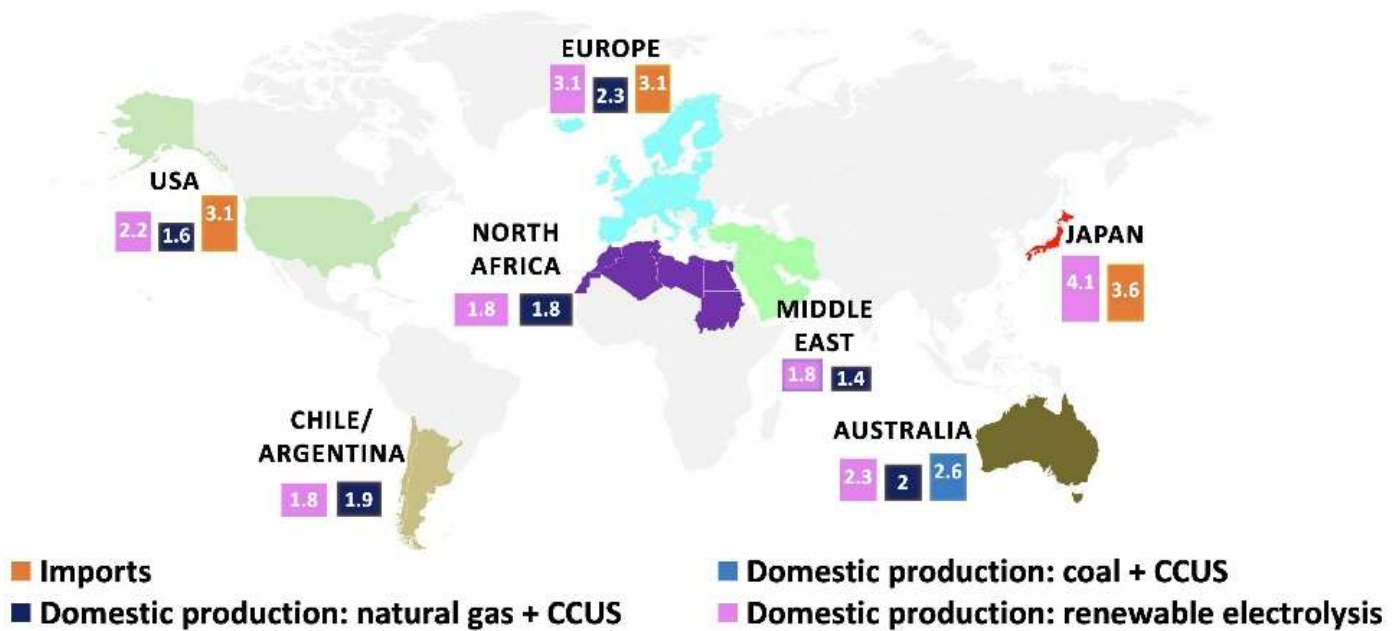
De rol van waterstof is minder goed uitgekristalliseerd dan die van zon en wind. Waterstof zal in het nieuwe energiesysteem dienen voor de decarbonisatie van die gedeelten van het systeem waar *zero carbon* elektriciteit (en accu's, flexibele vraag, overcapaciteit van zon en wind) geen betere optie is. Gezien de onzekerheid van

toekomstige kostenontwikkelingen (elektrolyzers, accu's, CCS) is de rol van waterstof in onze toekomstige energievoorziening minder goed uitgekristalliseerd dan de dominante rol van zon en wind. Voor verschillende scenario's varieert het aandeel waterstof in de finale globale energievoorziening in 2050 in hoge mate: van 5 tot ongeveer 30%. Een aantal vragen dienen zich aan:

- Wat wordt er geëlektrificeerd, en wat niet? Voor de productie van staal is dit nog niet duidelijk. Personenauto's zullen elektrisch zijn maar voor zware vrachtauto's liggen de opties open. Intercontinentale scheepvaart of vliegverkeer zullen aan waterstof (of afgeleides hiervan) zijn; vliegverkeer over korte afstanden en veerboten zullen waarschijnlijk elektrisch zijn en daartussen ligt een grote grijze zone. Airbus heeft aangegeven het ontwerp van een nieuwe generatie vliegtuigen op waterstof te baseren.

