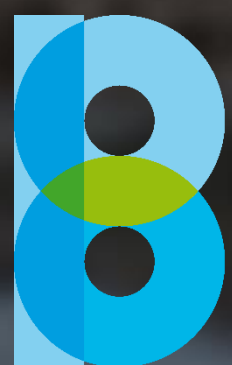


Toekomstvisie WKK

**De nieuwe rol van WKK
in een veranderend energielandschap**

Juli 2018



BlueTerra
Energy Experts

Wat is de uitdaging?

Het bedrijfsleven staat voor een enorme doelstelling voor 2050: 90% CO₂ reductie ten opzichte van 1990. Praktisch betekent dit dat het gebruik van fossiele brandstof zonder CO₂-afvang (CCS) vrijwel volledig wordt gestopt, aardgas zonder CCS blijft hooguit voor enkele moeilijke gevallen toegepast.

De uitdaging is enorm, hoe is dit op een betaalbare wijze te bereiken? Welke technologieën en bronnen komen hiervoor in aanmerking? Tot nu toe was het leven simpel, energie werd voorzien met aardgas en WKK was het werkpaard van de industrie. Jarenlang was dit een succesvolle aanpak waarin WKK voorzag van betaalbare warmte en elektriciteit. Wat is hier de toekomst van?

Gelukkig schrijdt de techniek voort. Er doemen vele nieuwe mogelijkheden op om warmte en elektriciteit op CO₂-neutrale wijze op te produceren. Dit varieert van windenergie en geothermie tot biomassa of CCS. In al die routes en ketens zitten diverse conversiestappen. Vaak worden de energiebronnen omgezet in energiedragers om de energie praktisch toepasbaar te maken op de gewenste plek, met de gewenste condities en op het gewenste tijdstip.

Een hoge efficiëntie in die conversiestappen is van groot belang om zo'n keten te laten slagen. Verliezen moeten worden beperkt of nuttig als warmte worden ingezet. WKK is in de basis een conversiemethode met een hoge efficiëntie. Heeft WKK in deze toekomstige energieketens een rol te spelen? Dat is de hoofdvraag in dit rapport.

Om de toekomstige rol van WKK te bepalen is allereerst de toekomstige warmtevraag in beeld gebracht van de sectoren waarin WKK draait. Vervolgens worden alle CO₂ neutrale verwarmingstechnologieën toegelicht, waaronder CO₂ neutrale WKK. De invulling van de toekomstige warmtevraag met deze technologieën is ingeschat op basis van de technische mogelijkheden ter plaatse van deze warmtevragers alsmede de gevraagde temperatuurniveaus. Vervolgens is ook de rol van WKK in de toekomstige elektriciteitsmarkt weergegeven. Beiden leiden tot een toekomstbeeld voor de inzet van WKK. De analyse leidt tot interessante conclusies voor WKK en andere technologieën.

Als basis voor de inzet van technologieën in de toekomst zijn diverse bronnen geraadpleegd. De verdere invulling is gebaseerd op eigen rekenmodellen, kennis en expertise.

De genoemde thema's zijn over diverse delen van het rapport verdeeld. De leeswijzer geeft een korte opsomming van welke informatie waar beschreven staat.

Leeswijzer

1. De huidige en toekomstige warmtevraag

Per sector wordt de actuele en de te verwachten warmtevraag in beeld gebracht, onderverdeeld in de temperatuurniveaus.

2. Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Diverse energiebronnen die ingezet kunnen worden voor warmteproductie worden toegelicht waarna bijbehorende conversietechnieken worden uitgelegd.

3. De elektriciteitsmarkt

De elektriciteitsmarkt verandert, de vraag naar flexibel vermogen stijgt. Welke middelen kunnen dit leveren?

4. Toepassing WKK

Hoe kan de WKK in de toekomst succesvol worden ingezet en op welke brandstoffen is dit straks mogelijk?

5. Invulling warmtevraag

De in hoofdstuk één onderzochte warmtevraag wordt per sector ingevuld en toegelicht.

6. Toekomstbeeld inzet WKK

De totale warmte en elektriciteitsproductie in 2050 door WKK wordt hier toegelicht.

7. Conclusie

De belangrijkste resultaten van dit onderzoek komen aan bod.

[1] Huidige en toekomstige warmtevraag: Industrie

In dit hoofdstuk wordt per sector weergegeven wat de huidige warmtevraag is en wat deze naar verwachting in 2050 zal zijn.

Daarbij zijn per sector de relevante temperatuurniveaus weergegeven. Achtereenvolgens worden de industrie, glastuinbouw en de gebouwde omgeving beschreven.

De industriële warmtevraag bestaat uit de vraag naar proceswarmte op verschillende temperatuurniveaus. De grootste warmtevraag komt vanuit de chemie, raffinage en de metaalindustrie voor met name hoge temperatuurwarmte vanaf 500°C. In de chemie en raffinage gaat het daarbij om ondervoeding van fornuizen voor processen als reformen, stoomkraken en ontzwaveling. Bij de metaalindustrie is de hoge temperatuur benodigd voor cokesproductie en het verhitten van ijzererts naar reactie-temperatuur. Lagere temperatuurwarmte wordt veel ingezet voor droog- en destillatieprocessen voor raffinage en in de chemie maar ook in de papier en karton sector en de voedingsmiddelenindustrie. Om een goed inzicht te krijgen in de verandering van de warmtevraag worden de belangrijkste ontwikkelingen per sub-sector nu weergegeven.

Ontwikkelingen Sub-sectoren

Chemie

De chemische sector kende in 2015 een totale warmtevraag van 244 PJ. Tot en met 2030 stijgt productie licht, onder andere door dreigend tekort aan aromaten [1]. Vanaf 2030 komt de petrochemie onder druk te staan doordat de grondstofvraag wordt gereduceerd door de recycling van plastics en andere productiemethoden van kunstmest. Er zal de komende tijd een kleine besparing mogelijk zijn door procesintensivering. Op de lange termijn zal de energie-efficiëntie stijgen door innovaties als kristallisatie en membraandestillatie [2]. Het gevolg van deze ontwikkelingen is dat het energieverbruik met 30% zal dalen ten opzichte van het energieniveau in 2015.

Raffinage

De warmtevraag betreffende raffinage bedroeg in 2013 nog 140 PJ. De raffinage sector zal de komende periode echter sterk gereduceerd worden. In eerste instantie door de sterke concurrentie met de VS, Rusland en landen in het Midden-Oosten en in een later stadium door een forse afname van de vraag naar brandstoffen voor wegvervoer en scheepvaart. De vrijkomende raffinagecapaciteit zou ingezet kunnen worden voor productie van biobrandstoffen. Naast afname van productie zijn er ook significante energiebesparingen te realiseren op de lange termijn met maatregelen op het gebied van membraantechnologie en scheidingsprocessen (reactieve destillatie; dividing wall column) [4]. Naar verwachting zal het warmteverbruik in 2050 met bijna 60% dalen ten opzichte van 2015.

Uitgangspunten

-Voor de inschatting van de huidige warmtevraag in de industrie is gebruikt gemaakt van bronnen van CE Delft, Davidse Consultancy en Rehfeldt et al [1,2,3]

-Voor de verdeling warmtevraag over de temperatuur-niveaus is de verdeling aangehouden zoals in de rapportage van CE Delft [1]. Deze ligt in lijn met de verdeling zoals weergegeven in Rehfeldt et al [3].

-Verandering in de warmtevraag is ingeschat op basis van de productieverwachtingen en efficiëntie-verbeteringen per subsector.

-Er is aangenomen dat de verdeling van de temperatuurniveaus per sector gelijk zullen blijven.

“De warmtevraag voor raffinage zal met bijna 60% dalen”

[1] Huidige en toekomstige warmtevraag: Industrie

Metaal

Metaalproductie benodigde in 2013 79 PJ aan, hoofdzakelijk, hoge temperatuurwarmte. Tata Steel is de hoofdverantwoordelijk voor de hoge warmtevraag in deze sector door de proceswarmte die benodigd is voor de ijzer- en staalproductie. Tata Steel staat, zoals de gehele Europese staalproductie, onder druk door toenemende concurrentie vanuit met name China. De sterke concurrentiepositie van Tata Steel en de verwachte verdubbeling van de vraag naar staal richting 2050 hebben daarentegen een positief effect op de productie [1], [5]. Het productieniveau ligt daarom in 2030 en 2050 in onze prognose gelijk aan het huidige niveau. Er wordt er vanuit gegaan dat er vanaf 2035 grotendeels omgeschakeld wordt naar het Hisarnaproces voor de productie van ruw ijzer waardoor de energie-intensiteit van het productieproces afneemt [6]. Daarnaast valt er nog winst te behalen in het optimaliseren van de smeltfornuizen. Dit zou een totale energiebesparing betekenen van ongeveer 25% in 2050.

Overige industrieën

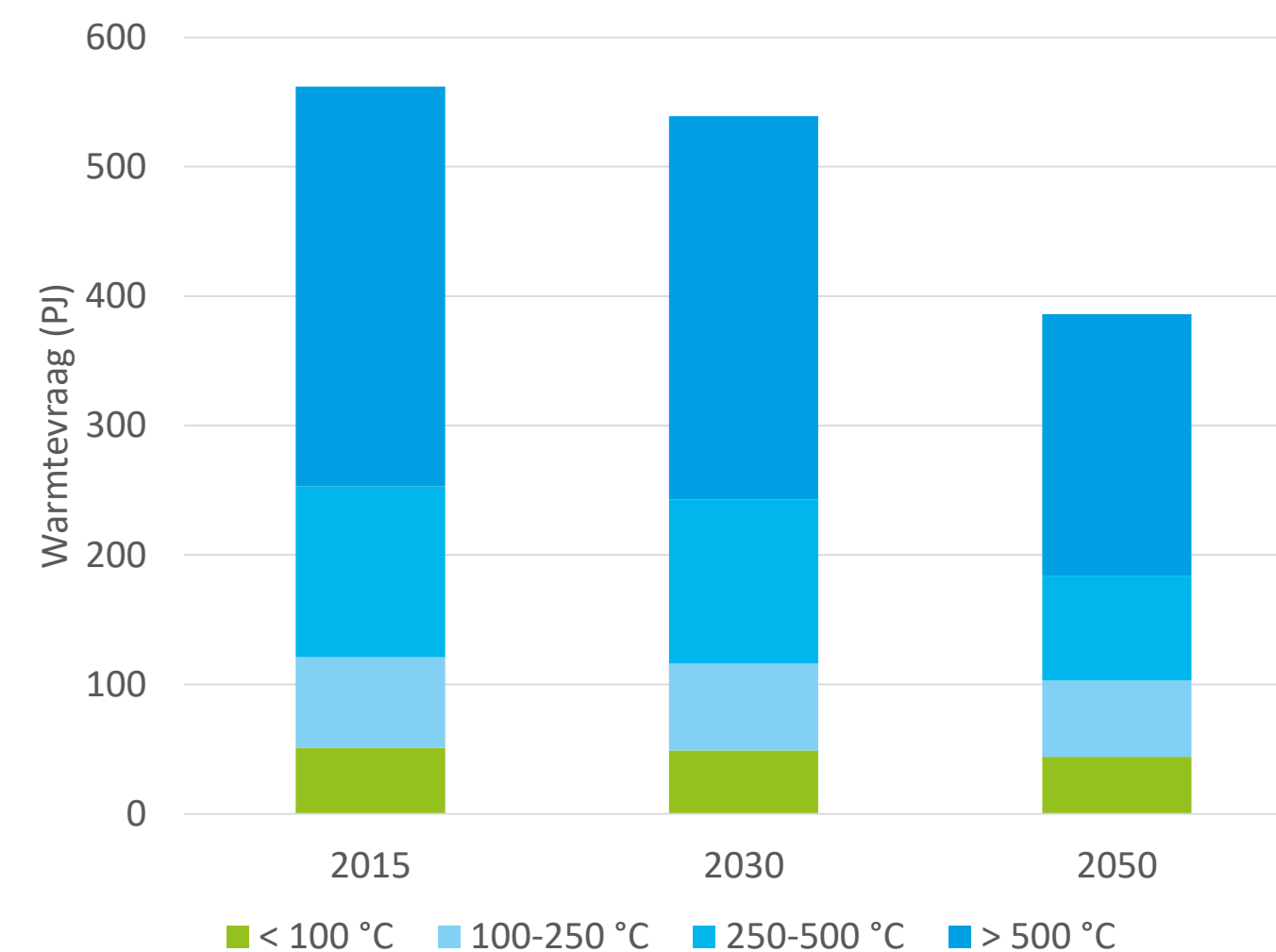
De overige industrieën zijn nog verantwoordelijk voor een warmtevraag van 99 PJ, voornamelijk voor midden & lage temperatuurwarmte in de voedings- en genotsmiddelen sector (V&G), de papier en karton industrie en hoge temperatuurwarmte in de bouwmaterialen industrie. In deze industrieën is de verwachting dat de productie over het algemeen op een gelijk niveau blijft of licht toe zal nemen [1]. Op het gebied van energiebesparing zijn voornamelijk verbeteringen te verwachten in de V&G sector en de papier en karton industrie door middel van optimalisatie van de droogprocessen. Een totale energiebesparing van 15% kan gerealiseerd worden in 2050.

Huidige warmtevraag

De totale warmtevraag vanuit de industriële sub-sectoren bedroeg in 2015 ongeveer 562 PJ per jaar. Daarmee behelst de industriële warmtevraag bijna 20% van het finale Nederlandse energieverbruik. Meer dan de helft van de warmtevraag betreft temperaturen van boven de 500°C.

Toekomstige warmtevraag

Richting 2030 is er door de diverse ontwikkelingen in de sub-sectoren een lichte daling van de warmtevraag naar een totaal van 537 PJ. Dit komt met name door de daling van de warmtevraag voor raffinage. In 2050 kunnen er door grotere procesveranderingen ook in andere sectoren een aanzienlijke reductie van de benodigde warmte bereikt worden. De door ons verwachte warmtevraag in 2050 bedraagt 386 PJ. Dit is een daling van ongeveer 30% ten opzichte van 2015, voornamelijk veroorzaakt door besparing in de hoge temperatuur warmtevraag. De warmtevraag voor lage temperatuurwarmte daalt slechts met 15%.



Figuur 1: Ontwikkeling warmtevraag industrie

“Het grootste gedeelte van de warmtevraag in de industrie bedraagt hoge temperatuurwarmte boven de 500 °C”

[1] Huidige en toekomstige warmtevraag: Glastuinbouw

De warmtevraag vanuit de glastuinbouwsector vindt vooral tijdens het najaar, de winter en in het voorjaar plaats. Het vereiste temperatuurniveau is afhankelijk van het type gewas. Elk gewas heeft een eigen temperatuurrange en gevoeligheid waarop geteeld kan worden.

Gewassenmix

De energievraag is sterk afhankelijk van type gewas dat wordt geteeld. Er is een verschil tussen invulling van energie-intensieve teelt met een hoge economische waarde en overige gewassen. Aangenomen wordt dat de gewassenmix in 2050 sterk is veranderd. Traditionele producten zoals komkommers, tomaten en paprika's zullen minder worden verbouwd (verdringing door meer lokale productie in het buitenland). In plaats daarvan komen specialistischere producten voor farmaceutische toepassingen, cosmetica, voedingsindustrie en agrochemie [7]. Het aandeel van deze specialistische producten wordt verwacht 40% te zijn in 2050. Dit is in lijn met de verwachtingen in de "Roadmap next economy" [8] van de metropoolregio die ook een transitie van standaard producten richting specialistische producten voorziet. Deze trend heeft een verhogend effect op de warmtevraag.

Areaal

Het totale oppervlakte van het areaal is in 2050 geslonken met 20%. Een deel van de verouderde kassen zullen niet vervangen worden wat een verlagend effect heeft op de totale warmtevraag in 2050.

Efficiëntie

Qua energiebesparende maatregelen zijn er voldoende mogelijkheden om de warmtevraag te beperken. Energiezuinig telen wordt sterk gestimuleerd via het concept "Het nieuwe telen" waarbij aan de hand van het toetsen van verschillende parameters een optimale productie behaald kan worden. Daarnaast zorgen aanpassingen aan de kassen zoals verbeterde isolatie en ventilatie ook voor een reductie van de energievraag en een daling van het benodigde temperatuurniveau.

Huidige warmtevraag

De teelt van verschillende gewassen in de glastuinbouwsector kende in 2015 een totale warmtebehoefte van 72 PJ. Ongeveer 7% van de totale warmtevraag in Nederland.

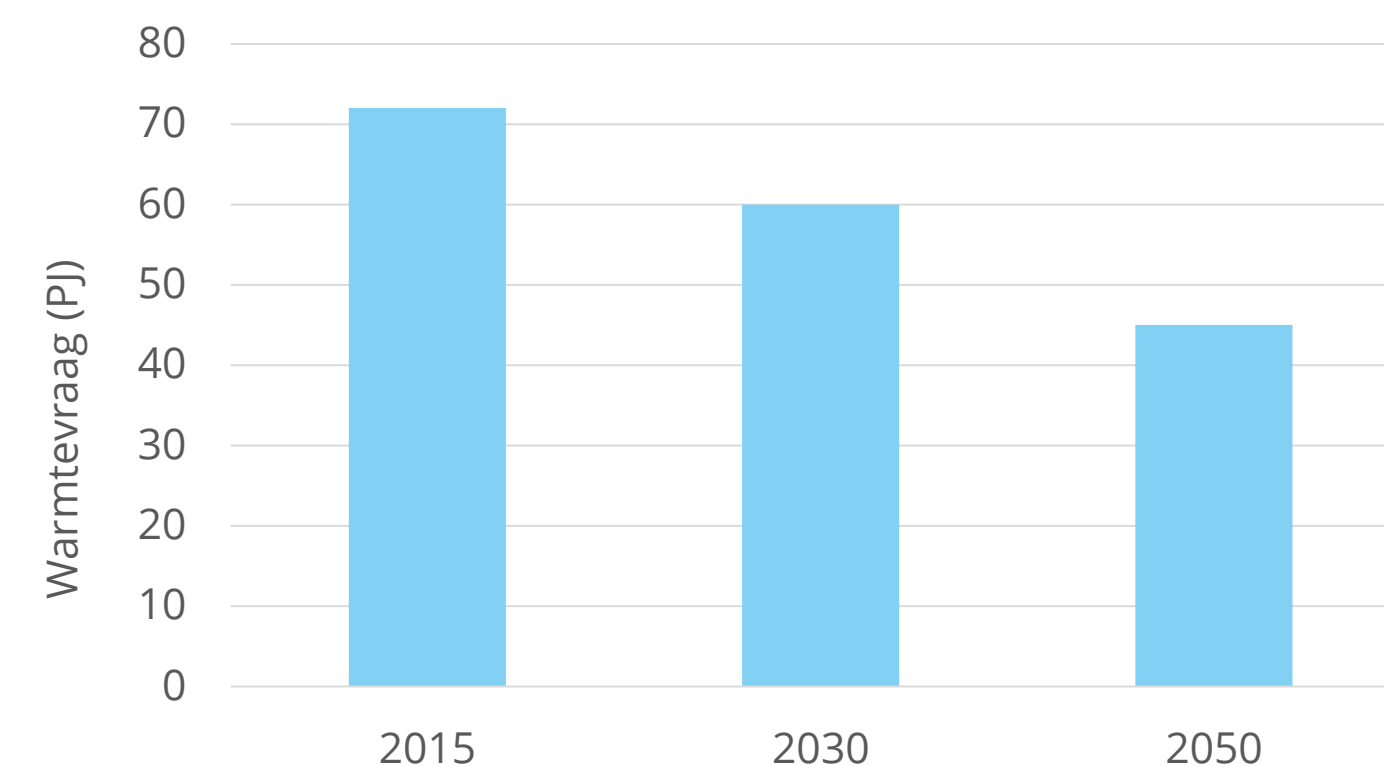
"Het totale oppervlakte van het areaal is in 2050 geslonken met 20%."

Toekomstige warmtevraag

De hierboven genoemde ontwikkelingen resulteren in een lineaire afname van de warmtevraag in de glastuinbouw richting 2050. De warmtevraag neemt met iets meer dan een derde af naar 45 PJ in 2050. Bovendien zal hiervoor gemiddeld een lager temperatuurniveau benodigd zijn.

Uitgangspunten

- Door adviesbureau CE-Delft is in 2015 het verloop van de energievraag richting 2050 vastgesteld in samenwerking met een groep van circa 30 experts uit de sector [7]. Dit is het uitgangspunt voor de verdeling van de warmtevraag in dit rapport.
- Voor de verandering van de warmtevraag is rekening gehouden met drie factoren: de verandering in de gewassenmix, verbetering van de efficiëntie en het afname van areaal.
- De verdeling van de warmtevraag voor verschillende temperatuurniveaus is onduidelijk in de glastuinbouw. Hiervoor wordt dan ook geen onderscheidt gemaakt. Wel is de verwachting dat er een verschuiving komt naar lagere temperatuurniveaus [7].



