



VISIE VERGROENEN GASCENTRALES

Van fossiel gas naar groene waterstof

oktober 2020

NATUUR
& MILIEU

SAMENVATTING

Natuur & Milieu wil in 2040 een 100% klimaatneutrale elektriciteitsvoorziening, om zo bij te dragen aan het klimaatakkoord van Parijs. Dit betekent dat in 2040 alle fossiele elektriciteitsproductie afgebouwd moet zijn. Ook de productie van elektriciteit uit aardgas. In dit rapport verkent Natuur & Milieu de rol van gascentrales in het toekomstige Nederlandse elektriciteitssysteem en hoe het aandeel aardgas in dit elektriciteitssysteem afgebouwd kan worden.

AFHANKELIJKHEID VAN AARDGAS

Aardgascentrales hebben nu een belangrijke rol in het Nederlandse elektriciteits-systeem. Ruim 58% van onze elektriciteit komt uit aardgas en dit aandeel wordt groter, onder andere door het uitfaseren van kolenstroom. Aardgas is schoner en minder belastend voor het klimaat dan kolen. Echter, het is nog steeds ook een fossiele brandstof.

Importgas uit bijvoorbeeld Rusland of Amerika geeft daarnaast per kubieke meter over de hele keten (winning, transport en verbranding) zo'n 30% meer uitstoot dan gas uit Nederlandse velden. Toepassing van dergelijk aardgas is voor het klimaat maar een beperkte stap vooruit ten opzichte van kolencentrales. Welk deel van het importgas exact uit bijvoorbeeld Rusland komt is onduidelijk omdat een goede track & trace zoals nu met het GvO-systeem voor elektriciteit gebeurt niet aanwezig is. Zeker is dat geïmporteerd aardgas een niet verwaarloosbare klimaatimpact heeft en dus niet wenselijk is voor lange termijn.

Om de doelen van het klimaatakkoord van Parijs te halen zal het aandeel elektriciteit opgewekt uit aardgas daarom snel naar beneden moeten, ten gunste van meer duurzame alternatieven. Deze alternatieven moeten ontwikkeld worden.

WATERSTOF ALS ALTERNATIEF VOOR FLEXIBEL REGELBAAR VERMOGEN

Op basis van recente studies¹ verwacht Natuur & Milieu dat in 2040 zal de elektriciteitsvraag gestegen zal zijn van ongeveer 110 TWh (400PJ) nu, naar ongeveer 220 TWh (800 PJ) in 2040. Deze elektriciteitsvraag kan maar ten dele direct met elektriciteit uit zon en wind worden geleverd. Tijdens langere periodes wanneer de zon niet schijnt en de wind niet waait zal er ook vermogen nodig zijn om bij te springen. Dit vermogen noemen we flexibel regelbaar vermogen. Gascentrales zijn hier zeer geschikt voor vanwege hun lage vaste kosten, dit betekent dat gascentrales niet zeer veel draaiuren in een jaar nodig hebben om winstgevend te kunnen zijn. Wel moet de brandstof van gascentrales dan vergroenen om klimaatdoelstellingen te halen. Uit eerste verkenningen blijkt dat waterstof is voor lange termijn flexibel regelbaar vermogen² een zeer goede kosteneffectieve optie is³. Groen gas wordt als minder goede optie gezien. De verwachte toekomstige beschikbaarheid⁴ en de (toekomstige) vraag van andere sectoren is hiervoor de beperkende factor.

GASCENTRALES SLUITEN IS NIET NODIG, OMBOUWEN WEL

Het ombouwen van gascentrales naar waterstof is technisch geen grote uitdaging. De uitdaging zit vooral in de beschikbaarheid van groene waterstof en de kosten ten opzichte van het fossiele alternatief. Er is nog sterke concurrentie is van STEG (SToom En Gasturbine)-centrales op aardgas. Om het flexibel regelbaar vermogen CO₂-vrij in te richten is er nog aanvullend beleid nodig.

Naast dat bestaande gascentrales omgebouwd zullen moeten worden naar waterstof zal het vermogen aan gascentrales moeten groeien om aan de benodigde vraag voor flexibel regelbaar vermogen te voldoen. Deze nieuwe centrales kunnen zo ingepast worden dat ze in de buurt zijn van de waterstofbackbone (toekomstig waterstofgasnet

¹ Berenschot en Kalavasta 2020, figuur 5, p. 37

² seizoenbalans en tekorten van een dag of meer

³ CE Delft 2020

⁴ Routekaart Nationale Biograndstoffen 2020

van Gasunie) en in de buurt zijn van warmtenetten zodat de (rest)warmte ook nuttig ingezet kan worden als één van de duurzame bronnen die het warmtenet voedt. Het zou onderzocht moeten worden of kleine (<15 MW) decentrale Warmte-Kracht-Koppeling (WKK) centrales in de buurt van warmtenetten voor de gebouwde omgeving beter passen in het energiesysteem dan grote centrales op afgelegen industriegebied (Maasvlakte). WKK's zijn flexibel in de verhouding tussen warmte en elektriciteit die ze leveren. Hierdoor kunnen ze zowel voor piekmomenten in de warmtevraag als piekmomenten in de elektriciteitsvraag bijspringen. Ze zullen dus een deel van de tijd primair warmte kunnen leveren en een deel van de tijd primair elektriciteit. Deels zal deze vraag naar warmte en elektriciteit ook overlappen aangezien bijvoorbeeld in de winter, met name in de ochtend en avond, extra behoefte is aan zowel elektriciteit en warmte in de gebouwde omgeving.

VRAAG GROENE WATERSTOF EN OPSLAG

Om het flexibel regelbaar vermogen CO₂-vrij met behulp van deze gascentrales te leveren is veel groene waterstof nodig. In 2030 waarschijnlijk al 137 PJ (zie paragraaf 4.5). In 2040 nog meer. Deze waterstof kan niet allemaal in Nederland opgewekt worden, dus import is nodig. De verwachting van Natuur & Milieu is dat in 2030 minimaal 72 PJ aan groene waterstof geïmporteerd moet worden om aan de klimaatdoelen van de elektriciteitssector te voldoen. Dit loopt naar schatting op naar orde grootte 500 PJ in 2040 waarbij ook de waterstofbehoefte van de andere sectoren is meegenomen⁵. Dergelijke hoeveelheden import is een grote opgave, maar niet onmogelijk als we nu hierop gaan voorsorteren. Ter vergelijking; Nederland importeerde in 2019 meer dan 1 miljoen vaten olie per dag⁶. Dit komt neer op ruim 2200 PJ per jaar.

Tot slot is er ook opslagruimte nodig voor groene waterstof, om op de momenten van behoefte te kunnen leveren. Naar schatting zal de hoeveelheid opslag 58 tot 240 TWh bedragen. Momenteel is in de huidige ondergrondse aardgasopslag ruimte voor zo'n 130 TWh.

⁵ Schatting op basis scenario's Berenschot en Kalavasta 2020: Bandbreedte 80 PJ tot 1000 PJ.

⁶ CIA World Factbook 2019

AANBEVELINGEN

Uit het voorgaande blijkt dat gascentrales een belangrijke rol kunnen spelen in het toekomstige Nederlandse energiesysteem. Echter blijkt ook dat deze rol niet vanzelf ingevuld gaat worden. Belemmeringen op het gebied van de businesscase en beschikbaarheid van groene waterstof dreigen er toe te leiden dat de klimaatdoelen uit het zicht verdwijnen. Om ervoor te zorgen dat gascentrales optimaal ingezet kunnen worden in de transitie van het Nederlandse energiesysteem naar klimaatneutraal doet Natuur & Milieu de volgende aanbevelingen aan de Rijksoverheid:

- Toename hernieuwbare elektriciteitsopwekking moet worden gewaarborgd, een deel hiervan is benodigd voor het voorzien van de waterstofvraag. Additioneel elektrolysevermogen moet bijvoorbeeld gekoppeld worden met een additionele opgave voor offshore wind.
- Zich laten bewijzen en opschalen techniek voor productie groene waterstof in Nederland door het ontwikkelen van een passend stimulerend instrumentarium. Onderdeel hiervan kan een goede subsidieregeling voor investeringen in elektrolyse zijn, dan wel een regeling voor het afdekken van de onrendabele top.
- Ontwikkel een importmarkt voor groene waterstof. De overheid zou hier een rol kunnen spelen door:
 - Het stimuleren van opslag- en overslagfaciliteiten in de Nederlandse havens
 - Tijdens handelsmissies naar landen die een goede positie hebben om waterstof exporteur te worden het belang van waterstof voor het toekomstige mondiale energiesysteem benadrukken.
 - Als overheid strategische reserves waterstof inkopen om de markt op gang te helpen en de energiezekerheid te vergroten.
- Verplicht producenten om op een Europees niveau een oplopend aandeel CO₂-vrij flexibel regelbaar vermogen beschikbaar te hebben naast hun fossiele flexibel regelbaar vermogen, doormiddel van normering.
- Verhoog, idealiter op Europees niveau middels het ETS, de CO₂-prijs voor de elektriciteitssector en stimuleer de inzet van groene waterstof zodanig dat aardgas in 2030 duurder is dan groene waterstof.
- Onderzoek de bouw van nieuwe decentrale WKK's op waterstof die elektriciteit en (rest)warmte leveren en neem dit mee in voorbereiding op toekomstige ruimtelijke ordeningbesluitvorming (structuurvisies en regionale energie strategieën 2.0).

- Doe onderzoek naar de mogelijkheid tot opslag van waterstof in zoutcavernes en lege gasvelden en zorg dat de opslagcapaciteit tijdig ontwikkeld wordt.
- Er moet voorkomen worden dat er waterstof uit kolenstroom gemengd wordt met groene waterstof. Er moet gewaarborgd zijn dat de herkomst en daarmee ook duurzaamheid van waterstof inzichtelijk blijft. Gedacht kan worden aan een systeem van GvO's of andere certificaten.
- In de transitieperiode waarin aardgas nog een grote rol heeft zou ook de transparantie in de aardgasketen vergroot kunnen worden zodat gestuurd kan worden op de inzet van aardgas met het laagste klimaateffect.

INHOUD

Samenvatting	2
1. Inleiding	6
2. Overzicht huidige situatie	7
2.1. Opgesteld vermogen & aandeel elektriciteitsvoorziening	7
2.2. Huidige eigenaren gascentrales	9
2.3. Types gas en herkomst	9
2.4. Klimaatimpact gascentrales	10
3. Verwachte ontwikkelingen	11
3.1. Opgesteld vermogen en elektriciteitsvraag in business as usual	11
3.2. Flexibel regelbaar vermogen en gascentrales in business as usual	12
3.3. Strategieën grote bedrijven	12
4. Gewenste ontwikkelingen	13
4.1. CO ₂ -vrije technieken voor het aanvullen van tekorten aan elektriciteit	14
4.2. Technische mogelijkheden	16
4.3. Financiële vereisten	16
4.4. Optimalisatie locatie en grootte centrale	17
4.5. Benodigde hoeveelheden waterstofproductie en -import	20
4.6. Opslag van waterstof	20
4.7. Cijfermatig overzicht gewenste ontwikkelingen	21
5. Conclusies en aanbevelingen	22
Bronnenlijst	24

1. INLEIDING

Aardgas, en de daarbij behorende gascentrales hebben spelen een grote en belangrijke rol in de elektriciteitsvoorziening van Nederland. Ruim 58% van onze elektriciteit komt uit aardgas, en vanwege het uitfaseren van kolenstroom wordt dit aandeel groter. Hoewel aardgas schoner en minder belastend is voor het klimaat dan stroom opgewekt uit kolen, wordt er met de grootschalige elektriciteitsproductie uit aardgas nog altijd veel CO₂ uitgestoten. Om de Klimaatafspraken van Parijs te behalen, en om toe te werken naar een volledig klimaatneutrale manier van het opwekken van energie zal er dus ook gekeken moeten worden naar het uitfaseren van het gebruik van aardgas. Elektriciteitsopwekking uit wind en zon betekent wel dat er een groeiende behoefte zal komen voor flexibel regelbaar elektrisch vermogen. Iets waar nu nog volledig in wordt voorzien met behulp van gascentrales en aardgas. Natuur & Milieu wil in 2040 een 100% klimaatneutrale elektriciteitsvoorziening, en dus ook een klimaatneutrale manier van het voorzien in flexibel regelbaar vermogen. Om dit te bereiken moet er ver vooruit gekeken worden. Dit visiestuk verkent het uitfaseren van aardgas voor de productie van elektriciteit in de komende decennia. Ook wordt er beschreven wat de toekomstige rol van gascentrales hierin kan zijn en wat voor beleid en voorwaarden hierbij kunnen helpen.