- In hoeverre komt blauwe waterstof van de grond? Bloomberg verwacht dat groene waterstof al in 2030 vergelijkbare kosten heeft als blauwe waterstof. De IEA verwacht dat dit niet voor 2050 het geval zal zijn. CCS is als techniek niet onomstreden. Met blauwe waterstof is het moeilijker de laatste stap te zetten van *low carbon* naar *zero carbon* hoewel het genereren van waterstof uit aardgas via pyrolyse (ook wel aangeduid als turquoise waterstof) een stap voorwaarts kan zijn.

- In hoeverre komt er transport voor waterstof over grote afstanden van de grond, vergelijkbaar zoals dat nu voor LNG het geval is? Schattingen voor het omslagpunt voor transport per schip vs. pijpleidingtransport variëren tussen 1500 en 4000 km. Uiteindelijk convergeert een systeem naar de meest goedkope variant (binnen zekere wensen qua bv leveringszekerheid). Het is niet uitgesloten dat het transport van waterstof, zeker in eerste instantie, meer op nationaal of Europees niveau zal plaatsvinden. Voor gas heeft de ontwikkeling van internationaal transport via LNG decennia lang geduurd en voor waterstof lijkt dit een nog grotere opgave te zijn. Met alle onzekerheden die er nu zijn is de inschatting van de IEA dat het voor landen als de VS en Rusland in 2050 commercieel aantrekkelijker zal zijn om waterstof zelf te maken (met name blauwe waterstof) en dat Japan het enige grote land is waarvoor import commercieel aantrekkelijker zal zijn. Europa lijkt althans voor de lange termijn op lokaal geproduceerde groene waterstof in te zetten.



Lange termijn (2050) schatting voor de kosten van waterstof (in \$/kg). Bron: van de Graaf, IEA.

De grote waterstof ambities van de EU. De in 2020 gepubliceerde EU waterstof strategie is een belangrijk onderdeel van de EU *Green Deal*. De nadruk ligt hierbij op groene waterstof. Het plan heeft de ambitie de EU elektrolyser capaciteit in 2030 te vergroten tot 40 GW (ter vergelijking: de huidige capaciteit is 0.06 GW) tegen geschatte kosten van 24 tot 42 miljard Euro. De kosten voor de benodigde toename van de capaciteit van de elektriciteitsproductie uit zon en wind zijn een aantal keren groter. De verwachte capaciteit in 2050 ligt zelfs een orde van grootte hoger.

De EU heeft de ambitie dat PEM (*Proton Exchange Membrane*) elektrolyzers, met een flexibele capaciteit en hoge efficiëntie, gevoed door variabele hernieuwbare stroom, hierbij een centrale rol zullen spelen. In de praktijk lijkt het waarschijnlijker dat minder flexibele alkaline elektrolyzers, die nu al in grote aantallen in China gebouwd worden, een niet in te halen kostenvoorsprong hebben. Elektrolyzers alleen te laten werken op de niet benodigde pieken van hernieuwbare energie lijkt vooralsnog commercieel niet haalbaar.

Hydrogen hubs zijn het laaghangend fruit. Waterstof zal niet op grote schaal de rol van aardgas overnemen bij de verwarming van de gebouwde omgeving. Naast scheepvaart en vliegverkeer lijkt een grootschalige rol van waterstof veeleer weggelegd voor de industriële omgeving. Het zijn de hubs van havens, chemie, industrie en raffinaderijen met een reeds bestaande vraag voor waterstof waar waterstof op de korte en middellange termijn de meeste kans maakt.

Een project als H-Vision in het Rotterdamse havengebied biedt uitzicht op een relatief snelle en substantiële vermindering van de CO₂ uitstoot. Een eerste project, een fabriek voor het genereren van blauwe waterstof, gecombineerd met de injectie van CO₂ in lege gasvelden offshore, zou in 2025 voltooid kunnen zijn. Blauwe waterstof en CCS sluiten

naar onze inschatting beter aan bij de huidige sterke punten van de Nederlandse economie dan de productie van groene waterstof met elektrolyzers. Voor CCS heeft Nederland de infrastructuur en ligging om op korte termijn een substantiële rol te spelen. Voor de maakindustrie van elektrolyzers heeft China een grote voorsprong genomen. Zelfs voor een land als Duitsland is dat een grote uitdaging; laat staan voor Nederland.