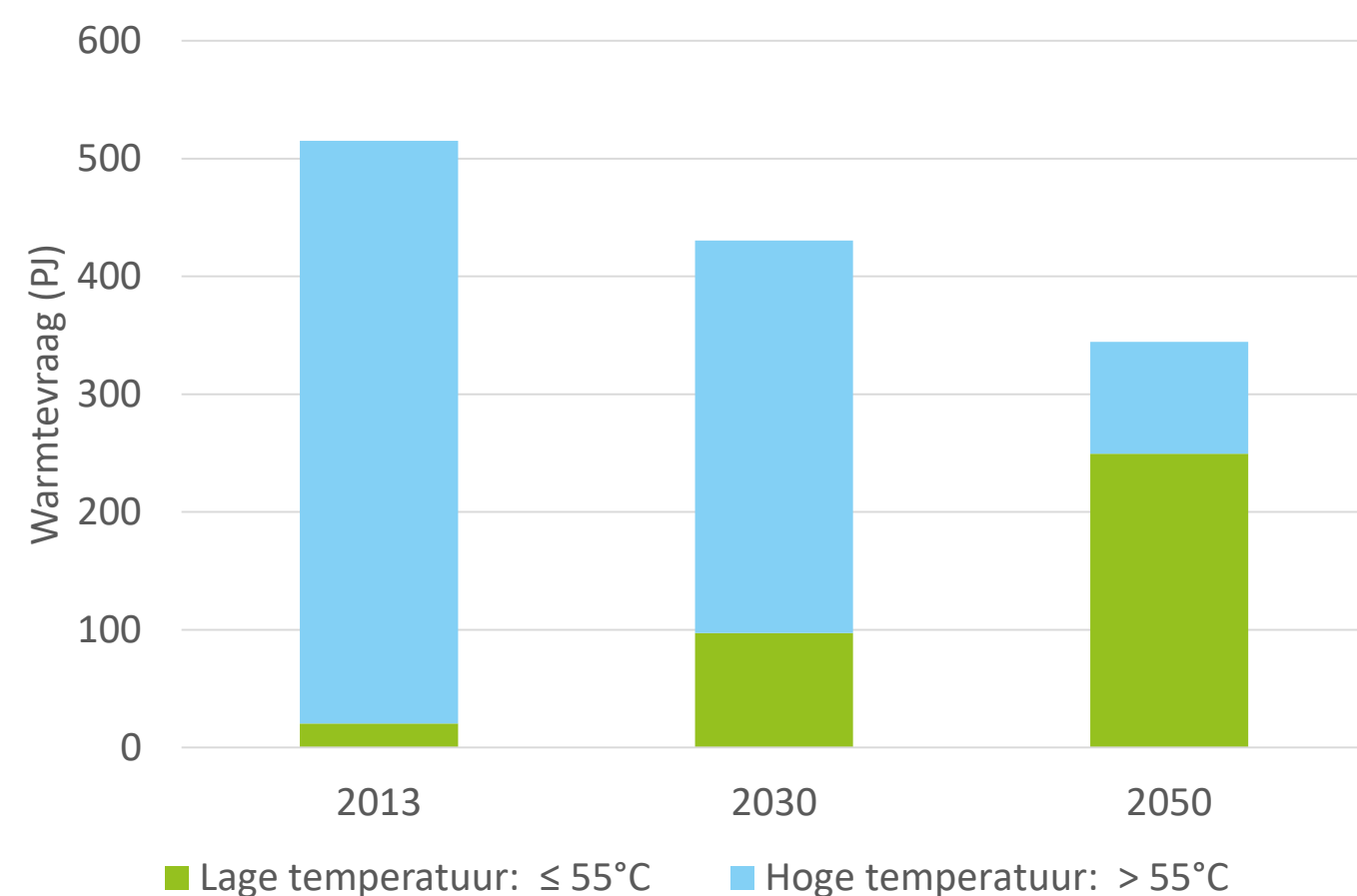
Figuur 2: Ontwikkeling warmtevraag glastuinbouw (temperatuurrange ca. 30-90°C)

[1] Huidige en toekomstige warmtevraag: Gebouwde omgeving

Binnen de gebouwde omgeving vallen zowel de woningbouwsector als de utiliteitssector. In de utiliteitssector wordt de benodigde warmte vrijwel geheel ingezet voor ruimteverwarming. In de woningbouwsector is naast ruimteverwarming ook behoefte aan warm tapwater.

Volume

De woningvoorraad neemt richting 2050 toe door een toename van de bevolking en beperkte doorstroming op de woningmarkt. Richting 2030 is een stijging voorzien van 13% van het aantal woningen. Vanaf 2030 vlakt deze groei iets af waarmee de totale stijging in 2050 ten opzichte van het huidige niveau uitkomt op 21%. In de utiliteitsbouw is een vergelijkbare ontwikkeling te zien, een toename van 17% van het bruto vloeroppervlakte t.o.v. 2013.



Figuur 3: Ontwikkeling van warmtevraag in de gebouwde omgeving

Energie-efficiëntie

De komende jaren neemt de impact van efficiëntieverbeteringen op de totale energievraag toe, al dan niet getriggerd door eisen en stimuleringsmaatregelen van de overheid en stijgende energieprijzen. In vergelijking met 2013 zal voor nieuwbouw de warmtevraag per woning in 2030 gemiddeld 25% lager uitvallen wat in 2050 oploopt tot liefst 44%. In de bestaande bouw is de impact in 2030 met 16% kleiner maar in 2050 zal ook in de bestaande bouw een reductie van ca. 37% plaatsvinden. De utiliteitsbouw zal in 2050 de grootste besparing kunnen realiseren met 45%.

Huidige warmtevraag

De totale warmtevraag over deze sectoren bedroeg in 2013 circa 515 PJ. Dit is circa de helft van de totale Nederlandse vraag naar warmte. In deze rapportage is aangehouden dat in 2013 circa 95% van de huidige warmtevraag binnen de gebouwde omgeving hoge temperatuur warmte betreft.

Toekomstige warmtevraag

De genoemde veranderingen in de woning- en utiliteitsbouw zorgen dat de warmtevraag de komende decennia in totaal met bijna 30% afneemt. In 2030 is de daling met 15% nog iets beperkter door de sterke stijging van de gebouwvoorraad. Uit figuur 3 is daarnaast ook duidelijk zichtbaar dat de vraag naar HT warmte sterk afneemt en wordt opgevangen door LT warmte (tot 55°C), in 2050 bestaat 30% van de vraag uit HT warmte.

Uitgangspunten

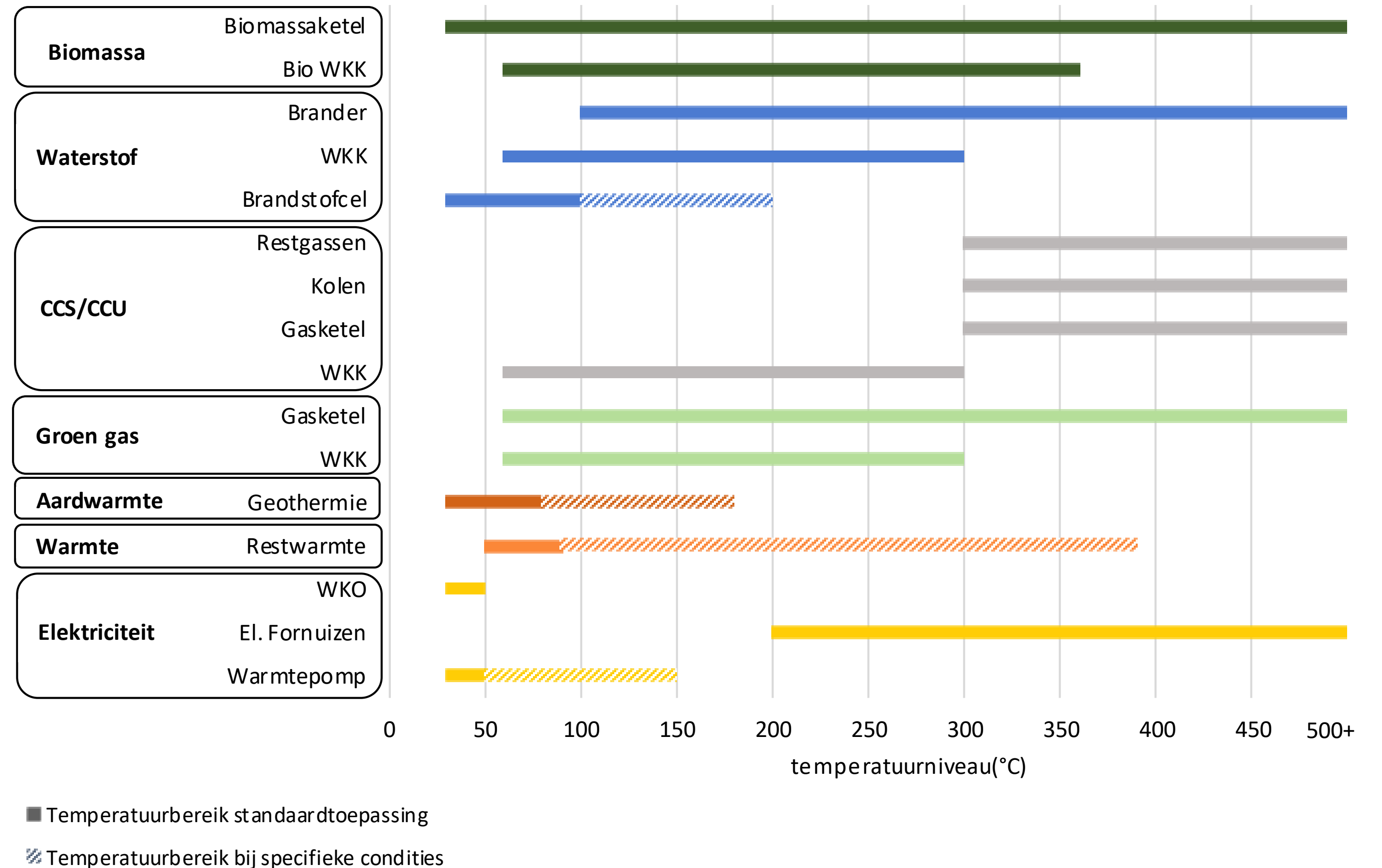
- Voor de inschatting van de huidige en toekomstige warmtevraag is het rapport Achtergronddocument Klimaat en energie (WLO) van PBL aangehouden [9]. Voor deze studie is de keuze gemaakt om het gemiddelde over de twee graden scenario's centraal en decentraal te hanteren.
- In de ontwikkeling van de warmtevraag is rekening gehouden met de volumeontwikkeling en de efficiëntieverbeteringen tussen 2013 en 2050 voor zowel de woning- als de utiliteitsbouw.
- Er is uitgegaan van de huidige klimaatcondities voor het bepalen van de warmtevraag in 2030 en 2050. Door klimatologische veranderingen zou de energievraag nog 10-15% lager uit kunnen vallen. [10]
- De verdeling tussen LT en HT warmte is gemaakt op basis van de verdeling van de gebouwvoorraad naar bouwjaar en kosten indicaties voor het aanbrengen van extra isolatie en het mogelijk maken van LT opwekking en afgifte.
- Voor deze sector is warmte met een temperatuur kleiner of gelijk aan 55°C als lage temperatuur warmte (LT) gedefinieerd en alles daarboven als hoge temperatuur warmte (HT).

[2] Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Om het perspectief van WKK te bepalen is het van belang te weten welke energiebronnen de warmtevraag van 2050 met minimale CO₂-uitstoot kunnen invullen. De huidige warmtevraag wordt voor een groot deel ingevuld door benutting van aardgas in gasketels dan wel gasgestookte WKK's. Deze enorme dominantie van gas als bron voor de warmtevraag zal bij een transitie naar een CO₂ neutrale samenleving verdwijnen. Het is niet aannemelijk dat de rol van aardgas door één enkele andere energiedrager wordt overgenomen. De kosten van de toepassing van een bepaalde warmtebron zal sterk afhangen van het toepassingsgebied, de locatie en de beschikbaarheid van de warmtebron. Er zijn zes mogelijke energiebronnen geïdentificeerd die in dit hoofdstuk zullen worden beoordeeld op de volgende aspecten; het temperatuurniveau dat bereikt kan worden, de beschikbaarheid en de regionale inpasbaarheid. Het betreft onderstaande energiebronnen.

- Biomassa
- Waterstof
- Fossiel met CCS/CCU
- Groengas
- Aardwarmte
- Restwarmte
- Elektrificatie

In figuur 4 zijn de temperatuurniveaus per energiebron en conversietechniek samengevat. Hieruit kan worden geconcludeerd dat voor hogere temperaturen, zoals veelvuldig toegepast binnen de industrie, de opties om de warmtevraag in te vullen afnemen. De hier aangegeven bronnen worden op de volgende pagina's verder toegelicht.



Figuur 4: Overzicht temperatuurniveaus die bereikt kunnen worden met de verschillende warmtebronnen in 2050

[2] Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Biomassa

Warmteproductie uit vaste biomassa betreft de verbranding van droge veelal houtachtige fracties organisch materiaal.

Binnenlandse biomassastromen betreft vaak snoei- en houtafval afkomstig uit de bosbouw, agrarische sector en houtwerkende industrie. Geïmporteerde buitenlandse biomassa bestaat met name uit houtpellets. Warmte kan via een biomassa-ketel of biomassa WKK worden geproduceerd. Bij gebruik van biomassa zou in het geval van grootschalige installaties ook CCS/CCU kunnen worden toegepast. In dat geval kunnen er negatieve emissies bereikt worden.

Temperatuurniveau

Het gebruik van biomassa is zowel toepasbaar voor productie van warmte voor ruimteverwarming als hoge temperatuurwarmte voor industriële processen. Bij de toepassing van biomassa WKK ligt het maximale temperatuurniveau op ongeveer 300 °C.

Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van biomassa is een belangrijk discussiepunt bij het toepassen van deze warmtebron. Ongelimiteerde productie vanuit biomassa conflicteert met behoud van biodiversiteit en de voedselvoorziening. Bovendien kan biomassa als grondstof worden gebruikt in de petrochemie en als basis voor biobrandstoffen. Het aanbod van duurzame biomassa zal waarschijnlijk lager liggen dan de vraag. Welk deel van de biomassa direct zal worden benut voor de warmtevraag is dus ook afhankelijk van de waarde die het daarbij vertegenwoordigt ten opzichte van de waarde die het bij andere toepassingsgebieden heeft.

De beschikbaarheid van biomassa voor warmteproductie is door deze grote afhankelijkheden onzeker en schattingen lopen hierdoor sterk uiteen. Voor de maximale import van biomassa houden wij het standaard scenario van PBL [11] aan dat uitgaat van 250 PJ. Dit is vijf keer zo veel als momenteel is afgesproken in het energieakkoord als maximum bijstook in kolencentrales. Daarnaast gaan we uit van ongeveer 50 PJ aan binnenlandse vaste biomassapotentieel. Een deel van dit verwachte biomassa-aanbod van 300 PJ zal worden verwerkt tot groen gas via vergassing (*zie groen gas*).

Regionale inpasbaarheid

Het overgrote deel van de beschikbare biomassa zal dus worden geïmporteerd en aankomen per schip in Nederlandse havens. Voor de grootschalige warmtevraag van industriële clusters in havengebieden is biomassa goed toepasbaar. Transport over land is relatief duur en vereist veel transportbewegingen door de veelal lagere energie-inhoud per m³. Voor grootschalige decentrale toepassing in het binnenland is biomassa hiermee minder geschikt.

“Het aanbod van duurzame biomassa zal waarschijnlijk lager liggen dan de vraag. De waarde per toepassingsgebied zal bepalend zijn voor de inzet van biomassa voor warmteproductie”

Groen gas

Groen gas kan worden verkregen door vergisting van natte biomassastromen alsmede de vergassing van vaste biomassastromen. Voor de inschatting van de totale groengas productie wordt aangenomen dat de gassen verkregen tijdens vergisting of vergassen standaard worden opgewaardeerd naar groen gas. Groen gas heeft dezelfde eigenschappen als aardgas en kan daardoor worden toegepast binnen bestaande gasketels en WKK's.

Temperatuurniveau

Er zit geen verschil in het temperatuurniveau van warmte geproduceerd met groen gas of aardgas. Wanneer het wordt ingezet voor elektriciteit- en warmteproductie via WKK kan een temperatuurniveau van maximaal circa 300 °C worden bereikt.

Beschikbaarheid

Net als voor vaste biomassa geldt dat de beschikbaarheid van groen gas een belemmerende factor is voor de toepassing. Het gat dat aardgas achterlaat kan slechts beperkt worden ingevuld door groen gas. Ook voor groen gas geldt dat er grenzen zijn aan de productie en de inzet van biomassastromen verdeelt moet worden over de verschillende toepassingsgebieden. De potentie voor binnenlandse natte biomassastromen bedraagt ongeveer 100 PJ. Daarnaast nemen wij aan dat de helft van de beschikbare vaste biomassa, 150 PJ, zal worden vergast tot groen gas ten behoeve van transport. De totale beschikbaarheid hangt echter sterk af van de hoeveelheid geïmporteerde houtpellets en het aandeel dat daarvan vergast.

[2] Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Regionale inpasbaarheid

Groen gas kan optimaal gebruik maken van de huidige gasinfrastructuur, kan eenvoudig worden gebufferd en is bovendien inzetbaar in de huidige gasketels, motoren en turbines. Noodzaak is wel dat er geïnvesteerd blijft worden in de bestaande gasinfrastructuur.

Waterstof

Waterstof zou in een toekomstig energiesysteem kunnen fungeren als energiedrager. Waterstof wordt momenteel vooral verkregen door stoomreforming, het samenvoegen van aardgas en stoom onder hoge temperatuur en hoge druk. Een andere mogelijkheid om waterstof te verkrijgen is de door overtollige elektriciteit uit wind en zon via elektrolyse om te zetten naar waterstof. Door opslag in zoutcavernen en pijpleidingen dient waterstof op deze manier als buffermethode van overtollige elektriciteit.

Temperatuurniveau

Waterstof kan worden omgezet in warmte bij toepassing in een brander en deze toepassing is daarmee geschikt voor het leveren van HT warmte in de industrie. In brandstofcellen reageren waterstof en zuurstof met elkaar, naast elektriciteit levert dit ook warmte op, doorgaans op temperaturen van 60 tot 70 °C. De verwachting is dat brandstofcellen tot 200°C warmte kunnen gaan leveren voor middendruk stoom [12]. Door de gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte is de brandstofcel een vorm van WKK.

WKK op waterstof heeft in potentie de mogelijkheid om dezelfde temperatuurniveaus te kunnen voorzien als traditionele WKK.

Beschikbaarheid

De huidige totale jaarlijkse productie van waterstof via stoomreforming vertegenwoordigt ongeveer 100 PJ aan energie (828 kton) en wordt met name toegepast als grondstof in de industrie [13]. In 2050 ligt het bovendien voor de hand dat binnenlandse overschotten van elektriciteit worden omgezet in waterstof via elektrolyse. Bij een capaciteit van 10 GW aan elektrolyse zal er rond de 115 PJ aan waterstof worden geproduceerd (bij 4.000 vollasturen). De toepassing van waterstof voor warmte of elektriciteit concurreert met de toepassing van waterstof als grondstof in de industrie zoals het momenteel al ingezet wordt. Verder kan waterstof een hoge waarde vertegenwoordigen binnen de transportsector, de mate waarin is afhankelijk van de groei van elektrificatie. Waterstof zal in deze toepassing waarschijnlijk een hogere waarde vertegenwoordigen dan in WKK of stationaire brandstofcel toepassingen. De beschikbaarheid van waterstof voor warmteproductie wordt in dit rapport ingeschat op 100 PJ. Dit zal voor een deel uit stoomreforming komen en een deel uit elektrolyse. Bij een veel grotere vraag zou meer productie van waterstof via stoomreforming met CCS of import uit zonnrijke gebieden opties kunnen zijn om de hoeveelheid beschikbare waterstof te vergroten.

Regionale inpasbaarheid

Waterstof zal voornamelijk beschikbaar komen in de kustgebieden. Hier komt de waterstof uit elektrolyse via wind op zee aan land, vindt eventuele grootschalige stoomreforming plaats en komt mogelijk geïmporteerde waterstof het land binnen. Het ligt voor de hand dat waterstof in eerste instantie met name in

de kustgebieden bij grootschalige vraag wordt toegepast en er een lokale waterstofinfrastructuur wordt aangelegd. De inpassing van waterstof in de rest van het land hangt af van de mate waarop de huidige gasinfrastructuur geschikt gemaakt gaat worden voor waterstoftransport. Beperkte bijmenging in het huidige gasnet is een mogelijkheid om de transitie naar waterstof distributie te versnellen.

“Waterstof uit binnenlandse elektrolyse is onvoldoende voor grootschalige toepassing in de warmtevoorziening”

Fossiel met CCS/CCU

Carbon capture and storage (CCS) betreft de afvang van CO₂ uit rookgassen en andere gasstromen, het geschikt maken voor transport, het transport en de injectie in lege gasvelden of diepliggende waterlagen. Afvang kan zowel voor verbranding ('pre-combustion') of na verbranding ('post-combustion') of door zuurstof toe te voegen voor verbranding in plaats van lucht ('oxy-fuel'). Carbon capture and utilization (CCU) wijkt af van CCS in de zin dat de CO₂ niet wordt opgeslagen maar nuttig wordt ingezet. Als brandstofinput kan kolen, aardgas en restgassen dienen. Een nadeel van CCS/CCU ten opzichte van andere duurzame technologieën is dat slechts 80 tot 90% van de vrijkomende CO₂ kosteneffectief kan worden afgevangen.