De focus van dit visiestuk is centrale elektriciteitsproductie met behulp van aardgas in grote gascentrales (> 50MW). De rol van aardgas in de gebouwde omgeving en decentrale energieopwekking wordt daarmee zo veel mogelijk buiten beschouwing gelaten. In dit visiestuk wordt vooruitgekeken naar 2040, en daarmee naar de rol die gascentrales de komende decennia in ons elektriciteitssysteem gaan spelen. Hierbij is niet alleen aandacht voor technische vraagstukken zoals wat aardgas zou kunnen vervangen, maar ook voor benodigd beleid, financiële vereisten en we geven aan waar meer onderzoek naar gedaan moet worden.

De inzichten uit deze visie zijn relevant voor beleidsmakers die invulling moeten geven aan het verduurzamen van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening als consequentie van het klimaatakkoord van Parijs. Belangrijke trajecten hierin zijn de uitvoering van het Nederlandse klimaatakkoord en de cyclus van Regionale Energie Strategieën (RESsen). Ook hopen wij andere belangrijke stakeholders in de energietransitie - energiebedrijven en netbeheerders - te inspireren bij het ontwikkelen van hun lange termijn strategie.

In hoofdstuk 2 gaan we in op de huidige rol van gascentrales in ons elektriciteits-systeem. Hoofdstuk 3 behandelt de te verwachten ontwikkelingen wanneer huidig beleid zich voortzet en wordt de noodzaak voor flexibel regelbaar vermogen verder toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt beschreven wat volgens Natuur & Milieu de gewenste ontwikkelingen zijn om aardgas uit te faseren, en welke voorwaarden hiervoor nodig zijn. In hoofdstuk 5 worden de conclusies en aanbevelingen behandeld.

Deze visie is opgesteld door experts van Natuur & Milieu op basis van interviews met stakeholders uit de energiewereld en de meest recente rapporten die zijn verschenen op dit thema. De meeste getallen die in dit visiestuk worden genoemd zijn afkomstig uit deze bronnen. Waar echter geen bron is genoemd heeft Natuur & Milieu zijn eigen inzicht toegepast. Een inzicht dat wel is gebaseerd op de geraadpleegde bronnen, maar niet één op één is overgenomen uit deze bronnen.

2. OVERZICHT HUIDIGE SITUATIE

Elektriciteit wordt in Nederland nog voor het grootste deel opgewekt in elektriciteitscentrales die leveren aan het landelijke hoogspanningsnet van TenneT. Hiernaast wordt elektriciteit ook decentraal geproduceerd door de industrie, energiebedrijven, de glastuinbouw en gezondheidszorg in onder andere Warmte-Kracht-Koppeling (WKK)-installaties. Alle overige elektriciteitsproductie betreft decentrale productie: productie door thermische installaties die leveren aan een bedrijfsnetwerk of aan het openbare midden- of laagspanningsnet, plus alle productie van elektriciteit uit windenergie, waterkracht en zonne-energie. Decentrale thermische installaties staan opgesteld in bijvoorbeeld de glastuinbouw, chemie, gezondheidszorg, en afvalverbranding^{7,8}. Bij dit rapport ligt de focus op de thermische gascentrales, en daarmee centrale elektriciteitsproductie met een vermogen vanaf 50 MW.

2.1. OPGESTELD VERMOGEN & AANDEEL ELEKTRICITEITSVOORZIENING

Opgesteld vermogen en type centrales

In Nederland zijn op dit moment (augustus 2020) 43 gascentrales op aardgas. Dit zijn veelal STEG-centrales (Stoom- en Gasturbine), of STEG-centrales in combinatie met een warmtekrachtcentrale (WKC), waarbij ook de restwarmte van de elektriciteitscentrale wordt ingezet. In Nederland zijn de meeste centrales STEG/WKC dan ook verbonden aan warmtenetten of industriële processen. Warmtelevering speelt echter bij centrale elektriciteitsproductie een veel kleinere rol dan bij decentrale WKK's op aardgas, bijvoorbeeld gebruikt in de tuinbouw. In 2019 werd met decentrale opwek van elektriciteit uit aardgas bijna 118 PJ warmte geproduceerd - tegenover bijna 22 PJ door centrale elektriciteitsproductie - terwijl het opgestelde centrale vermogen groter is dan het decentrale vermogen⁹. Hoewel de gascentrales RoCa (Rotterdam, Uniper), de Centrale Diemen (Vattenfall) en Centrale Merwedekanaal (Eneco) verbonden zijn aan een warmtenet, speelt warmteproductie bij aardgascentrales dus een kleinere rol dan elektriciteitsproductie. Ook zijn er een aantal gascentrales die stoom leveren aan de industrie.

⁷ Compendium voor de Leefomgeving 2020

⁸ CBS 2016

⁹ CBS 2020a

Het vermogen van de gascentrales in Nederland varieert sterk, van 50 MW tot wel 1750 MW (Eemshavencentrale Engie¹⁰). Deze gascentrales op aardgas hebben een gemiddeld opgesteld vermogen van ongeveer 335 MW.

Gascentrales hebben een gemiddelde economische levensduur van 30 jaar. Dit betekent dat gascentrales worden gebouwd met een gemiddelde afschrijvingsperiode van 30 jaar¹¹. De technische levensduur kan langer zijn. De gemiddelde leeftijd van de gascentrales in Nederland ligt anno 2020 rond de 24 jaar. Dit betekent niet dat ze over 6 jaar allemaal tot stilstand komen aangezien de technische levensduur door revisies in theorie tot het oneindige kan worden verlengd. Wel betekent het dat een groot deel van de centrales economisch afgeschreven is.

In 2019 is er ongeveer 15 GW aan operationeel opgesteld vermogen aan gascentrales, dit is vergelijkbaar met de voorgaande jaren. Daarnaast is er nog zo'n 3-4 GW geconserveerd (mottenballen)¹². Het aandeel geconserveerd vermogen van gascentrales is iets gedaald, doordat een aantal centrales weer zijn gaan produceren. Deze zijn met name weer op de markt gekomen vanwege de recente sluiting van een aantal kolencentrales. Nederland heeft in theorie voldoende (grotendeels geconserveerde) capaciteit aan gascentrales om de sluiting van alle kolencentrales op te vangen. Daarnaast heeft het recente verleden laten zien dat in geval van krapte snel nieuw gasvermogen bijgebouwd kan worden.^{13, 14}

Aandeel centrale elektriciteitsproductie

In 2017 verbruikten Nederlandse elektriciteitscentrales zo'n 10 miljard m³ aardgas. Dat is ongeveer 28% van het totale verbruik van aardgas in NL, van 36 miljard m³. De rest wordt o.a. gebruikt in de gebouwde omgeving, tuinbouw en industrie.¹⁵

¹⁰ Deze centrale bestaat uit 5 eenheden van 350 MW

¹¹ CE Delft 2019a: Vallasfactoren & Levensduur elektriciteitscentrales.

¹² TenneT 2020

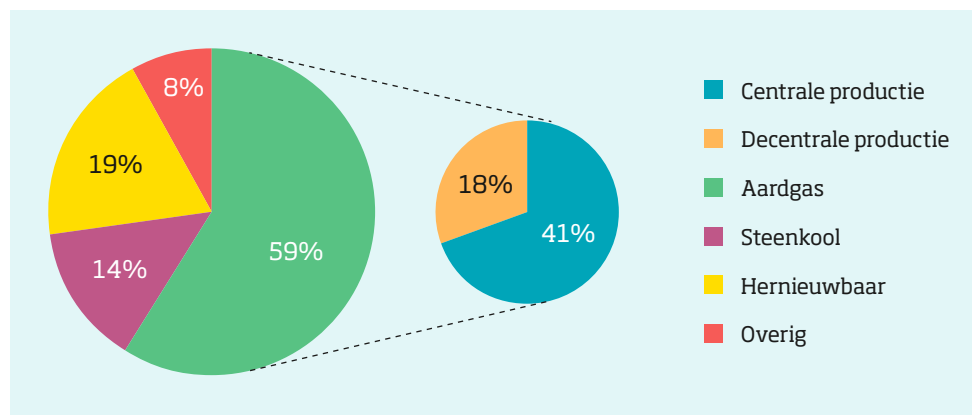
¹³ CE Delft 2019a

¹⁴ CE Delft 2019b

¹⁵ Compendium voor de Leefomgeving 2019

Het aandeel aardgas in de totale Nederlandse elektriciteitsvoorziening is aanzienlijk: **in 2019 werd ongeveer 71 TWh aan elektriciteit geproduceerd uit aardgas, dit was 58,7% van de totale elektriciteitsopwekking in Nederland (ruim 121 TWh)**. Dit tegenover 14,4% uit steenkool en 18,5% uit hernieuwbare bronnen. Dit rapport focust zich op centrale elektriciteitsproductie in gascentrales. Kijkend naar alleen centrale elektriciteitsproductie nam aardgas in 2019 40,6% van de bruto productie elektriciteit voor rekening (neerkomend op zo'n 49TWh over het gehele jaar)¹⁶. In Figuur 2 is goed te zien hoe groot de rol van aardgas in de Nederlandse elektriciteitsproductie is.

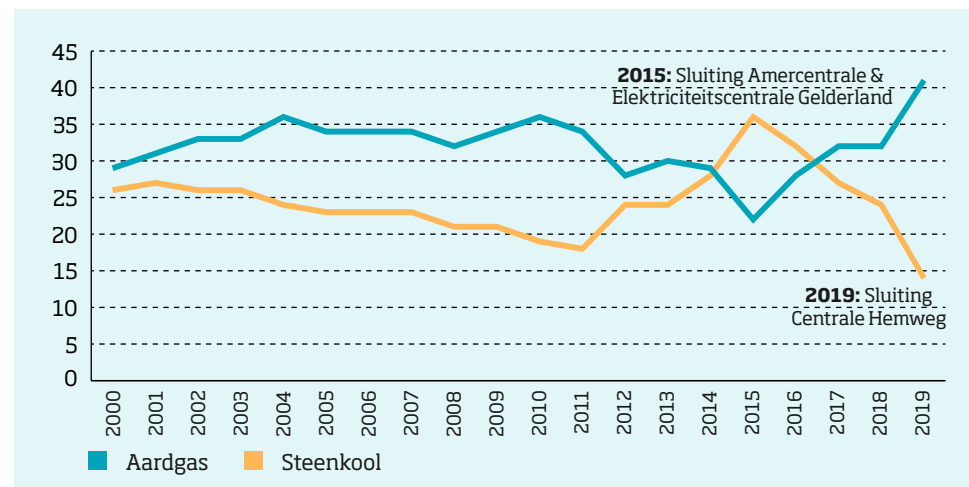
Figuur 1: Energiebronnen elektriciteitsproductie in 2019 (elektriciteitsproductie met aardgas uitgesplitst in centrale en decentrale productie) (bron: CBS).



