



# Systemstudie Gelderland

Rapportage

## Deel B: Volledige rapportage

64624 – Openbaar

10 november 2021

**Berenschot**

# Stroomstudie Gelderland

## Deel B: Volledige rapportage

Auteurs:

Berenschot: Klara Schure, Max Coenen, Thijs Verboon, Bert den Ouden  
Witteveen+Bos: Sjors Geraedts, Jorrit van den Houten, Seth van Wieringen &  
Casper Hugel

In opdracht van:  
provincie Gelderland

10 november 2021

**Berenschot**

**Witteveen + Bos**

## Inhoudsopgave

Samenvatting	4
<b>1. Inleiding</b>	<b>17</b>
1.1 Aanleiding	17
1.2 Doel en vraagstelling	18
1.3 Leeswijzer	19
<b>2. Methode</b>	<b>20</b>
2.1 Samenvatting methodiek	20
2.2 Opstellen van scenario's	20
2.3 Toepassen van regionalisering	21
2.4 Toevoegen flexibiliteit en doorrekenen netimpact	21
2.5 Analyseren doorrekening	23
2.6 Uitwerken oplossingsrichtingen	23
<b>3. Scenario's</b>	<b>24</b>
3.1 Samenvatting scenario's	24
3.2 Overzicht scenario's	25
3.3 Scenario's 2030	27
3.4 Scenario's 2050	27
<b>4. Verwachte ontwikkelingen in energievraag en aanbod</b>	<b>29</b>
4.1 Samenvatting verwachte ontwikkelingen in energievraag en aanbod	29
4.2 Ontwikkeling van de energievraag	30
4.3 Energieaanbod	38
<b>5. Huidige infrastructuur</b>	<b>45</b>
5.1 Samenvatting infrastructuur	45
5.2 Het elektriciteitsnet	45
5.3 De gasnetten	50
5.4 De warmtenetten	51
<b>6. Ontwikkelingen in de regionale distributienetten</b>	<b>53</b>
6.1 Samenvatting inzichten distributienetten elektriciteit	53
6.2 Knelpunten in de netten	55
6.3 Oplossen van knelpunten in het regionale distributienet	61
6.4 Tussen- en middenspanning	72

<b>7. Ontwikkelingen voor het landelijke hoogspanningsnet</b>	<b>73</b>
7.1 Samenvatting inzichten landelijk hoogspanningsnet	73
7.2 Knelpunten transportnetten elektriciteit in 2030	73
7.3 Oorzaken en oplossingen voor knelpunten in 2030	74
7.4 Knelpunten transportnetten elektriciteit in 2050	75
7.5 Oorzaken en oplossingen voor 2050-knelpunten op het transportnet	76
<b>8. Ontwikkelingen bij de gasnetten</b>	<b>79</b>
8.1 Samenvatting inzichten gasnetten	79
8.2 Knelpunten in de gasnetten	79
8.3 Oplossingsrichtingen knelpunten gasnetten	82
<b>9. Kosten, ruimtebeslag en maakbaarheid</b>	<b>85</b>
9.1 Samenvatting kosten, ruimtebeslag en maakbaarheid	85
9.2 (Maatschappelijke) kosten	85
9.3 Ruimtebeslag	87
9.4 Maakbaarheid	89
<b>10. Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>91</b>
10.1 Conclusies	91
10.2 Aanbevelingen	92



# Samenvatting

Gelderland bereidt zich voor op een grote verandering van het energiesysteem in de periode tot 2050, die zich ook in de rest van Nederland en omliggende landen moet voltrekken. De uitdaging waar de samenleving voor staat, gaat gepaard met grote wijzigingen in de vraag naar en het aanbod van energie. Zowel het soort energie als de locatie en het moment van vraag en aanbod gaan radicaal veranderen ten opzichte van de huidige situatie. Deze transitie heeft een grote impact op de energie-infrastructuur. Om de energietransitie goed te laten verlopen is een integrale aanpak nodig, waarin alle regio's, sectoren en energiedragers worden meegenomen.

De ontwikkeling van energie-infrastructuur is in Nederland arbeidsintensief en kent een lange doorlooptijd. De infrastructuurontwikkeling was tot dusver een reactie op de ontwikkeling van de

vraag naar energie. Dit komt mede door de huidige wet- en regelgeving die dit voorschrijft. De ingezette energietransitie veroorzaakt een versnelling van de vraag naar extra capaciteit (met name) het elektriciteitsnet. Door de lange doorlooptijd die de ontwikkeling en ruimtelijke inpassing (zowel boven- als ondergronds) van energie-infrastructuur vergt, kan de traditionele netuitbreiding het versnelde tempo niet volgen. Dit vraagt om een proactieve aanpak.

Om proactief aan de slag te gaan met de ontwikkeling van de energie-infrastructuur moet inzicht verkregen worden in het Gelderse energielandschap (vraag en aanbod) van de toekomst. Daarom is er besloten om een systeemstudie te starten, zoals ook is uitgevoerd voor diverse andere provincies.

De systeemstudie heeft als doel om richting te geven aan een proactieve energie-infrastructuur ontwikkeling tot 2050, zodat deze in staat is om de energietransitie te faciliteren. Dat wordt gedaan door de vraag- en aanbodontwikkeling van (duurzame) energie in Gelderland voor 2030 en 2050 te onderzoeken aan de hand van mogelijke routes naar klimaatneutraliteit. Deze mogelijke routes zijn in vier scenario's onderzocht. Door te anticiperen op deze routes kan inzichtelijk worden gemaakt welke behoefte aan (aanvullende) energie-infrastructuur nodig is. Daarvoor is een goed beeld nodig van de belangrijkste knelpunten die kunnen gaan optreden in de bestaande infrastructuur en moeten de mogelijke oplossingsrichtingen voor deze knelpunten in kaart gebracht worden. Een knelpunt is het overschrijden van de capaciteit van de infrastructuur.

Ook geeft de systeemstudie inzicht in het handelingsperspectief voor de betrokken partijen bij de Gelderse energie-transitie op het niveau van het energiesysteem. Dit wordt gedaan door inzicht te geven in hoe de (toekomstige) knelpunten via verschillende maatregelen opgelost kunnen worden. Lokale oplossingsrichtingen kunnen daarbij een optie zijn, zoals elektriciteitsopslag en het omzetten van elektriciteit naar bijvoorbeeld waterstof of warmte. Ook kan de infrastructuur verzaard of uitgebreid worden. De consequentie voor ruimtelijke inpassing en kosten die met verschillende oplossingsrichtingen gepaard gaan wordt inzichtelijk gemaakt. De (deel)resultaten van de systeemstudie kunnen eveneens gebruikt worden als input bij andere lopende processen zoals de RES 2.0, het vinden van synergie tussen de behoeftes van stakeholders en als basis voor verdiepende vervolgstudies.

## Conclusies en aanbevelingen

Met deze systeemstudie is de mogelijke impact die energie-transitie heeft op de Gelderse energie-infrastructuur verkend door middel van het doorrekenen van mogelijke scenario's. Overkoepelend kan geconcludeerd worden dat de energietransitie ingrijpende consequenties heeft voor de energie-infrastructuur. Er zijn het meest dringend aanpassingen nodig in de elektriciteitsinfrastructuur, omdat daar te allen tijde de balans moet worden gehandhaafd. Knelpunten treden op wanneer er meer elektriciteit getransporteerd moet worden dan er capaciteit voor is in de netten. Bij de gasnetten ligt de uitdaging in het distribueren van zowel waterstof als groen gas.

Waar en op welk moment zich knelpunten voordoen, is goed te zien in de manier waarop Gelderland is ingericht: met een flinke energievraag vanuit het industriecluster rondom Eerbeek en landbouw rondom Zaltbommel, met stedelijke gebieden met een grote vraag om elektriciteit vanuit de gebouwde omgeving en voor mobiliteit, en met landelijke gebieden waar veel elektriciteitsopwek plaatsvindt. Hiernavolgend gaan we in op de belangrijkste conclusies betreffende de verschillende infrastructuren:

### Ten aanzien van het regionale distributienet

**(beheerd door Liander):** In alle scenario's ontstaan er knelpunten in het distributienet. Deze worden veroorzaakt door grote pieken in vraag en aanbod van elektriciteit, doordat deze niet op dezelfde locatie en/of hetzelfde tijdstip plaatsvinden. In de scenario's voor 2050 is gewerkt met het toepassen van systeemflex (bijvoorbeeld opvangen van stroompieken in batterijen) op het regionale netvlak, waar dat nu geregeld is op het hoogspanningsnetvlak. Het (deels) plaatsen van deze benodigde systeemflex in het regionale distributienet leidt ertoe dat een groot aantal knelpunten opgelost kan worden, aangezien het flexibele vermogen hier de pieken in vraag en aanbod op kan vangen. Het realiseren van deze benodigde hoeveelheden systeemflex is een grote uitdaging, zowel voor wat betreft technologie, wet- en regelgeving, organisatie als financieel.

### Ten aanzien van het nationale transportnet

**(beheerd door TenneT):** Knelpunten die in de 2030-scenario's in het hoogspanningsnet bij TenneT zichtbaar zijn, kunnen voor een groot deel worden opgelost door het openen van bepaalde hoogspanningsverbindingen op het op 150 kV-niveau waardoor stroompieken directer naar het 380 kV net gestuurd worden, en door het toepassen van systeemflex op het regionale distributienet. Overschrijdingen die er dan nog optreden komen relatief beperkt voor en hebben een relatief lage piek. Voor een deel zijn deze afkomstig van een vraagpiek vanuit vrachtvervoer, die goed op te lossen is door 'slim laden' de standaard te maken.

**Ten aanzien van het gasnet:** De uitdaging van de gasnetten zit met name in de logistiek van de distributie. Wanneer zowel waterstof als groen gas gedistribueerd moet worden, moeten er keuzes worden gemaakt welk gebied met welke gassoort kan worden bediend. Locaties die dichtbij het door het Rijk te realiseren netwerk voor waterstof, de waterstofbackbone, liggen zullen als eerste interessant zijn voor het realiseren van grote vermogens Power-to-Gas (het omzetten van elektriciteit naar in dit geval waterstof). Voor overige locaties zal een lokale afnemer voor het geproduceerde waterstof gevonden moeten worden, tenzij het lokale gasnet omgezet wordt naar waterstof. Hier ontstaat een belangrijke interactie tussen de infrastructuur voor elektriciteit en gas.

**Ruimte, kosten en maakbaarheid:** De energietransitie kent een grote ruimtevraag. Naast ruimte voor hernieuwbare opwek is er ook ruimte nodig voor het realiseren van de benodigde energie-infrastructureur en flexibiliteitsoplossingen. De scenario's laten een duidelijke koppeling zien hierin: een hogere mate van zelfvoorziening met meer duurzame opwek betekent meer benodigde infrastructuur en een grotere behoefte aan systeemflex-vermogen. Het plaatsen van (een deel van) systeemflex in het regionale elektriciteitsnet leidt tot lagere investeringen in de elektriciteitsnetten, doordat netverzwaring hierdoor op sommige plaatsen voorkomen kan worden.