Met het in eerste instantie concentreren op blauwe waterstof, voorlopig nog substantieel goedkoper dan groene waterstof, kan een grotere waterstof economie en infrastructuur van de grond komen. Daarnaast kan het gebruik en transport van CO₂ op gang gebracht worden. Injectie van CO₂ in de ondergrond hoeft niet beperkt te zijn tot lege gasvelden maar kan ook plaats vinden in aquifers – zoals in Noorwegen bij het Sleipner project al 20 jaar gebeurt. Vrijwel alle scenario's waarbij het akkoord van Parijs gehaald wordt laten een substantiële rol zien voor CCS; wij kunnen ons niet permitteren CCS stiefmoederlijk te behandelen in de energietransitie.

Geopolitieke aspecten. Er zullen een aantal regio's ontstaan met de laagste productiekosten voor waterstof. Voor groene waterstof zijn dat bv Noord Afrika en Australië waar waterstof uit zonne-energie wereldwijd waarschijnlijk de laagste productiekosten zal hebben. Projecten in Saoedi-Arabië en de Golf staten concentreren zich nu nog vooral op elektriciteit uit zon maar er is een groot potentieel dit te verbinden aan waterstof. In Saoedi-Arabië is het NEOM project aangekondigd dat vanaf 2025 ammonia voor de export wil gaan produceren. Het is voorstelbaar dat landen met grote gasreserves en lage productie kosten zoals Qatar en Rusland hun gasreserves zullen proberen te gelde te maken via het produceren van blauwe waterstof.

Het staat niet vast dat deze strategieën succesvol zullen zijn. Het is geen gegeven dat groene waterstof uit Noord Afrika na transportkosten nog steeds commercieel aantrekkelijker zal zijn dan lokaal in NW Europa geproduceerde waterstof. Ook als dat wel het geval is kunnen landen in NW Europa er voor kiezen waterstof te importeren uit mediterrane landen in de EU in plaats van Noord Afrika. Met name voor pijpleidingen door de Sahara lijkt een kostenvoordeel (waarvan het twijfelachtig is of het überhaupt gerealiseerd gaat worden) niet op te wegen tegen het geopolitieke risico.

Voor blauwe waterstof zal het voor een land als Rusland, met substantiële methaanlekkages in het huidige gas netwerk, een opgave zijn om de totale netto *carbon footprint* over de gehele keten ook maar in de buurt te brengen van die van groene waterstof.

Kernboodschap waterstof

- De toekomstige rol van waterstof is de decarbonisatie van die gedeelten van het energiesysteem waar elektriciteit niet bij komt. Toekomstige kostendalingen van waterstof, en de alternatieven voor waterstof, zijn moeilijk te voorspellen. Daarmee is het toekomstig marktaandeel van waterstof uitermate onzeker. Voor verschillende scenario's varieert het aandeel waterstof in de finale globale energievoorziening in 2050 in hoge mate: van 5 tot ongeveer 30%.
- Naast scheepvaart en luchtvaart over langere afstanden is de meest voor de hand liggende rol van waterstof er een in de industrie. CCS en het produceren van blauwe waterstof in een industriële cluster als het Rotterdamse havengebied zijn een aantrekkelijke manier om de waterstof economie en infrastructuur van de grond te laten komen. Het niet mondiaal toepassen van CCS vermindert de kans dat de doelstellingen van Parijs gehaald zullen worden.
- De toekomstige rol van waterstof zal wereldwijd zeer variëren. Grootschalige import van waterstof lijkt de beste kans te maken in Japan. Grootschalige productie van groene waterstof lijkt de beste kans te maken in de EU (ook om politieke redenen) en in gebieden met de laagste kosten van groene waterstof uit elektriciteit opgewekt door zonne-energie. Grootschalige productie van blauwe waterstof lijkt een reële optie voor landen als Rusland en de VS.

Geselecteerde referenties

DNV GL, [Hydrogen in the electricity value chain](#)

EU, [A hydrogen strategy for a climate neutral Europe](#)

Gasunie, Tennet, [Infrastructure outlook for 2050](#)

IEA, [The future of hydrogen](#)

Liebreich, M. (Bloomberg), Separating hype from hydrogen: the [supply side](#) and the [demand side](#)

Van de Graaf, Overland, Scholten en Westphal, The new oil? [The geopolitics and international governance of hydrogen](#)

6 Afsluitende opmerkingen

Toenemende elektrificatie en elektriciteit die merendeels wordt opgewekt uit hernieuwbare bronnen als zon en wind leiden tot meer lokaal geproduceerde energie. Daarmee zal de afhankelijkheid van OPEC en Rusland op het gebied van olie en gas op den duur verdwijnen. Dat betekent niet dat geopolitieke thema's geen rol meer spelen in de wereld van energie.