[2] Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Temperatuurniveau

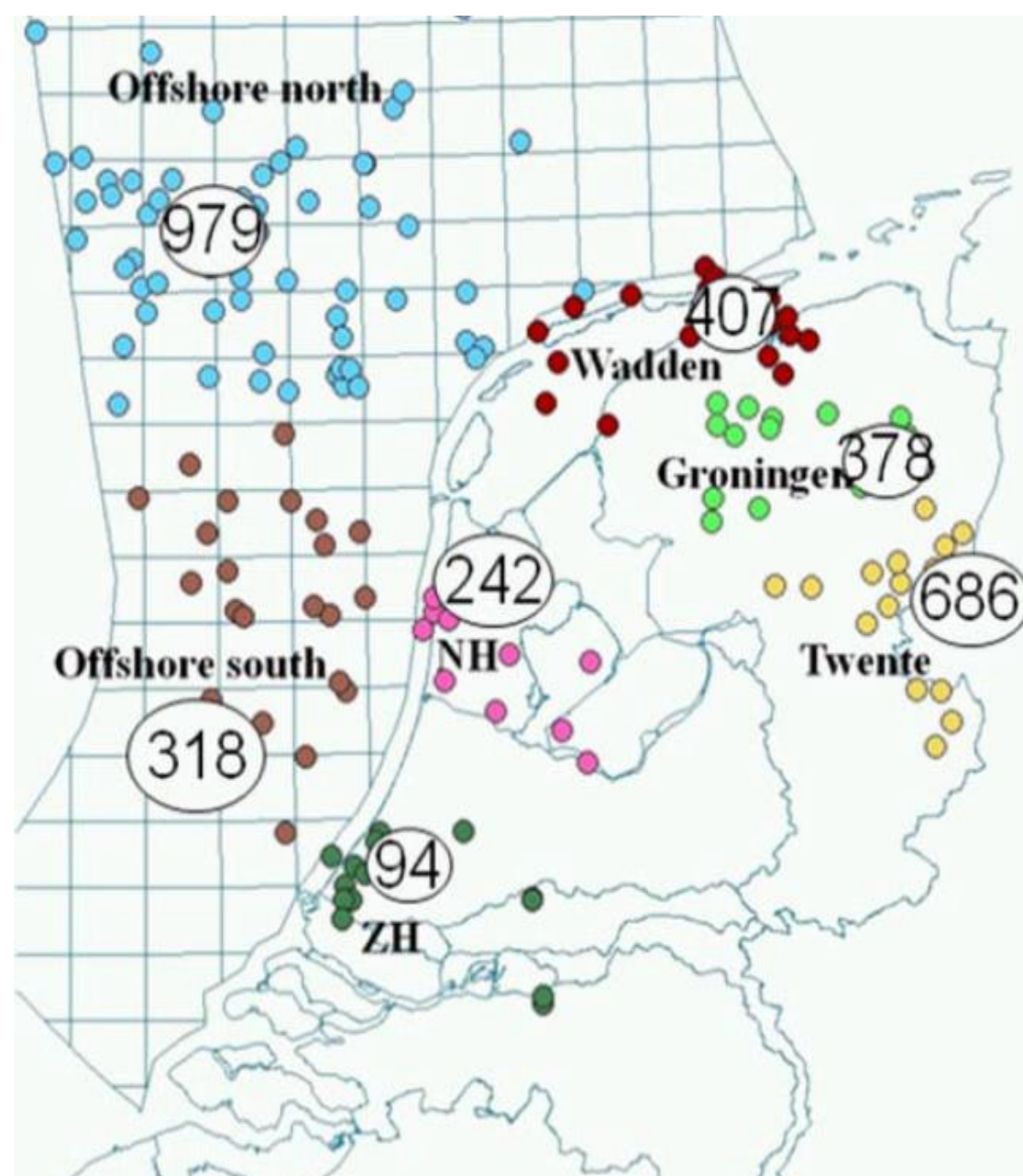
Doordat fossiel met CCU/CCS nog altijd gepaard gaat met een beperkte CO₂ uitstoot zal deze technologie niet zo snel worden ingezet op temperatuurniveaus waarvoor er veel alternatieven voor handen zijn. Daarnaast geldt bij CCU/CCS dat het met name kosteneffectief is bij grootschalige toepassing. Fossiel met CCU/CCS is daardoor vooral geschikt voor de hoge temperatuur-warmtevraag in de industrie.

Beschikbaarheid

De wereldwijde beschikbaarheid van fossiele brandstoffen zal naar verwachting ook in 2050 geen belemmering zijn. Ook zijn er voldoende opslagvelden beschikbaar voor grootschalige opslag van CO₂. Niet elke bron is echter even geschikt voor afvang van CO₂. Bij processen waarbij een hogere concentratie CO₂ vrijkomt (>20%), zoals ruw ijzerproductie en ammoniakproductie, kan CO₂ makkelijker en tegen lagere kosten worden afgevangen dan bij grootschalige boilers en fornuizen. In geval van CCU is er bovendien een grens aan de vraag naar CO₂. Huidige toepassingsmogelijkheden zoals in de glastuinbouw hebben beperkt potentieel maar met inzet van CO₂ als grondstof voor kunststof en de productie van ethaan en methaan kan CCU ook een significante bijdrage leveren.

Regionale inpasbaarheid

In figuur 5 is een overzicht gegeven van potentiële opslaglocaties in Nederland. De opslagvelden bevinden zich met name in de Noordzee en het westen en noorden van Nederland. Opslag op land wordt verondersteld als onhaalbaar. Toepassing van CCS zal voornamelijk daarom interessant zijn in Noord-Holland en



Figuur 5: Potentiële locaties voor CO₂ opslag [14]

Zuid-Holland waar CO₂ relatief makkelijk naar opslagvelden in de Noordzee kan worden getransporteerd. In deze gebieden is de aanleg van een CO₂-infrastructuur te voorzien en daarmee ontstaan tevens mogelijkheden voor toepassing van CCU. Grootschalige opvang van CO₂ in de rest van het land voor CCU ligt niet voor de hand.

Geothermie

Geothermie betreft het winnen van aardwarmte door het aanboren van een geothermische reservoir op dieptes van 500 meter tot enkele kilometers. Diverse geothermieconcepten zijn momenteel in ontwikkeling zoals ondiepe geothermie en ultra diepe geothermie. Momenteel speelt geothermie een zeer beperkte rol in de totale Nederlandse warmtevoorziening met een totale productie van circa 2,5PJ uit 14 doubletten. Deze warmte wordt tot op heden vrijwel alleen ingezet voor verwarming van kassen. De potentie van warmte uit geothermie is echter vele malen hoger dan nu wordt geproduceerd.

Temperatuurniveau

Doordat er diverse technieken inzetbaar zijn voor de productie van warmte uit geothermie wordt het in de toekomst steeds beter mogelijk om warmte op verschillende temperatuurniveau 's te produceren. Hiermee zal geothermie veel beter aansluiten op de warmtevraag vanuit de industrie, glastuinbouw en de gebouwde omgeving. Bij ondiepe geothermie wordt er bewust naar een ondiepere grondlaag geboord zodat o.a. de boorkosten dalen. De temperatuur is lager (circa 50°C) maar dit sluit goed aan bij goed geïsoleerde woningen en utiliteitsgebouwen. Daarnaast staan er meerdere initiatieven gepland om Ultra Diepe Geothermie (UDG) te gaan inzetten, dit is vooral interessant voor de industrie aangezien temperaturen van ongeveer 200°C haalbaar zijn.

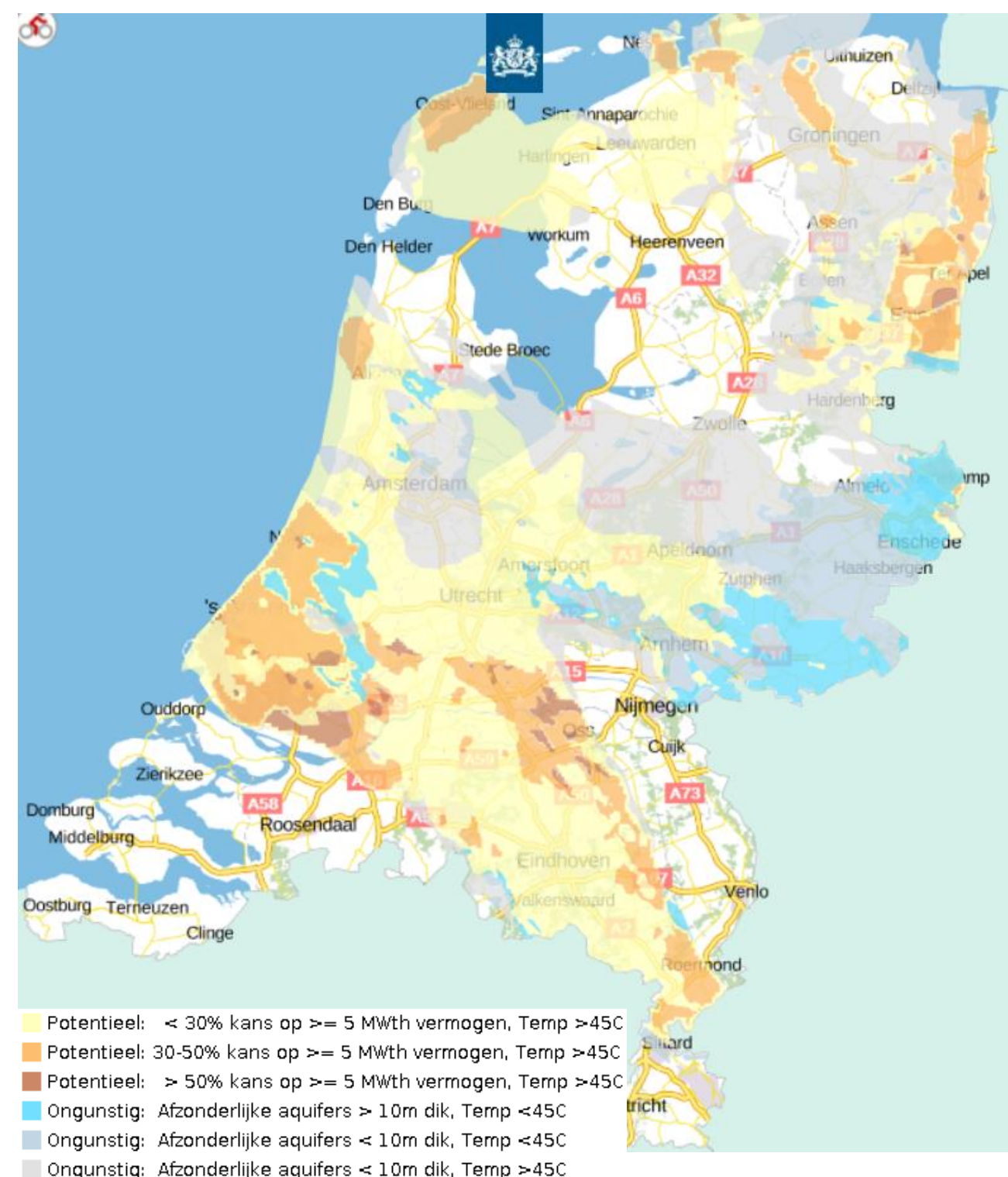
[2] Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Beschikbaarheid

Er zijn nog flink wat obstakels te nemen voordat geothermie grootschalig ingezet kan worden voor duurzame warmteproductie; allereerst is er de bodemgeschiktheid. Niet elke locatie in Nederland leent zich voor de toepassing van geothermie, zo kan de aangeboorde temperatuur te laag zijn of is de doorlaatbaarheid van het ondergrondse watervoerende pakket te laag. Vooral rondom toepassing van Ultradiepe geothermie is nog veel onzekerheid. Aangezien dit een nieuwe techniek is en de kosten per bron op dit moment zeer hoog zijn wordt vooralsnog uitgegaan van 35 UDG bronnen in 2050 [16]. Op basis van literatuuronderzoek en realistische aannames van ontwikkeling van het aantal bronnen per jaar is in totaal uitgegaan van een haalbaar potentieel van geothermie van circa 175 PJ/j in 2050. Deze inschatting is gezien het technisch potentieel vrij conservatief, echter wijst het aantal bronnen van 14 stuks anno 2017 er ook op dat de ontwikkeling ervan lang in beslag kan nemen en dat de exploitatie soms ook tegenslagen kent. Daarbij zijn er ook maatschappelijke zorgen over de invloed van dit soort boringen op de bodem, dit speelt bijvoorbeeld ook sterk in de regio Groningen. Met het ingeschatte haalbare potentieel van 175 PJ zouden per jaar, gemiddeld zo'n 16 bronnen aangelegd moeten worden, tot aan 2050, een fikse uitdaging.

Regionale inpasbaarheid

Zoals hierboven vermeld, is de bodemgeschiktheid per locatie verschillend. In figuur 6 is weergegeven hoe de potentie voor geothermie verdeeld is over Nederland. In Noord-Brabant en Zuid-Holland lijkt veel potentie voor geothermie te zijn terwijl deze in Gelderland en Overijssel beperkt is. Voor glastuinbouw-



Figuur 6: Potentiële locaties voor geothermie [15]

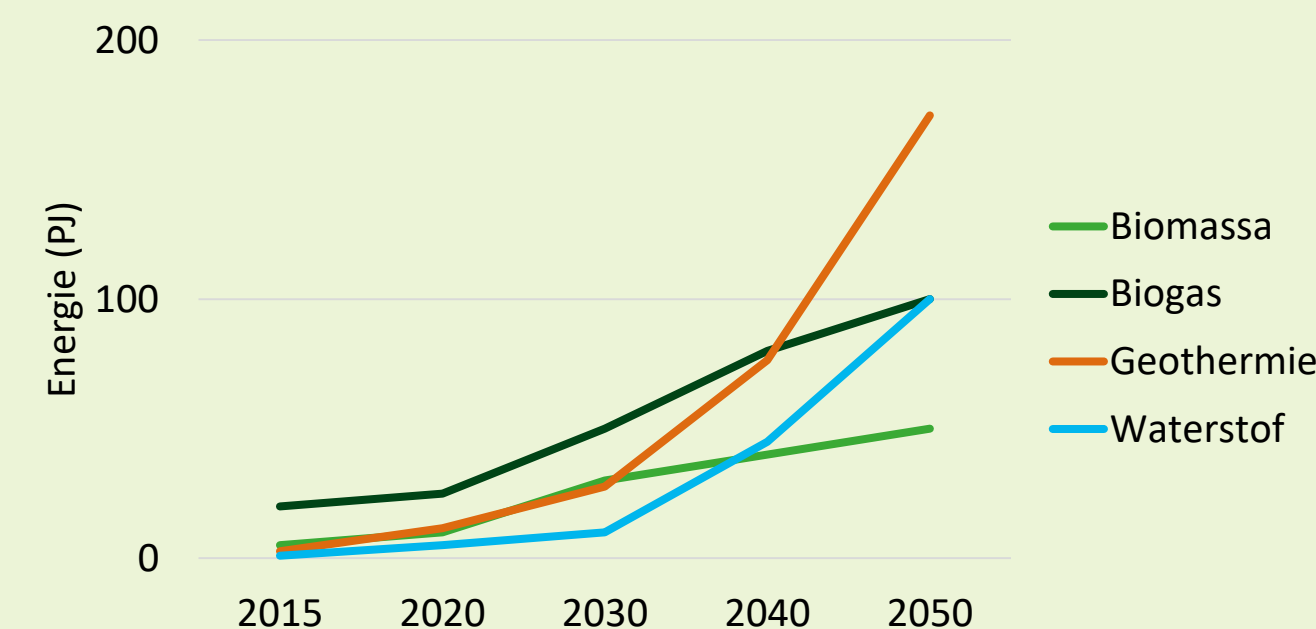
clusters in het Westland en Noord-Brabant zou geothermie dus erg interessant kunnen zijn. Voor de inpasbaarheid van een geothermiebron moet er daarnaast natuurlijk voldoende warmtevraag zijn. Dit kan gaan om een enkele grote (industriële) afnemer maar ook een veelvoud van geclusterde warmtevragers die door middel van een warmtenet gevoed worden.

Binnenlandse beschikbaarheid van niet fossiele energiebronnen

In figuur 7 is de ontwikkeling van de beschikbaarheid van niet fossiele brandstoffen tot aan 2050 samengevat in Nederland. De beschikbaarheid van deze bronnen gaat cruciaal worden voor de invulling van de warmtevraag in Nederland.

De beschikbaarheid van waterstof behelst alle waterstof op basis van elektrolyse van binnenlandse overschotten van elektrolyse. Eventueel zou waterstofproductie via stoomreforming met CCS de beschikbaarheid kunnen vergroten. De beschikbare biomassa zou ook vergast kunnen worden zodat de beschikbaarheid van biogas (groen gas) groeit.

Onderstaande grafiek laat zien dat er een zeer beperkte hoeveelheid binnenlandse brandstoffen beschikbaar is voor de invulling van de warmtevraag. Import van biomassa en een later stadium ook waterstof zal daarom noodzakelijk zijn.



Figuur 7: Groei niet fossiele energiebronnen 2015-2050

[2] Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Restwarmte

Restwarmte betreft warmte waarvoor geen nuttige toepassing is binnen het productieproces waarvoor het is opgewekt. Restwarmte kan vervolgens zowel individueel als collectief worden toegepast. Individuele toepassingen vinden plaats binnen de bedrijfslocatie waar de restwarmte vrijkomt in andere productieprocessen. Bij collectieve wordt restwarmte benut met behulp van een warmtenet dat producenten en groepen afnemers met elkaar verbindt.

Temperatuurniveau

De beschikbaarheid van restwarmte binnen de bedrijfslocatie kan sterk variëren in temperatuur. Bij bepaalde productieprocessen in de industrie komt veel hoge temperatuurwarmte bij die ingezet kan worden bij andere processen in een breed temperatuurbereik. Temperaturen tot 500 °C kunnen in specifieke gevallen ingevuld worden met restwarmte. Bij restwarmtebenutting via warmtenetten wordt gebruik gemaakt van veel lagere temperaturen om energieverliezen te voorkomen. Huidige warmtenetten zijn veelal op een temperatuur van 90 °C ingesteld maar warmtenetten op lagere temperaturen (45-55°C) zullen in de toekomst vaker toegepast worden [17]. Via cascadering kunnen eerst warmtevragers met een hoge temperatuurbehoefte worden voorzien om vervolgens overige warmtevragers te voeden.

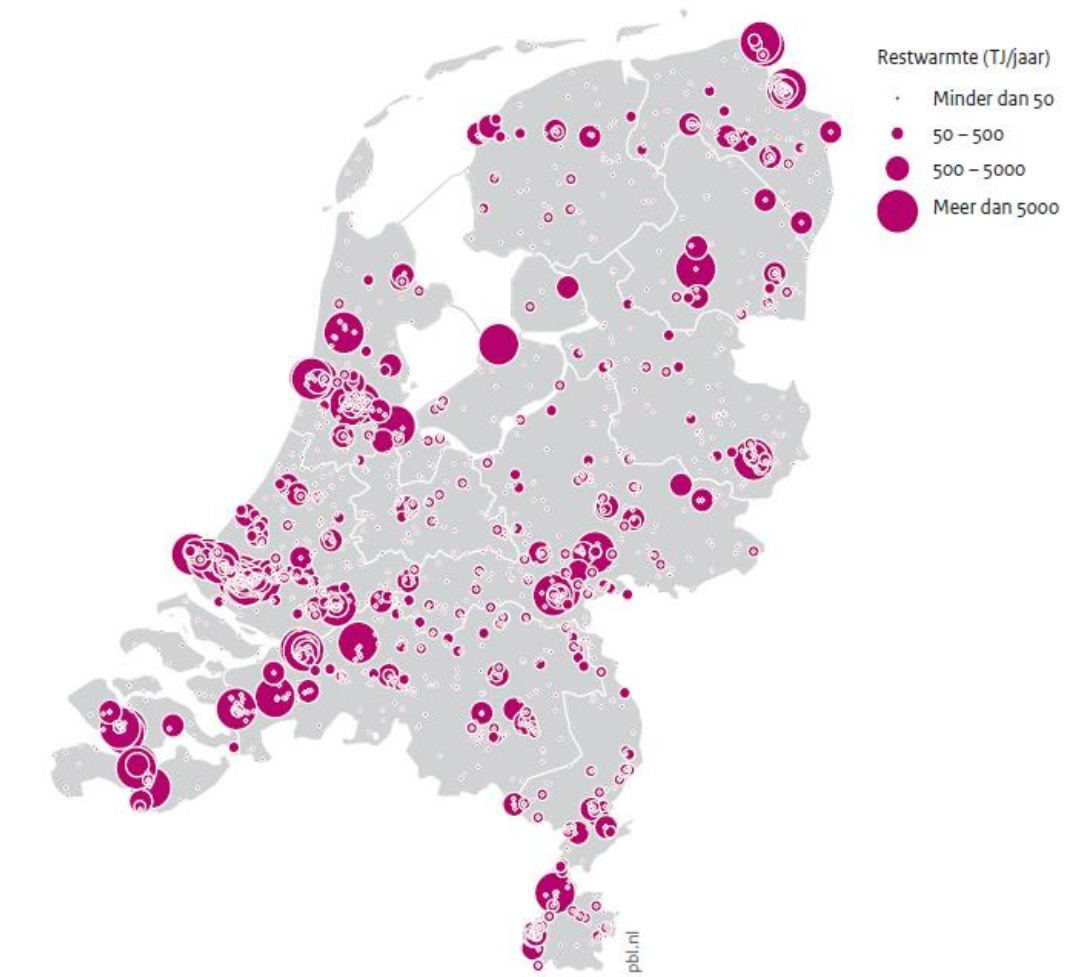
Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van warmte voor individuele toepassing is natuurlijk sterk afhankelijk van de processen bij een industriële locatie. Te verwachten is dat de beschikbaarheid richting 2050 af zal nemen doordat er minder warmte vrij komt door efficiëntere



Figuur 8: Warmtenetten in Nederland [17]

processen. In het geval van collectieve restwarmte is de beschikbaarheid afhankelijk van de warmtebronnen en de netten. In bovenstaande figuren staan de bronnen van restwarmte en de gebieden die gebruik maken van warmtenetten weergegeven. De huidige bronnen bestaan uit energiecentrales, afvalverbrandingscentrales en de industrie. Bij een verdere benutting van restwarmte binnen de industrie en uitfasering van conventionele energiecentrales zal de beschikbare hoeveelheid restwarmte in de toekomst afnemen. De hoeveelheid beschikbare warmte kan groeien bij de inzet van open warmtenetten waarop meerdere aanbieders warmte kunnen leveren. Op deze manier komt de warmte van locaties met een klein of fluctuerend aanbod ook beschikbaar.



Figuur 9: Industriële restwarmtebronnen in Nederland [17]

Regionale inpasbaarheid

Voor de inpassing van restwarmte moet er een warmtenet beschikbaar zijn. Restwarmtenetten zijn relatief kostbaar en de rentabiliteit is daarom sterk afhankelijk van de transportafstanden en de bebouwingsdichtheid. Door het toepassen van cascadering kan de behoefte van verschillende type warmtevragers worden ingevuld waardoor de rentabiliteit en dus de inpasbaarheid wordt vergroot.

Het best valt restwarmte te integreren in een gebied waarbij het profiel van het warmteaanbod overeenkomt met die van de vraag en waarbij de beschikbare warmte maximaal kan worden uitgeoeld.