Analyse van de knelpunten die in het regionale distributienet ontstaan in de doorgerekende scenario's hebben geleid tot de volgende generieke aanbevelingen, waarbij stap 1 tot en met 4 dienen ter voorkoming van knelpunten en stap 5 tot en met 8 om knelpunten die alsnog ontstaan op te lossen:

1. Breng vraag en aanbod van energie zoveel mogelijk fysiek bij elkaar zodat opgewekte energie zoveel mogelijk direct gebruikt kan worden.
2. Zet in op een goede balans tussen zon en wind, omdat deze aanvullende productieprofielen hebben.
3. Koppel zon en wind achter één aansluiting, omdat hiermee de netaansluiting efficiënt gebruikt wordt.
4. Zet in op een oost/west-opstelling voor zonnepanelen zodat productiepieken beter gespreid worden over de dag.
5. Loslaten van redundantie (overcapaciteit die als soort vluchtstrook fungeert) waar mogelijk voor extra capaciteit om hernieuwbare opwek aan te sluiten.
6. Stimuleer het evenwicht tussen vraag en aanbod op het lokale netwerk door de inzet van plaatsgebonden flexibiliteit (onder andere kleinschalige batterijen, vraagsturing industrie, slim laden)
7. Zet in op het realiseren van flexibiliteit in het energienetwerk (systeemflex door o.a. Power-to-Gas en groot-schalige batterijen) op de juiste plekken in dit netwerk om zodoende het handhaven van het evenwicht tussen vraag en aanbod en congestiemanagement samen aan te kunnen pakken;
8. Pas waar nodig netverzwaring toe. Richt je hierbij in eerste instantie op knelpunten met langdurige pieken van zowel vraag als aanbod.

Het is belangrijk dat de verschillende partijen, zoals hieronder genoemd, actief aan de slag gaan om ervoor te zorgen dat de energie-infrastructureur op tijd klaar is voor alle veranderingen. Hiernavolgend benoemen we de belangrijkste aanbevelingen voor de verschillende betrokken partijen:

## Provincie

Als overkoepelend overheidsorgaan kan de provincie bij uitstek een regiefunctie op zich nemen. Ze kan een verbinding vormen tussen de nationale overheid en de gemeentes, en zodoende nationale en lokale problematiek en oplossing aan elkaar koppelen. Ze kan een aantal zaken actief oppakken:

- het sturen op bovengenoemde punten 1 tot en met 4 in de RES2.0 en het uitwerken van verdere instrumenten die de provincie tot haar beschikking heeft om dit te stimuleren;
- het sturen op een goede mix van verduurzamingsopties (naast het realiseren van extra hernieuwbare opwek ook sturen op extra isolatie en elektrificatie in de gebouwde omgeving, efficiëntie en elektrificatie van de industrie en extra elektrisch vervoer met slim laden);
- het faciliteren van de communicatie tussen bedrijven, gemeentes en netbeheerders zodat er samenwerking ontstaat en de problematiek integraal aangepakt kan worden;
- het mobiliseren van de arbeidsmarkt voor technisch personeel, door extra scholing of buitenlandse arbeidskrachten;
- het helpen met het in acht houden van de lange termijn zodat oplossingsrichtingen die voor 2030 worden bedacht ook relevant zijn richting 2050.

## Gemeentes

Reserveer ruimte voor energie-infrastructuur bij het maken nieuwe plannen voor de gebouwde omgeving, industrieterreinen en hernieuwbare opwek. Draag daarnaast zorg voor het versnellen van procedures (onder andere inspraak- en vergunningprocedures) waardoor gemaakte keuzes sneller uitgevoerd kunnen worden. Doorloop de vergunningsprocedures voor hernieuwbare opwek en de bijbehorende netaansluiting parallel, zodat tijdswinst geboekt kan worden.

## Nationale overheid

Maak systeemflex een integraal onderdeel van het energiesysteem. Bekijk belemmerende wetgeving bij de totstandkoming van effectieve systeemflex, waar op dit moment een spanning zit tussen het doel van systeemflex en verdienmodellen vanuit de markt.

## Netbeheerders

Onderzoek op welk niveau in het net systeemflex het beste gerealiseerd kan worden zodat het naast balanshandhaving ook maximaal ingezet kan worden om knelpunten te voorkomen. Leg samen met overheid en marktpartijen vast wat de randvoorwaarden zijn voor het effectief inzetten van systeemflex zodat negatieve effecten (zoals extra netbelasting bij overmatige inzet van bijvoorbeeld een electrolyzer) kunnen worden uitgesloten. Onderzoek in hoeverre marktpartijen aan deze randvoorwaarden willen en kunnen voldoen en of het daarmee mogelijk is dat marktpartijen de behoefte aan systeemflex willen en kunnen gaan invullen of dat er naar alternatieven gekeken moet worden.

## Methode

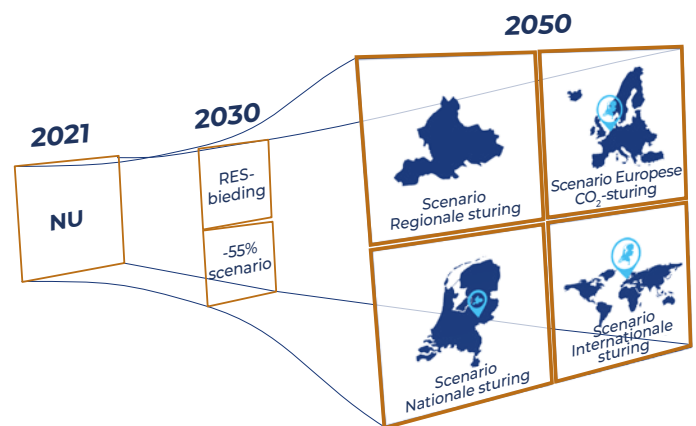
Voor het tot stand komen van de systeemstudie is een aantal stappen doorlopen:

1. Opstellen van toekomstige energie scenario's.
2. Toewijzen vraag en aanbod energie aan specifieke buurten/regio's.
3. Toevoegen flexibiliteit en doorrekenen van de impact op de bestaande energie-infrastructuur.
4. Analyseren doorrekening.
5. Uitwerken oplossingsrichtingen.

In deze samenvatting gaan we in op de gehanteerde scenario's, resulterende energievraag, en impact op de infrastructuur, inclusief oplossingsrichtingen, conclusies, en aanbevelingen.

## Scenario's

Om de mogelijke hoekpunten van het toekomstige Gelderse energiesysteem te onderzoeken zijn in totaal zes energiescenario's uitgewerkt voor Gelderland. Er zijn twee scenario's gemaakt voor 2030 en vier scenario's voor 2050. Eén 2030 scenario neemt de RES-biedingen van vóór de zomer 2021 en het klimaatakkoord als basis (2030 laag) en één scenario is gebaseerd op een verhoogd reductiedoel van 55% CO<sub>2</sub> reductie<sup>1</sup> (2030 hoog). 55% CO<sub>2</sub> reductie komt overeen met de Gelderse klimaatambitie. De 2050-scenario's zijn gebaseerd op de vier landelijke Klimaatneutrale energie-scenario's<sup>2</sup>, waarbij de scenario's specifiek zijn gemaakt voor Gelderland. Schematisch is de opzet van de scenario's te zien in figuur 1.



Figuur 1. **Overzicht van de gemaakte energiescenario's voor Gelderland. Twee scenario's richten zich op 2030. Vier scenario's verkennen mogelijke hoekpunten voor 2050.**

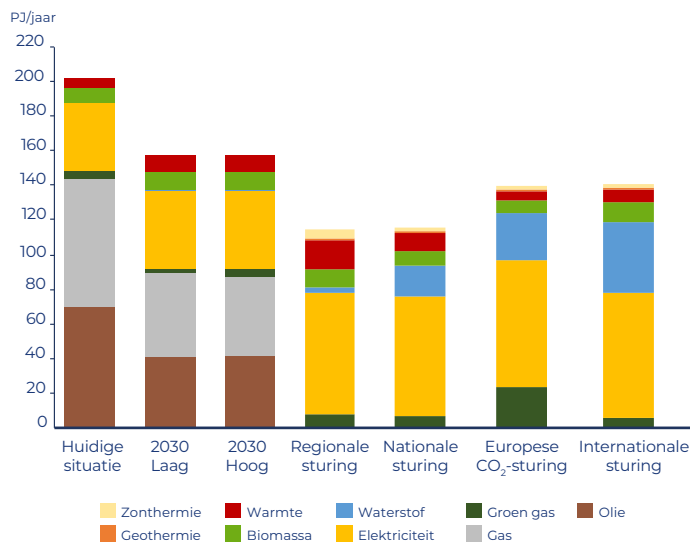
1 Als we navolgend over CO<sub>2</sub>-reductie spreken, bedoelen we reductie van alle broeikasgassen inclusief CO<sub>2</sub>, uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten en ten opzichte van het referentiejaar 1990.  
2 Klimaatneutrale energiescenario's 2050 (2020). Berenschot



## Energievraag en -aanbod in de scenario's

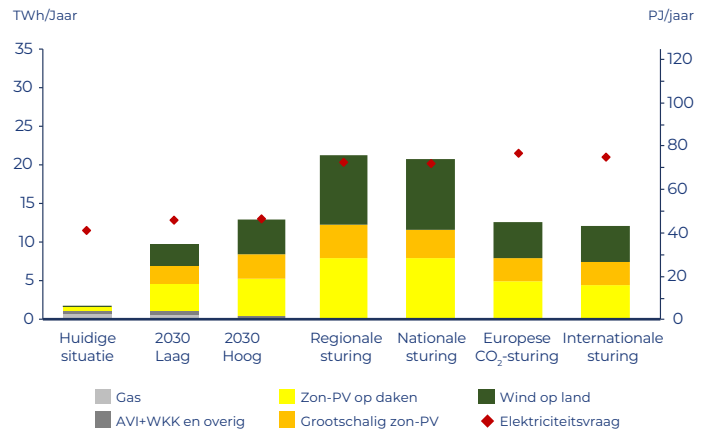
De energievraag die ontstaat door de verschillende de scenario's is weergegeven in figuur 2. In de 2030-scenario's is de energievraag lager dan in de huidige situatie. In beide scenario's is een duidelijke verschuiving zichtbaar van fossiele energiedragers naar hernieuwbare energiedragers.

Het energiesysteem ontwikkelt zich in de scenario's voor 2050 in verschillende richtingen die alle resulteren in een klimaatneutrale energievoorziening. De verhaallijn van elk scenario heeft invloed op zowel de keuze voor energiedragers, alsook de uiteindelijke energievraag. In de scenario's Regionale en Nationale sturing is de energievraag laag, mede door lagere groei of zelfs krimp van de zware industrie. In de scenario's Europese en Internationale sturing is de industriële groei het sterkst, waardoor de energievraag hoger ligt. Daarnaast wordt er meer gebruik gemaakt van (geïmporteerde) gassen, zoals waterstof en groen gas.