Er zijn drie zaken die er voor ons uitspringen:

- de grote en toenemende importafhankelijkheid voor de EU op het gebied van olie en gas in de komende twee decennia.
- de dominante positie van China op het gebied van grondstoffen en technieken voor een nieuw energiesysteem.
- de olie- en gas producerende landen die zich niet, of slechts aarzelend, aansluiten bij de energietransitie.

Komende twee decennia zal de EU nog steeds in hoge mate afhankelijk zijn van olie en gas. De piek in de olie- en gasvraag mag voor Europa dan achter de rug liggen; de piek in de importafhankelijkheid van olie en gas ligt nog voor ons. Ook in de toekomst zullen olieprijszinnen volatiel blijven en is een oliecrisis mogelijk; bij voorbeeld als lage olieprijszinnen leiden tot een toenemende instabiliteit in het Midden-Oosten.

Het marktaandeel van Rusland in de EU aardgasconsumptie steeg in 2019 tot een recordhoogte van 39%. Met een afnemende lokale productie en een op peil blijvende consumptie (door het sluiten van kolen- en kerncentrales) zal dit aandeel verder toenemen. Vooralsnog biedt een ruime aanvoer van LNG hier een tegenwicht. Er is geen garantie dat dit zo zal blijven en het zich bij de gasinkoop volledig verlaten op *spot markets* brengt een zeker risico met zich mee.

China lijkt de grote winnaar te worden van de nu komende energietransitie. Voor een groot aantal grondstoffen en technieken voor de energietransitie heeft het land dankzij een consistente langetermijnstrategie een substantiële voorsprong opgebouwd. Een meer actieve industriepolitiek in de EU is vereist om te voorkomen dat de EU al te zeer van China afhankelijk wordt op een aantal voor de energietransitie essentiële grondstoffen en technieken.

Belangrijke olieproducenten als Saoedi-Arabië en Irak boeken net als een belangrijke gasproducent als Rusland weinig vooruitgang in het overschakelen op een nieuw verdienmodel. Daarbij lijken zowel onmacht als onwil een rol te spelen. De Russische nationale toezegging aan het verdrag van Parijs is vooralsnog zonder enige betekenis. Terwijl investeringen van westerse oliebedrijven in het zoeken naar nieuwe olie- en gasvelden het afgelopen decennium halveerden namen de upstream investeringen van de Russische olie- en gasindustrie in die periode met een factor 3 toe. Rusland is een van de weinige landen waar klimaatverandering ook significante voordelen heeft.

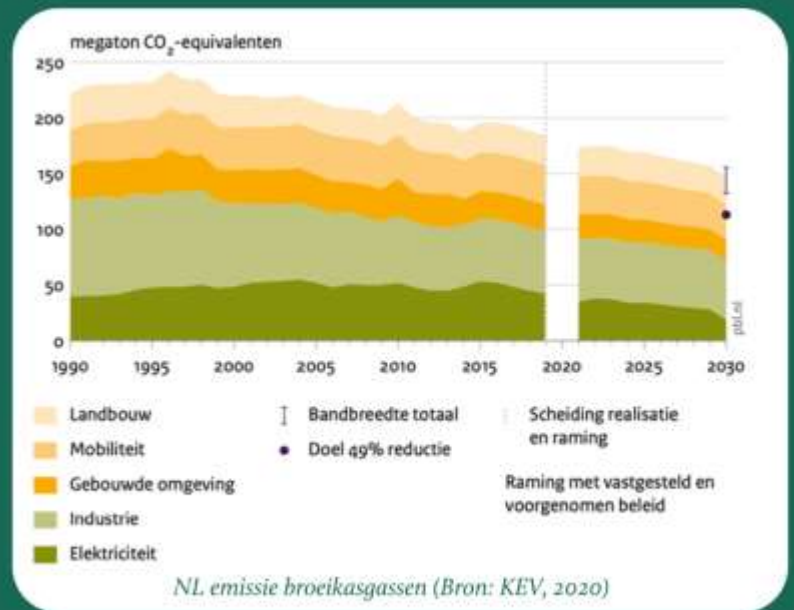
Wij moeten ons tevens voorbereiden op het niet halen van de doelstellingen van Parijs. Een late en meer chaotische uitstap uit fossiele brandstoffen, tijdens een periode waarin kantelpunten voor klimaatverandering plotseling bereikt worden, wordt dan een reëel scenario. Dat geldt ook voor het toepassen van technieken als *geo-engineering*. In 1965, bij de eerste briefing van een Amerikaanse president over klimaatverandering, kwam *geo-engineering* uitgebreid aan de orde. Sinds die tijd is het een taboe onderwerp in de klimaatwetenschap en een onbespreekbare optie voor beleidsmakers. Dat zal het mogelijk over 10 of 20 jaar niet meer zijn.