In Figuur 2 is het aandeel van gascentrales op aardgas van in de afgelopen twee decennia afgezet tegenover het aandeel van centrales op steenkool. Aardgas is in de afgelopen jaren een steeds grotere rol in onze centrale elektriciteitsproductie gaan spelen. Onder meer door het uitfaseren van de kolencentrales, een lagere gasprijs en door het EU-ETS systeem, waardoor er een *fuel switch* plaatsvond van steenkool naar aardgas.

¹⁶ CBS 2020a

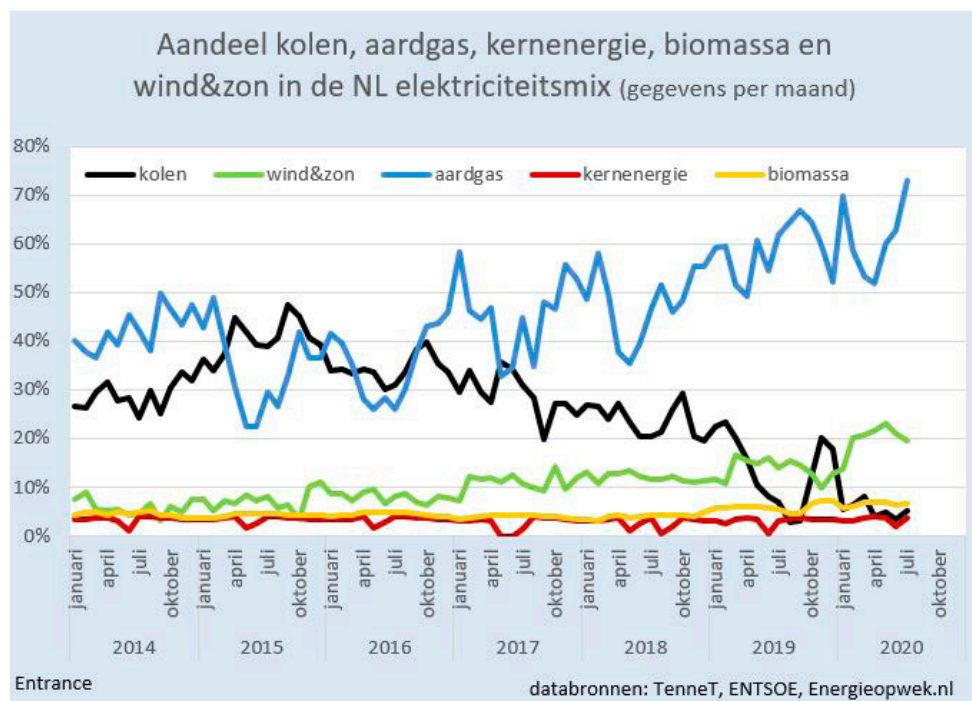
Figuur 2: Aandeel aardgas en steenkool in centrale elektriciteitsproductie in Nederland, met daarin recente sluitingen van kolencentrales vermeld (bron: CBS).



Ook in Figuur 3 is de trend van een toenemende rol voor aardgas in de elektriciteitsmix van Nederland duidelijk zichtbaar. De (bruto) elektriciteitsproductie met steenkool is juist sterk gedaald (mede vanwege toename bij- en meestook van biomassa) van ruim 39 TWh in 2015, naar 17 TWh in 2019. Tegelijkertijd is de elektriciteitsproductie met aardgas gestegen van bijna 58 TWh naar 71 TWh. Zowel een lage aardgasprijs als een hoge CO₂-prijs droegen bij aan deze ontwikkeling¹⁷.

¹⁷ CBS 2020b

Figuur 3: De Nederlandse elektriciteitsmix van 2014 tot nu. Bron Martien Visser, Lector Energietransitie Hanzehogeschool Groningen



2.2. HUIDIGE EIGENAREN GASCENTRALES

De grootste gascentrales zijn in handen van vier bedrijven, die samen ongeveer 70% van het totaal opgestelde vermogen aan gascentrales beheren:

- RWE: in het bezit van één van de grootste gascentrales (STEG) van Nederland, de Clauscentrale met een totaalvermogen van 1304 MW en Centrale Moerdijk (430MW).
- Vattenfall: in het bezit van de Magnumcentrales (STEG) in de Eemshaven, drie units goed voor gezamenlijk zo'n 1300 MW. Ook heeft Vattenfall conventionele gascentrales in Velsen, de Hemwegcentrale (STEG) in Amsterdam en de centrale Diemen (STEG/WKC).

- Engie: Exploiteert onder andere de Eemscentrale in Eemshaven, vijf gasgestookte STEG eenheden goed voor zo'n 1750 MW elektriciteit, plus nog een combicentrale in Eemshaven, goed voor zo'n 675 MW. Engie bezit ook de Maximacentrale (STEG) in Lelystad en de Bergumcentrale (combi) in Bergum.
- Uniper: Onder andere in de Maasvlakte en in Rotterdam heeft Uniper de RoCa centrale en Maasvlakte UCML (Gasturbine/WKC). Ook staan er in Leiden en Den Haag grote gascentrales die eigendom zijn van Uniper.

Naast deze bedrijven zijn ook Eneco, Nouryon, Air Liquide en Dow in het bezit zijn van een aantal gascentrales.

De markt van centrale productie van stroom uit aardgas is dus zeer overzichtelijk met een beperkt aantal grote bedrijven die verreweg de meeste gascentrales beheren. De strategie van deze bedrijven is dus zeer relevant om te bepalen wat de mogelijke toekomst van gascentrales in Nederland kan zijn. Hier wordt in paragraaf 3.3 verder op ingegaan.

2.3. TYPES GAS EN HERKOMST

Er zijn grofweg twee types aardgas. Hoogcalorisch aardgas en laagcalorisch aardgas. Elektriciteitscentrales op aardgas gebruiken meestal hoogcalorisch gas dat afkomstig is uit Noordzeevelden en enkele andere kleine velden. Het grootste deel wordt echter geïmporteerd. Er zijn een aantal gascentrales die op laagcalorisch gas draaien. Dit is veelal afkomstig uit de Groninger gasvelden. Vanaf 1 oktober 2022 geldt er een wettelijk verbod op het gebruik van laagcalorisch gas vanaf 100 miljoen m³ per jaar. Dit wetsvoorstel is erop gericht de gaswinning uit Groningen terug te schroeven naar nul.

Door de teruglopende binnenlandse productie wordt er steeds meer gas geïmporteerd, deels in de vorm van Liquefied natural gas (LNG) uit onder andere de Verenigde Staten, en hoogcalorisch gas uit onder andere Rusland, Noorwegen en in mindere mate uit het Verenigd Koninkrijk¹⁸. Sinds 2018 werd er voor het eerst meer aardgas ingevoerd dan uitgevoerd.

¹⁸ Gasunie 2020

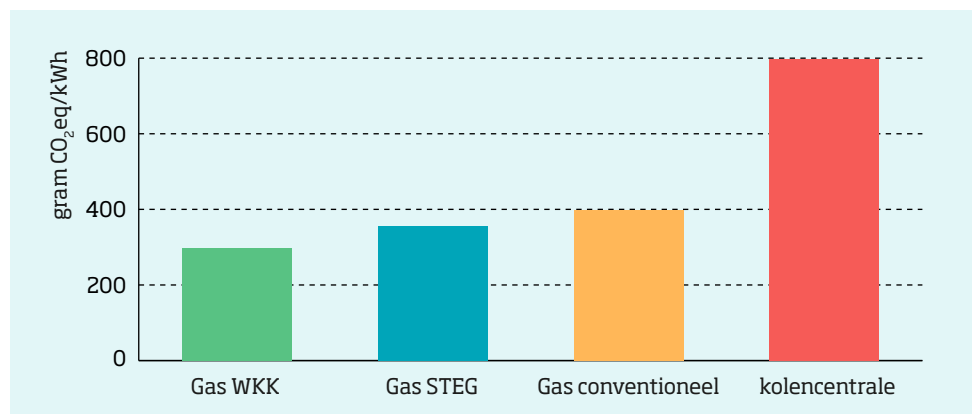
Er zijn geen exacte recente aantallen of percentages voor alle gasimport en oorsprong van alle aardgas te achterhalen. Dit is ook lastig, omdat gas dat een land binnenkomt, veelal gemixt wordt aangeleverd. Gas dat bijvoorbeeld via Duitsland in Nederland komt, is al op meerdere locaties gemengd met gas uit onder andere Noorwegen, Rusland en Denemarken, dat in die landen ook al gemixt aangeleverd is¹⁹.

2.4. KLIMAATIMPACT GASCENTRALES

Stroomopwekking met fossiele brandstoffen heeft een aanzienlijke CO₂-uitstoot tot gevolg. Wel is het zo dat gascentrales per MWh in termen van CO₂ veel schoner zijn dan kolencentrales. Bij de opwekking van stroom door het verbranden van aardgas komt ook veel warmte vrij. In een WKK-installatie (of een STEG/WKC) krijgt de warmte ook een nuttige toepassing. De CO₂-uitstoot per eenheid energie van een WKK is dan ook zeer laag. **Gascentrales op aardgas met WKK hebben een broeikasbijdrage van 298 gCO₂eq/kWh. Dat is 2,5 keer zo laag als de emissie van een kolencentrale die elektriciteit opwekt (798 gCO₂eq/kWh²⁰), en dat van een STEG-gascentrale 357gCO₂eq/kWh²¹.**

Ook de uitstoot van andere luchtverontreinigende stoffen door gascentrales is veel lager dan die van kolencentrales. **Het sluiten van een kolencentrale, waarvan de productie wordt overgenomen door een gascentrale, is voor het klimaat dus een stap vooruit.**

Figuur 4 Klimaatimpact gas- en kolencentrales



Nederland zal de komende jaren steeds meer afhankelijk worden van buitenlands gas, aangezien er minder uit het Groninger veld en kleine velden gehaald wordt. Er is een belangrijke kanttekening te plaatsen bij deze toenemende import van hoogcalorisch gas. De winning van aardgas uit onder andere Rusland gaat veelal gepaard gaat met veel lekkages. Dit is belangrijk om mee te wegen in schattingen van broeikasgasuitstoot, omdat aardgas zelf ook een sterk broeikasgas is; wel 25 keer sterker dan CO₂. Indien de winning van aardgas dus gepaard gaat met veel lekkages kan de productie van elektriciteit uit aardgas even slecht voor het klimaat zijn als uit kolen. **Importgas uit Rusland geeft over de hele keten (winning, transport en verbranding) per kubieke meter zo'n 30% meer uitstoot dan gas uit Nederland,** aldus het onderzoek van het The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS) uit januari 2020^{22, 23}. Oorzaken zijn methaan-lekkages onderweg en de energie die nodig is om het gas in Europa te krijgen. Die extra uitstoot is ongeveer even groot als de klimaatwinst in ons land door zonne- en windenergie, aldus HCSS²⁴. Ook schaliegas uit de Verenigde Staten en importgas uit Qatar kent vergelijkbare of nog grotere negatieve klimaateffecten²⁵. Import van aardgas kan dus op papier goed zijn voor Nederlandse doelstellingen, omdat kolencentrales gesloten kunnen worden, maar dit is nadelig voor de uiteindelijke mondiale CO₂-uitstoot. **Een snelle afbouw van de inzet van aardgas is dus cruciaal voor het beteugelen van de wereldwijde klimaatcrisis.**