Figuur 2. **Finale energievraag per energiedrager voor 2030- en 2050-scenario's**

Aan de aanbodzijde is er veel verschil te zien tussen de scenario's als er gekeken wordt naar elektriciteitsproductie, zoals weergegeven in figuur 3. In het 2030 Hoog-scenario is de extra hernieuwbare opwek capaciteit goed zichtbaar ten opzichte van het 2030 Laag-scenario. In de 2050-scenario's zijn de verschillende verhaallijnen goed zichtbaar: De Regionale en Nationale scenario's kennen een hoge mate van zelfvoorzienendheid en hebben daartoe meer hernieuwbare opwekcapaciteit nodig. In het Europese en Internationale scenario is minder lokale opwek gemodelleerd en worden tekort aangevuld met import.



Figuur 3. **Elektriciteitsproductie in de verschillende scenario's**

## Energie-infrastructuur

Het elektriciteitsnet kent onderscheid tussen het landelijke transportnet (beheerd door TenneT), en het regionale distributienet (beheerd door Liander). Het transportnet kent in Gelderland spanningsniveaus van 110, 150 en 380 kV (elk spanningsniveau noemen we een netvlak) en is voornamelijk bedoeld voor transport van grote hoeveelheden elektriciteit op landelijk niveau. Op dit net zijn grote elektriciteitsproducenten, zoals elektriciteitscentrales en windparken aangesloten. Ook zeer grote elektriciteitsafnemers worden op dit niveau aangesloten.

TenneT is verantwoordelijk voor de balanshandhaving in het elektriciteitsnet. Dit betekent dat productie en consumptie van elektriciteit met elkaar in evenwicht moeten zijn. Dit wordt momenteel met name geregeld door aansturing van grote elektriciteitsproducenten en afnemers. Door de toename van hernieuwbare opwek capaciteit en elektrificatie van sectoren wordt de onbalans in het net groter. Om de balans te handhaven zal er in de toekomst meer flexibel vermogen nodig zijn.

Het landelijke transportnet is met koppelstations gekoppeld aan het regionale distributienet van Liander. Het distributienet kent ook weer verschillende spanningsniveaus en is op te delen in het tussen- midden- en laagspanningsnet (TS-MS-LS) (ook hier noemen we elk spanningsniveau een netvlak). Het TS-niveau heeft een spanning tussen 23 en 66 kV. Daaronder vindt zich het MS-niveau met een spanning van 1 tot 23 kV. TS en MS wordt gebruikt voor elektriciteitstransport op regionaal niveau. Op beide spanningsniveaus worden windparken, zonneparken en diverse industriële sectoren aangesloten. Het laagspanningsniveau (0,4 kV) verzorgt de lokale distributie van elektriciteit naar kleine afnemers. Voorbeelden zijn woningen, publieke laadpalen en utiliteiten.

Het elektriciteitsnet krijgt de nadruk in deze systeemstudie, omdat daar de uitdaging het grootst is. Dat neemt niet weg dat er ook een opgave is voor gasnetten en warmtenetten. De huidige hoofdinfrastructuur voor gas valt onder Gasunie voor het landelijk transportleidingnet, en onder Liander voor het regionale distributienet. Warmtenetten worden als infrastructuur niet doorgerekend, maar wel wordt aangegeven wat de hoeveelheid warmte in de verschillende scenario's is. In de huidige situatie wordt de meeste warmte aan warmtenetten geleverd door grote installaties, zoals de afvalverbrandingsinstallaties AVR en ARN. Daarnaast zijn er ook kleinschaligere, bottom-up initiatieven, en worden er vaak meerdere bronnen gecombineerd om het warmtenet van warmte te voorzien.

## Impact van de scenario's op energiesysteem en infrastructuur

De keuzes die in elk van de scenario's binnen elke sector zijn gemaakt hebben invloed op het energiesysteem en de bijbehorende infrastructuur. De impact van de gebouwde omgeving op het energiesysteem neemt toe als gevolg van een groeiende woningvoorraad in alle scenario's. Hierbij verschuift de vraag van aardgas naar elektriciteit en duurzame gassen (groen gas en waterstof). In het Regionale en Nationale scenario vindt veel elektrificatie plaats en in het Europese en Internationale scenario wordt meer gebruik gemaakt van duurzame gassen. Een grote vraag naar elektriciteit voor ruimteverwarming en warmtapwater kan zorgen voor piekbelasting van het elektriciteitsnet. Door slim te verwarmen en niet uitsluitend elektrische ruimteverwarming toe te passen kan de impact op het elektriciteitsnet gereduceerd worden.

Alle scenario's laten sterke elektrificatie van de mobiliteitssector zien. Dit heeft impact op het elektriciteitsnet doordat elektrische voertuigen in een kort tijdsbestek grote vermogens vragen, wat leidt tot piekbelasting. De mobiliteitssector kan in alle netvlakken voor knelpunten zorgen. De grootste opgave wordt verwacht in het laagste netvlak, omdat de warmtetransitie van de gebouwde omgeving gelijktijdig plaatsvindt. Het toepassen van slimme laadprofielen voor alle elektrische voertuigen is ten eerste aan te bevelen. Het transport van waterstof, synthetische en biobrandstoffen voor de mobiliteitssector kan plaatsvinden via tankwagens en heeft daardoor geen impact op de energie-infrastructuur.

De keuzes van de industrie hebben impact op de energie-infrastructuur. In alle scenario's vindt elektrificatie plaats van de papier- en voedingsindustrie. De vraag naar elektriciteit is hierdoor groot, maar de impact op het elektriciteitsnet is relatief beperkt omdat de industrie een vlak profiel kent. De vraag naar aardgas neemt in alle scenario's af. Tegelijkertijd groeit de vraag naar waterstof in alle scenario's in de periode 2030-2050. Dit zorgt voor complexiteit in de gasnetten omdat meerdere typen gassen geleverd dienen te worden. De huidige distributienetten zijn hier niet op ingericht.

In alle scenario's groeit de vraag naar elektriciteit vanuit de agrarische sector. De verwachte groei heeft echter geen grote impact op het elektriciteitsnet. De vraag naar aardgas neemt af omdat de warmtevraag ingevuld wordt door duurzame alternatieven (warmtepomp, geothermie, WKK op biogas).

Tegelijkertijd wordt meer groen gas in het gasnet gevoerd waardoor in de zomer een overschot aan methaan in het gasnet kan ontstaan, wat kan leiden tot knelpunten.

## Knelpunten en oplossingsrichtingen op het regionale elektriciteitsnet

In alle toekomstige scenario's voor 2030 en 2050 treden voor alle verschillende spanningsniveaus van zowel het landelijke transportnet van Tennet als het regionale distributienet van Liander (alle netvlakken) knelpunten op. Dat betekent een overschrijding van de capaciteit van de infrastructuur. Zo ontstaat in alle toekomst scenario's een groter verschil tussen vraag en aanbod dat niet lokaal kan worden opgelost. De pieken die dit verschil met zich meebrengt werken door tot in de hogere netvlakken en zouden forse netverzwaringen in alle netvlakken noodzakelijk maken. In de analyse van de distributienetten is gefocust op de koppelstations die het distributienet verbinden met het 150 kV netvlak van TenneT, omdat daar de mismatch tussen vraag en aanbod op alle lager gelegen netvlakken samenkomt.

Op de koppelstations treden aanbodknelpunten al op in 2030 vanwege de opwek van hernieuwbare elektriciteit. Met name in het 2030 Hoog-scenario ontstaan er veel knelpunten doordat er extra opwekcapaciteit wordt gemodelleerd. Op een enkel koppelstation ontstaat ook een vraagknelpunt door elektrificatie in de industrie.

In 2050 ontstaan er in alle scenario's zowel aanbod- als vraagknelpunten. De aanbodknelpunten worden veroorzaakt door duurzame opwek, waarbij met name hoge pieken van zon-PV een grote impact heeft. Doordat er in het Regionale en het Nationale scenario veel duurzame opwekcapaciteit is gemodelleerd, zien we in deze scenario's de meeste aanbodknelpunten terug: 23 van de 28 koppelstations vormen een knelpunt. In het Europese en Internationale scenario is het aantal koppelstations dat een aanbodknelpunt vormt lager (16 van de 28) en zijn de knelpunten relatief minder ernstig.

Wat betreft de vraagknelpunten is het beeld omgekeerd: het Europese en Internationale scenario resulteert in meer en ernstigere knelpunten. Deze worden met name veroorzaakt door elektrificatie van de industrie, de gebouwde omgeving en transport.

Er is een verschil zichtbaar tussen vraag en aanbod van elektriciteit, zowel wat betreft de locatie (veel duurzame opwek gemodelleerd aan de randen van de provincie, veel vraag naar elektriciteit rondom steden en industriële gebieden), als in de tijd (veel opwek in de zomer, veel vraag in de winter). Dit leidt tot een grote behoefte aan transport- en opslagcapaciteit.

Er zijn oplossingsrichtingen geïdentificeerd die knelpunten (deels) kunnen voorkomen of oplossen. Een overzicht van deze oplossingsrichtingen staat in figuur 4. Daaronder wordt dieper ingegaan op de belangrijkste oplossingsrichtingen en de impact ervan op de knelpunten in de verschillende scenario's.



Methode	Omschrijving	Impact	Betaalbaarheid	Ruimtelijke inpasbaarheid	Realisatiesnelheid	Oplossing voor knelpunttype
<b>Netverzwaring</b>	Uitbreiding van stations en tracés is de huidige standaard – het net moet zich aanpassen aan het gebruik.					Afname en opwek
<b>Verplaatsen naar ander netvlak</b>	Verplaatsen van belasting naar ander netvlak kan goedkoop en voor lange duur worden ingezet, mits er capaciteit beschikbaar is.					Afname en opwek
<b>Redundantie verlaten (N-0)</b>	Het net is berekend op functioneren als er een onderdeel uitvalt (N-1). Bij het loslaten van die "redundantie" loopt de leverings-zekerheid risico.					Opwek
<b>Curtailment</b>	Aftoppen van pieken in opwek. Bij voorkeur inzetbaar voor hoge pieken en kleine volumes.					Opwek
<b>Grootschalige batterij</b>	Oplossing bij plaatsing tussen net-knelpunt en oorzaak. Geschikt voor met name korte tijdsschaal en relatief prijzig.					Afname en opwek
<b>Kleinschalige batterij</b>	V2G, thuis- of buurtbatterij, met name voor korte tijdsschaal (dagbalans) een interessante oplossing.					Afname en opwek
<b>Power to gas</b>	Geschikt voor ODN knelpunten en voor tijdsschaal van seconden tot maanden.					Opwek
<b>Power to heat</b>	Geschikt voor tijdsduur tot weken/maanden afhankelijk van opslag en verliezen.					Opwek
<b>Vraagsturing (op aanbod)</b>	Bij veel aanbod wordt er alvast elektriciteit gebruikt voor koelen of bij gemalen. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.					Opwek
<b>Hybridisering</b>	Bij veel aanbod van elektriciteit wordt elektriciteit gebruikt, en anders de andere energiedrager (vaak gas).					Afname
<b>Geografisch bij elkaar brengen vraag en aanbod</b>	Verplaatsen opwek of verplaatsen afname					Afname en opwek
<b>Andere opstelling zon-PV</b>	Door andere oriëntatie wordt de piek gereduceerd en opwek op andere tijdstippen verhoogd.					Opwek
<b>WKK/brandstofcellen</b>	Lokale opwek bij vraagknelpunten: hierdoor kan lokaal worden voldaan aan de vraag en hoeft de elektriciteit niet te worden getransporteerd over het net.					Afname
<b>Combineren zon en windenergie bij aanbodknelpunten</b>	Door beide op dezelfde aansluiting te realiseren wordt beter gebruik gemaakt van de netcapaciteit					Opwek
<b>Vraagsturing (op afname)</b>	Bij veel vraag wordt er vraag afgeschakeld en verplaatst naar later tijdstip. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.					Afname

Figuur 4. **Overzicht van oplossingsrichtingen met kwalitatieve waardering op impact, betaalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid en realisatiesnelheid. Hoe meer ingevuld het bolletje, hoe hoger de score op het betreffende aspect.**

## Flexibiliteit en redundantie verlaten

Het verschil tussen vraag en aanbod is dusdanig groot dat het noodzakelijk zal zijn om de balans tussen vraag en aanbod ook meer lokaal vorm te geven. De inzet van flexibiliteit is hiervoor een belangrijke oplossing, alsook voor het beperken van overbelasting van stations en verbindingen. Daarnaast kan overbelasting worden beperkt door redundantie bij het aansluiten van aanbod los te laten.