[2] Mogelijkheden voor de warmtevoorziening

Elektrificatie

Er zijn verschillende technieken beschikbaar voor het elektrisch invullen van de warmtevraag. WKO-systemen en warmtepompen hebben al bewezen een kosteneffectieve methode te zijn voor ruimteverwarming door het hoge rendement. Daarnaast kunnen ook elektrische boilers of fornuizen worden ingezet voor elektrische warmteontwikkeling om processen in de industrie van warmte te voorzien. Elektrificatie heeft daarbij als voordeel dat gebruikt kan worden gemaakt van de elektrische infrastructuur en bronnen zoals deze momenteel ook al worden ingezet.

Temperatuurniveau

Warmtepompen zijn met name geschikt voor lage temperatuur-warmte tot 50 °C voor woningen en utiliteit. Op deze lage temperaturen kunnen hoge opwekkingsrendementen worden behaald. Voor proceswarmte kunnen warmtepompen ingezet worden door gebruik van mechanische dampcompressie of absorptiewarmtepompen waarmee restwarmte opgewaardeerd wordt. Hiervoor moet er wel (proces)restwarmte aanwezig zijn die anders geloosd of weggekoeld zou worden. Warmtepompen in de industrie zijn op dit moment geschikt voor een temperatuur tot circa 120°C.

Gebaseerd op toekomstige technische vooruitgang gaan we ervanuit dat warmtepompen in 2050 geschikt zijn voor een temperatuur tot 150°C. Voor hogere temperatuur warmteprocessen vanuit de industrie kunnen elektrische fornuizen ingezet worden als deze de komende tijd verder doorontwikkeld worden en kostenreductie kan worden bereikt.

Beschikbaarheid

Voorlopig is er geen belemmering om de elektrificatie van de warmtevraag op te vangen met de huidige (fossiele) productiemiddelen. Richting 2050 wanneer het fossiele vermogen wordt afgebouwd kan een verre gaande elektrificatie de uitdaging van een stabiel duurzaam elektriciteitssysteem wel vergroten (*zie hoofdstuk elektriciteit*).

Vanwege de matige isolatiegraad van een groot deel van de bestaande bouwvoorraad is de toepassing van lage-temperatuurverwarming hier niet mogelijk. Daarmee zal de inzet van elektrische warmtepompen binnen oudere panden beperkt blijven, hybride opties kunnen wellicht wel een rol gaan spelen. Ook voor sommige hoge temperatuurprocessen in de industrie zijn nog technische ontwikkelingen benodigd voordat elektriciteit als warmtebron kan dienen.

Regionale inpasbaarheid

Voorwaarde voor toepassing van elektrificatie in de gebouwde omgeving is dus dat een gebouw geschikt voor lage temperatuurverwarming en dus over een goede isolatiegraad beschikt. Daarnaast moet ook de elektrische infrastructuur toereikend zijn om de hogere elektriciteitsvraag te kunnen leveren. In nieuwbouwwijken is dit geen probleem en kan worden aangenomen dat er elektrisch verwarmd zal gaan worden. In binnensteden met veel historische bouwvoorraad zijn warmtepompen veel minder makkelijk inpasbaar.

Wel is de verwachting dat warmtepompen een grotere rol zullen gaan spelen in regionale warmtenetten die op lagere temperaturen gevoed worden dan nu gebruikelijk is.

“Grootschalige elektrificatie van de warmtevraag vergroot de uitdaging van een stabiel en duurzaam elektriciteitssysteem”

[3] Elektriciteitsmarkt: Ontwikkelingen

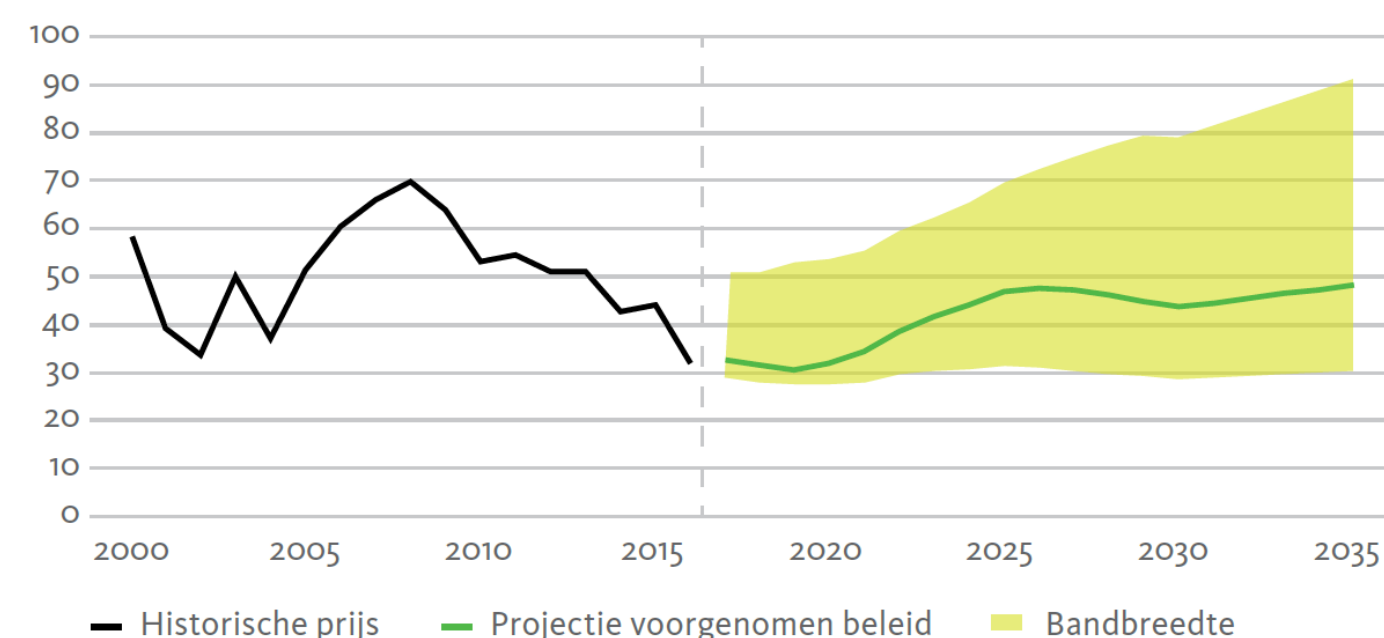
Ook op het gebied van de elektriciteitsmarkt moeten grote stappen worden gemaakt om de uitstoot van CO₂ te minimaliseren. Hierbij geldt dat er nog veel onzekerheden zijn over hoe het elektriciteitssysteem de komende 30 jaar precies zal worden vormgegeven. Echter, de stappen die tot nog toe zijn gezet richting een duurzame energievoorziening en de verscheidene toekomst-projecties schetsen al wel enkele belangrijke kenmerken van het pad naar het toekomstige elektriciteitssysteem.

De totale energievraag zal richting 2050 afnemen door efficiëntieverbeteringen door middel van aanpassingen in productieprocessen, efficiëntere technologieën en verbeterde isolatie van de gebouwvoorraad. Het aandeel van de elektriciteitsvraag in de totale energiebehoefte neemt daarentegen sterk toe doordat vanuit de warmtevoorziening, de industrie en de mobiliteitsmarkt de vraag naar elektriciteit zal stijgen door een toenemende elektrificatie.

In het regeerakkoord is de doelstelling opgenomen dat alle kolencentrales in Nederland voor 2030 uit bedrijf moeten worden genomen. Nederland is niet de enige met dergelijke doelstellingen. Ook in veel andere Europese landen zijn er plannen voor het uitsfasen van kolencentrales. Daarnaast wordt ook de capaciteit van kerncentrales in veel landen teruggeschroefd. De uitsfasing van relatief grote hoeveelheden capaciteit aan kolencentrales en kerncentrales in het buitenland betekent dat Nederland door zijn grote hoeveelheid capaciteit aan gasgestookte centrales kan gaan veranderen van een netto-importeur in een netto exporteur.

De centrale productie van elektriciteit vanuit kolen en aardgas zal langzaam een minder prominente rol in gaan nemen in het elektriciteitssysteem. Elektriciteit zal meer en meer worden opgewekt met zonnepanelen en windmolens, voor een deel decentraal, maar ook centraal in grote wind- en zonneparken. Het fluctuerende karakter van het energieaanbod vanuit wind en zon betekent dat een substantieel van de productie gedurende het jaar niet rechtstreeks ingezet kan worden.

De uitsfasing van elektriciteit uit kolen en een stijging van de gasprijs vanaf 2020 zal leiden tot een verhoging van de gemiddelde elektriciteitsprijs. In figuur 10 toont de stijging van het tarief richting 2035 zoals berekend in de NEV 2017. De brede bandbreedte wordt veroorzaakt doordat de ontwikkeling van de tarieven erg afhankelijk zijn van de CO₂ prijs en de rol van kolencentrales in West-Europa en scherpere maatregelen zouden de gemiddelde elektriciteitsprijs verder op kunnen drijven.



Figuur 10: Ontwikkeling elektriciteitsprijs volgens NEV 2017 (Bron NEV)

Naast de stijging van de gemiddelde elektriciteitsprijzen gaan de variaties in de prijzen sterk toenemen door het fluctuerende aanbod van zonne- en windenergie.

Het afstemmen van vraag en aanbod van elektriciteit zal in het toekomstige energiesysteem een uitdaging worden. Flexibiliteit en stabiliteit in het huidige systeem wordt geboden door conventioneel fossiel vermogen. De komende jaren zal flexibele productie uit aardgas een belangrijke rol kunnen vervullen. Echter, richting 2050 kunnen deze fossiele bronnen niet meer op grote schaal worden toegepast wanneer de CO₂ reductie eisen gehaald dienen te worden. Het bieden van flexibiliteit moet dus deels op een andere manier ingevuld worden om een toekomstig elektriciteitssysteem op basis van wind en zon stabiel te houden.

“Elektriciteitsprijzen zullen sterk gaan variëren door het fluctuerende aanbod van zonne- en windenergie”

[3] Elektriciteitsmarkt: Flexibiliteit

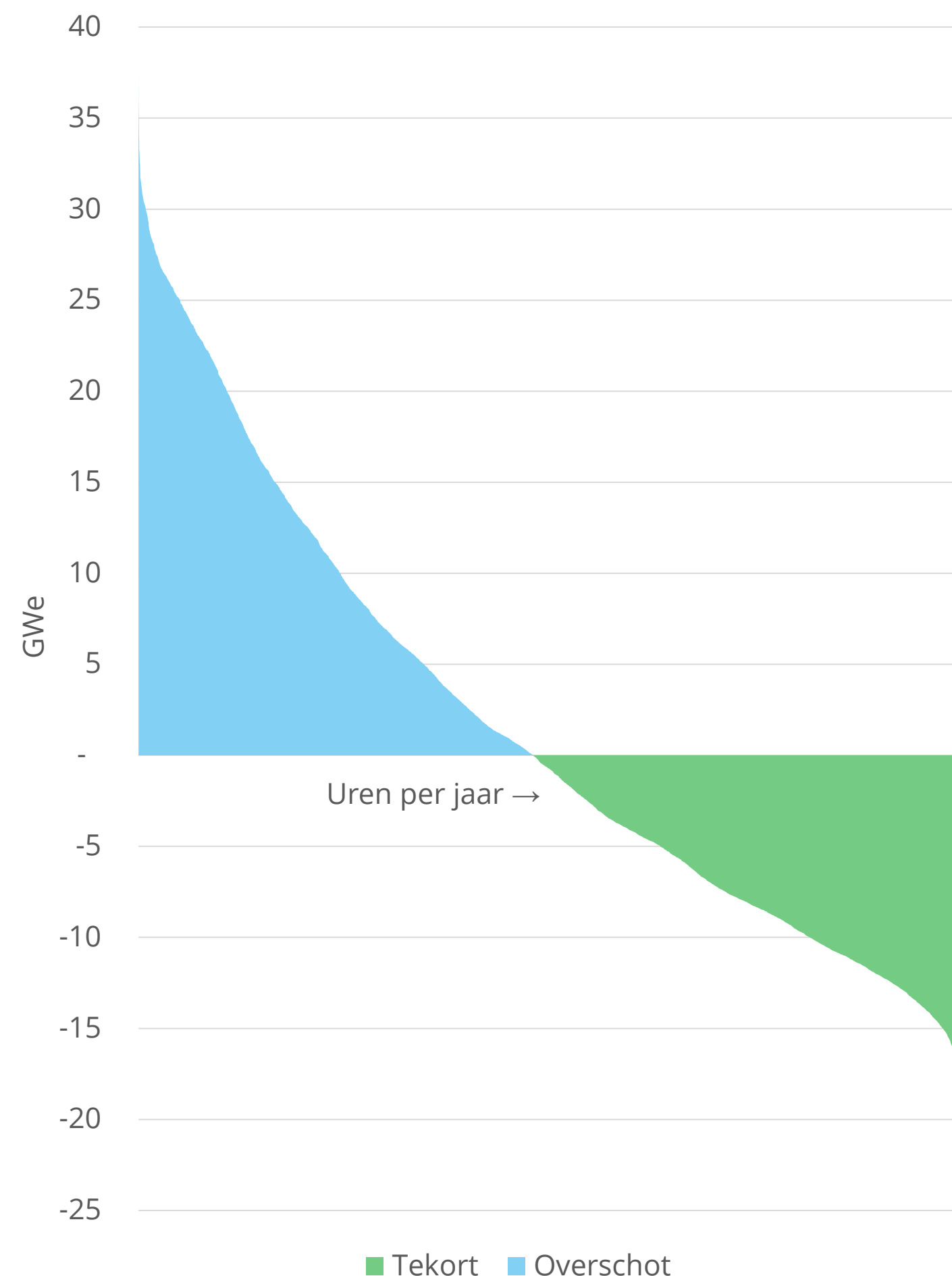
Behoefte aan flexibiliteit?

Door de grootschalige opwekking van elektriciteit door wind en zon ontstaat er een zekere behoefte aan flexibiliteit. De vraag is nu hoe groot die behoefte aan flexibiliteit in het net ongeveer zal zijn. Hoeveel overschotten en tekorten aan elektriciteit moet er per jaar worden opgevangen?

Met behulp van het Electricity Market Forecast (EMF) model van BlueTerra is per uur de elektriciteitsvraag afgezet tegen het duurzame elektriciteitsaanbod in 2050. In de grafiek hiernaast zijn de tekorten en overschotten per uur weergegeven als een jaarbelastingduurkomme.

Op basis van de uitgangspunten geldt dat in 4200 uren per jaar er een overschot is aan elektriciteit uit wind en zon. Maximaal gaat het hierbij om 30 GWe dat meer geproduceerd wordt dan dat er wordt gevraagd. Over het gehele jaar kan er 50 TWh aan elektriciteit geproduceerd worden die niet rechtstreeks kan worden benut door de reguliere elektriciteitsvraag. Dit is meer dan een derde van het totale elektriciteitsaanbod uit wind en zon.

In de overige 4560 uren in het jaar kan de reguliere elektriciteitsvraag niet gedekt worden door het elektriciteitsaanbod uit wind en zon. Het maximale tekort per uur aan duurzame elektriciteitsaanbod betreft meer dan 19 GWe. In totaal kan er 36 TWh niet rechtstreeks gedekt worden door het aanbod uit elektriciteit, ruim een kwart van de totale elektriciteitsvraag.



Figuur 11: Verschil tussen duurzaam elektriciteitsaanbod en de reguliere elektriciteitsvraag in 2050 op basis van het EMF model

Uitgangspunten

Het EMF model heeft per uur de elektriciteitsvraag en duurzame fluctuerend elektriciteitsaanbod berekend op basis van de uitgangspunten:

Voor het elektriciteitsaanbod per uur is uitgegaan van een gemiddeld klimaatjaar qua opbrengst uit zon en wind. De geïnstalleerde capaciteiten voor duurzame intermitterende bronnen in 2050 zijn gebaseerd op het gemiddelde scenario uit het rapport "Verkenning van klimaatdoelen" van PBL [11]

Geïnstalleerde capaciteit in 2050:

Wind op zee: 40 GW

Wind op land: 14 GW

Zon: 14 GW

Het totale elektriciteitsaanbod uit wind en zon bedraagt in dit scenario 148 TWh.

Voor de reguliere elektriciteitsvraag in 2050 is een stijging ten opzichte van 10% van de elektriciteitsconsumptie in basisjaar 2014 aangehouden plus een elektriciteitsvraag voor elektrisch rijden. De reguliere elektriciteitsvraag in 2050 bedraagt in dit scenario 134 TWh.

[3] Elektriciteitsmarkt: Flexibiliteitsopties

Uit de voorgaande analyse blijkt dat het bieden van flexibiliteit om de vraag en het aanbod van elektriciteit met elkaar af te stemmen cruciaal wordt in het toekomstige energielandschap. Er zijn verschillende flexibiliteitsmiddelen die hieraan kunnen bijdragen. Deze kunnen onderverdeeld worden in de volgende categorieën.

Flexibele vraag

Flexibele vraag, ook wel demand management genoemd, bestaat uit alle processen waardoor de vraag naar elektriciteit kan worden opgeschroefd als het elektriciteitsaanbod hoog ligt en de tarieven dus laag. Dit kan door overdimensionering van de capaciteit bij industriële processen of, Power-to-Heat, het inzetten van stroom voor warmteproductie.

Elektrolyse

Met elektrolyse kan ten tijde van elektriciteitsoverschot stroom worden omgezet naar waterstof. Elektrolyse wordt in deze analyse niet gezien als opslagmethode omdat de verkregen waterstof op vele manieren kan worden ingezet, bijvoorbeeld als grondstof in de industrie of als transportbrandstof. Ook kan het verder verwerkt worden tot ammoniak of gemethaniseerd. Wanneer het wel voor elektriciteitsproductie wordt ingezet, wordt dit gezien als regelbare productie.

Curtailment

Curtailment betreft het afschakelen van productie-installaties wanneer de totale duurzame productie uit fluctuerende bronnen niet kan worden opgevangen. Pieken in elektriciteitsaanbod kunnen door het 'afknippen' van wind- en zonne-energie worden opgevangen.

Import/export

Met import/export wordt gerefereerd aan alle grensoverschrijdende handel die plaatsvindt ten bate van het invullen van de flexibele vraag. Ten tijde van elektriciteitstekorten zou er stroom geïmporteerd kunnen worden, bijvoorbeeld uit waterkrachtcentrales in Noorwegen terwijl overschotten geëxporteerd kunnen worden.

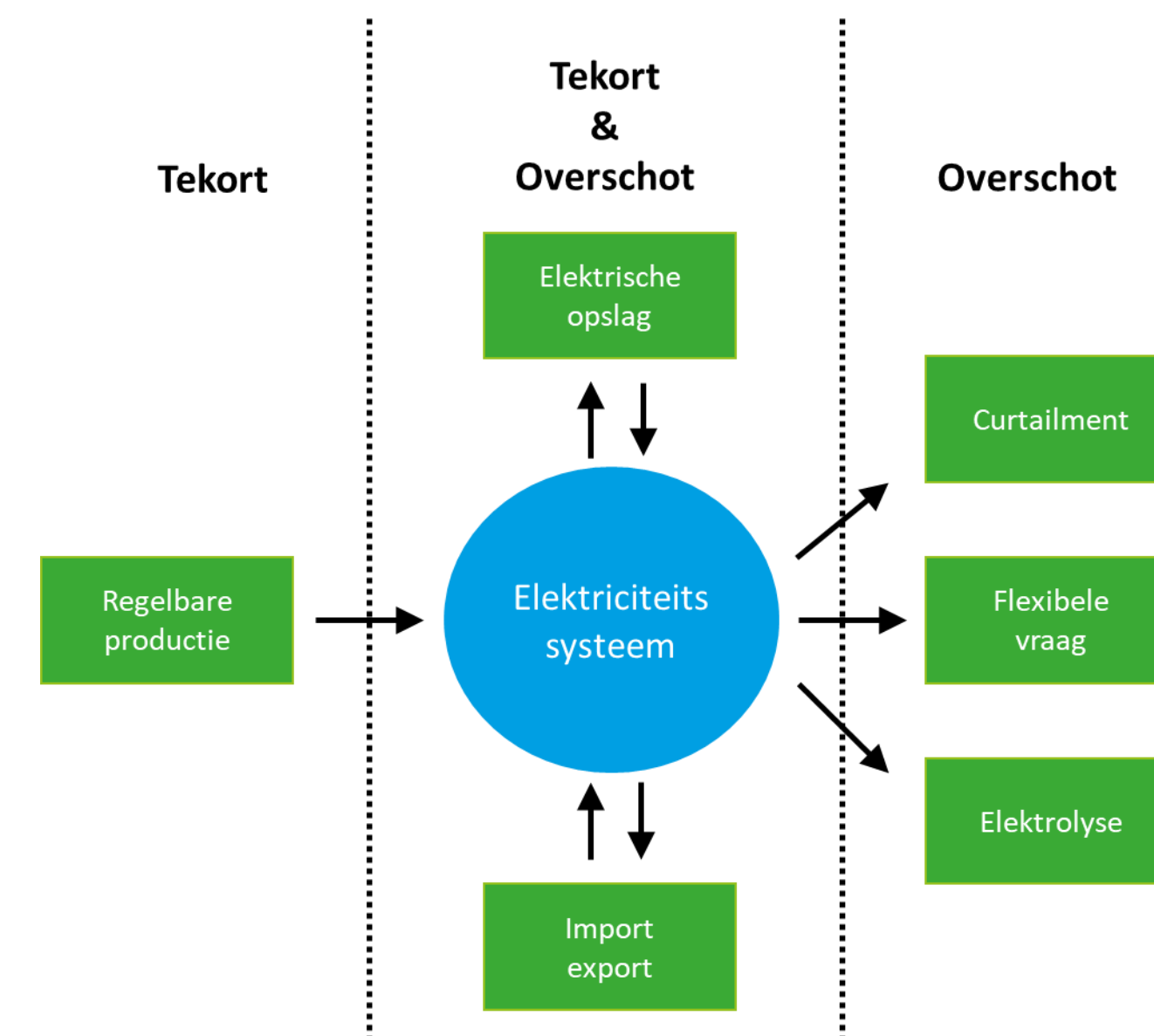
Elektrische opslag

Met elektrische opslag worden bij deze analyse enkel de middelen bedoeld die elektriciteit opslaan om deze op een later tijdstip weer in het elektriciteitssysteem in te voeren. Bij deze opslagsystemen wordt ook de opslagcapaciteit van toekomstig elektrisch transport meegenomen.