Nederland Energieland

Feiten & Cijfers

(Bron: KEV, 2020 & IEA, 2020)

- Nederland heeft een goed ontwikkelde energiesector en is zowel een belangrijke exporteur als importeur van energie
- De strategische ligging van het land maakt het een belangrijke doorvoer- en handelshub voor aardgas, olie, elektriciteit en steenkool
- Nederland heeft een aanzienlijke aardgasproductie en een grote olieraffinage- en chemische industrie
- De openheid van de Nederlandse markt en het grote aandeel van de handel hebben bijgedragen aan de economische groei, maar maken Nederland ook kwetsbaar voor ontwikkelingen op de mondiale energiemarkten



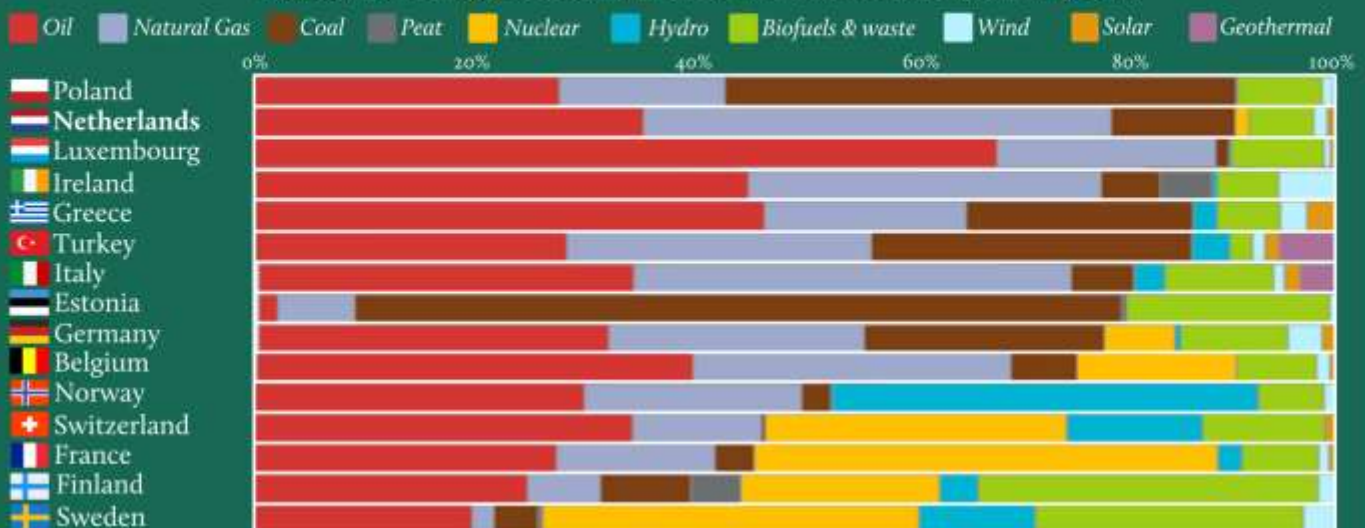
4% De Nederlandse energiesector vertegenwoordigde in 2018/19 ongeveer 4% van het bbp

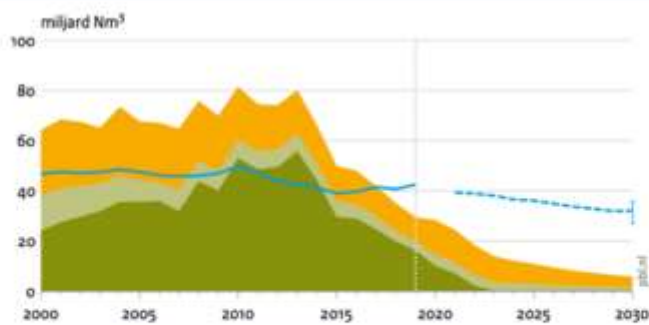
90% In 2018/19 dekten fossiele brandstoffen (voornamelijk aardgas en olie) 90% van de totale primaire energievoorziening