19 CBS 2019

20 Wise 2020

21 CE Delf 2016

22 Trouw 2019

23 HCSS 2020

24 Energeia 2020

25 Financieel Dagblad 2019

3. VERWACHTE ONTWIKKELINGEN

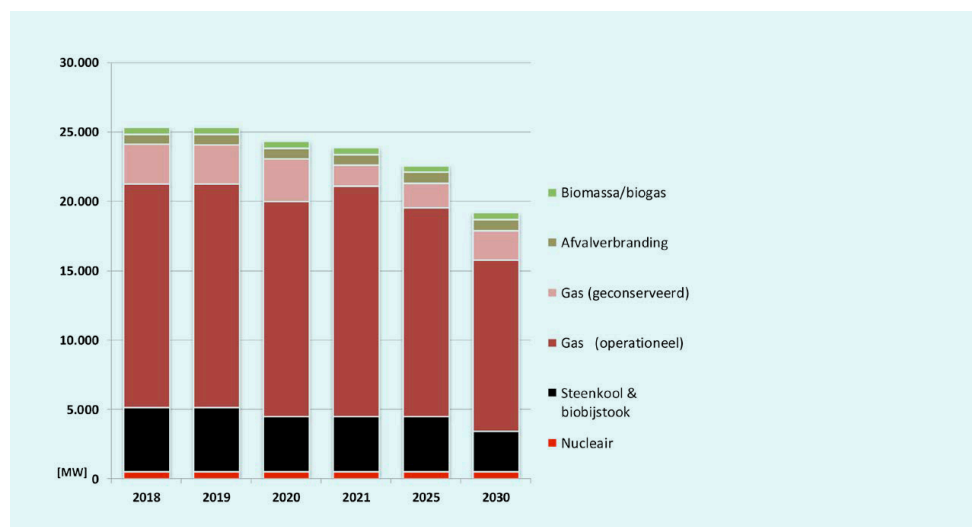
In dit hoofdstuk worden de relevante te verwachten ontwikkelingen besproken omtrent gascentrales en het elektriciteitssysteem. Vervolgens zal er ingegaan worden op de ontwikkeling van het opgesteld vermogen en de elektriciteitsvraag, de behoefte naar flexibel regelbaar vermogen, en de strategieën van grote spelers.

3.1. OPGESTELD VERMOGEN EN ELEKTRICITEITSVRAAG IN BUSINESS AS USUAL

Opgesteld vermogen 2020-2030

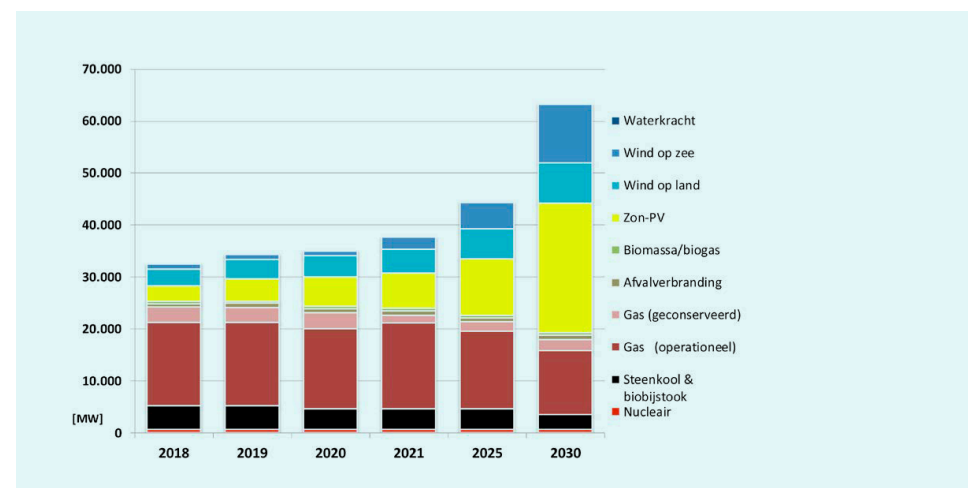
Figuur 5 laat zien dat er een kleine afname te verwachten is in het in Nederland opgesteld vermogen aan gascentrales. Tussen nu en 2026 zijn elektriciteitsproducenten voornemens om 2,4 GW gasgestookt vermogen te stil te zetten. Wel zal er ook 1,3 GW gasgestookt vermogen uit de mottenballen worden gehaald. **Netto neemt hiermee de hoeveelheid operationeel centrale gasgestookt vermogen tussen nu en 2026 naar verwachting af met 1,1 GW²⁶.**

Figuur 5: Tennet Rapport Leveringszekerheid: Ontwikkeling van het centraal opgesteld vermogen (thermische eenheden) in de periode 2018 tot 2030 volgens opgave door producenten



Het opgestelde vermogen aan zon en wind zal toenemen, zie Figuur 6. Een dergelijke toename zal grote gevolgen hebben voor de rol die gascentrales kunnen krijgen in het balanceren van de energiemarkt. Hier wordt in de volgende paragraaf (3.2) dieper op ingegaan.

Figuur 6: Tennet Rapport leveringszekerheid: Ontwikkeling van het opgesteld vermogen (MW) in de periode 2018 tot 2030



Elektriciteitsvraag

De rol die gascentrales de komende decennia blijven spelen is ook afhankelijk van de te elektriciteitsvraag in Nederland. **De te verwachten elektriciteitsvraag in Nederland zal oplopen van 115,8 TWh (417PJ) in 2019 naar 128 TWh (461PJ) in 2030²⁷.** Dit komt door de elektrificatie van de industrie, de mobiliteit en de gebouwde omgeving. Deze stijging is gebaseerd op een doorrekening van het 49% doel van het klimaatakkoord. Indien de doelstelling aangescherpt wordt naar 55% of meer zal naar verwachting wegens toenemende elektrificatie ook de elektriciteitsvraag stijgen.

²⁶ Tennet 2020, p. 22-23

²⁷ Berenschot en Kalavasta 2020

3.2. FLEXIBEL REGELBAAR VERMOGEN EN GASCENTRALES IN BUSINESS AS USUAL

Een toenemend aandeel hernieuwbare elektriciteit afkomstig uit variabele bronnen zoals zon en wind, vergroot de behoefte aan flexibiliteit in het energiesysteem. Zowel flexibiliteit voor de korte termijn (balancing elektriciteitsnet) als voor de langere termijn (seizoen onbalans). Met het toenemend aandeel wind en zon in de elektriciteitsmix in samenloop met het verbod op kolen is het aanbod van flexibel regelbaar vermogen voor Nederland van groot belang. De elektriciteitsproductie van zon en wind zal ten gevolge van het Klimaatakkoord toenemen naar minimaal 88 TWh in 2030. De totale elektriciteitsvraag zal in 2030 naar verwachting 118 TWh bedragen. **Minimaal 70% van de elektriciteitsvraag wordt in 2030 dus bediend door hernieuwbare bronnen als de doelen van het klimaatakkoord gehaald worden.** Gedurende zon- en windrijke perioden zullen er overschotten aan hernieuwbare elektriciteit ontstaan, die idealiter voor korte of langere periode opgeslagen moeten worden om te voorkomen dat de energie verloren gaat. Tijdens een bewolkte en windstille periode zullen er tekorten zijn die door andere technieken opgevangen moeten worden. De rol die gascentrales spelen in het voorzien van flexibel regelbaar vermogen voor langdurige tekorten wordt groter omdat kolencentrales naar verwachting in 2030 gesloten zullen zijn. Dit maakt dat gascentrales in een scenario zonder gewijzigd beleid in 2030 nog veel draaiuren zullen maken. In een *business as usual* scenario zullen de gascentrales vanwege de verwachte aardgas- en CO₂-prijs vooral op aardgas draaien. **CE Delft heeft voor Natuur & Milieu berekend dat de doelen van het klimaatakkoord niet behaald zullen worden als de in 2030 benodigde flex uit aardgas geleverd wordt.** Het is daarom noodzakelijk dat er CO₂-vrije technieken die flexibel regelbaar vermogen kunnen leveren in 2030 bijdragen aan de elektriciteitsmix²⁸. In het volgende hoofdstuk wordt besproken wat de gewenste ontwikkelingen zijn omtrent gascentrales, en welke rol zij moeten gaan spelen in het veranderende energielandschap richting 2050.

²⁸ CE Delft 2020

3.3 STRATEGIEËN GROTE BEDRIJVEN

Zoals in paragraaf 2.2 aangegeven is 70% van de gascentrales in Nederland in handen van vier grote spelers. Van deze bedrijven is Vattenfall het meest uitgesproken bezig met een langetermijnstrategie voor hun gascentrales. Om in de toekomst CO₂-vrije flexibel regelbaar vermogen te kunnen leveren is Vattenfall bezig om de Magnumcentrale in Groningen om te bouwen naar een gascentrale die ook kan draaien op waterstof. Het doel is dat deze centrale in 2027 operationeel is. De waterstof die in deze centrale gebruikt gaat worden zal vooralsnog afkomstig zijn uit aardgas waarbij de CO₂ wordt afgevangen. Op termijn zal de waterstof afkomstig zijn uit elektrolyse op basis van groene stroom. Voor de langere termijn voorziet Vattenfall de ombouw van meer gascentrales naar waterstof. Wel is dit afhankelijk of beperkingen ten aanzien van de kostprijs en beschikbaarheid van groene waterstof worden opgelost (zie ook hoofdstuk 4 en 5). Om flexibel te zijn in de brandstofkeuze zet Vattenfall in op hybride centrales die kunnen schakelen tussen het gebruik van aardgas en waterstof. Eerder heeft Vattenfall ook naar ammoniak gekeken als vervangende brandstof. In hoofdstuk 4 zal verder ingegaan worden op waterstof.

De overige grote spelers zijn niet uitgesproken over hun strategie. De huidige financiële vooruitzichten van aardgas gestookte gascentrales zijn dusdanig positief dat er geen grote prikkel is om te oriënteren op alternatieve duurzame brandstoffen. Wel worden er (versneld) gascentrales uit de mottenballen gehaald. Zo heeft RWE recent de Clauscentrale (1304 MW) weer in gebruik genomen.

4. GEWENSTE ONTWIKKELINGEN

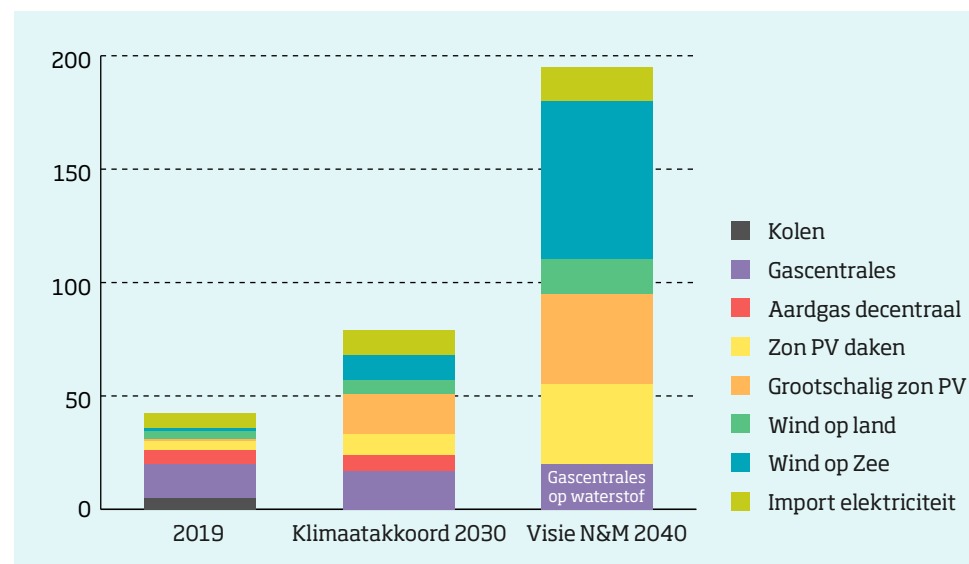
Om het 1.5 graden doel van Parijs te halen is 2050 te laat om volledig klimaatneutraal te zijn in Nederland²⁹. In alle sectoren moet er een tandje bij, echter bij de elektriciteitssector is versnelling het meest belangrijk. In 2050 wordt in Nederland namelijk de energievraag voor een belangrijk deel elektrisch ingevuld. Des te sneller de elektriciteitsproductie dus verduurzaamt, des te effectiever elektrificatie is voor het tegengaan van klimaatverandering. Ook ligt versnelling in de elektriciteitssector binnen de mogelijkheden, waar het bijvoorbeeld voor de gebouwde omgeving zeer lastig gaat zijn om ruim voor 2050 volledig klimaatneutraal te zijn. **Natuur & Milieu zet daarom in op 100% hernieuwbare elektriciteit in 2040.**

De totale vraag in Nederland naar elektriciteit zal naar verwachting ongeveer verdubbelen van ruim 400 PJ in 2020 naar ongeveer 800 PJ in 2040. Deze elektriciteit is nodig om de vergaande elektrificatie van de industrie, gebouwde omgeving en de mobiliteit te faciliteren.