Regelbare productie

Regelbare productie betreft alle elektriciteitsproductie die kan worden gestuurd om de flexibele vraag op te vangen. Momenteel gaat het daarbij om voornamelijk om conventionele elektriciteitscentrales op fossiele bronnen. In de toekomst zullen hiervoor voornamelijk andere bronnen worden ingezet zoals biomassa of waterstof. Regelbare productie kan worden ingevuld door WKK als er naast elektriciteit ook een warmtebehoefte is.

“Middelen om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen worden cruciaal in het toekomstige energielandschap”



Figuur 12: Rol van verschillende flexibiliteitsopties in het elektriciteitssysteem

Rol in systeem

Er is zowel flexibiliteit nodig aan de aanbod als de vraagzijde, oftewel opvang van elektriciteitsoverschotten en -tekorten. In figuur 12 is grafisch weergegeven welke rol de 6 flexibiliteitsopties hierbij spelen. Curtailment, flexibele vraag en elektrolyse kunnen enkel overschotten van elektriciteit opvangen door stroom te vragen. Elektrische opslag en import/export hebben de potentie om zowel flexibiliteit te bieden aan de aanbod als aan de vraagzijde. Regelbare productie kan perioden van elektriciteitstekorten opvangen. De mate waarin tekorten of overschotten moeten worden opgevangen is afhankelijk van het totaal geïnstalleerde flexibele vermogen.

[3] Elektriciteitsmarkt: Flexibiliteitsopties

Concurrentie in flexibiliteitslevering

Uiteindelijk zal er naar alle waarschijnlijkheid een mix ontstaan van de beschreven flexibiliteitstypes. Elke type flexibiliteit heeft voordelen maar kent ook beperkingen die een onbeperkte inzet voor flexibiliteit zullen beperken. In de tabel hiernaast is een overzicht gegeven van de voordelen en beperkingen die er per flexibiliteitsoptie gelden. In hoeverre een flexibiliteitsmiddel zal worden ingezet zal afhangen van de mate waarin er van de variabele tarieven gebruik kan worden gemaakt en met welke kosten dit gepaard gaat. Als er meer flexibiliteitsmiddelen in het elektriciteitssysteem komen zullen bovendien de tarieven stabiliseren. Des te meer flexibiliteit er aanwezig is in het systeem, des te slechter de business case voor flexibiliteitsopties. De verschillende opties concurreren dus met elkaar om de tariefvariaties optimaal te benutten.

Om de lage elektriciteitstarieven bij elektriciteitsoverschotten te benutten kunnen, zoals getoond in figuur 12, elektrolyse, flexibele vraag, curtailment, elektrische opslag en export ingezet worden. Afhankelijk van de situatie en de beschikbare capaciteit zal een mix van deze flexibiliteitsopties een tekort opvangen. Hierbij is het aannemelijk dat curtailment wordt toegepast als er geen andere flexibiliteitsoptie beschikbaar is. Voor het benutten van hoge elektriciteitstarieven gedurende tekorten concurreren toepassing van elektrische opslag, import en regelbare productie. Hierbij geldt voor import dat er voldoende aanbod moet zijn in omliggende landen. Gebrek aan wind en zon zijn in omliggende landen vaak gelijktijdig. Bij elektrische opslag is de capaciteit bij langdurige tekorten een beperking. In bepaalde situaties is toepassing van regelbare productie dus cruciaal voor een stabiel systeem.

	Voordelen	Beperkingen
Elektrolyse	• Lange termijn opvang van elektriciteit overschot	• Hoge investeringskosten
	• Brede inzetbaarheid waterstof	• Conversieverliezen
	• Waterstof weer te benutten bij elektriciteit tekort	
Flexibele vraag	• Geen conversieverliezen	• Capaciteit moet overgedimensioneerd zijn
	• Lange termijn opvang van elektriciteit overschot	• Aanpassingen benodigd aan productieproces
	• Combinatie met andere warmtebron (bij Power-to-heat)	• Huidige netbeheertarieven verslechteren business case
Curtailment	• Geen investeringskosten	• Geen flexibiliteit in aanbod
	• Onbeperkt inzetbaar	• Potentiële energie gaat verloren
Elektrische opslag	• Makkelijk inpasbaar in infrastructuur	• Beperking in capaciteit; Lange termijn opslag niet mogelijk
	• Zowel flexibiliteit in vraag als in aanbod	• Hoge investeringskosten
	• Decentrale flexibiliteit bij kleinschalige bronnen	
Import/Export	• Geen conversieverliezen	• Elektrische infrastructuur moet voldoende capaciteit hebben
	• Zowel flexibiliteit in vraag als in aanbod	• Elektriciteittekorten zijn veelal gelijktijdig in buurlanden
	• Geen installatiekosten (m.u.v. aanvullende infrastr. kosten)	
Regelbare productie	• Mogelijkheid warmte en elektriciteitsproductie (WKK)	• Beschikbaarheid van (duurzame) brandstof
	• Verschillende (mainstream) technologieën beschikbaar	• Beperkt aantal draaiuren (hoge investeringskosten)
	• Lange termijn opvang van elektriciteit tekort	

Tabel 1: Voordelen en beperkingen van de verschillende flexibiliteitsopties in het elektriciteitssysteem

Bepaalde flexibiliteitsmethodes kunnen elkaars toepassing ook versterken. De waterstof, verkregen door elektrolyse bij elektriciteitsoverschotten, kan worden ingezet om in geval van tekorten als brandstof voor regelbare productie te dienen. Verder kan regelbare productie in het geval van WKK gecombineerd worden met Power-to-Heat om maximale flexibiliteit te bieden en optimaal te profiteren van de variërende elektriciteitstarieven.

“ Flexibele productie concurreert met elektrische opslag en import voor het bieden van flexibiliteit”

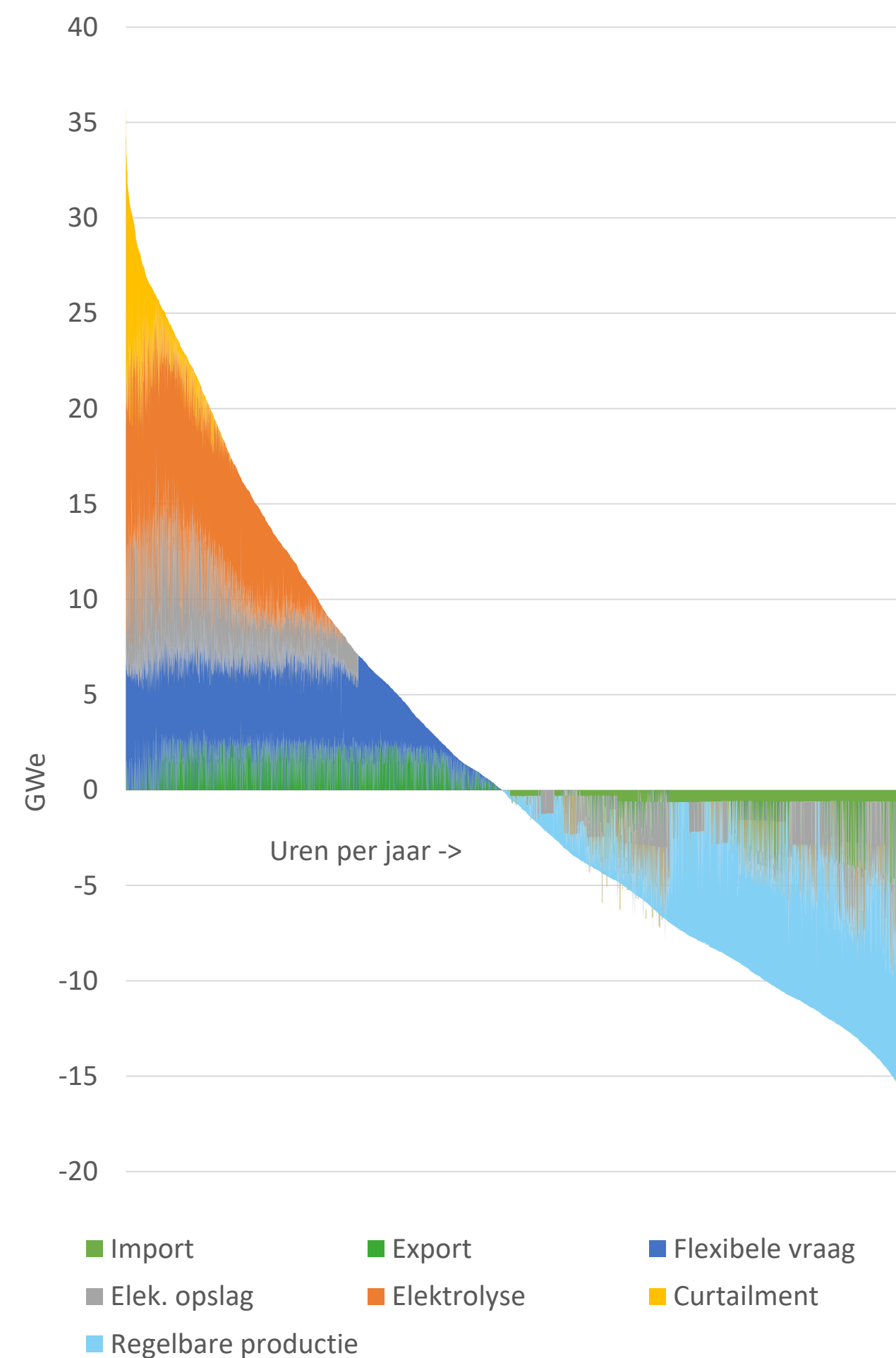
[3] Elektriciteitsmarkt: Inzet flexibiliteit

Inzet flexibiliteit

Om inzicht te krijgen in hoe de flexibiliteit zou kunnen worden ingevuld is het EMF model opnieuw gerund inclusief de beschreven flexibiliteitsopties.

De uitkomst van het scenario dat is gerund wordt weergegeven in figuur 13. Het totale elektriciteitsoverschot van 50 TWh wordt opgevangen door een combinatie van flexibele vraag (17 TWh), elektrolyse (15 TWh), Elektrische opslag (9 TWh), Export (5 TWh) en curtailment (3 TWh). Het tekort aan elektriciteit van 36 TWh wordt opgevangen door elektrische opslag (8 TWh), import (6 TWh) en regelbare productie (21 TWh).

Hoewel deze uitkomst sterk afhankelijk is van de uitgangspunten in dit scenario levert het wel interessante inzichten op. Hoewel elektrolyse 30% van alle overschotten opvangt levert dit echter slechts een beperkte hoeveelheid waterstof van 360 kton op (45 PJ). Daarnaast valt op dat de capaciteit van de elektrische opslag beperkt benut wordt doordat langdurige elektriciteits-tekorten niet overbrugt kunnen worden. Het totale overschot dat door curtailment wordt opgevangen is beperkt maar kent wel hoge pieken wanneer de overschotten het grootst zijn. Meer vermogen aan wind en zon of een mindere capaciteit bij sommige flexibiliteitsopties zal het aandeel van curtailment sterk doen vergroten. Aan de aanbodzijde valt op dat regelbare productie het leeuwendeel van de flexibiliteit nog moet leveren. De import en elektrische opslag kunnen slechts beperkt voldoen aan de gevraagde elektriciteitsbehoefte.



Figuur 13: Invulling van de flexibiliteit voor de opvang overschotten en tekorten aan duurzame aanbod per uur volgens het EMF model

Uitgangspunten

Voor het modelleren van de flexibiliteitsopties is gebruik gemaakt van het EMF model en zijn dezelfde uitgangspunten aangehouden voor het aanbod en de vraag naar elektriciteit als op pagina 15 van dit rapport.

Voor invulling van de elektriciteitsoverschotten en -tekorten is uitgegaan van de volgende capaciteiten:

Elektrische opslag:	12 GW
Flexibele vraag:	9 GW
Elektrolyse:	14 GW
Import/export:	11 GW
Curtailment:	Geen limiet
Regelbare productie:	Geen limiet

Voor import en export wordt slechts een beperkt gedeelte van de capaciteit benut omdat er een gelijktijdige vraag/aanbod is in omringende landen.

Elektrische opslag onlaadt en laadt op aan de hand van de voorspelling van de vraag of het aanbod van de opvolgende 8 uur.

De opvang van de elektriciteitsoverschotten gebeurt aan de hand van de meerwaarde die de elektriciteit heeft door een bepaalde techniek. De volgende merit order is aangehouden: export, flexibele vraag, elektrische opslag, elektrolyse en curtailment.

De opvang van de elektriciteitstekort vindt plaats in de volgende volgorde: import, elektrische opslag en regelbare productie.

[3] Elektriciteitsmarkt: Inzet flexibiliteit

Regelbare productie

In het scenario zoals geschetst op de vorige pagina is er een vraag van 21 TWh naar regelbare elektriciteitsproductie. Deze vraag geeft een inzicht in de potentie die WKK vanuit de elektriciteitsvoorziening heeft in 2050. De vereiste regelbare productie en daarmee de potentie van WKK, is echter afhankelijk van veel verschillende factoren.

Allereerst zal de vraag naar regelbare productie sterk afhankelijk zijn van de totale elektriciteitsvraag versus het duurzame aanbod. In het geschetste scenario is uitgegaan van een beperkte elektrificatie van de warmtevraag met een stijging van 10% van de gehele elektriciteitsvraag. Wanneer de elektriciteitsvraag meer zal stijgen, wordt de vraag naar regelbare productie groter. Dit geldt zelfs bij toename van het duurzame vermogen omdat de mismatch tussen vraag en aanbod van elektriciteit groter wordt. Een toename van de elektrificatie vergroot daarmee de vraag naar regelbare productie en daarmee de potentie van WKK.

De potentie van import als flexibiliteitsmiddel is in het geschetste scenario beperkt. Slecht een klein deel van de interconnectiecapaciteit van 11 GW wordt benut. Hierbij gaat het dan vooral om stroom uit waterkrachtcentrales in Noorwegen. De precieze potentie van handel als flexibiliteitsmiddel is afhankelijk van de ontwikkelingen in de buurlanden. De mogelijkheden tot import bij elektriciteits-tekorten zouden hoger uit kunnen vallen als er in buurlanden meer flexibiliteitsmiddelen beschikbaar zijn en als er minder gelijktijdige tekorten plaatsvinden. Volgens het FlexNet project zou meer dan

de helft van de benodigde flexibiliteit door import/export geleverd zou kunnen worden [18]. Voorlopig is echter de trend dat Nederland het komende decennium een shift maakt van import naar export juist door het flexibele vermogen dat beschikbaar is in de vorm van gasgestookte centrales.

De rol voor accu's en batterijen in 2050 zal voor een deel liggen in het opvangen van onbalans door de onzekerheid in prognoses van vraag en aanbod van elektriciteit. De concurrentie die regelbare productie uiteindelijk ondervindt van elektrische opslag als flexibiliteitsmiddel is sterk afhankelijk van de technologische ontwikkelingen en de kostenreductie die kan worden bewerkstelligd. Om accu's een kosteneffectief alternatief voor langere termijn opslag te laten zijn is veel verbetering noodzakelijk. Anders blijft de rol van elektrische opslag als flexibiliteitsoptie beperkt tot korte termijn flexibiliteit.

[4] Toepassing WKK: Technologieën

In 2050 is er een grote elektriciteitsproductie uit wind en zon die echter sterk varieert gedurende het jaar. Regelbare elektriciteitsproductie kan een cruciale rol spelen om de nodige flexibiliteit te bieden in het elektriciteitssysteem. Deze regelbare productie van elektriciteit zou kunnen worden ingevuld door diverse WKK technologieën.

Aardgas WKK

Bestaande WKK op aardgas bestaat volledig uit installaties op basis van gasmotoren en gasturbines. De levensduur van bestaande installaties kan veelal nog worden opgerekt tot 2030 á 2035 door periodieke revisie van de installatie. Rendementen zijn afhankelijk van de grootte en het type technologie maar het elektrisch rendement ligt rond de 35%. Flexibilisering kan door technische aanpassingen veelal bereikt worden. Dit betreft maatregelen voor een hogere start/stoptijd alsmede maatregelen om de schade als gevolg van deze cycli te beperken.

Biomassa WKK

WKK op vaste biomassa betreft tot op heden een hogedruk stoomketel met daarin verbranding van biomassa in combinatie met een stoomturbine. Na de stoomturbine wordt de stoom op lagere druk aan de processen geleverd. Vergassing zal een hoger rendement opleveren omdat het synthetisch gas dat ontstaat in een gasmotor of gasturbine efficiënter wordt omgezet in elektriciteit. Toch zal door de robuustheid van biomassaverbranding een deel van de biomassa rechtstreeks via biomassaketel/WKK worden gebruikt.

Biogas/groen gas WKK

Biogas of groengas is met bestaande technologie van ketels, gasmotoren en gasturbines uitstekend toe te passen. Met de laatste 2 is er natuurlijk sprake van WKK. In grote lijnen gelden de karakteristieken die ook voor aardgas WKK. Wel zal de schaalgrootte beperkter blijven doordat de beperkte hoeveelheid beschikbare groen gas niet in grootschalige WKK zal worden gaan toegepast.

Brandstofcel

Brandstofcellen kan zowel gevoed worden door aardgas/groen gas als door waterstof. Met een brandstofcel op aardgas kan de- centraal met een relatief hoog rendement elektriciteit gemaakt worden tot wel 60%. De verwachting is dat tussen nu en 2035 brandstofcellen commercieel kunnen worden ingezet. Veelal zal de brandstofcel worden ingezet voor lage temperatuurwarmte. Eventueel zouden ook temperaturen tot 200 °C bereikt zouden kunnen worden [12]. Het leveren van flexibiliteit met een brandstofcel heeft een negatieve invloed op de degradatie. Bovendien kan een hoog aantal draaiuren noodzakelijk zijn om de hoge investeringskosten terug te verdienen. Toepassing zou op hele kleine schaal van enkele kWe kunnen maar ook op MWe schaal zou een brandstofcel meerwaarde kunnen bieden.

WKK op aardgas met CCS

CO₂ afvang kan bij WKK op zowel aardgas als vaste biomassa op vergelijkbare wijze zoals zou kunnen plaatsvinden zoals bij een kolencentrale. Wel is in de praktijk de schaalgrootte anders waardoor het kostenniveau hoger zal liggen. In theorie zouden industriële installaties in een regio met een CO₂ netwerk, bijvoorbeeld het Rotterdamse Havengebied, voorzien worden van CO₂ afvang en aangesloten op een netwerk voor CCS. Een WKK op duurzame brandstof zorgt dan uiteraard voor een negatieve CO₂ emissie. Het is echter de vraag of de hoge investeringskosten voor CCS terugverdiend gaan worden bij een WKK-toepassing.

Type WKK	η_{th}	η_e	Temp.	Flex.	Toepassing
Aardgas WKK	32%-55%	35-40%	HT <300°C	+	10 kWe-300 MWe
Biomassa WKK	70%	25%	HT <300°C	+/-	10 kWe-300 MWe
Biogas/groen gas WKK	50%	35%	HT <300°C	+	10 kWe-10 MWe
Brandstofcel	20%-40%	45%-60%	LT/HT <200°C	-	1 kWe-10 MWe
WKK met CCS	50%	30%	HT <300°C	-	>300 MWe

Tabel 2: Eigenschappen van de verschillende WKK-toepassingen

[4] Toepassing WKK: De waarde van WKK

De waarde van WKK bestaat oorspronkelijk uit het hoge marginale rendement waarmee elektriciteit kan worden opgewekt ten opzichte van standalone elektriciteitsproductie. Het hoge rendement hangt samen met het feit dat de warmte die inherent vrijkomt bij elektriciteitsproductie nuttig kan worden ingezet.

Ten opzichte van fluctuerende bronnen als wind en zon en base-load bronnen als kolen en kernenergie is flexibele inzet van elektrisch vermogen, het voordeel van WKK. De waarde die deze flexibiliteit vertegenwoordigt zal richting 2050 alleen maar

toenemen zoals toegelicht in hoofdstuk 3. De verwachting is dat de elektriciteitsprijs vanaf 2020 tot en met 2030 zal oplopen door uitfasering van kolencentrales en een verhoging van de CO₂ prijs voor de elektriciteitssector. Bij hogere elektriciteitsstarieven zal de rentabiliteit van bestaande aardgas WKK verbeteren. De toenemende implementatie van duurzame energie zorgt er echter voor dat elektriciteit uit aardgas uit de markt wordt gedrukt. Het aantal draaiuren zal sterk verminderen waardoor WKK in veel gevallen niet meer rendabel zal zijn. Vanaf 2030 met de uitfasering van kolencentrales ontstaat er weer ruimte voor WKK. Hierbij geldt dan dat WKK met name rendabel kan worden ingezet als er gebruik kan worden gemaakt van de prijsvariaties door de fluctuaties in het aanbod van wind en zonenergie. Voor het behoud van bestaande aardgas gedreven WKK in de komende 10 tot 20 jaar zal flexibiliteit dan ook essentieel zijn.

Het relatief hoge totale rendement van WKK ten opzichte van een elektriciteitscentrale is een belangrijke meerwaarde van een WKK ten opzichte van een standalone elektriciteitscentrale. Een WKK zou de benodigde regelbare productie op een zo efficiënt mogelijke manier kunnen inzetten. Hierbij moet voor de eindgebruiker de warmte van de WKK wel een waarde vertegenwoordigen. Door nieuwe warmtebronnen zoals geothermie en elektriciteit is de keuze voor een WKK minder vanzelfsprekend als in de huidige situatie waarbij de industrie of de glastuinbouw de keuze heeft uit WKK of een gasketel. Daarnaast moet de warmtevraag flexibiliteit kunnen verdragen of in lijn liggen met de elektriciteitsvraag om productie af te stemmen met periodes van elektriciteitstekorten.