NL Beleid

- Het Nederlandse energie- en klimaatbeleid is gericht op broeikasgasemissiereducties
- Nederland streeft naar een snelle energietransitie die de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen vermindert en tegelijkertijd de economische groei stimuleert
- De Klimaatwet 2019 heeft als doelstelling om de uitstoot van broeikasgassen tegen 2030 met 49% te verminderen en 95% in 2050 (ten opzichte van het niveau van 1990)
- In het Klimaatakkoord 2019 worden specifieke beleidsmaatregelen en ondersteunende maatregelen vastgelegd om de emissiereductiedoelstellingen voor 2030 en 2050 te halen
- Het Nederlandse tempo van emissiereductie loopt momenteel achter bij het Europese gemiddelde

Totale primaire energievoorziening in enkele IEA-lidstaten, 2018 (Bron: IEA, 2020)



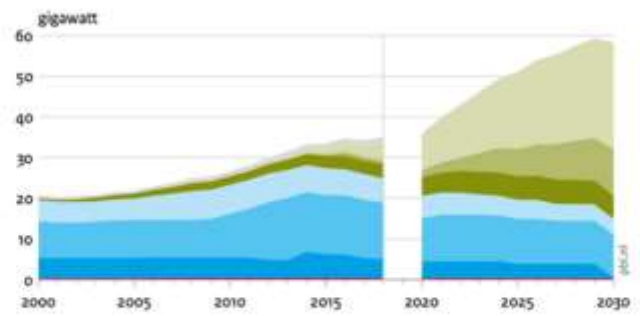


Productie
 Op zee
 Overig op land
 Groningen

Binnenlandse vraag
 Realisatie
 Raming
 Bandbreedte

Scheiding realisatie en raming
 Raming met vastgesteld en voorgenoemd beleid

NL aardgasproductie en -vraag (Bron: KEV, 2020)



Overig
 Zon
 Wind op zee
 Wind op land
 Aardgas decentrai
 Aardgas centraal
 Steenkool
 Nuclear

Scheiding realisatie en raming

NL opgesteld elektrisch vermogen (Bron: KEV, 2020)

Concurrentiepositie

- Het concurrentievermogen van de Nederlandse industrie is afhankelijk van betaalbare en veilige energievoorziening
- Nederland wordt steeds afhankelijker van de import van aardgas; in 2025 zal de nationale productie minder zijn dan een kwart van het verbruik
- De Nederlandse elektriciteitsmarkt is sterk geïntegreerd in de Europese markt; verhoudingen tussen prijzen van kolen, aardgas, emissierechten, technologische ontwikkelingen en beleidsontwikkelingen (vooral in de omliggende landen) zijn van groot belang
- De concurrentiepositie van de kolen- en gascentrales in Nederland hangt onder andere af van de brandstof- en CO₂-prijzen, de beschikbare capaciteit in andere landen én van het weer dat de productie van elektriciteit uit wind, zon en waterkracht bepaalt

EU Beleid

- Het Europese Klimaatplan 2030 (onderdeel van de Europese Green Deal) heeft als doel de reductie van broeikasgasemissies in 2030 te verhogen naar 55% ten opzichte van 1990. Dit plan is onderdeel van de Europese Klimaatwet dat 'klimaatneutraliteit in 2050' nastreeft
- EU aandachtsvelden en strategieën:
 - energie-efficiëntie;
 - een elektriciteitsstelsel gedomineerd door hernieuwbare bronnen;
 - de toepassing van hernieuwbare en koolstofarme brandstoffen (waaronder waterstof) vooral in moeilijk koolstofvrij te maken sectoren;
 - het voorbereiden van energiemarkten op een koolstofvrije energievoorziening en op decentrale opwekking;
 - een geïntegreerde energie-infrastructuur (voor gassen en elektriciteit);
 - de digitalisering van het energiesysteem;
 - een renovatiegolf in de gebouwde omgeving;
 - offshore hernieuwbare energie;
 - duurzame en slimme mobiliteit;
 - een innovatiekader dat deze ontwikkeling kan steunen.