Als gevolg van verregaande elektrificatie en de bijbehorende stijging van de elektriciteitsvraag zal het opgesteld elektrisch vermogen aanzienlijk moeten gaan stijgen. Figuur 7 illustreert hoe het in 2019 opgestelde fossiele vermogen, voornamelijk gas en kolen, via de doelen zoals afgesproken in het Klimaatakkoord voor 2030, plaats gaan maken voor hoofdzakelijk elektriciteit uit zon, wind en waterstof in 2040. Het totale benodigde elektrische opgesteld vermogen wordt een optelsom van het niet-schakelbaar duurzame vermogen (voor het overgrote deel zon-pv en wind), en aan/uitschakelbare centrales benodigd voor de totale piekvraag zodat levering van elektriciteit te allen tijden gewaarborgd is: flexibel regelbaar vermogen. Om leveringszekerheid te waarborgen moeten er te allen tijden voldoende “aan/uitschakelbare” elektriciteitscentrales klaar staan. Om de klimaatdoelen te halen zal dit in 2040 volledig CO₂-vrij ingericht moeten worden³⁰. **Het realiseren van voldoende CO₂-vrij regelbaar vermogen is wellicht één van de grootste uitdagingen van de energietransitie voor de elektriciteitssector.** Niet alleen de opwekking van hernieuwbare energie, maar ook de productie, opslag en transport van CO₂-vrije energiedragers, maken deze uitdaging zo groot. In de volgende paragrafen worden

de gewenste ontwikkelingen besproken die volgens Natuur & Milieu noodzakelijk zijn om toe te werken naar een klimaatneutrale elektriciteitsvoorziening in 2040, en wat de rol van gascentrales hierin kan zijn. Deze visie is onder andere gebaseerd op de studie ‘Klimaatneutrale Energiescenario’s 2050’ van Berenschot en Kalavasta, op de verkenning CO₂-vrij flexibel regelbaar vermogen van CE Delft, gesprekken met verschillende experts en stakeholders, en op de expertise binnen Natuur & Milieu. Dit hoofdstuk zal ingaan op de te prefereren ontwikkelingen wat betreft opgesteld productievermogen, de noodzaak voor CO₂-vrij flexibel regelbaar vermogen en de gevolgen hiervoor voor de vraag naar onder andere waterstof en andere energiedragers. Er zal verder worden ingegaan op de rol die gascentrales zouden moeten gaan vervullen om uiteindelijk toe te werken naar volledig CO₂-vrije elektriciteitsproductie.

Figuur 7: Opgesteld elektrisch vermogen (in GW): huidige situatie, Klimaatakkoord (volgens Berenschot en Kalavasta 2020) en Visie Natuur & Milieu per 2040.



29 UN Environmental Programme 2019.

30 Idem

Klimaatneutrale Energiescenario's 2050 (Berenschot en Kalavasta, 2020)

Dit rapport schetst vier mogelijke toekomstscenario's, daarbij is het Klimaat-akkoord 2030 als startpunt gekozen. Er wordt gekeken naar vier scenario's die genoemd zijn naar de in het scenario dominante sturing: regionale sturing, nationale sturing, Europese sturing en internationale sturing. Hieronder wordt samengevat hoe volgens de vier scenario's de elektriciteitsproductie eruit zal komen te zien, en wat dit voor gevolgen kan hebben voor gascentrales.

Regionale sturing

Op regionaal vlak zullen projecten ontstaan uit lokale initiatieven. Zon op daken en wind-op-land hebben hierin een hoofdrol: praktisch overal waar zon op daken mogelijk is, wordt dit toegepast. Kleinschalige zonneweides worden regionaal aangelegd. Op dagen dat er te weinig zon en wind is wordt de elektriciteitsvraag opgevangen met gascentrales op waterstof. Hiervoor wordt op lokaal niveau waterstof geproduceerd.

Nationale sturing

In het nationale sturing scenario ligt de nadruk op het opgestelde vermogen wind-op-zee en grootschalige zonneparken. Dit komt omdat wind-op-zee en zonneparken goed nationaal geregeld kunnen worden. Op dagen dat er te weinig zon en wind is wordt de elektriciteitsvraag opgevangen met gascentrales op waterstof.

Europese sturing

Op Europees vlak wordt er een aanzienlijk deel wind op- zee gerealiseerd. Daarnaast is er een grotere focus op interconnectiecapaciteit met het buitenland. De piekvraag wordt in dit scenario opgevangen door gascentrales op groen gas, deels met CO₂-opslag (CCS), en blauwe waterstof.

Internationale sturing

In het internationale sturing scenario ligt een grote nadruk op import. Naast een grote afhankelijkheid van elektriciteitsimporten wordt er veel biomassa en waterstof geïmporteerd. In dit scenario zal de piekvraag worden opgevangen met behulp van gascentrales op waterstof. Het opzetten van infrastructuur voor waterstofimport biedt ook veel economische kansen.

4.1. CO₂-VRIJE TECHNIEKEN VOOR HET AANVULLEN VAN TEKORTEN AAN ELEKTRICITEIT

CE Delft heeft in opdracht van Natuur & Milieu onderzoek gedaan naar CO₂-vrije technieken voor het leveren van flexibel regelbaar vermogen. Volgens dit onderzoek zal er in 2030 **circa 49 TWh aan elektriciteitsvraag zijn die voorzien moet worden met regelbare, flexibele installaties**. De vraagpiek zal 25 GW bedragen. Deze piek treedt echter zeer sporadisch op. Naar verwachting is minder dan 50 uur per jaar de vraag naar flexibel regelbaar vermogen hoger dan 10 GW³¹. De pieken boven 10 GW kunnen waarschijnlijk grotendeels met maatregelen aan de vraagkant en andere korte termijn flex opgevangen worden.

In 2030 zal er naar verwachting nog 14,7 GW opgesteld vermogen aan gascentrales zijn. Deze zullen zonder aanvullend beleid op aardgas draaien. Dit is vergelijkbaar met de situatie anno 2020. Alle beschouwde CO₂-vrije technieken in dit onderzoek hebben hogere marginale kosten dan gascentrales op aardgas, en worden dus zonder aanvullend beleid maar een beperkt aantal uren ingezet en leveren dus ook maar weinig elektriciteit, zie ook Figuur 8³². **Concluderend kan gesteld worden dat zonder aanvullende acties en beleid vrijwel het gehele tekort aan elektriciteit wordt geleverd door gascentrales op aardgas met de daarbij horende extra CO₂-emissie.**

Van de 49 TWh dat de tekorten zullen bedragen, kan 27 TWh worden geleverd door gascentrales op aardgas zonder dat het CO₂-budget van de elektriciteitssector voor 2030 (12,2 Mton) wordt overschreden³³. **22 TWh zal dus geleverd moeten worden uit CO₂-vrije flexibel regelbare technieken**. Hier zijn diverse CO₂-vrije mogelijkheden voor, die tezamen moeten zorgen voor voldoende leveringszekerheid en een stabiel toekomstig elektriciteitsnetwerk. Allereerst zal demand-side response een belangrijk rol krijgen. Dit houdt in dat de vraag en het aanbod van elektriciteit dermate wordt gemanaged dat er bij overschot extra elektriciteitsvraag gecreëerd

³¹ Indien fossiele must-run centrales gesloten zijn, of flexibiliseren. Anders is de resterende flexbehoefte 40 TWh.

³² CE Delft 2020

³³ Hierbij is wel noodzakelijk dat fossiele must-run centrales sluiten of flexibiliseren. Anders kan slechts 12 TWh geleverd worden uit flexibele gascentrales op aardgas in 2030 binnen het CO₂-budget van de elektriciteitssector

wordt, en bij tekorten minder elektriciteit nodig is. Waterkracht, batterijopslag en brandstofcellen op groene waterstof en interconnecties met omliggende landen zullen ook een rol krijgen. De grootste duurzame kostenefficiënte potentie hebben echter (omgebouwde) gascentrales op groene waterstof. Deze techniek wordt in dit hoofdstuk verder uitgewerkt. **Voor biomassa en groen gas in de toekomstige Nederlandse elektriciteitsvoorziening ziet Natuur & Milieu geen belangrijke rol weggelegd.** De beperkte beschikbaarheid van groen gas en houtige biomassa dwingt om de biomassa zo hoogwaardig mogelijk in te zetten en in de eerste plaats daar waar er geen alternatief is voor verduurzaming. Dit is in lijn met het advies van de SER over biomassa³⁴. Hoogwaardiger toepassingen van biomassa dan verbranden voor energie is bijvoorbeeld de inzet van biomassa als grondstof voor de industrie.

Wat is waterstof?

Anders dan aardgas is waterstof geen energiebron, maar een energiedrager. Het moet nog geproduceerd worden. Het kan op duurzame en minder duurzame manieren geproduceerd worden:

- Grijs waterstof wordt geproduceerd door middel van steam methane reforming (SMR), een chemisch proces waarbij aardgas wordt omgezet in een waterstofrijk gasmengsel waarbij CO₂ vrijkomt.
- Blauw waterstof wordt geproduceerd met gebruik van aardgas waarbij alle vrijgekomen CO₂ wordt opgeslagen
- Groen waterstof geproduceerd door middel van elektrolyse met gebruik van groene stroom uit zon en wind.

Bij productie van waterstof gaat bij de omzetting 20- 40% aan energie verloren in de vorm van warmte. Bij de omzetting van waterstof naar elektriciteit gaat daarna nogmaals een deel van de energie verloren. Indien de warmte die vrijkomt bij de omzettingen wordt benut kan het energieverlies beperkt blijven. Dit is echter niet altijd mogelijk wat leidt tot verliezen over de hele keten die oplopen tot meer dan 50%. Door dit energieverlies is waterstof voor veel toepassingen niet altijd de meest zinvolle oplossing.

Naar verwachting duurt het nog tot 2030 voordat duurzame waterstof grootschalig gemaakt en gebruikt kan worden. Waterstof gaat, zodra het grootschalig "groen" opgewekt wordt wel een grote rol spelen in de verduurzaming van Nederland.