In zowel de gebouwde omgeving, de glastuinbouw als de industrie kan de warmte uit WKK echter zijn meerwaarde hebben. In de gebouwde omgeving kan een WKK worden toegepast om een warmtenet te voeden. Tijdens het Nederlandse stookseizoen is het elektriciteitsverbruik doorgaans hoger dan in andere tijden van het jaar. Dit zal de komende jaren nog eens worden versterkt door de grootschalige inzet van warmtepompen voor verwarmingsdoeleinden binnen de gebouwde omgeving. De elektriciteitsproductie vanuit WKK vindt daarmee simultaan plaats met een hogere elektriciteitsvraag. De glastuinbouw maakt momenteel al veel gebruik van warmte-buffering en kan daarmee ook in de toekomst de benodigde flexibiliteit bieden om WKK op een kosteneffectieve manier in te kunnen zetten. De totale impact op het gehele elektriciteitssysteem is echter beperkt door de relatief kleine hoeveelheid elektriciteit die wordt geproduceerd en de trend om deze hoofdzakelijk in te zetten voor eigen gebruik. In de industrie is het temperatuurniveau dat met een WKK toepassing bereikt kan worden interessant. Verschillende vormen van WKK biedt de mogelijkheid warmte tussen de 200 en 300 °C te leveren, dit is boven het niveau dat met warmtepompen en geothermie geleverd kan worden. In de industrie is er behoefte aan een dergelijk temperatuurniveau voor stoomproductie. Daarnaast is er een constante proceswarmtevraag bij industriële bedrijven gedurende het jaar wat het extra geschikt maakt voor de combinatie met een Power-to-Heat oplossing. Het combineren van een WKK met een Power-to-Heat oplossing vergroot de rentabiliteit van WKK. Wanneer er zowel warmte geproduceerd kan worden met de WKK als met Power-to-Heat kan er optimaal geprofiteerd worden van de variërende elektriciteitsprijzen.

“ De beschikbaarheid van een geschikte warmteafnemer wordt minder vanzelfsprekend bij toekomstige WKK toepassingen ”

[5] Invulling warmtevraag: Toelichting

In hoofdstuk 1 is de verandering van de warmtevraag van de industrie, glastuinbouw en de gebouwde omgeving beschreven richting 2050 (zie kader). Deze warmtevraag zal in 2050 (grotendeels) duurzaam moeten worden ingevuld. In hoofdstuk 2 zijn verschillende warmtebronnen die beschikbaar zijn om de warmtevraag zonder of met zeer geringe CO₂ uitstoot in te vullen beschreven.

Om de mogelijkheden voor invulling van de warmtevraag door WKK-toepassing te bepalen richting 2050 is in dit hoofdstuk een analyse gemaakt van de inzet van de verschillende warmtebronnen. De duurzame warmtebronnen zoals beschreven in hoofdstuk 2 en de fossiele warmtebronnen zoals deze momenteel worden ingezet zijn hierbij meegenomen inclusief alle WKK toepassingen.

De mogelijke inzet wordt per warmtebron onderbouwd aan de hand van het type warmtevraag en de karakteristieken van de warmtebronnen. Daarbij is rekening gehouden met de ontwikkelingen in het elektriciteitssysteem zoals beschreven in hoofdstuk 3. Op basis van de analyse is een scenario geschetst van de invulling van de warmtevraag over de tijd. Daarnaast is ook de onzekerheid betreffende de inzet voor elke warmtebron in 2050 per sector weergegeven. In deze onzekerheidsinschatting worden de boven en ondergrens per warmtebron weergegeven.

Ontwikkeling warmtevraag

Als basis wordt de warmtevraag gebruikt zoals bepaald in hoofdstuk 1. Het betreft de volgende warmtevraag:

Industrie

Een huidige warmtevraag van 563 PJ per jaar die tot 2030 langzaam afneemt en daarna versnelt afneemt naar 386 PJ per jaar. Per sector blijft de verhouding in de vereiste temperatuur-niveaus gelijk.

Glastuinbouw

Een huidige warmtevraag van 72PJ per jaar die lineair afneemt naar 45 PJ per jaar in 2050. Het vereiste temperatuurniveau van deze warmtevraag zal in 2050 lager liggen.

Gebouwde omgeving

Een huidige warmtevraag van 515 PJ per jaar die afneemt naar 370 PJ per jaar in 2050. Het aandeel hoge temperatuurwarmte (>55 °C) zal dalen van 95% naar 30%.

[5] Invulling warmtevraag: Industrie

Fossiel (met CCS)

Momenteel wordt de warmtevraag gedomineerd door fossiele brandstoffen. Deze dominantie zal tot 2030 grotendeels intact blijven. Daarna zullen, zeker voor de lagere temperatuurniveaus, de fossiele energiebronnen minder in gezet gaan worden. Voor de hogere temperatuurvraag (>500 °C) geldt echter dat fossiele bronnen moeilijker kunnen worden vervangen. Dit geldt met name voor het gebruik van restgassen. Zolang deze restgassen als bijproduct uit de productieprocessen komen zullen deze ingezet (moeten) worden. Restgassen zullen de belangrijkste energiebron blijven richting 2050 voor temperaturen boven de 500 °C. Eventuele verandering in de productieprocessen (bijvoorbeeld opkomst van bio-plastics) kunnen de inzet van restgassen verminderen. De verwachting is dat dit slechts in beperkte mate zal plaatsvinden. Inzet van kolen vindt plaats in de staalindustrie via het Hisarnaproces. Daarnaast zal ook aardgas in 2050 nog een beperkte rol spelen voor hoge temperatuurwarmte. Voor de fossiele energiebronnen die nog ingezet worden zal vanaf 2030 CCS/CCU worden ingezet. Door de combinatie met CCS/CCU maakt fossiele bronnen in 2050 met name een optie in de industrie in Zuid- en Noord-Holland vanwege de afstand naar geschikte opslagvelden.

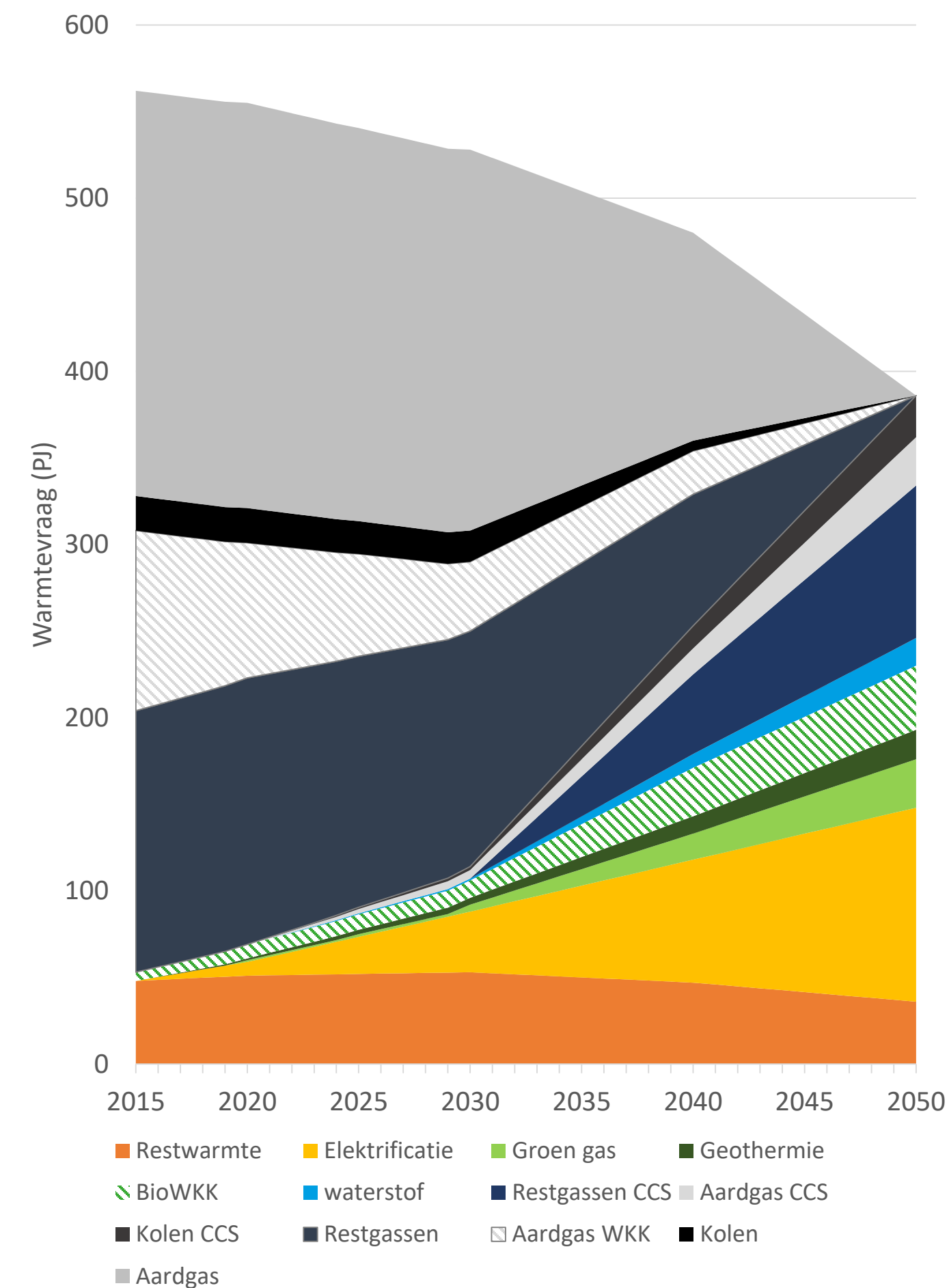
Elektrificatie

Voor de temperaturen tot en met 100 °C zal de industrie voor een groot deel overstappen op warmtepompen. Van 100 °C tot 200 °C zal elektrificatie ook een rol spelen met name door opwaardering van restwarmte via mechanische damprecompressie. Op dit temperatuurniveau is de onzekerheid over de inzet van warmtepompen iets groter doordat veel droog- en destillatie-

processen in de industrie momenteel net boven het temperatuurniveau liggen waarop warmtepompen inzetbaar zijn. De mate van elektrificatie zal afhangen van het temperatuurniveau dat in 2050 bereikt kan worden met warmtepompen en welke temperatuur benodigd zal zijn. Hogere temperatuurprocessen zullen ook gedeeltelijk worden geëlektrificeerd via boilers of fornuizen. Dit is met name interessant in de vorm van Power-to-Heat toepassingen waarbij de capaciteit wordt over gedimensioneerd zodat gereageerd kan worden op de fluctuerende elektriciteitsstarieven. De verwachting is dat elektrificatie in de industrie vanaf heden langzaam meer zal worden toegepast en vanaf 2030 een sterke groei zal kennen.

Geothermie

Geothermie is een alternatief voor elektrificatie voor de temperatuurvraag tot ongeveer 200 °C. Voor temperaturen tot circa 90 °C kan gebruik worden gemaakt van nu al beschikbare technieken. Voor hogere temperaturen moet Ultra-Diepe geothermie worden toegepast waarvan de haalbaarheid onzeker is. Van belang is dat de locatie geschikt moet zijn voor toepassing van geothermie. Deze locatieafhankelijkheid en het relatief lage temperatuur-niveau dat kan worden bereikt zorgen er voor dat geothermie een beperkte rol speelt in de invulling van de warmtevraag.



Figuur 14: Ontwikkeling van de invulling van de warmtevraag in de glastuinbouw

[5] Invulling warmtevraag: Industrie

Restwarmte

Een deel van de industriële warmtevraag wordt ingevuld met restwarmte uit hogere temperatuurprocessen. De restwarmte benutting zal richting 2050 geoptimaliseerd worden. Echter, door minder warmteverlies bij processen door elektrificatie, efficiëntere processen en opwaardering van restwarmte via warmtepompen zal de totale invulling van de warmtevoorziening via restwarmte iets dalen.

Waterstof

Het gebruik van waterstof is een onzekere factor in de industrie. De toepassing van brandstofcellen in de industrie voor warmte-opwekking lijkt niet logisch door de lage thermische output. Waterstofbranders kunnen een rol gaan spelen, zeker om de hoge temperatuurvraag in te vullen. Het gebruik van waterstof voor energieverbruik in de industrie is met name afhankelijk van de beschikbaarheid en de infrastructuur. Waterstofgebruik kan in 2040 tot 2050 toenemen en de inzet van fossiele bronnen beperken maar zal naar verwachting geen dominante rol gaan spelen.

Groen gas/biomassa

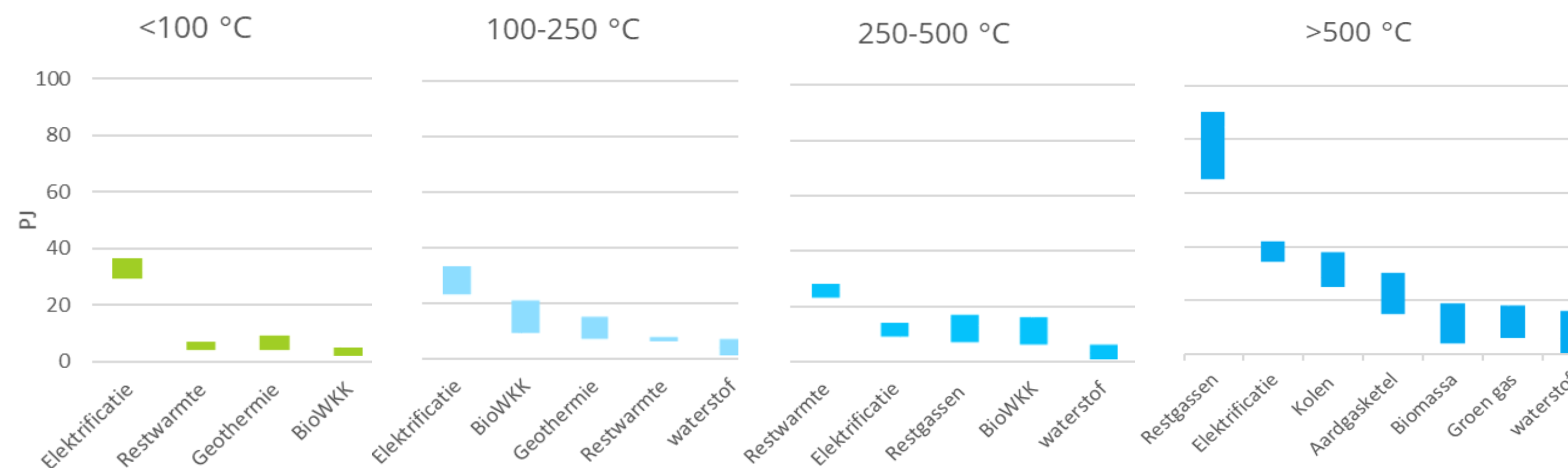
Ketels op groen gas zullen met name worden toegepast wanneer CCS/CCU geen optie is om de hoge temperatuurvraag in te vullen. Dit geldt bijvoorbeeld voor het industriële cluster Chemelot in Zuid-Limburg dat een ruime afstand kent naar opslagvelden en waar de lokale vraag naar CO₂ te klein is om CCU grootschalig toe te passen. Biomassa zou een deel van de kolen kunnen vervangen bij de metaalproductie door middel van het hisarna-proces. In welke mate biomassa wordt bijgemengd is nog erg onzeker.

WKK

De dominante rol die aardgas WKK momenteel speelt in de warmtevoorziening met temperaturen tot en met 300 °C zal vanaf 2030 gaan verdwijnen. Voor een beperkt deel zal dat worden opgevangen door bioWKK. Waar momenteel 104 PJ door WKK wordt geleverd zal dit volgens onze verwachting in 2050 39 PJ zijn. Dit is voor een deel te danken aan een afname van de totale warmtevraag maar met name door de concurrentie van elektrificatie en geothermie. De meeste kansen voor bioWKK liggen op het temperatuurniveau van 200°C-300°C waarbij geothermie en warmtepompen beperkter toepasbaar zijn. Het bieden van flexibiliteit aan het elektriciteitssysteem zal daarbij een belangrijke voorwaarde zijn om WKKs te opteren boven gasketels. De waarde van WKK kan toenemen in de industrie als de inzet kan worden gecombineerd met Power-to-Heat toepassingen om op deze manier nog meer flexibiliteit te kunnen bieden.

Het merendeel van de WKK zal op basis van vaste biomassa zijn. Echter, bij industrie waar biomassa transport lastiger is, is toepassing van WKK op groen gas meer aannemelijk. Brandstofcellen op waterstof kunnen wellicht in specifieke gevallen ook een rol gaan spelen. De verhouding tussen elektriciteits- en warmteproductie bij een brandstofcel sluit echter niet goed aan bij het gemiddelde vraagprofiel in de industrie.

“ BioWKK zal naar verwachting 37 PJ bijdragen aan de totale warmtevraag van de industrie”



Figuur 15: Overzicht van de inzet van de verschillende warmtebronnen per temperatuurniveau voor de industrie in 2050

[5] Invulling warmtevraag: Glastuinbouw

Restwarmte

De warmte die komt vanuit restwarmte is momenteel nog beperkt tot enkele PJ. De verwachting is dat dit richting 2030 tot 2040 zal groeien naar bijna 10 PJ. De koppeling tussen de industrie en de glastuinbouw zal de komende jaren meer worden gemaakt om zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van industriële warmte. Daarnaast kan de glastuinbouw gebruik maken van de beschikbare CO₂ in de industrie. Ook onderlinge uitwisseling tussen tuinders door clustering van warme teelt en koude (belichte) teelt kan de komende jaren zorgen voor een stijging van het aandeel restwarmte in de totale warmtevraag.

Aardgas/groen gasketel

De aardgasketel is nu nog verantwoordelijk voor bijna 20 PJ maar zal langzaam verdwijnen als warmteopwekker in de glastuinbouw. Het aandeel van groen gas dan wel biogasketels zal beperkt blijven. Slechts voor warme onbelichte teelt zou het een optie kunnen zijn in 2050.

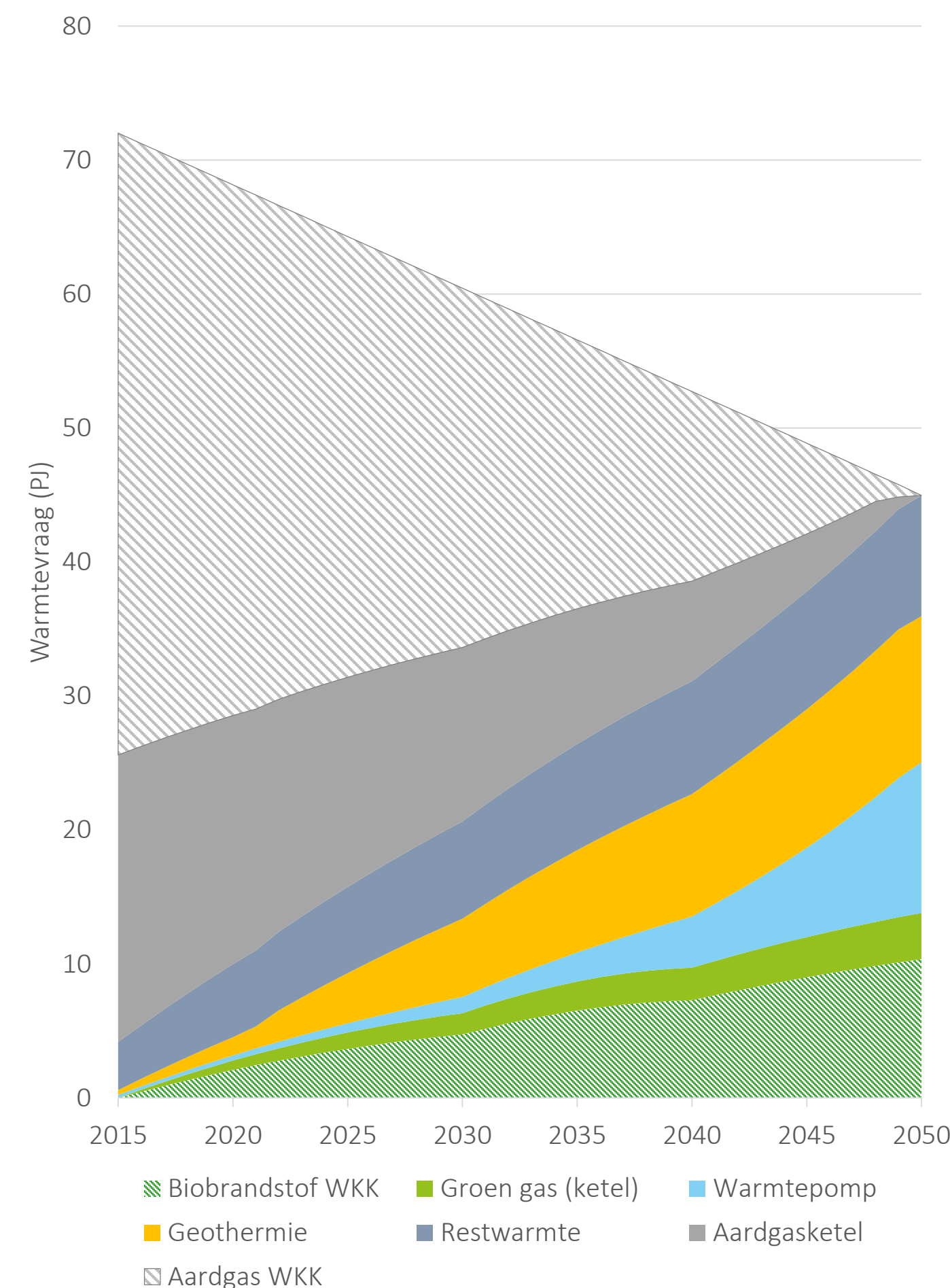
Geothermie

Hoewel het aantal geothermiebronnen nu nog beperkt is, lijkt de potentie van de toepassing van geothermie in de glastuinbouw groot door de grote hoeveelheid aan lage temperatuurwarmte die benodigd is. De verwachting is dat ondiepe en diepe geothermie een belangrijke rol gaat spelen in de warmtevoorziening binnen de glastuinbouwsector als een kosteneffectieve duurzame warmtebron. Het aanleggen van bronnen is echter complex en vereist een samenwerking tussen verschillende warmteafnemers. Een bijkomende vereiste is dat er een externe CO₂ bron beschikbaar is voor de CO₂ behoeftige teelt.