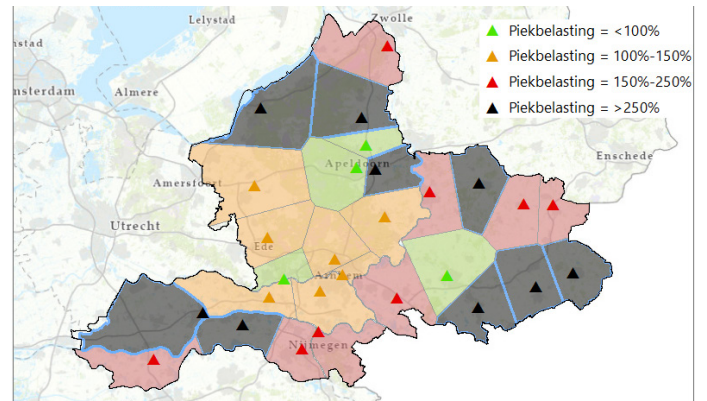
Bij het loslaten van redundantie wordt de 'vluchtstrook' van het net ingezet om meer hernieuwbare opwek aan te sluiten. Het net is zo ontworpen dat bij storing of onderhoud aan één van de elementen van de infrastructuur (bijvoorbeeld een transformator) de leveringszekerheid nog steeds wordt gegarandeerd, doordat een extra (redundant)element de functie over kan nemen. Door deze redundante onderdelen in te zetten kan de capaciteit van stations om elektriciteit op te nemen worden vergroot. Deze redundantie kan niet worden ingezet om de capaciteit voor levering te verhogen, omdat de leveringszekerheid bij storingen dan in gevaar komt.

Onder systeemflexibiliteit (hierna systeemflex) vallen in deze studie vier technieken die flexibel ingezet kunnen worden om tijdelijke pieken in vraag of aanbod van elektriciteit op te vangen of te voorkomen. Voor aanbodpieken zijn Power-to-Gas (P2G), grootschalige batterijen en curtailment (tijdelijk afschakelen van zon- en windparken) gemodelleerd. Voor vraagpieken zijn Gas-to-Power en eveneens grootschalige batterijen gemodelleerd. Systeemflex is primair nodig voor balanshandhaving in het net: zorgen dat vraag en aanbod van elektriciteit te allen tijde in balans zijn. Dit is een wettelijke taak van TenneT en vindt momenteel vooral plaats door regelacties in het transportnet van TenneT. Door systeemflex in het regionale distributienet van Liander te realiseren is het mogelijk om naast balanshandhaving ook de benodigde transportcapaciteit in dit net te reduceren. Het modelleren van systeemflex is alleen voor de 2050 scenario's uitgevoerd. De flexibele vermogens zijn in deze studie gemodelleerd op de koppelstations, maar zouden ook op lagere netvlakken gemodelleerd kunnen worden om daar pieken op te vangen.

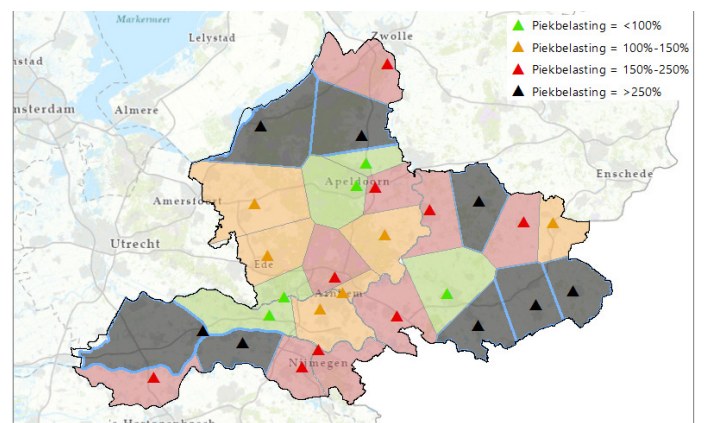
Er moet opgemerkt worden dat de manier waarop systeemflex in deze studie is gemodelleerd niet per definitie overeenkomt met hoe deze flexibele vermogens in de praktijk zullen worden ingezet.

Voor deze studie is de modellering van systeemflex uitgevoerd op basis van de benodigde inzet om balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit in het systeem te handhaven. In de praktijk is het niet zeker dat installaties die flexibel vermogen leveren zich hier strikt aan zullen houden als dit niet zorgvuldig gereguleerd wordt.

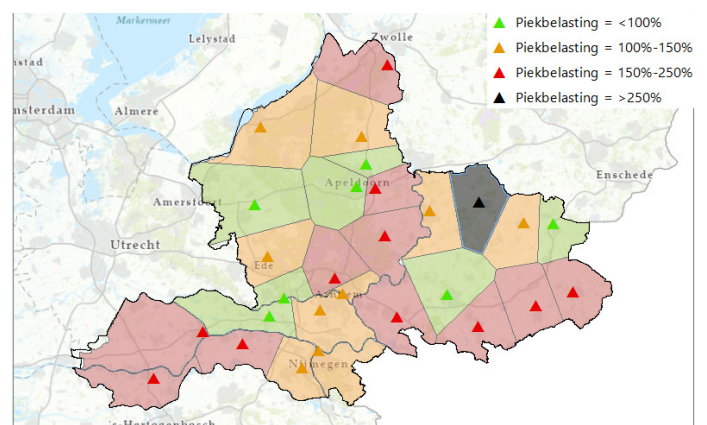
Figuur 5 en figuur 6 tonen de impact op de piekbelasting van de koppelstations door het modelleren van systeemflex op deze locaties in het distributienet.



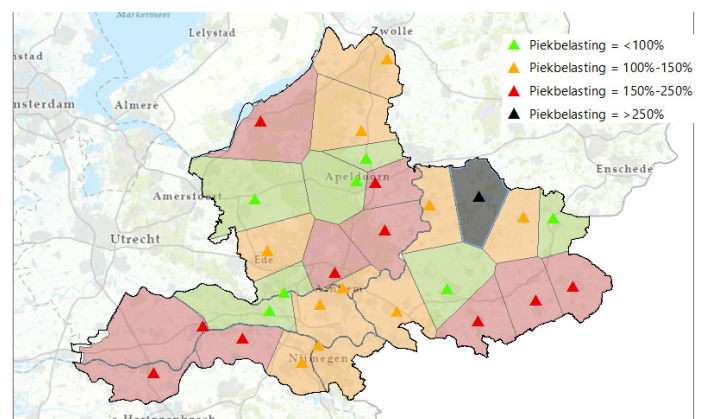
Figuur 5A. 2050 Regionaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.



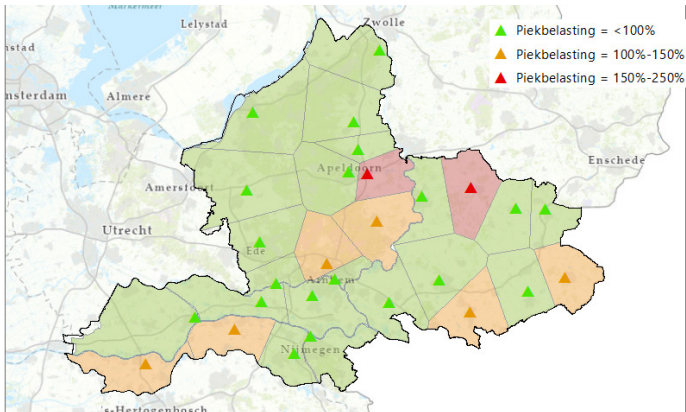
Figuur 5B. 2050 Nationaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.



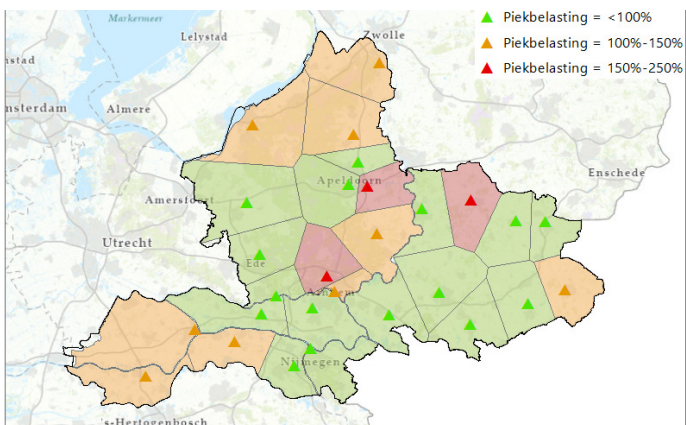
Figuur 5C. 2050 Europees: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.



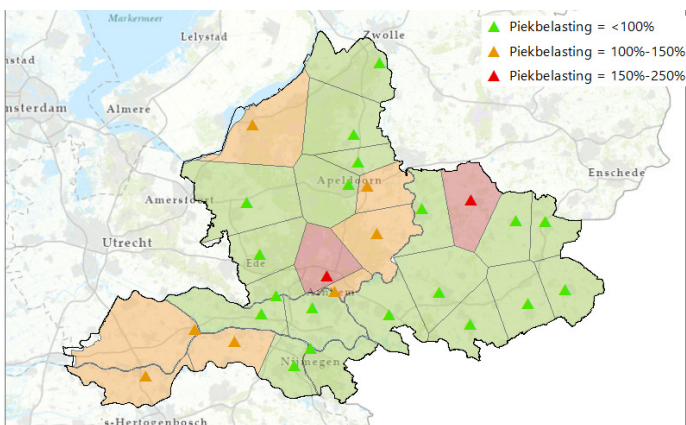
Figuur 5D. 2050 Internationaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.