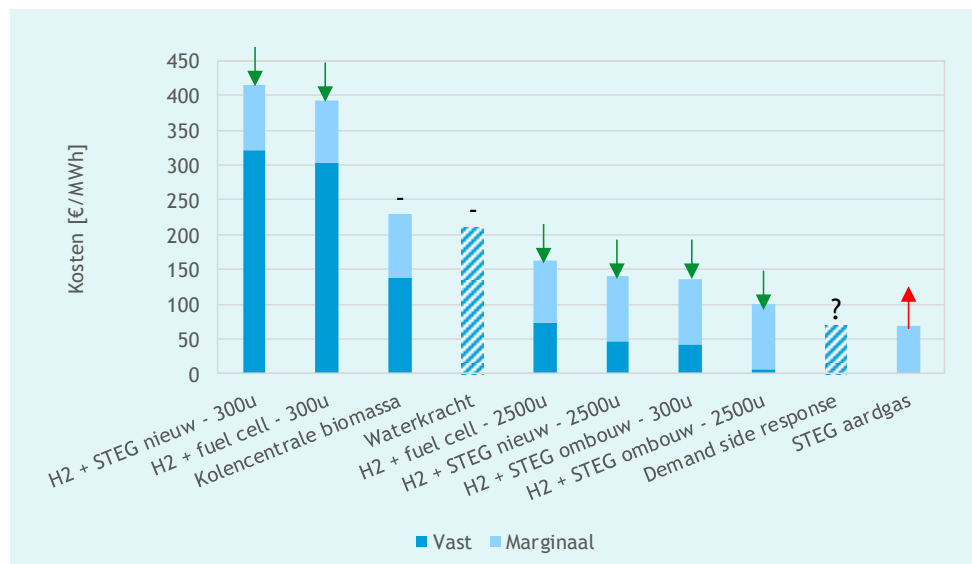
Waterstof (zie kader) gemaakt uit zonne-energie of windenergie ten tijde van overschotten in Nederland of geïmporteerd uit bijvoorbeeld de Sahara of Zuid-Europa, wordt in een STEG-centrale omgezet naar elektriciteit en warmte. Deze STEG-centrales hebben een grote capaciteit en kunnen tegen relatief lage kosten worden omgebouwd van aardgasgestookt naar een waterstofcentrale. **Branders van de gasturbines kunnen vervangen worden om te kunnen draaien op waterstof. Vanwege een gebrek aan stimuleringsmiddelen die de businesscase kloppend maken en een beperkte beschikbaarheid van waterstof vindt ombouw niet plaats en wordt er geen waterstof in plaats van aardgas ingezet.**

In Figuur 8 zijn de geraamde kosten van de door CE Delft beschouwde technieken voor tekorten van elektriciteit in 2029 weergegeven. De pijlen geven de kostenontwikkeling vanaf 2030 aan. Hier is duidelijk te zien dat er qua kosten nog sterke concurrentie is van STEG-centrales op aardgas. Er is dus veel aanvullend beleid nodig om het flexibel regelbaar vermogen CO₂-vrij in te richten. Ook speelt het aantal draaiuren van de STEG-centrales op waterstof een grote rol. Uit onderstaande figuur wordt duidelijk dat reeds bestaande gascentrales ombouwen naar waterstofcentrales de meest kosteneffectieve eerste stap is. Het realiseren van nieuwe centrales leidt tot hogere kosten.

³⁴ SER 2020

Figuur 8: Kosten van CO₂-vrije regelbare technieken voor bij tekorten aan elektriciteit in 2029.

Bron: CE Delft 2020



Het potentieel van de hierboven beschreven technieken (waaronder demand-side response, batterijopslag, en STEG-centrales op groene waterstof) heeft CE Delft opgeteld, uitgaande van het huidige beleidskader. Het onderzoeksbureau komt tot de conclusie dat dit potentieel bij elkaar opgeteld uitkomt op maximaal 3,5 TWh. Daar waar minstens 22 TWh benodigd is. **Deze CO₂-vrije technieken dekken dus slechts 15% van de benodigde energie als het huidige beleid wordt voortgezet.** Aanvullend beleid is dus nodig.

4.2. TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

Technisch is het mogelijk om gascentrales om te bouwen naar gascentrales die (deels) draaien op waterstof, al hangt het van de leverancier van de gasturbine af op welke termijn de overstap naar 100% waterstof gemaakt kan worden. De belangrijkste aanpassing is het vervangen van de branders. Het grootste deel van de

centrale hoeft niet te worden aangepast³⁵. Alle grote producenten van gasturbines hebben toegezegd voor 2030 ook met modellen te komen die geschikt zijn voor het draaien op waterstof. De belangrijkste technische uitdaging zit in het goed onder controle houden van de vlamstabiliteit en de emissies. Over het algemeen wordt dit echter niet als een onoverkomelijk technisch probleem gezien. Naast een aanpassing aan de brander zullen er een aantal andere aanpassingen aan de centrale gedaan moeten worden. Deze aanpassingen worden echter niet gezien als een onoverkomelijke technische uitdaging. Hybride centrales, waarbij zowel aardgas als waterstof als brandstof wordt ingezet, zou een belangrijke tussenstap kunnen zijn. Hier wordt nu ook onderzoek naar gedaan. Onder andere in het High Hydrogen project dat getrokken wordt door Ansaldo Energia en waar onder andere Vattenfall en Nouryon ook onderdeel van zijn³⁶.

4.3. FINANCIËLE VEREISTEN

De businesscase voor het inzetten van waterstof in gascentrales is nog niet sluitend. Het kunnen ombouwen van een STEG-centrale op aardgas naar waterstof is met name een economische afweging en in mindere mate een technische. CE Delft laat zien dat in 2030 gascentrales op waterstof 50% tot 650% duurder zijn dan gascentrales op aardgas. De kosten zitten hem voor aanpassingen aan bestaande gascentrales zoals beschreven in paragraaf 4.1 met name in het verschil tussen de marginale kosten, de geraamde prijs voor groene waterstof en in mindere mate in noodzakelijke investeringen. Ramingen van CE Delft laten zien dat de kosten van elektriciteit uit een STEG-centrale op waterstof drastisch dalen zodra ze meer draaiuren kunnen maken. Wel is het ombouwen van een bestaande gascentrale naar een waterstofcentrale veel goedkoper dan het nieuw bouwen van een waterstofcentrale. Met voldoende draaiuren alleen is een gascentrale op waterstof echter nog niet concurrerend met aardgas vanwege het kostprijsverschil en de hoogte van de CO₂-prijs.

De juiste (financiële) prikkels zijn er nodig om gascentrales te gaan ombouwen naar waterstof. Een belangrijk onderdeel hiervan is een **hogere CO₂-prijs op Europees niveau**, om te voorkomen dat ook in 2030 aardgas nog

³⁵ ETN Global 2020

³⁶ Ansaldo Energia 2020

de goedkoopste brandstof zal zijn, of kan er gekeken worden naar een **verplichte uitfasering aardgas**. Stimulering van waterstof of CO₂-vrije flex is een derde manier om het financiële gat te dichten, echter er zal voorkomen moeten worden dat het gat volledig met subsidies gedicht wordt. Subsidies dienen doelmatig ingezet te worden, moeten leiden tot een leereffect, en zouden dus slechts voor een beperkte tijd nodig moeten zijn om de gewenste ontwikkeling te bereiken. Indien subsidies hier niet aan voldoen leidt dit tot onnodig hoge maatschappelijke kosten en erosie van het draagvlak voor de transitie.

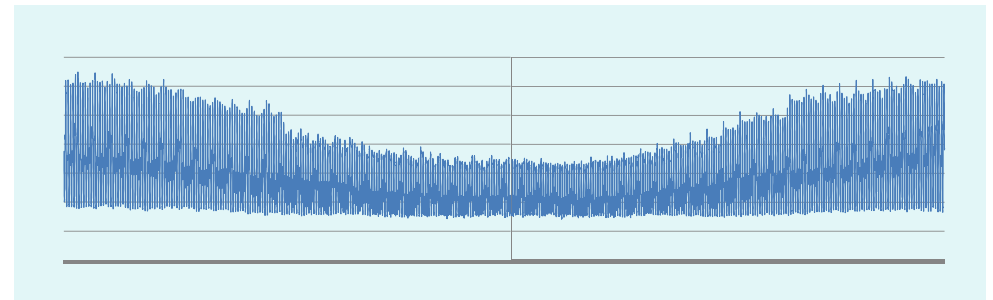
In hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de mogelijke interventies.

4.4. OPTIMALISATIE LOCATIE EN GROOTTE CENTRALE

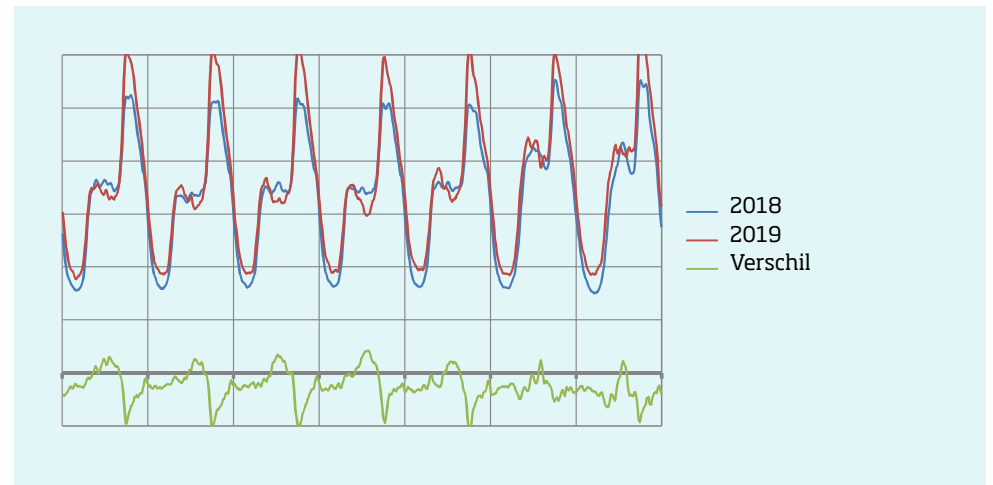
Elektriciteit is duurder om te transporteren dan gas. Daarom is het verstandig de waterstofproductie zo dicht mogelijk bij de duurzame opwekking plaatsen. De huidige gascentrales zijn aangesloten op het hoofdnet van Gasunie. In de toekomst zal dit hoofdnet deels worden omgebouwd naar waterstof. De huidige gascentrales zijn dus waarschijnlijk in een goede positie om in de toekomst ook onderdeel uit te maken van het elektriciteitssysteem.

Het ombouwen van de huidige gascentrales alleen is echter niet genoeg om de toekomstige vraag naar flex te kunnen voorzien. Naar verwachting zal er in 2040 minimaal 20 GW aan regelbare gascentrales nodig zijn (zie Figuur 7). Momenteel is er ongeveer 15 GW aan opgesteld vermogen (zie hoofdstuk 2). Het is van belang vroeg na te denken over de locaties van de gascentrales op waterstof, en waar ze precies voor ingezet gaan worden. Hierbij moet in ieder rekening gehouden worden met het effect op netbelasting en de bijdrage die aan de warmtetransitie kan worden geleverd door het leveren van warmte in de gebouwde omgeving. Ook voor de warmtenetten is namelijk een piekbron nodig om warmte te leveren wanneer baseload bronnen zoals geothermie de vraag niet kunnen bijbenen.