Bovendien is het niet voor alle glastuinbouwgebieden mogelijk om over te schakelen naar aardwarmte vanwege ongeschiktheid van de bodem. De clusters in het Westland en Noord-Brabant lijken qua bodemgeschiktheid wel een interessante locatie te zijn voor toepassing van geothermie. De huidige beperkte inzet van geothermie zal richting 2050 groeien en uiteindelijk ongeveer 10 PJ bedragen.

Elektrificatie

Elektrificatie in de glastuinbouw betreft het gebruik van warmtepompen voor lage temperatuur warmte. Lage temperatuursystemen voorzien hierbij goed geïsoleerde (gesloten) kassen van warmte dan wel koude. De toepasbaarheid van een dergelijk systeem hangt af van het type gewas. Het is met name toepasbaar voor energie-intensieve teelt, zoals gewassen voor de specialistischere producten voor de farmaceutische of voedingsmiddelenindustrie. Hierbij kunnen de hogere investeringskosten terugverdiend worden via de hoge waarde van de teelt. Tot en met 2040 lijkt de toepassing beperkt te blijven tot enkele PJ waarna de warmtepomp een belangrijke rol kan gaan spelen bij de invulling van de warmtevraag. De onzekerheid over de invulling van de gewassenmix in 2050 maakt echter dat de breedte op de toepassing van warmtepompen in de glastuinbouw groot is.



Figuur 16: Ontwikkeling van de invulling van de warmtevraag in de glastuinbouw

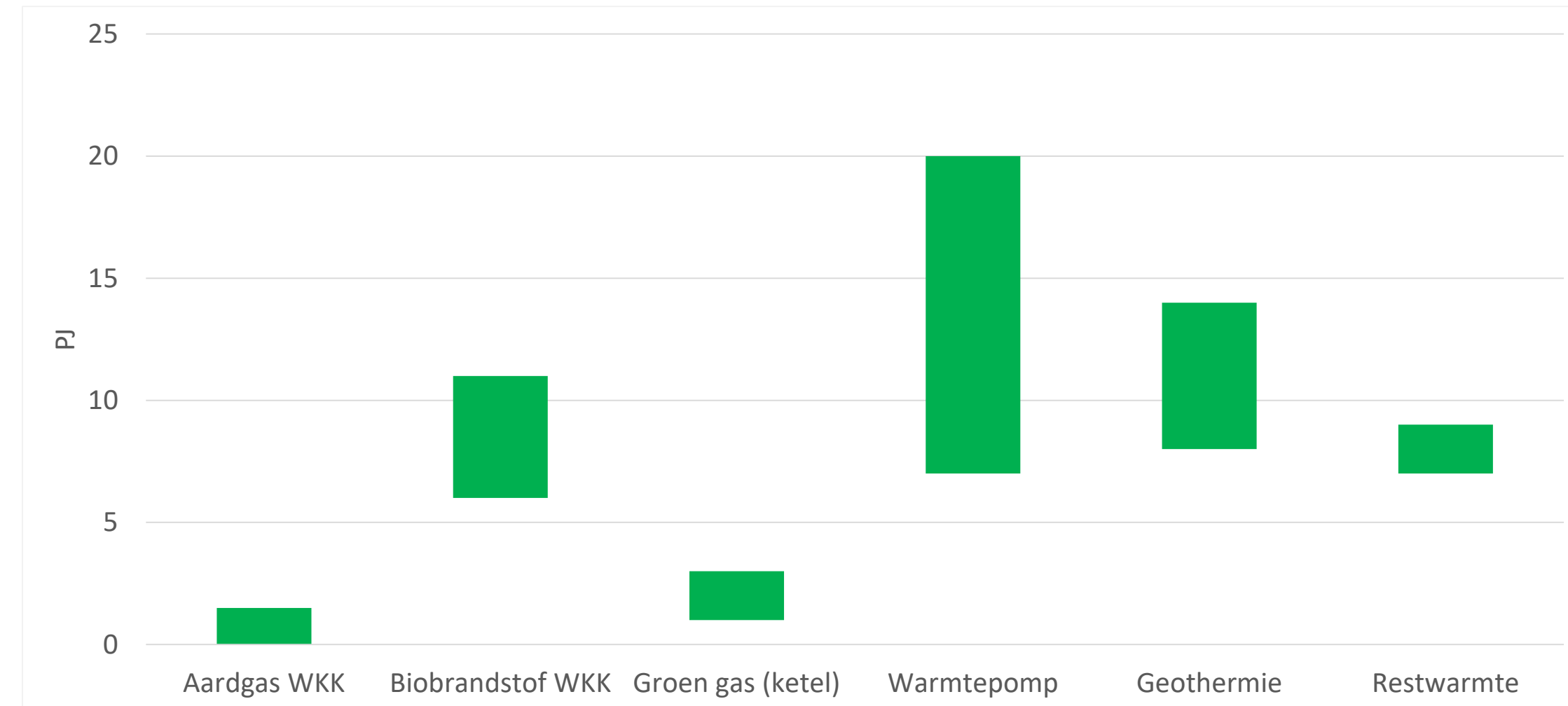
[5] Invulling warmtevraag: Glastuinbouw

WKK

WKK speelt momenteel een dominante rol in de warmtevoorziening voor de glastuinbouw. Het aandeel neemt af richting 2030 maar WKK zal dan nog steeds de helft van de benodigde warmte leveren. Vanaf dan neemt de rol van aardgas WKK als niet duurzame warmtebron sterk af waarna het in 2050 nihil zal zijn. Door de veranderingen in teelt en kassen-voorraad en een toename aan kosteneffectieve duurzame alternatieven is er ook een mindere behoefte aan een WKK toepassing.

Het gat dat Aardgas WKK achterlaat zal niet volledig door bioWKK worden ingevuld. Toch liggen er wel mogelijkheden voor bioWKK. De trend richting een hogere belichtingsgraad en dus een hogere elektriciteitsvraag zorgt voor een stimulans voor WKK toepassingen. Voor warme teelt die verwarmd wordt met hoge temperatuurwarmte en sterk belicht wordt is bioWKK een aantrekkelijke optie. Door de flexibiliteit die bioWKK in de glastuinbouw kan bieden via warmtebuffering, zal er optimaal gebruik gemaakt kunnen worden van de prijsfluctuaties in de elektriciteitsstarieven.

Feit blijft dat WKK-toepassingen een veel beperktere rol zal gaan spelen in de glastuinbouw. De exacte warmte input vanuit bioWKK is afhankelijk van de mogelijkheden voor geothermie en de gewassen die in 2050 worden geteeld. BioWKK zal met name gevoed worden door biogas of groen gas doordat de distributie van vaste biomassa naar de verschillende tuinders in de praktijk een limiterende factor kan zijn.



Figuur 17: Overzicht van de inzet van de verschillende warmtebronnen voor de glastuinbouw in 2050

“ De dominante rol van WKK toepassingen zal gaan verdwijnen richting 2050 maar zal in specifieke gevallen nog steeds veel meerwaarde hebben”

[5] Invulling warmtevraag: Gebouwde omgeving

De huidige CO₂ doelstellingen en de zorgen rondom de beschikbaarheid en betaalbaarheid van aardgas op de lange termijn zullen gaan zorgen voor een sterke afname van warmte geproduceerd uit aardgas. Door sloop/nieuwbouw, betere isolatie en meer toepassing van bijvoorbeeld WKO systemen wordt LT warmte steeds beter toepasbaar. Naar verwachting neemt het aandeel LT warmte in 2050 toe tot circa 70% oftewel 250 PJ.

De invulling van de warmtevraag, zoals weergegeven in de grafiek, naar 2050 toe heeft dan ook een sterke focus op energiebronnen en warmteopwekkers die in staat zijn om deze warmte efficiënt te produceren.

Aardgas

De gasketel speelt nu nog een dominante rol in de warmtevoorziening, de uitfasering hiervan zal na 2020 versneld toenemen. Zo worden momenteel nog maar 45% van de nieuwbouw woningen uitgerust met aardgasketels, dit aandeel zal de komende jaren afnemen naar vrijwel 0%. Voor oudere gebouwen die niet kosteneffectief geïsoleerd kunnen worden blijft de gasketel voorlopig van groot belang. Zolang groen gas niet in grote hoeveelheden beschikbaar is zal de hybride warmtepomp een bijdrage in de aardgasreductie voor oudere gebouwen moeten gaan spelen.

De aardgas gedreven WKK's zullen een steeds kleinere bijdrage gaan leveren vanwege de veroudering van het bestaande WKK park en de toenemende eisen rondom emissienormen binnen de gebouwde omgeving.

Wel zal aardgas als back-up en als goedkope piekvoorziening met ketels bij warmtenetten van belang blijven. Naar verwachting zal circa 2% van de warmte in 2050 nog uit aardgas afkomstig zijn.

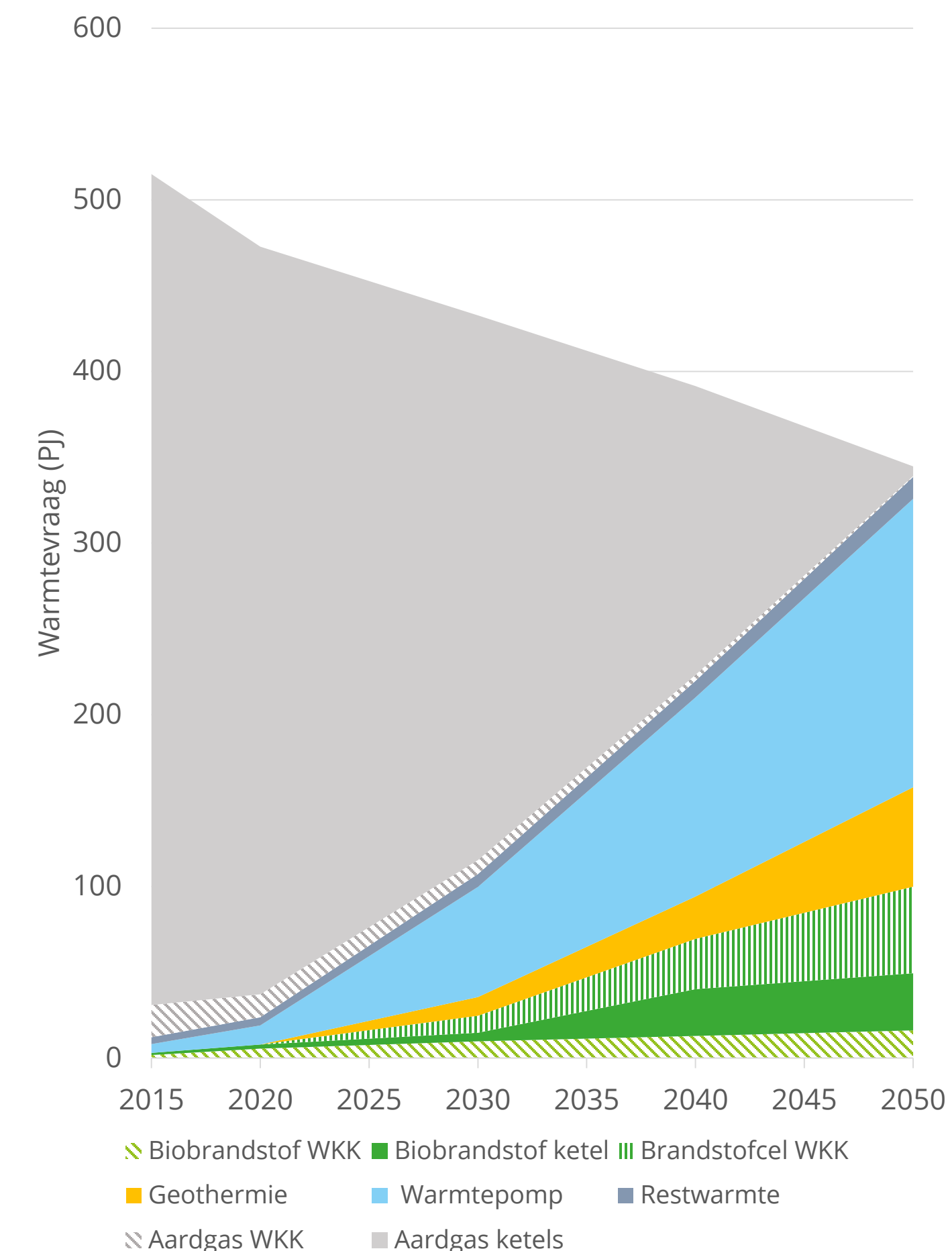
Biobrandstof

Biomassa en groen gas zullen tegen 2050 circa 15% van de warmtevraag invullen, deze warmte is hoofdzakelijk afkomstig uit groen gas verkregen uit vergassing van houtige biomassa of vergisting. Groen gas zal vooral van belang zijn om bestaande bouw die niet gemakkelijk naar LT verwarming kan worden overgezet op een duurzame manier te verwarmen. De beschikbaarheid van groengas is momenteel nog beperkt maar zal vanaf 2030 grootschaliger beschikbaar komen door het invoeden in het aardgasnet.

Op kortere termijn zullen biobrandstof WKK's een rol gaan spelen om warmtenetten op te verduurzamen. Door de toenemende elektrificatie vanaf 2020 ontstaat een grotere vraag naar elektriciteit wat, met name in steden, een impact heeft op de belasting van de regionale transportnetten. Door de inzet van duurzame gevoede WKK's kunnen deze transportnetten deels worden ontlast.

Collectief en individueel opgewekte warmte

Momenteel wordt het gros van de warmte binnen de gebouwde omgeving individueel opgewekt. In deze studie wordt ingezet op een grotere inzet van warmtenetten, gevoed met restwarmte, geothermie, biobrandstof WKK's en warmtepompen. Het aandeel collectief geleverde warmte zal stijgen tot circa 30 % in 2050.



Figuur 18: Ontwikkeling van de invulling van de warmtevraag in de gebouwde omgeving

[5] Invulling warmtevraag: Gebouwde omgeving

Warmtepomp (hybride)

De warmtepomp zal vanwege kostendalingen, de groei van duurzame elektriciteit, efficiency verbetering, betere geschiktheid voor HT verwarming en inzet in LT warmtenetten een grote rol gaan spelen in de toekomstige warmtevoorziening. In onze prognose zal de bijdrage richting de 45% gaan in 2050.

Geothermie

Door geothermiebronnen te koppelen aan bestaande of nieuwe warmtenetten kan een deel (15% in 2050) van de gebouwde omgeving van duurzame warmte worden voorzien.

Randvoorwaarden voor de toename van geothermie binnen de gebouwde omgeving zijn; de geschiktheid van de ondergrond, een beperkte afstand tussen bron en afnemer, een redelijk constante warmtevraag en een verdere kostendaling van de aanleg van de bron. Door de ontwikkeling van nieuwe geothermieconcepten worden bovenstaande randvoorwaarden in de toekomst eenvoudiger haalbaar en zal geothermie vanaf 2030 een duidelijkere bijdrage krijgen in de warmtevoorziening.

Brandstofcel WKK

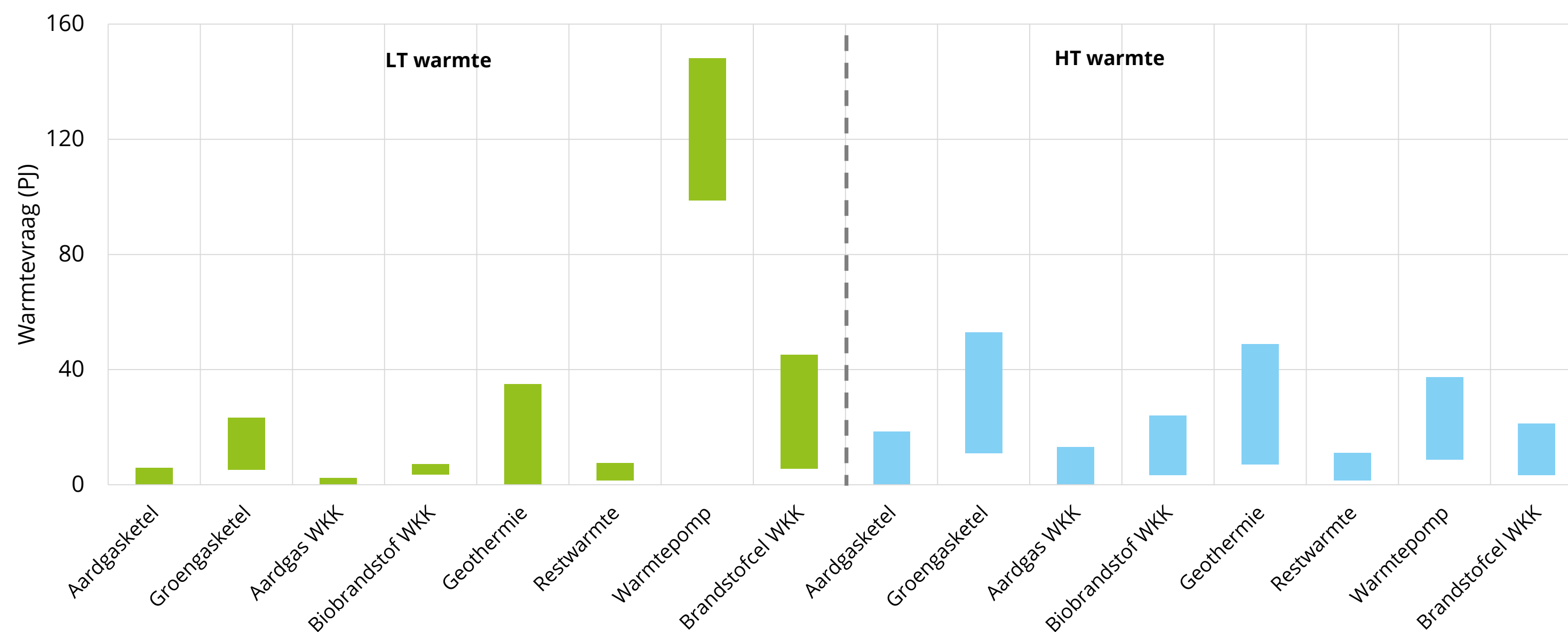
Voor de gebouwde omgeving wordt vanaf 2025 ingezet op de verdere ontwikkeling van waterstof als energiedrager waarbij de brandstofcel tot 15% van de warmtevraag kan leveren in 2050. Dit aandeel wordt mogelijk door kostendalingen en technische ontwikkeling van elektrolyse, waterstofopslag, brandstofcellen en meer momenten van overschotten van duurzame elektriciteit. De inzet van de klein- en grootschalige brandstofcellen zal vooral door de elektriciteitsbehoefte gedreven worden en individueel of bij

warmtenetten ingepast worden. De elektriciteitsopwekking heeft lokaal extra waarde doordat het de elektriciteitsnetten ontlast bij de toenemende elektrificatie. De vrijkomende warmte wordt direct ingezet of gebufferd voor ruimteverwarming en tapwaterbereiding.

Om de uitrol van waterstof te bespoedigen zal aandacht naar de waterstof infrastructuur moeten uitgaan. Het bestaande aardgasnet zou na aanpassing hiervoor uitkomst kunnen bieden.

Restwarmte

Een betere uitkoppeling van restwarmte binnen de industrie en bijvoorbeeld vanuit datacenters zal leiden tot een lichte toename van restwarmtegebruik tot circa 5% in 2050. Door een betere benutting van eigen restwarmte binnen de industrie kan het aanbod lager uitvallen dan nu wordt aangenomen.