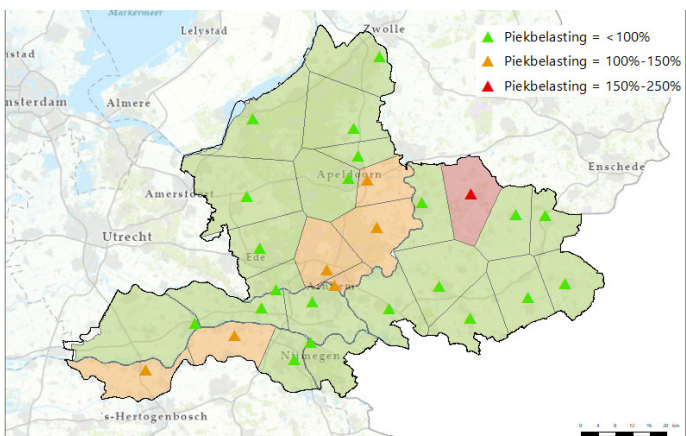
Figuur 6A. **2050 Regionaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations met gemodelleerde systeemflex.**



Figuur 6B. **2050 Nationaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations met gemodelleerde systeemflex.**



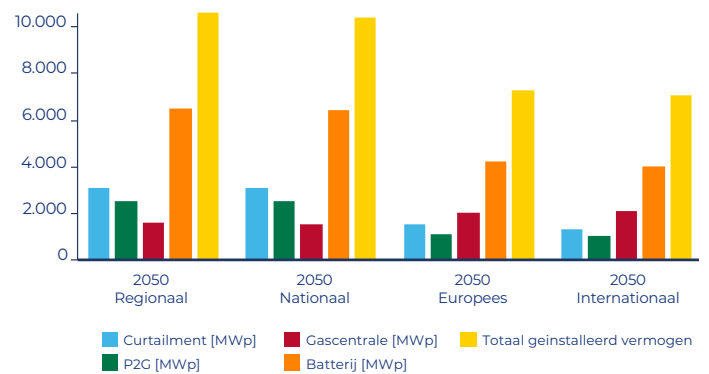
Figuur 6C. **2050 Europees: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations met gemodelleerde systeemflex.**



Figuur 6D. **2050 Internationaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations met gemodelleerde systeemflex.**

Figuur 7 toont het type en vermogen van de gemodelleerde systeemflex per scenario. In het Regionale en het Nationale scenario zijn grotere vermogens gemodelleerd, omdat hier meer onbalans in het net veroorzaakt wordt door de grotere hoeveelheid hernieuwbare opwek in deze scenario's. Dit betekent dat een groter vermogen aan batterijen en Power-to-Gas is opgesteld, waarbij het batterijen voornamelijk worden ingezet voor dag/nachtbalans en Power-to-Gas voor de seizoenbalans. In het Europese en Internationale is er meer behoefte aan Gas-to-Power vermogen omdat de vraag naar elektriciteit groter is dan in het Regionale en Nationale scenario. Door het modelleren van deze hoeveelheden systeemflex halveert het aantal koppelstations dat een knelpunt vormt in elk van de 2050-scenario's. Ten tijde van deze systeemstudie was er nog geen mogelijkheid om de impact van systeemflex voor de 2030-scenario's door te rekenen, maar de verwachting is dat systeemflex ook in 2030 een rol zou kunnen spelen bij het reduceren van knelpunten.

De aanbod- en vraagpieken uit de lagere netvlakken komen samen op de koppelstations. Door systeemflex op de koppelstations in te zetten, kunnen deze pieken (deels) opgevangen worden. Het is belangrijk om te realiseren dat koppelstations zonder overbelasting alsnog gebieden kunnen bestrijken waar het onderliggende net flink overbelast is.



Figuur 7. **Type en vermogen van gemodelleerde systeemflex per scenario**

## Netverzwaring

In de 2050-scenario's zijn er maximaal twaalf koppelstations die ondanks de inzet van systeemflex en het verlaten van de redundantie nog steeds een knelpunt vormen. Voor die koppelstations is het noodzakelijk om de capaciteit uit te breiden of een nieuw station te realiseren.

Enkele koppelstations die in 2030 een knelpunt vormen zijn in de 2050-scenario's opgelost. Dit kan komen door de ontwikkelingen van vraag en aanbod, of door de inzet van systeemflex. Bij het plannen van netverzwaring richting 2030 moet er dus rekening gehouden worden met de mogelijke ontwikkelingen richting 2050, zodat er geen investeringen gedaan worden die maar voor een korte periode noodzakelijk zijn.

## TS- en MS-net

Ook op een spanningsniveau onder de koppelstation, de TS- en MS-netten, ligt er een enorme uitdaging. In 2030 is er al veel overbelasting van de TS- en MS-stations zichtbaar. Met name in het 2030 Hoog-scenario zijn er veel aanbodknelpunten door de grote hoeveelheid duurzame opwek.

Van de 2050-scenario's resulteren het Regionale en het Nationale scenario erin dat bijna alle TS- en MS-stations knelpunten vormen, zowel voor vraag als aanbod. Het Europese en Internationale scenario resulteren in minder aanbodknelpunten (door minder duurzaam opwekvermogen), maar in een vergelijkbaar aantal vraagknelpunten doordat er hier ook een hoge mate van elektrificatie is gemodelleerd.

De vraag en aanbodpieken van de TS- en MS-stations komen samen op de koppelstations waar ze aan verbonden zijn. In deze studie is het systeemflex-vermogen gemodelleerd op het niveau van de koppelstations, waar het effectief ingezet kan worden om knelpunten op te lossen. Op een vergelijkbare wijze zou er een deel van dit flexibele vermogen op de TS- en MS-netten ingezet kunnen worden om ook daar knelpunten te voorkomen. Daarmee worden er minder hoge pieken doorgevoerd naar de koppelstations, die daarmee ook ontlast worden.

## LS-netvlak

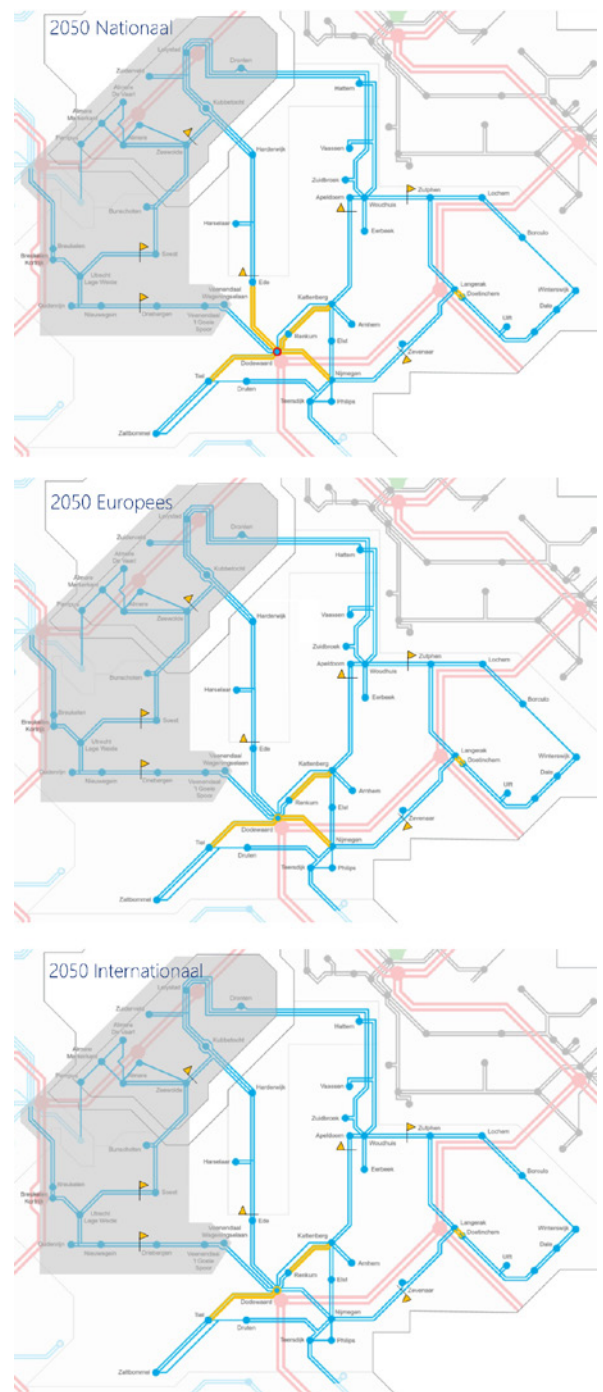
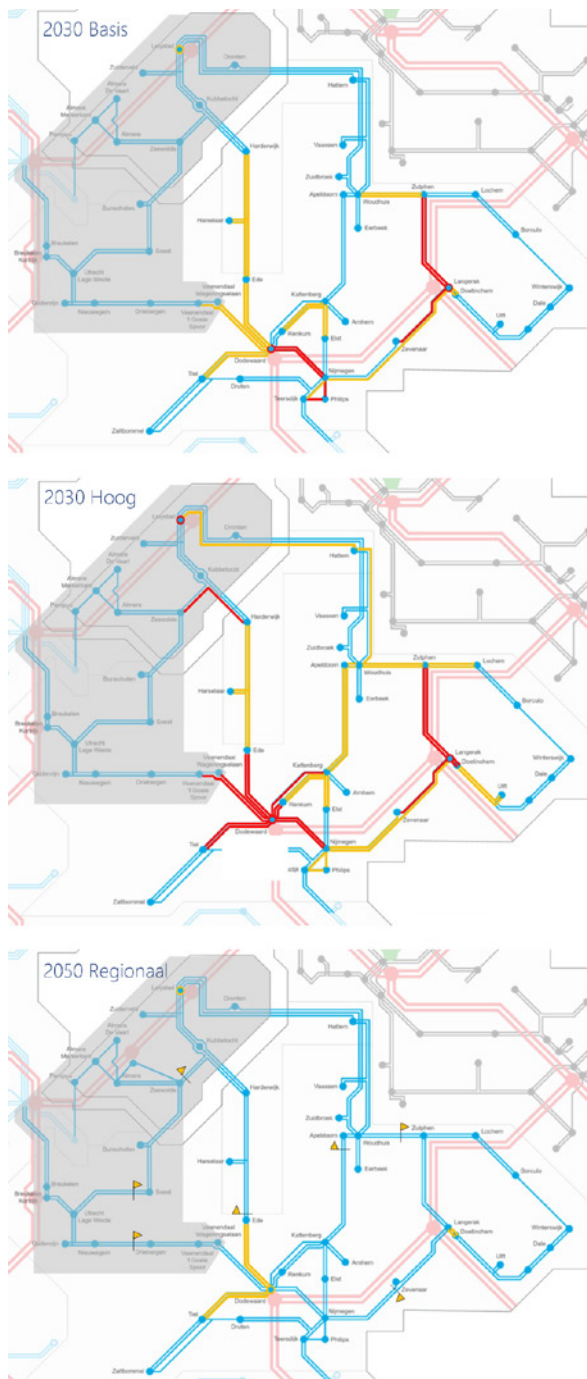
Liander verwacht na 2025 (en voornamelijk in de periode 2030-2035) groeiende capaciteitsproblemen als gevolg van elektrisch laden, elektrisch koken en de warmtetransitie (warmtepompen). Bovendien zullen woningcorporaties in sommige straten de verduurzaming van hun panden grootschalig uitrollen, waardoor lokaal ook al eerder capaciteitsproblemen ontstaan. Studies naar de verwachte omvang van de problematiek lopen momenteel, maar een eerste inschatting voor het jaar 2030 laat zien dat er in 5% tot 40% van het LS-net zal moeten worden ingegrepen. Voor Gelderland kan dat mogelijk iets lager uitkomen door het landelijke karakter.