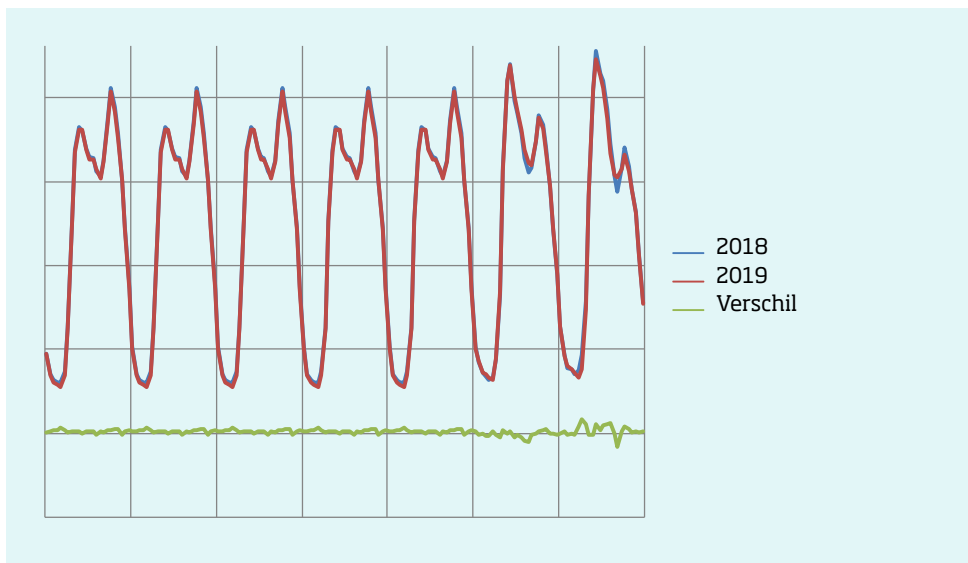
Figuur 9: Typisch jaarprofiel verbruik elektriciteit kleinverbruiker (3x25 Ampère, dubbel telwerk). De grafiek loopt van januari tot en met december. Bron: NEDU (<https://www.nedu.nl/>)



Figuur 10: Typisch weekprofiel winterweek verbruik elektriciteit kleinverbruiker (3x25 Ampère, dubbel telwerk) voor twee verschillende jaren (rood en blauw). Te zien is een kleine piek in de ochtend en een grote piek in de avond. Bron: NEDU (<https://www.nedu.nl/>)



Figuur 11: Typisch weekprofiel winterweek verbruik gas kleinverbruiker (<5000 m³/jaar). Er is een piek in de ochtend en avond te zien. Bron: NEDU (<https://www.nedu.nl/>)



Tekorten aan elektriciteit zullen mogelijk voor een aanzienlijk deel samenvallen met de piekvraag naar warmte. Figuur 9 laat zien dat kleinverbruikers (de meeste woningen) in de winter de meeste elektriciteit verbruiken. Figuur 10 laat zien dat in een typische winterweek de piekvraag aan het begin en het einde van de dag zit. Als dit wordt vergeleken met Figuur 11 die de gasvraag van kleinverbruikers in een winterweek laat zien ligt het voor de hand om de conclusie te trekken dat de piekvragen overlappen en dat er dus een slimme combinatie van de inzet van elektriciteit en warmte mogelijk is. Een regelbare WKK op waterstof zou een goede piekbron kunnen zijn voor zowel warmtenetten als het elektriciteitssysteem. Dergelijke installaties kunnen redelijk goed schakelen tussen het leveren van warmte en elektriciteit. Hiermee kunnen dus de piekvragen vanuit twee transities bediend worden en indien nodig schakelen tussen primair elektriciteitslevering en primair warmtelevering. Daarnaast worden lokale elektriciteitstekorten lokaal opgelost. Dit zou het elektriciteitsnet kunnen ontlasten. Vanwege de lokale inzet lijkt het waarschijnlijk dat de grootte van de centrales beperkt zal blijven tot zo'n 15 MW.

Om te bepalen of dergelijke regelbare WKK's werkelijk de beste oplossing voor het systeem is zal nog verder onderzoek nodig zijn naar de mate van overlap en de integrale businesscase van regelbare WKK's versus installaties die puur elektriciteit of warmte leveren. Indien de uitkomsten van dit onderzoek positief zijn is het voor de locaties van de nieuwe centrales dus van belang dat ze nabij een warmtenet of een industriegebied met een warmtevraag zijn, en dat het hoofdnet van Gasunie in de buurt zit.

Figuur 12 laat zien hoe het waterstoftransportnet gebaseerd op bestaande leidingen er uit kan zien. In Figuur 13 is te zien waar de huidige grootschalige warmtenetten liggen: veel warmtenetten liggen in de buurt van de mogelijke toekomstige waterstofinfrastructuur. Deze spreiding lijkt gunstig te zijn voor een optimalisatie van de inzet van elektriciteit en warmte.

Figuur 12: Waterstoftransportnet. Bron: Gasunie



Figuur 13: Locaties huidige grootschalige warmtenetten (paars). Bron Warmteatlas



4.5. BENODIGDE HOEVEELHEDEN WATERSTOFPRODUCTIE EN -IMPORT

Naar verwachting zal er veel waterstof nodig zijn in de toekomst. Niet alleen voor het elektriciteitssysteem, maar ook voor de verduurzaming van de industrie en scheepvaart. Schattingen lopen uiteen van 776 PJ tot 1648 PJ in 2050 waarvan grofweg de helft afkomstig zal moeten zijn uit import³⁷. Voor de productie van 100 PJ waterstof in Nederland is 9 GW elektrolysevermogen en offshore wind nodig³⁸. Op de Nederlandse Noordzee is ruimte voor maximaal 70 GW offshore wind. **De volledige waterstofbehoefte op Nederlandse bodem opwekken is daarom een praktisch onmogelijke opgave.** Naast het ontwikkelen van elektrolysevermogen in Nederland is daarom het ontwikkelen van een markt voor de import, opslag en handel in groene waterstof essentieel om de benodigde beschikbaarheid van groene waterstof te kunnen garanderen.

Uit paragraaf 4.2 blijkt dat in 2030 al jaarlijks 22 TWh aan CO₂-vrije flex nodig is om de klimaatakkoerdoelen te halen. Hiervoor is jaarlijks 137 PJ aan waterstof nodig³⁹. Het streven is om in 2030 4 GW aan elektrolysecapaciteit gereed te hebben. Dit levert 65 PJ waterstof, die niet volledig voor de elektriciteitssector beschikbaar zal zijn. In 2030 zal er dus alleen al voor de elektriciteitssector meer dan 72 PJ aan groene waterstof geïmporteerd moeten worden.

4.6. OPSLAG VAN WATERSTOF

Om het energiesysteem voldoende in balans te houden is er veel opslagcapaciteit nodig. Natuur & Milieu vindt het van groot belang dat er vroeg rekening wordt gehouden met de noodzaak tot opslag van energie, grotendeels in de vorm van waterstof. Berenschot en Kalavasta (2020) hebben berekend wat de benodigde opslag is in klimaatneutraal Nederland voor zowel een standaard weerjaar als ook voor een extreem weerjaar. Dit laatste geeft de bovengrens aan van wat nodig is aan opslag. De rol van batterijopslag is te beperkt bij het opvangen van seizoens-onbalans. Batterijopslag kan wel een bijdrage leveren om de korte termijn onbalans (minuten tot

maximaal enkele dagen) op te vangen. Hier wordt gefocust op de opslag benodigd voor seizoens-onbalans en onbalans vanaf enkele dagen.

Doordat groene waterstofproductie afhankelijk is van hernieuwbare elektriciteitsproductie zal er geen constant aanbod zijn. Toch moet de vraag naar waterstof altijd ingevuld kunnen worden. Zeker omdat waterstof ook voor gascentrales op waterstof ingezet zal worden wanneer het aanbod van hernieuwbare elektriciteit de vraag naar elektriciteit niet dekt. Omdat Nederland niet in staat zal zijn om alle waterstof zelf te produceren (zie paragraaf 4.5), zal er voor zeker de helft geïmporteerd moeten worden, wat ook opgeslagen moet kunnen worden.

Kader: Drie noodzakelijke soorten van opslag van waterstof:

- **Seizoensafhankelijke opslag:** Nodig voor opvangen van fluctuaties in de productie van groene waterstof en om de winter mee door te komen. In periodes waarbij de productie laag is en de vraag naar waterstof groot moet er waterstof aangevoerd worden vanuit buffers. Wanneer deze elektriciteit niet direct geleverd kan worden zal deze opgewekt moeten worden in een waterstof- of gascentrale.
- **Weerafhankelijke opslag:** Er zijn weerjaren waarin de totale jaarproductie beduidend lager ligt dan in andere weerjaren. Er dient rekening gehouden te worden met weer afhankelijke opslag om te compenseren voor weerjaren waarin de jaarproductie lager ligt dan normaal.
- **Strategische opslag:** Wanneer er over een jaar heen netto geïmporteerd wordt, betekent dat er een afhankelijkheid is van het buitenland. Zodra er een daling is in de productie van waterstof zal dit hoogstwaarschijnlijk ook het geval zijn in buurlanden, aangezien weerinvoeden grensoverschrijdend zijn. Om te voorkomen dat import van waterstof stil valt, omdat er in nabij gelegen landen geen waterstof meer geëxporteerd kan worden, zullen er strategische reserves moeten worden aangelegd⁴⁰.

³⁷ Berenschot en Kalavasta 2020

³⁸ Op basis van 4500 vollasturen offshore wind en elektrolyse, en 70% energetisch rendement elektrolyse

³⁹ Uitgaande van 58% elektrisch rendement.

⁴⁰ Berenschot en Kalavasta 2020, p. 58

Waterstof kan worden opgeslagen in zoutcavernes en in lege gasvelden. Zoutcavernes zijn het meest geschikt voor de opslag van waterstof. Er is een geschatte opslagcapaciteit van waterstof in zoutcavernes van 43 TWh⁴¹. Dit is waarschijnlijk onvoldoende om te voorzien in de volledige vraag naar opslag van waterstof. Dat betekent dat er ook gebruik zal moeten worden gemaakt van lege gasvelden op land of op zee. De totale opslagcapaciteit voor waterstof in lege gasvelden op land is gelijk aan 277 TWh en op zee 179 TWh⁴².

Groen gas is beter geschikt om op te slaan in lege gasvelden. **Natuur & Milieu ziet echter een beperkte rol voor groen gas in het leveren van regelbaar vermogen.** Naar verwachting zal er op voor 2030 niet meer dan 1 miljard m³ groen gas beschikbaar kunnen zijn⁴³. Daarnaast zijn er voor dit groene gas, en ten dele ook voor de grondstoffen van het groene gas, hoogwaardigere toepassingen zijn dan het in te zetten als brandstof⁴⁴.

4.7. CIJFERMATIG OVERZICHT GEWENSTE ONTWIKKELINGEN

Er zal een grote rol weggelegd zijn voor gascentrales voor productie van waterstof voor CO₂-vrij regelbaar vermogen. Deze centrales draaien op waterstof. Waterstof zal echter niet alleen worden ingezet voor het balanceren van de elektriciteitsmarkt, maar ook voor industrie, lucht- en scheepvaart. De importketen van groene waterstof, en de productie ervan moet nog volledig ontwikkeld worden. Ook is de vraag naar opslag groot. Er moet nog onderzocht worden of waterstof in lege gasvelden opgeslagen kan worden. Onderstaande tabel geeft aan wat de orde van grootte is van de verschillende benodigde ontwikkelingen.