Figuur 19: Overzicht van de inzet van de verschillende warmtebronnen per temperatuurniveau voor de gebouwde omgeving in 2050

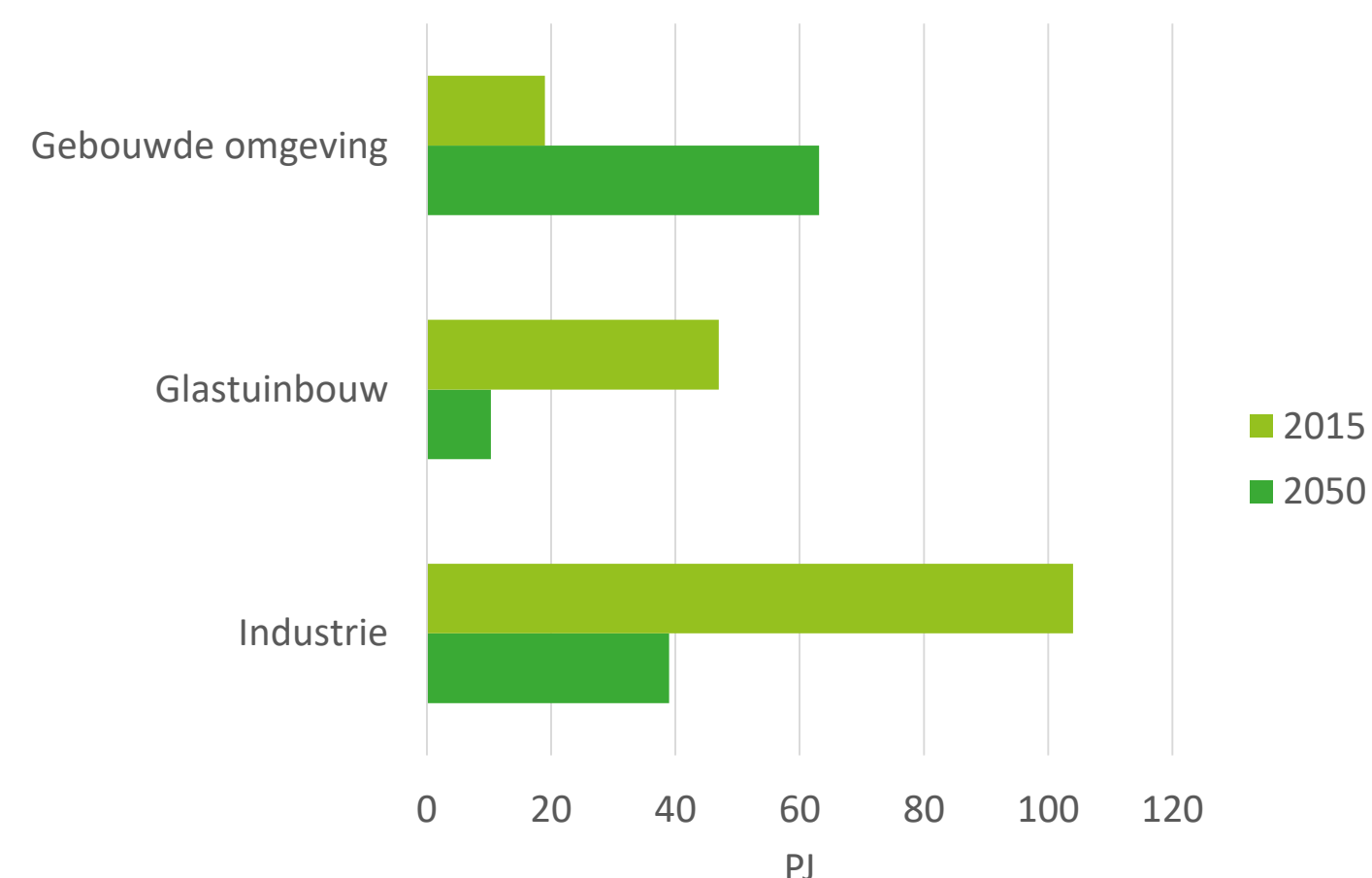
[6] Toekomstbeeld inzet WKK: Warmte

De scenario's zoals geschetst voor de invulling van de warmtevraag geven een beeld van de WKK toepassingen in 2050 per sector. Er lijkt een behoefte aan WKK toepassingen te blijven maar de opbouw van het WKK-park en de inzet zal echter sterk afwijken van de huidige situatie.

Warmte

In figuur 20 staat de huidige warmteproductie uit WKK toepassing per sector afgezet tegen de toekomstige warmteproductie uit WKK. De huidige warmteproductie van 170 PJ per jaar zal met bijna 35% dalen naar 112 PJ. Binnen de sectoren zijn er echter grote verschillen. De rol van industriële WKK voor de warmtevoorziening daalt met ruim 60% naar 39 PJ. In de glastuinbouw is de daling van WKK-warmte nog groter met bijna 80% naar 10 PJ. De aardgas WKK installaties worden op den duur vervangen door duurzame alternatieven als elektrificatie en, mate name in de glastuinbouw, geothermie. De rol van WKK op biobrandstoffen is daardoor kleiner dan van de huidige aardgas WKK toepassingen. Daarnaast sluit brandstofcellen niet geheel aan bij de behoefte in de glastuinbouw en de industrie. Zoals eerder benoemd blijven er echter kansen voor WKK in deze sectoren, vooral als er meer flexibiliteit gecreëerd kan worden in de warmtevraag. De meeste potentie voor warmtelevering heeft WKK echter in de gebouwde omgeving. Daar kan WKK in plaats van de huidige 19 PJ een totaal van 63 PJ aan warmte gaan leveren. De groei voor collectieve warmtevoorziening betekent dat er meer mogelijkheden zijn voor WKK. Daarnaast kunnen brandstofcellen ook goed worden toegepast in de gebouwde omgeving doordat de warmtevraag veelal gelijk valt met een grote elektriciteitsvraag en warmte gebufferd kan worden.

"De gebouwde omgeving wordt het belangrijkste toepassingsgebied voor WKK-toepassingen"



Figuur 20: Warmteproductie WKK toepassingen in 2015 en 2050

Uitgangspunten

Voor het bepalen van de verhouding tussen de elektriciteitsproductie en de warmteproductie in 2015 zijn de volgende rendementen aangehouden voor de industrie (Ind.) glastuinbouw (GTB) en gebouwde omgeving (GO).

	η_e	η_{th}
Ind.	32%	50%
GTB	42%	50%
GO	42%	50%

Voor 2050 is er rekening gehouden met de inzet van de verschillende type WKK-toepassingen en de bijbehorende rendementen. De inzet van WKK-toepassingen voor de thermisch productie is per sector als volgt.

	WKK biomassa	WKK groen gas	brandstofcel waterstof
Ind.	30 PJ	7 PJ	2 PJ
GTB	5 PJ	5 PJ	- PJ
GO	8 PJ	8 PJ	47 PJ

Voor het bepalen van de elektrische productie is aangenomen dat in 2050 de volgende rendementen kunnen worden behaald door de verschillende technologieën.

	η_e	η_{th}
WKK biomassa	25%	70%
WKK groen gas	35%	55%
Brandstofcel waterstof	60%	30%

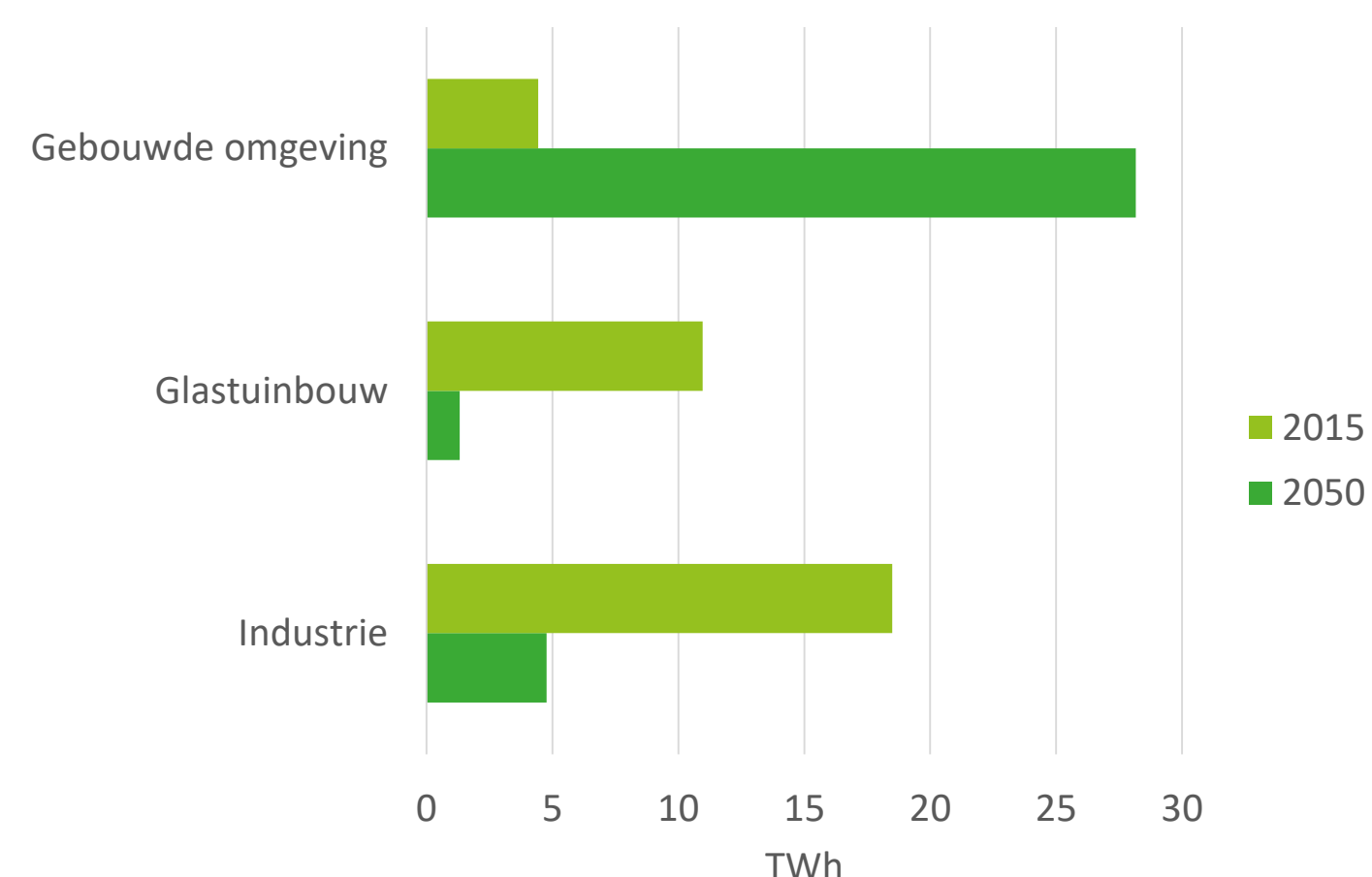
[6] Toekomstbeeld inzet WKK: Elektriciteit

Elektriciteit

In figuur 21 staan de huidige en toekomstige elektriciteitsproductie uit WKK toepassing per sector afgezet. De elektrische output is gebaseerd op de rendementen zoals beschreven in de uitgangspunten op de vorige pagina.

De totale elektriciteitsproductie uit WKK-toepassingen blijft tussen 2015 en 2050 op ongeveer hetzelfde niveau. De 34 TWh in 2050 komt voor het grootste deel voor rekening van WKK in de gebouwde omgeving. Het verschil met de andere sectoren is groter dan bij de warmteproductie door het relatief hoge elektrische rendement van brandstofcellen ten opzichte van de WKKs op biobrandstoffen die met name in de glastuinbouw en industrie wordt geplaatst. In het geschetste scenario blijft de bijdrage van WKK-toepassingen in de industrie en de glastuinbouw aan flexibele productie beperkt tot enkele TWh. WKK toepassing in de gebouwde omgeving heeft met 28 TWh veel meer potentie voor een hoge elektriciteitsproductie en dus het bieden van flexibiliteit in het elektriciteitssysteem. De elektriciteitsproductie uit WKK van 34 TWh zou in 2050 de totale benodigde flexibiliteit van 21 TWh kunnen dekken. Standalone elektriciteitsopwekking uit centrales zou dan niet hoeven te worden toegepast. Voorwaarde is wel dat de WKKs inderdaad flexibel kunnen worden ingezet en de vraag naar elektriciteit kunnen volgen. De elektriciteitsproductie uit WKK in dit scenario komt voor een groot deel van het geïnstalleerd vermogen aan brandstofcellen in de gebouwde omgeving. De inzet van brandstofcellen in de gebouwde omgeving is echter sterk afhankelijk van onder andere de beschikbare brandstoffen, technologische ontwikkelingen en de infrastructuur.

“WKK-toepassingen hebben de potentie om de totale vraag naar flexibele elektriciteitsproductie in 2050 te kunnen leveren”



Figuur 21: Elektriciteitsproductie WKK toepassingen in 2015 en 2050

[7] Conclusie

Transitie naar duurzame WKK in 2050

De toepassing van WKK staat de afgelopen jaren sterk onder druk als gevolg van toenemende penetratie van duurzame energie en de focus op het uitfaseren van aardgas richting 2050. WKK wordt daarbij gedwongen als flexibele productie te concurreren met bestaande grootschalige elektriciteitscentrales. Deze ontwikkelingen beperken het aantal rendabele draaiuren en daarmee de mogelijkheden om te (het)investeren in WKK-capaciteit. Een aanzienlijk deel van de huidige WKK-voorraad zal worden gesaneerd richting 2030, met name in de industrie.

Richting 2050 zullen duurzame brandstoffen zoals biomassa, groen gas en waterstof een deel van de inzet van energiecentrales op aardgas gaan overnemen. Hierbij levert waterstof een bijdrage in het stabiliseren van het elektriciteitssysteem als energiedrager voor overtollige duurzame elektriciteit die vervolgens weer ingezet kan worden als brandstof. Waterstof speelt daarmee een cruciale rol in de toekomstige energievoorziening. De grote vraag is hoe die duurzame brandstoffen in de elektriciteitssector ingezet zullen worden. Welke rol spelen flexibiliteit, efficiëntie, kosten voor netverzwaring, betrouwbaarheid en emissieloos naar de toekomst? Dat bepaalt straks de rol van WKK.

Duurzame brandstof niet perse in WKK

De binnenlandse beschikbaarheid van zowel biomassa, groen gas als waterstof via elektrolyse is onvoldoende voor de vraag vanuit de drie sectoren. Grootschalige import van biomassa en/of waterstof is daardoor noodzakelijk. Een alternatief is dat er waterstof via stoomreforming met CCS wordt geproduceerd.

Het is aannemelijk dat duurzame brandstoffen kostbaar zullen worden. Waterstof en biomassa kunnen ook worden toegepast in de mobiliteitssector of als grondstof in de industrie waar ze mogelijk een hogere waarde vertegenwoordigen. Voor stationaire toepassingen zijn er ook volwaardige alternatieven die meer waarde dan bij inzet in een WKK kunnen opleveren: gebruik van groen gas, biomassa of waterstof voor piekvoorziening van de warmtevraag, standalone elektriciteitsproductie of levering van hoge temperatuurwarmte in de industrie.

Concurrentie op warmtegebied

Op warmtegebied ontstaan er steeds meer alternatieven voor WKK zoals warmtepompen, (ondiepe) geothermie en restwarmtebenutting. De warmtevraag zelf neemt ook af door klimaatverandering, verbeterde isolatie en procesoptimalisatie waardoor tevens de vraag naar LT warmte fors toeneemt. Binnen de GTB sector zal richting 2050 een afname ontstaan van de hoeveelheid benodigde warmte, ingezet door o.a. het nieuwe telen en een verandering in de gewassenmix.

Geothermie gevoed aan warmtenetten wordt een belangrijke schakel binnen de warmtemix. Daarbij zijn randvoorwaarden zoals bodemgeschiktheid en een geclusterde warmtevraag belangrijke factoren voor het succes van geothermie als duurzame warmtebron. Ook warmtenetten op restwarmte afkomstig van o.a. de industrie zullen een belangrijke bijdrage aan de warmtevoorziening binnen de GTB- en GO sector krijgen.

In de industrie bestaat de warmtevraag voor circa de helft uit een temperatuurniveau van boven de 500°C wat een grote uitdaging

oplevert om met duurzame bronnen te leveren. Daarbij zijn restgassen die vrijkomen in de petrochemie en raffinaderijen in 2050 nog altijd significant. Om deze restgassen CO₂ neutraal te verwerken is een energetische toepassing met CCS noodzakelijk. CCS-toepassingen in de industrie zijn onmisbaar om voldoende CO₂ reductie te bereiken. De industriële clusters in Noord- en Zuid-Holland liggen gunstig voor toepassing van CCS, in andere gebieden zal CCS of CCU moeilijk toepasbaar zijn en zullen waterstof en groen gas ingezet moeten worden.

Verandering in WKK toepassingen

De dominante rol van WKK in de industrie en de glastuinbouw gaat verdwijnen door het toegenomen aantal alternatieven. Mogelijkheden voor WKK liggen er in de industrie nog wel voor temperatuurniveaus waarbij geothermie en elektrificatie geen optie is. Bij de glastuinbouw zal inzet vooral interessant zijn voor warme teelt die veel belicht dient te worden.

In de gebouwde omgeving liggen er nieuwe kansen voor WKK door een toename van collectieve warmtevoorziening, lastig te isoleren delen van de bouwvoorraad en de toenemende elektrificatie door mobiliteit en (hybride) warmtepompen. Een WKK-toepassing kan zowel een deel van relatief hoge temperatuur warmtevraag (denk aan tapwater) als in de groeiende elektriciteitsvraag voorzien. De warmtevraag en elektriciteitsvraag volgen een vergelijkbaar profiel en kunnen eventueel door warmtebuffering nog beter op elkaar worden afgestemd.

[7] Conclusie

Aardgas WKK zal richting 2050 geheel verdwijnen als emissieloze energievoorziening het doel wordt. WKK op aardgas inclusief CCS lijkt geen logische toepassing, de investeringskosten kunnen niet worden terugverdiend en er zijn alternatieven voor emissieloze warmtevoorziening. WKK's zullen gevoed worden door biomassa of groen gas, afhankelijk van de locatie en de toepassing. Daarnaast zullen brandstofcellen op waterstof steeds vaker worden ingezet als WKK-toepassing.

Flexibele inzet vereist

In het toekomstige energiesysteem met veel elektriciteit uit wind en zon is er veel behoefte aan flexibiliteit. Accu's en import kunnen maar beperkt in de elektriciteitsvraag voorzien ten tijde van een (langdurige) mismatch tussen de elektriciteitsvraag en het aanbod uit wind en zon. Er zal een grote behoefte zijn aan capaciteit die gedurende tekorten elektriciteit kan leveren.

Deze behoefte biedt kansen voor een rendabele inzet van WKK in 2050. Het is daarbij van belang dat de WKK flexibel kan opereren en het aantal draaiuren kan worden afgestemd op de waarde van de elektriciteit in het net. De warmtelevering moet deze flexibiliteit kunnen verdragen. Slimme toepassingen zijn hiervoor noodzakelijk zoals de inzet van warmtebuffering en combinaties met een warmtepomp en Power-to-Heat oplossingen.

Netkosten zijn cruciaal

Het omschakelen van aardgasnetten naar een all-electric infrastructuur of lokale warmtenetten brengt enorme kosten met zich mee. Schattingen lopen uiteen van 30 tot 140 mrd euro in 2050. Warmte zal in eerste instantie voornamelijk worden opgewekt met hybride warmtepompen in de bestaande bouw en in toenemende mate vanuit all-electric warmtepompen in de nieuwbouw. Deze elektrificatie heeft tot gevolg dat de belasting van lokale en regionale elektriciteitsnetten fors kan toenemen en tot capaciteitsproblemen kan leiden.

Door ook in te zetten op de toepassing van bio-WKK of brandstofcellen op individueel niveau of bij warmtenetten, wordt extra elektriciteit opgewekt en het lokale net ontlast. Daarnaast zijn de mogelijkheden van opties als geothermie, biomassa, CCS en waterstof zeer locatie afhankelijk. De integrale kosten over de duurzaamheidsketen, van bron tot gebruiker zullen dus een zeer belangrijke factor zijn om te besluiten om lokaal een duurzame WKK te gebruiken. Voorwaarde hiervoor is wel dat bestaande gas-infrastructuren (deels) worden gehandhaafd om waterstof en groen gas transport mogelijk te maken.

Goedkoop versus duurzaam

De benodigde capaciteit voor flexibele elektriciteitsproductie kan worden ingevuld met stand-alone elektriciteitscentrales of WKK-toepassingen. De markt zal daarbij vereisen dat deze capaciteit zo goedkoop mogelijk wordt gerealiseerd. De vraag is in welke mate decentrale WKK's de eindgebruiker en de maatschappij voordelen kunnen bieden. De meerwaarde van decentrale WKKs ligt niet alleen bij de eindgebruiker. Wanneer in 2050 nog 20% van de elektriciteitsbehoefte uit flexibele centrales moet komen dan zouden WKK's in de orde van 100 PJ aan brandstofbesparing kunnen zorgen en een orde van tientallen miljarden euro's aan besparing op infrastructuurkosten. Regionale en nationale afstemming tussen diverse stakeholders zijn nodig om deze maatschappelijke voordelen te kunnen benutten.

[8] Bronvermelding

[1] CE Delft, „Denktank Energiemarkt - industriële warmtemarkt,” Delft, 2015.

[2] Davidse Consultancy, „Warmte-energie, de motor van de industrie,” Bennekom, 2012.

[3] M. Rehfeldt, C. Rohde en T. Fleiter, „A bottom up estimation of heating and cooling demand in the European industry,” in Industrial efficiency 2016, Karlsruhe, 2016.

[4] RVO, „Scheidingstechnologie industrie,” [Online]. Beschikbaar: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-besparen/energiebesparing-industrie/scheidingstechnologie/scheidingstechnologie>

[5] Europees parlement, Actieplan voor een concurrerende en duurzame staalindustrie in Europa, 2014.

[6] K. De Ronde, Biomassa en CO2-afvang bij Tata Steel's Hisarna-techniek, 2017.

[7] CE Delft, Visie 2030 Glastuinbouw Energie en Klimaat, 2015.

[8] Metropoolregio Rotterdam Den Haag, Roadmap next Economy, 2016.

[9] PBL, „Klimaat en energie, achtergronddocument,” 2016.

[10] Agentschap NL, „Pilot effect klimaatverandering op energiegebruik en besparingsconcepten bij woningen,” 2012.

[11] PBL, „Verkenning van klimaatdoelen,” 2017.

[12] EPA, „Catalog of CHP Technologies, section 6. Technology Characterization - Fuel Cells,” 2015.

[13] ECN, „Productieroutes Duurzame Waterstof,” 2016.

[14] CATO, „CO2 storage in the Netherlands,” 2010.

[15] RVO, „Warmteatlas,” [Online]. Available: rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2.

[16] TNO, „Ultra-diepe geothermie: Overzicht, inzicht & to-do ondergrond,” Utrecht, 2016.

[17] N. Hoogervorst, „Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland,” PBL, Den Haag, 2017

[18] ECN; Alliander, „Demand and supply of flexibility in the power system of the Netherlands, 2015-2050,” 2017.

Colofon

In opdracht van

Dit rapport is gemaakt in opdracht van Vereniging Cogen Nederland, de belangenvereniging voor WKK die in april 2017 is opgeheven. De belangenbehartiging is daarbij overgegaan naar VEMW. Met dit rapport wordt een toekomstvisie op WKK voor de kortere en langere termijn weergegeven.

Auteurs

Stijn Schlatmann, Ron Bol en Jeroen Buunk



Lunet 5
3905 NW Veenendaal

Postbus 1094
3900 BB Veenendaal



088 - 520 04 00



info@blueterra.nl



blueterra.nl



twitter.com/Blueterra_NL



[linkedin.com/company/
blueterra-energy-experts](https://www.linkedin.com/company/blueterra-energy-experts)