## Knelpunten en oplossingsrichtingen op het hoogspanningsnet

In de 2030-scenario's worden meerdere knelpunten verwacht in het hoogspanningsnet. Dit is in overeenstemming met knelpunten die zijn geconstateerd bij het opstellen van het investeringsplan door landelijk hoogspanningsnetbeheerder TenneT, waar voor de meeste knelpunten een generieke oplossing is gevonden. Die oplossing ligt in het vergroten van de transformatiecapaciteit tussen het 150 kV-net en het 380 kV-net in Dodewaard, Doetinchem, Lelystad en Breukelen Kortrijk. Daarnaast worden bepaalde hoog-spanningsverbindingen op het 150 kV-net tussen de provincies Flevoland, Gelderland en Utrecht geopend (de verbinding wordt onderbroken op strategische plekken), waardoor het 150 kV-net als een afgebakend web rondom een koppeling met het 380 kV-net wordt ingericht (zogenoemde 'loadpockets'). De elektrische energie die niet binnen deze loadpockets niet zelf wordt afgenomen wordt via de koppelpunten naar het 380 kV-netvlak getransporteerd. Daarmee wordt transport van elektriciteit beter via het 380 kV-net geleid, en minder via sluiproutes op lagere netvlakken die daar niet op zijn berekend. Door het toepassen van loadpockets én daarbovenop het toepassen van systeemflex op de 150kV-koppelstations zijn er in 2050 beduidend minder knelpunten dan in 2030. Overschrijdingen die er zijn, duren relatief gezien niet lang.

Oplossingen kunnen in meerdere richtingen worden gevonden, maar gegeven de relatieve beperktheid (het aantal uur dat de overschrijding plaatsvindt in combinatie met de mate van overbelasting) van de knelpunten is netverzwaring mogelijk niet in alle gevallen de meest kosteneffectieve oplossingsrichting. Welke oplossingen het meest effectief en kostenefficiënt zijn zal nader moeten worden bepaald.

Figuur 7 toont de knelpunten in het landelijke transportnet in de verschillende scenario's. Te zien valt dat er in 2050 minder knelpunten optreden dan in 2030, door het toepassen van loadpockets en inzet van systeemflex op de koppelstations.



Figuur 8. Knelpunten op de TenneT tracés en 380/150 kV-stations in 2030 en in 2050. Weergegeven zijn in lichtrood het 380kV-net, in blauw het 150 kV-net, en knelpunten bij N-1 (in geel) en bij N-0 (in rood).



## Knelpunten en oplossingsrichtingen op het gasnet

Gasnetten hebben in het algemeen grote capaciteit en meer mogelijkheden om fluctuaties op te vangen. Bij het elektriciteitsnet zit daar juist een uitdaging omdat er constant balans moet worden gehouden tussen vraag en aanbod. Door de energietransitie verandert het soort gas dat getransporteerd moet worden. Waar het nu enkel om hoog- en laagcalorisch gas gaat, is er in de toekomst ook vraag naar transport van waterstof en wellicht CO<sub>2</sub>. Tegelijkertijd moet aardgas worden uitgefaseerd en dit leidt tot een transitieperiode waarin er zowel aardgas (hoog- en laagcalorisch) en waterstof getransporteerd moet worden. Juist deze transitieperiode is uitdagend omdat deze tijdelijk een grote impact heeft op de infrastructuur: om meer soorten gassen te transporteren zijn meer leidingen nodig. Als aardgas eenmaal uitgefaseerd is kan er weer met een enkele infrastructuur voor alleen waterstof volstaan worden op de meeste locaties. Deze uitdaging wordt hieronder verder geïllustreerd.

In de regionale transportleidingen (RTL) en lokale distributienetten ligt de uitdaging in de verwachte vraag naar waterstof. Zowel de RTL als de regionale distributienetten hebben over het algemeen ruim voldoende capaciteit en de leveringszekerheid wordt via een systeem van onderlinge verknoping (stukken van het gasnet zijn met elkaar verbonden zodat elke plek vanuit verschillende richtingen beleverd kan worden) geborgd. Echter, er kan hierdoor slechts één energiedrager door het leidingstelsel van een bepaald gebied stromen. Als een bepaald gebied een transitie naar waterstof wil maken, dan moet op gebiedsniveau dat deel van het gasnet geïsoleerd worden. Dat kan voor infrastructuraanpassingen en wellicht knelpunten zorgen rond of na 2030. Belangrijk is dat waterstofplannen binnen de industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit al in een vroeg stadium met Liander en Gasunie gedeeld worden. Planvorming kan dan gezamenlijk plaatsvinden en er kan geïnventariseerd worden wat kostenefficiënte, ruimtelijke haalbare en maakbare oplossingen zijn.

De productie van groen gas kan lokaal zorgen voor capaciteitsknelpunten in de regionale distributienetten doordat het lokale aanbod groter is dan de lokale vraag naar gas. Dit type knelpunt kan al voor 2030 ontstaan. Het plaatsen van boosters waarmee het produceerde groene gas op een hoger drukniveau ingevoed kan worden en het vergroten van het afzetgebied door regionale distributienetten met elkaar te verbinden kan als oplossing dienen.

Binnen de hoofdtransportleidingen zouden mogelijk capaciteitsknelpunten kunnen ontstaan als gevolg van transport van waterstof naar Duitsland of naar nieuwe elektriciteitscentrales. Deze knelpunten zijn pas na 2030 te verwachten. Het ontstaan van dit type knelpunten is momenteel te onzeker om specifieke oplossingen aan te dragen.

## Kosten, ruimtebeslag en maakbaarheid

Deze studie biedt op hoofdlijnen inzicht in het benodigde ruimtebeslag en de kosten van de energie-infrastructuur in Gelderland, op basis van de vier gemodelleerde scenario's. Hoewel het gehanteerde detailniveau onvoldoende is om (investerings)beslissingen te nemen, kan er wel geconcludeerd worden dat de energietransitie gepaard gaat met hoge investeringskosten in de infrastructuur, zowel in netverzwaring als in de benodigde systeemflex. Bovendien speelt maakbaarheid een rol in de afweging tussen de verschillende oplossingsrichtingen. De realisatiesnelheid van netverzwaring is laag, wat het momentum van de energietransitie doet afnemen. Systeemflex kan op kortere termijn wellicht uitkomst bieden. Tenslotte is ruimtebeslag een belangrijk thema. De fysieke ruimte is beperkt in Nederland, waardoor slim omgegaan moet worden met de ruimte. Systeemflex zou het aantal benodigde uitbreidingen van stations en tracés kunnen verlagen, waardoor de ruimtelijke impact hiervan verkleind kan worden. Aangezien systeemflex ook ruimte inneemt zal er een integrale afweging gemaakt moeten worden.

# 1. Inleiding

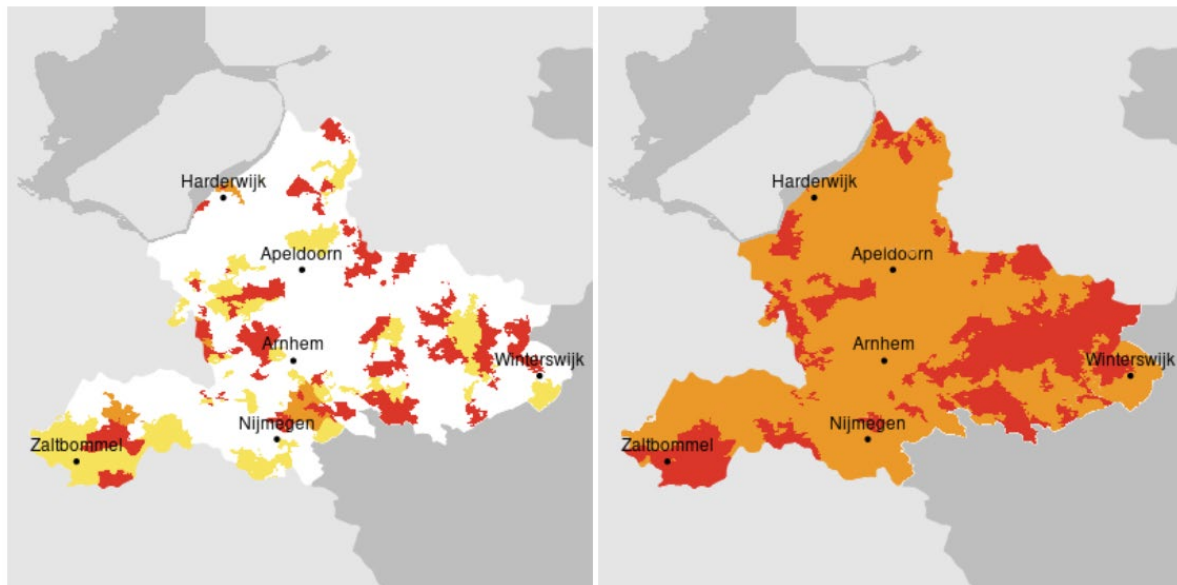
## 1.1 Aanleiding

Gelderland bereidt zich voor op een grote verandering van het energiesysteem in de periode tot 2050, die zich ook in de rest van Nederland en omliggende landen moet voltrekken. De provincie heeft een klimaatplan aangenomen waarin een CO<sub>2</sub>-reductie van 55% in 2030 is afgesproken. Dit wordt onder andere uitgewerkt in de zes Gelderse RES-regio's, waar Regionale Energiestrategieën voor 2030 worden opgesteld, met een doorkijk naar 2050. Daarin ligt de focus op de opwek van hernieuwbare energie. Daarnaast wordt er in Gelderland sinds 2015 onder de noemer Gelders Energieakkoord (GEA) samengewerkt aan de energietransitie door meer dan 250 Gelderse partijen, zowel publiek als privaat.

De uitdaging waar de samenleving voor staat gaat gepaard met grote veranderingen in alle sectoren en over verschillende energiedragers heen. Om die transitie goed te laten verlopen, is een integrale aanpak nodig, waarin alle regio's, sectoren en energiedragers meegenomen worden. Gelderland maakt zelf weer deel uit van het Nederlandse energiesysteem en is direct verbonden met de naburige provincies. Dit heeft als gevolg dat keuzes die door een regio of gemeente gemaakt worden ook invloed hebben op de keuzemogelijkheden van andere regio's of gemeentes.

Voor een succesvolle energietransitie in Gelderland is een robuust en flexibel energiesysteem een belangrijke randvoorwaarde. De ontwikkeling van energie-infrastructuur is in Nederland arbeidsintensief en kent een lange doorlooptijd. De infrastructuurontwikkeling was tot dusver een reactie op de ontwikkeling van de vraag naar energie. Dit komt mede door de huidige wet- en regelgeving die dit voorschrijft. De ingezette energietransitie veroorzaakt een versnelling van de vraag naar extra capaciteit in (met name) het elektriciteitsnet. Door de lange doorlooptijd die de ontwikkeling en ruimtelijke inpassing (zowel boven- als ondergronds) van de energie-infrastructuur vergt, kan de traditionele netuitbreiding het versnelde tempo niet volgen en wordt er een proactieve aanpak gevraagd. Figuur 9 illustreert in welke regio's binnen Gelderland op dit moment al een tekort aan capaciteit is op de netten van Liander. Dit zal verslechteren in de toekomst als er niet adequaat wordt ingegrepen.