Tabel 1: indicatief beeld benodigde ontwikkelingen

Benodigd opgesteld vermogen gascentrales op waterstof	Minstens 20 GW
Benodigd opgesteld vermogen WOZ	70 GW waarvan 40 GW voor waterstofproductie
Groene waterstof voor alle sectoren in NL	1000PJ // 278 TWh
Eigen productie groene waterstof	500 PJ // 139 TWh - 44 GW elektrolysevermogen
Import groene waterstof	500 PJ // 139 TWh
Opslag faciliteiten groene waterstof	58-240 TWh

⁴¹ Berenschot en Kalavasta 2020

⁴² Berenschot en Kalavasta 2020, p. 62

⁴³ Routekaart nationale biograndstoffen 2020

⁴⁴ SER 2020

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Gascentrales hebben een belangrijke rol in de Nederlandse Elektriciteitsvoorziening. Ruim 58% van de Nederlandse elektriciteit was in 2019 afkomstig uit aardgas. De verwachting is dat door het sluiten van de kolencentrales dit aandeel in de nabije toekomst verder oploopt. Deze centrales verbranden aardgas dat voornamelijk afkomstig is uit het buitenland. Hier komt CO₂ bij vrij. Dit is weliswaar tot 2,5 keer minder dan bij een kolencentrale, maar alle gascentrales in Nederland samen stoten evenveel CO₂ uit als 2,9 miljoen huishoudens.

Daarnaast is ook de herkomst van het aardgas zorgelijk. Het is niet exact te zeggen welk deel van het Nederlandse importgas afkomstig is uit Rusland, maar zeker is dat een groot deel afkomstig is uit Rusland en de Verenigde Staten, waar gaswinning veelal gepaard gaat met gaslekken, met meer uitstoot van broeikasgassen als gevolg, zoals beschreven in paragraaf 2.4.

Voor het behalen van de klimaatdoelen is het noodzakelijk dat de productie van elektriciteit uit aardgas stopt voor 2040.

Een elektriciteitssysteem dat in de eerste plaats gebaseerd is op zon en wind heeft ook flexibel regelbaar vermogen nodig om ten tijde van tekorten bij te springen. Gascentrales op groene waterstof zijn hiervoor de meest duurzame en kosteneffectieve oplossing. Gascentrales kunnen snel op- en afschakelen. Eerste verkennende studies laten zien dat er in voor een klimaatneutraal elektriciteitssysteem meer vermogen aan gascentrales opgesteld moet zijn dan dat er nu in Nederland staat.

Het behouden en uitbreiden van het huidige vermogen aan gascentrales, die draaien op groene waterstof, is noodzakelijk.

De uitbreiding van dit vermogen zal op een slim gecoördineerde manier plaats moeten vinden. Het ombouwen van bestaande STEG-centrales is de meest kostenvoordelige optie. De huidige gascentrales zijn waarschijnlijk qua locatie in een goede positie om in de toekomst ook onderdeel uit te maken van het elektriciteitssysteem. Onderzocht

moet worden of nieuwe decentrale WKK's, waarvan ook de warmte goed ingezet kan worden in de gebouwde omgeving, daarnaast een goede aanvulling zijn op het bestaande geplaatste vermogen. Dit zou het elektriciteitsnet kunnen ontlasten doordat het lokale tekorten lokaal oplost en tevens als piekbron kunnen dienen voor warmtenetten.

De potentiële vraag naar groene waterstof is groot. Naar verwachting is zo'n 1000 PJ jaarlijks nodig voor een klimaatneutraal Nederland, dus naast de elektriciteitssector ook onder andere de industrie en de lucht- en scheepvaart. Dit zal niet allemaal in Nederland geproduceerd kunnen worden uit overschotten groene stroom. Naar verwachting zal de helft uit import afkomstig moeten zijn. Het ontwikkelen van een importmarkt is daarom noodzakelijk.

Om de klimaatdoelen voor 2030 te halen zal ook al in 2030 er minimaal 72 PJ aan groene waterstof jaarlijks geïmporteerd moeten worden.

Om ervoor te zorgen dat gascentrales de juiste rol gaan spelen in het duurzame elektriciteitssysteem van de toekomst zodat de klimaatdoelen gehaald worden doet Natuur & Milieu de volgende aanbevelingen gericht op de overheid:

- Toename hernieuwbare elektriciteitsopwekking moet worden gewaarborgd, een deel hiervan is benodigd voor het voorzien van de waterstofvraag. Additioneel elektrolysevermogen moet bijvoorbeeld gekoppeld worden met een additionele opgave voor offshore wind.
- Zich laten bewijzen en opschalen techniek voor productie groene waterstof in Nederland door het ontwikkelen van een passend stimulerend instrumentarium. Onderdeel hiervan kan een goede subsidieregeling voor investeringen in elektrolyse zijn, dan wel een regeling voor het afdekken van de onrendabele top.
- Ontwikkel een importmarkt voor groene waterstof. De overheid zou hier een rol kunnen spelen door:
 - Het stimuleren van opslag en overslag faciliteiten in de Nederlandse havens
 - Tijdens handelsmissies naar landen die een goede positie hebben om waterstof exporteur te worden het belang van waterstof voor het toekomstige mondiale energiesysteem benadrukken.
 - Als overheid strategische reserves waterstof inkopen om de markt op gang te helpen en de energiezekerheid te vergroten.

- Verplicht producenten om op een Europees niveau een oplopend aandeel CO₂-vrij flexibel regelbaar vermogen beschikbaar te hebben naast hun fossiele flexibel regelbaar vermogen, doormiddel van normering.
- Verhoog, idealiter op Europees niveau middels het ETS, de CO₂-prijs voor de elektriciteitssector en stimuleer de inzet van groene waterstof zodanig dat aardgas in 2030 duurder is dan groene waterstof.
- Onderzoek de bouw van nieuwe decentrale WKK's op waterstof die elektriciteit en (rest)warmte leveren mee in voorbereiding op toekomstige ruimtelijke ordening besluitvorming (structuurvisies en regionale energie strategieën 2.0).
- Doe onderzoek naar de mogelijkheid tot opslag van waterstof in zoutcavernes en lege gasvelden en zorg dat de opslagcapaciteit tijdig ontwikkeld wordt.
- Er moet voorkomen worden dat er waterstof uit kolenstroom gemengd wordt met groene waterstof. Er moet gewaarborgd zijn dat de herkomst en daarmee ook duurzaamheid van waterstof inzichtelijk blijft. Gedacht kan worden aan een systeem van GvO's of andere certificaten.

In de transitieperiode waarin aardgas nog een grote rol heeft zou ook de transparantie in de aardgasketen vergroot kunnen worden zodat gestuurd kan worden op de inzet van aardgas met het laagste klimaateffect.

BRONNENLIJST

Ansaldo Energia 2020, 'High hydrogen gas turbine retrofit to eliminate carbon emissions', <https://www.ansaldoenergia.com/Pages/High-Hydrogen-Gas-Turbine-Retrofit-to-Eliminate-Carbon-Emissions.aspx>

Berenschot en Kalavasta 2020, 'Klimaatneutrale energiescenario's 2050', <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/03/31/klimaatneutrale-energiescenarios-2050>

CBS 2016, 'Aardgascentrales in Nederland', <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2016/15/aardgascentrales-in-nederland>

CBS 2019, 'International trade in gas in the Netherlands', <https://www.cbs.nl/en-gb/background/2019/27/international-trade-in-gas-in-the-netherlands>

CBS 2020a, 'Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager', <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80030ned/table?fromstatweb>

CBS 2020b 'Elektriciteitsproductie naar recordhoogte', <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/12/elektriciteitsproductie-naar-recordhoogte>

CE Delft 2016, 'CO₂-reductie bij een moderne kolencentrale', <https://ce.nl/publicaties/1840/co2-reductie-bij-een-moderne-kolencentrale>

CE Delft 2019a, 'Welke centrales vervangen de kolencentrales?', <https://www.ce.nl/publicaties/2222/welke-centrales-vervangen-de-kolencentrales>

CE delft 2019b, 'Effecten van sluiting drie extra kolencentrales', <https://www.natuurenmilieu.nl/wp-content/uploads/2019/05/Onderzoek-naar-de-effecten-van-sluiting-van-kolencentrales-CE-Delft-mei-2019.pdf>

CE Delft 2020, 'Verkenning ontwikkeling CO₂-vrije flexibele energietechnieken', <https://www.ce.nl/publicaties/2459/verkenning-ontwikkeling-co2-vrije-flexibele-energietechnieken>

CIA World Factbook 2019, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>

Compendium voor de Leefomgeving 2019, 'Bruto elektriciteitsproductie en inzet van energiedragers, 1998-2017', <https://www.clo.nl/indicatoren/nl001923-inzet-energiedragers-en-bruto-elektriciteitsproductie>

Compendium voor de Leefomgeving 2020, 'Aanbod en verbruik van elektriciteit, 2019-2018', <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0020-aanbod-en-verbruik-van-elektriciteit>

Energiea 2020, 'Dankzij de Green Deal kan het klimaatakkoord deels de prullenbak in', <https://energiea.nl/fd-artikel/40086809/dankzij-de-green-deal-kan-het-klimaatakkoord-deels-de-prullenbak-in>

ETN Global, 2020, 'Hydrogen gas turbines: the path to a zero-carbon gas turbine', <https://etn.global/wp-content/uploads/2020/02/ETN-Hydrogen-Gas-Turbines-report.pdf>

Financieel Dagblad 2019, 'Dichtdraaien gaskraan leidt tot meer import en hogere CO₂-uitstoot', <https://fd.nl/ondernemen/1316649/dichtdraaien-gaskraan-leidt-tot-meer-import-en-hogere-co2-uitstoot>

Gasunie 2020, 'Investment plan 2020', <https://www.gasunietransportservices.nl/en/gasmarket/investment-plan/investment-plan-2020>

HCSS 2020, 'The deteriorating outlook for Dutch small natural gas fields', <https://hcss.nl/report/deteriorating-outlook-dutch-small-natural-gas-fields>

Routekaart Nationale Biogrondstoffen 2020, <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2020/06/29/routekaart-nationale-biogrondstoffen>

SER 2020, 'Advies biomassa in balans',

<https://www.ser.nl/nl/Publicaties/advies-biomassa-in-balans>

TenneT 2020, 'Rapport monitoring leveringszekerheid 2019' <https://www.tennet.eu/nl/bedrijf/publicaties/rapport-monitoring-leveringszekerheid/>

Trouw 2019, 'Nooit eerder had Nederland meer gas nodig dan het zelf produceert',

<https://www.trouw.nl/duurzaamheid-natuur/nooit-eerder-had-nederland-meer-gas-nodig-dan-het-zelf-produceert~b6105d8f/>

UN Environmental Programme 2019, 'Emission Gap Report',

<https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>

Wise 2020, 'Kennisdossier fossiele stroom: Kolen', [https://wisenederland.nl/artikel/kolen/#:~:text=Bij%20het%20verstoken%20van%20kolen,kWh%20\(IPCC%2C%202014\).](https://wisenederland.nl/artikel/kolen/#:~:text=Bij%20het%20verstoken%20van%20kolen,kWh%20(IPCC%2C%202014).)

OVER NATUUR & MILIEU

Natuur & Milieu is een onafhankelijke milieuorganisatie die gelooft in een duurzame toekomst voor iedereen. Wij werken samen met anderen aan duurzame oplossingen op het gebied van energie, mobiliteit, grondstoffen en voedsel. Omdat deze thema's de grootste impact hebben op het bereiken van onze doelen: Nederland klimaatneutraal in 2050 en herstel van biodiversiteit.

Mocht u vragen hebben na het lezen van deze visie of hierover met ons van gedachten willen wisselen, dan kunt u contact opnemen met de auteur: Peter de Jong.

Colofon

Natuur & Milieu, Utrecht, oktober 2020

Vormgeving

DeUitwerkStudio

Coverafbeelding

Vattenfall

Contact

Natuur & Milieu

E-mail: P.dejong@natuurenmilieu.nl

Telefoon: +31 (0)30 233 13 28

**NATUUR
& MILIEU**