Om proactief aan de slag te gaan met de ontwikkeling van de energie-infrastructuur moet inzicht verkregen worden in het Gelderse energielandschap (vraag en aanbod) van de toekomst. Daarom is besloten om een systeemstudie te starten, zoals deze ook uitgevoerd is voor diverse andere provincies.



Figuur 9. Beschikbare capaciteit afnemen (links) en terugleveren (rechts) op het distributienet in Gelderland (d.d. 30 september 2021)<sup>3</sup>.

## 1.2 Doel en vraagstelling

De systeemstudie heeft als doel om richting te geven aan een proactieve energie-infrastructuur ontwikkeling tot 2050, zodat deze in staat is om de energietransitie te faciliteren. Dat doen we door de vraag- en aanbodontwikkeling van (duurzame) energie in Gelderland voor 2030 en 2050 te onderzoeken. Door te anticiperen op mogelijke routes naar klimaatneutraliteit in 2050 maken we inzichtelijk welke behoefte aan (aanvullende) energie-infrastructuur nodig is. Daarvoor hebben we een goed beeld nodig van de belangrijkste knelpunten die kunnen gaan optreden in de bestaande infrastructuur, en moeten we de mogelijke oplossingsrichtingen voor deze knelpunten in kaart brengen.

De (deel)resultaten van de systeemstudie kunnen eveneens gebruikt worden als input bij andere lopende processen zoals de RES 2.0, het vinden van synergie tussen de behoeftes van stakeholders en als basis voor mogelijke systeemstudies in de toekomst.

Tot slot geeft de systeemstudie inzicht in het handelingsperspectief voor de betrokken partijen bij de Gelderse energietransitie op het niveau van het energiesysteem. Dit doen we door inzicht te geven in hoe de (toekomstige) knelpunten via verschillende maatregelen opgelost kunnen worden. Lokale oplossingsrichtingen kunnen daarbij een optie zijn, zoals elektriciteitsopslag en conversie (naar waterstof of power-2-heat), maar ook kan infrastructuur verzaard of uitgebreid worden. De consequentie voor ruimtelijke inpassing en kosten die met verschillende oplossingsrichtingen gepaard gaan maken we inzichtelijk. De systeemstudie is niet bedoeld om investeringsplannen mee te maken, maar kan worden gebruikt om richting en handvatten te geven om de energietransitie te versnellen en plannen te maken voor de lange termijn.

<sup>3</sup> <https://www.liander.nl/transportcapaciteit/gelderland>

### 1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 gaat in op de gehanteerde werkwijze volgens de chronologisch doorlopen stappen. In hoofdstuk 2 wordt de gehanteerde methodiek per stap toegelicht. In hoofdstuk 3 worden de scenario's besproken die zijn gebruikt om de energievraag en het energieaanbod te bepalen voor de provincie Gelderland. De resulterende energievraag en het energieaanbod voor de verschillende scenario's en sectoren worden toegelicht in hoofdstuk 4, en hoofdstuk 5 schetst de relevante energie-infrastructuur in de huidige situatie. Hoofdstuk 6 tot en met hoofdstuk 8 gaat in op de gevolgen van de energievraag en het energieaanbod volgens de gehanteerde scenario's voor de energie-infrastructuur. Knelpunten, oorzaken daarvan, en oplossingsrichtingen komen daarin aan bod. Hoofdstuk 6 gaat specifiek over de regionale elektriciteitsnetten. Hoofdstuk 7 gaat over het hoogspanningsnet voor elektriciteit, en hoofdstuk 8 geeft inzicht in de gasnetten. Hoofdstuk 9 gaat dieper in op de benodigde investeringen in de verschillende scenario's, ten gevolge van knelpunten in de regionale elektriciteitsnetten. Tot slot zijn in hoofdstuk 10 de conclusies en aanbevelingen weergegeven die naar aanleiding van inzichten in deze systeemstudie zijn bereikt. Het handelingsperspectief komt hierin ook aan bod.

Meer verdieping op bepaalde punten is te vinden in de appendices. Deze zijn met name bedoeld voor beter begrip op onderdelen die in de hoofdtekst worden beschreven.

## 2. Methode

In dit hoofdstuk worden de gehanteerde methodiek per stap toegelicht.

### 2.1 Samenvatting methodiek

Voor het tot stand komen van de systeemstudie zijn een aantal stappen doorlopen:

- Opstellen van scenario's.
- Toepassen regionalisering.
- Toevoegen flexibiliteit en doorrekenen netimpact.
- Analyseren doorrekening.
- Uitwerken oplossingsrichtingen.

### 2.2 Opstellen van scenario's

Er is begonnen met het opbouwen van energieweb-scenario's voor Gelderland in 2030 en 2050. In deze scenario's zijn ontwikkelingen van onder andere technologie, economische groei, samenstelling van de bevolking, doelstellingen vanuit het Rijk en de provincie en plannen van de industrie, gebruikt om de toekomstige vraag naar en het aanbod van energie te modelleren. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van het EnergieTransitieModel (ETM) van Quintel.

Energieweb-scenario's zijn nodig om mogelijke toekomstbeelden van de vraag naar en het aanbod van energiedragers te schetsen. In deze systeemstudie is hoofdzakelijk elektriciteit, waterstof, methaan (aardgas en groen gas) en warmte (warm water) bekeken, omdat deze energiedragers getransporteerd worden door de netten van de netbeheerders en warmtebedrijven. De scenario's voor vraag en aanbod zijn opgesteld voor de volgende sectoren: gebouwde omgeving (huishoudens en utiliteiten), mobiliteit, industrie en landbouw/glastuinbouw. De verdeling naar deze sectoren geeft aan waar, wanneer en door welke ontwikkelingen er verschuivingen mogelijk zijn in het gebruik van energiedragers.

Er zijn scenario's voor 2030 en 2050 gemaakt. Voor 2030 zijn voor elke RES-regio en voor heel Gelderland scenario's opgebouwd die zijn gebaseerd op het RES-bod. Aangezien het RES-bod niet leidt tot 55% CO<sub>2</sub>-reductie, is er ook een 55%-reductiescenario gemaakt in lijn met de Gelderse doelstelling voor 2030. Voor 2050 dienen de landelijke Klimaatneutrale Energieweb-scenario's 2050 als basis. Analoog hieraan zijn vier scenario's opgesteld die de hoekpunten van het mogelijke toekomstige energielandschap vormen. Nadere toelichting van de vier scenario's en de resulterende energiestromen zijn weergegeven in hoofdstuk 3.

De informatie die als input voor de scenario's heeft gediend, is onder andere afkomstig van de zes Gelderse RES-regio's, relevante rapporten over landelijke en regionale ontwikkeling van vraag en aanbod van energiedragers, dataverzameling bij de Gelderse industrie, interviews met grote industriële sectoren en door middel van twee sessies met een klankbordgroep. In deze klankbordgroep zitten vertegenwoordigers van de belangrijkste Gelderse spelers op het vlak van de energietransitie: grote energieverbruikers en producenten, afgevaardigden van provincie, gemeente en RES-regio's en andere energie- en sectorspecialisten.

De scenario's zijn gemodelleerd in het Energietransitiemodel (ETM) van Quintel. In het ETM is het mogelijk om, uitgaande van de huidige situatie, per verbruikssector de wijzigingen in de vraag naar energie te kwantificeren en te relateren aan onderliggende processen zoals bevolkingsgroei, nieuwbouw/sloop van huizen, efficiëntieverbeteringen, toepassing nieuwe technieken, etc. Hieruit volgt de mogelijke energievraag van de provincie Gelderland en RES-regio's in de toekomst. Ook systeemveranderingen met verbanden tussen energiedragers en functionaliteiten (zoals elektrificatie van mobiliteit) worden meegenomen.

Het ETM berekent voor de energiedragers (elektriciteit, gas en waterstof) op uurbasis hoe de vraag en het aanbod gebalanceerd worden. Deze berekening vindt plaats voor de volumes en de totale vermogens van de diverse energiedragers, het energieaanbod, eindgebruik en conversies in de verschillende scenario's. Het ETM is 'open source' en openbaar beschikbaar. Hierdoor is de uitwerking van de scenario's in deze studie voor iedereen beschikbaar en herleidbaar.

### 2.3 Toepassen van regionalisering

Om de impact van de scenario's op de energie-infrastructuur te bepalen, is het noodzakelijk om te weten op welke locatie de ontwikkelingen verwacht worden. Vraag en aanbod ontwikkelen zich niet gelijkmatig over de hele provincie, maar is afhankelijk van de aanwezige gebruikers (bijvoorbeeld stedelijke gebieden, industriegebieden of glastuinbouw) en producenten van energie (bijvoorbeeld locaties waar zon- en windparken komen). Op energie-intensieve plaatsen is een andere infrastructuur nodig dan op plekken met relatief weinig vraag en aanbod. Om dit beeld te bepalen hebben we de uitkomsten van de scenario's uit het ETM vertaald naar gemeente- en buurniveau (regionalisering): Elke gemeente en/of buurt krijgt een deel van de totale Gelderse vraag en aanbod van energie toegerekend. Deze uitkomst van de regionalisering dient als input voor doorrekening van de netbeheerders, die hiermee de impact op hun netten kunnen bepalen.

De methode die voor de regionalisering is toegepast, is per sector en per energiedrager verschillend. De warmtevraag in de gebouwde omgeving volgt bijvoorbeeld onder andere het aantal en type woningen in een buurt. Voor de industrie en transport hebben we met experts uit de Gelderse sectoren overlegd. Voor andere (deel)sectoren hebben we een verdeelsleutel vastgesteld op basis van publiek toegankelijke data en overleg met het kernteam. De gebruikte methode en verdeelsleutel per (deel)sector is terug te vinden in Bijlage 2 tot en met Bijlage 6.

### 2.4 Toevoegen flexibiliteit en doorrekenen netimpact

De uitkomsten van de regionalisering dienen als input voor de doorrekening door de netbeheerders. De betrokken netbeheerders zijn voorzien van geregionaliseerde vraag- en aanboddata, waarmee zij de impact van de ontwikkelingen op hun netwerk kunnen bepalen. Hiertoe zijn de belasting- en productiecurves op lokaal niveau geaggregeerd op basis van de netconfiguratie tot de bijhorende koppelstations (stations tussen het Liander en TenneT net). Per station (zowel midden- tussen- en hoogspanningsstation) is vervolgens de residuele elektriciteitsvraag bepaald (de onbalans tussen vraag en aanbod).

In elk de vier toekomstscenario's voor 2050 is naar verwachting sprake van een grotere residuele vraag. Met andere woorden: er is sprake van een grotere mismatch tussen de vraag en het aanbod van elektriciteit. Dit effect speelt op alle niveaus van het elektriciteitsnet en is niet gewenst omdat vraag en aanbod altijd met elkaar in balans moeten zijn. Omdat deze mismatch tot op de kleinste niveaus van het elektriciteitsnet speelt, is het wenselijk om de energiebalans meer lokaal te kunnen handhaven. In deze systeemstudie is die behoefte naar meer lokale balanshandhaving meegenomen door zogenaamde 'systeemflex' toe te voegen. Systeemflex kan daarbij worden gezien als het toevoegen van extra lokale vraag (ten tijden van surplus aanbod) en extra lokaal aanbod (ten tijden van surplus vraag).

In deze systeemstudie zijn vier systeemflex-opties beschouwd die lokaal aan het energielandschap toegevoegd kunnen worden om de energiebalans lokaal te handhaven. De vier opties die daarvoor zijn beschouwd betreffen Power-to-Gas-installaties (extra vraag), Gas-to-Power-installaties (extra aanbod), curtailment (minder aanbod van zon/wind) en systeembatterijen (extra vraag of aanbod). De inzet van systeemflex zijn in deze studie niet voor elk niveau van het elektriciteitsnet doorgerekend. In plaats daarvan is de analyse versimpeld door per koppelstation te evalueren hoeveel systeemflex moet worden toegevoegd om de totale gesommeerde mismatch op alles niveaus te kunnen beperken. In de praktijk zou de systeemflex dus op lagere niveaus moeten worden ingepast!

Waar en hoeveel systeemflex lokaal gewenst is, valt buiten de scope van dit onderzoek, maar het onderzoek geeft wel een eerste indicatie hoeveel systeemflex er per scenario en regio wenselijk zou kunnen zijn. Hoofdstuk 6 geeft wel meer uitleg over systeemflex, hoe systeemflex is gemodelleerd en de wijze waarop de inzet per koppelstation is bepaald.

Het toevoegen van extra vraag of aanbod in de vorm van systeemflex is geen gegeven, maar een keuze. Er is daarom ook gekeken naar wat er in het toekomstscenario voor 2050 zou kunnen gebeuren als er lokaal geen balanshandhaving door systeemflex plaatsvindt. In dat geval werkt de lokale en regionale mismatch door tot in de koppelstations en transportnetten van TenneT, waar de mismatch uiteindelijk kan worden opgelost door naar Gelderland elektriciteit te importeren (tijdens surplus vraag) of elektriciteit Gelderland uit te exporteren (tijdens surplus aanbod).

De doorrekeningen van de elektriciteitsnetten zijn uitgevoerd door TenneT en Liander zonder tussenkomst van Berenschot en Witteveen+Bos. De berekeningen zijn tot stand gekomen door gebruik te maken van reeds bestaande rekenmodellen van de netbeheerders. TenneT heeft zich daarbij gericht op zowel hoogspanningsstations als verbindingen op het hoogspanningsnet en Liander op de hoogspanning/middenspanning-stations. Liander heeft geen specifieke doorrekeningen gemaakt van de laagspanningsnetten en middenspanningskabels.

Door TenneT is het hoogspanningsnet van 150 kV, en de transformatoren tussen het 380kV en 150 kV netvlak doorgerekend. Het doorrekenen van die netvlakken gebeurt niet in isolatie van het net binnen de provincie, maar op nationaal niveau. Buiten de provincie Gelderland wordt gebruik gemaakt van de data uit de landelijke studie naar de integrale infrastructuur 30-50 (I13050). De data uit deze systeemstudie van Gelderland worden gebruikt om het deel van de netten in Gelderland van meer specifieke informatie te voorzien, waarmee de belasting van de netten worden doorgerekend en knelpunten op het niveau van de provincie Gelderland kunnen worden doorgelicht. In de I13050-studie is gebruik gemaakt van dezelfde verhaallijnen voor de vier 2050-scenario's. Door het aanhouden van vergelijkbare scenario's voor de rest van Nederland wordt geprobeerd voor de provincie Gelderland een zo goed mogelijke doorrekening uit te voeren. Per 150 kV station is de residuele vraag bepaald en bottom-up doorgerekend op de belasting van het transportnet, middels een loadflow en contingency analyse. Bij een loadflow-berekening wordt de benodigde transportcapaciteit berekend, en bij een contingency analyse wordt dezelfde berekening gedaan, maar dan bij het uitvallen van elementen in het systeem. De eis is dat bij het uitvallen van een enkel element (ook genoemd het loslaten van de redundantie, of 'N-1') de leveringszekerheid niet in gevaar komt. Idealiter treedt er ook nog geen onoverkomelijk probleem op bij uitval (en/of onderhoud) van twee elementen, dus ook voor 'N-2' wordt de doorrekening uitgevoerd.

De uitkomsten van de landelijke I13050 studie<sup>4</sup> zijn ook gebruikt voor het bepalen van de impact op de gasnetten, omdat de keuzes die buiten Gelderland worden gemaakt grote invloed hebben op de gasnetten in Gelderland. Het is hierdoor niet zinvol om alleen te focussen op de gasnetten in Gelderland. De voor Gelderland specifieke scenario's zijn vergeleken met de Gelderse uitsnede van de landelijke I13050 studie, om te controleren of er geen grote verschillen waarneembaar waren. Er zijn geen grote verschillen geconstateerd, waarna is besloten om de resultaten van de doorrekening van de landelijke I13050-studie te hanteren voor deze systeemstudie.

---

<sup>4</sup> [https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Samenvatting\\_rapport\\_Het\\_Energiesysteem\\_van\\_de\\_toekomst\\_198.pdf](https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Samenvatting_rapport_Het_Energiesysteem_van_de_toekomst_198.pdf)

## 2.5 Analyseren doorrekening

De uitkomsten van de doorrekeningen van het netwerk hebben de netwerkbeheerders vervolgens opgeleverd aan Berenschot en Witteveen+Bos. De netbeheerders gaven in een eerste analyse aan waar volgens hen knelpunten zitten en in welk scenario deze optreden. Berenschot en Witteveen+Bos hebben verdere analyse uitgevoerd. In deze analyse is per knelpunt in kaart gebracht op welk moment en met welke oorzaak de overschrijding plaatsvindt. De meest diepgaande analyse heeft plaatsgevonden op de koppelstations tussen Liander en het 150 kV-transportnet van TenneT. Hierbij is ook het volume, duur, en piek van de overschrijding vastgesteld. Per koppelstation zijn de extremen uitgelicht en een aantal kenmerkende knelpunten ter illustratie verder beschreven. Voor de gasnetten zijn de landelijke resultaten gebruikt om de knelpunten te identificeren en Liander heeft een case uitgewerkt waarin het distributievraagstuk van waterstof centraal staat.

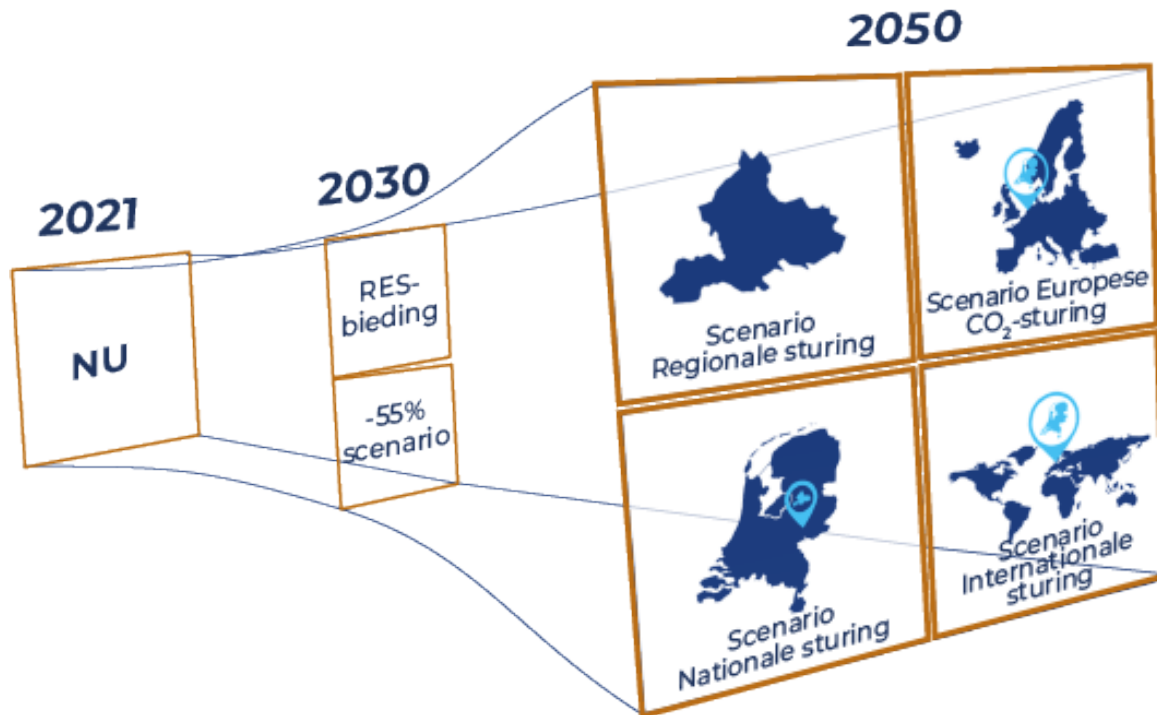
## 2.6 Uitwerken oplossingsrichtingen

De doorrekeningen en bijbehorende analyse laten per scenario zien waar knelpunten in de energie-infrastructuur binnen de provincie Gelderland verwacht worden. Voor knelpunten op het hoogspanningsnet van TenneT is de impact van een oplossing (creëren van loadpockets) die momenteel wordt ontwikkeld onderzocht en uitgewerkt. Voor de koppelstations van Liander is de potentiële rol die systeemflex kan hebben om knelpunten op te lossen onderzocht. Systeemflex kan echter niet de enige oplossing zijn of alle knelpunten oplossen, daarom is ook de impact van het verlaten van redundantie gekwantificeerd en de resulterende uitdaging voor netverzwaring. Overige oplossingsrichtingen zijn kwalitatief beschouwd. Voor de tussenspanning- en middenspanning netten van Liander is de impact van systeemflex niet doorgerekend, maar alleen kwalitatief beschouwd. Voor deze netvlakken is het verlaten van redundantie gekwantificeerd en de resulterende opgave voor netverzwaring. Tot slot wordt voor de koppelstations dieper ingegaan op logische oplossingsrichtingen die horen bij veelvoorkomende type knelpunten.



### 3. Scenario's

Om een beeld te schetsen van het toekomstig energiesysteem zijn in totaal zes energiescenario's uitgewerkt voor de provincie Gelderland. In dit hoofdstuk worden de scenario's verder toegelicht. De gehanteerde scenario's zijn schematisch weergegeven in 10.



Figuur 10. Visualisatie van hoekpunten van de zes gebruikte scenario's

#### 3.1 Samenvatting scenario's

Er zijn twee scenario's gemaakt voor 2030 en vier scenario's voor 2050. De twee scenario's voor 2030 zijn gebaseerd op de scenario's aangeleverd door provincie Gelderland. Eén scenario neemt de RES-biedingen en het klimaatakkoord als basis en één scenario is gebaseerd op een verhoogd reductiedoel van 55% CO<sub>2</sub> reductie<sup>5</sup>. 55% CO<sub>2</sub>-reductie komt overeen met de ambitie zoals gesteld in het Gelders Energieakkoord. De 2050 scenario's zijn gebaseerd op de vier landelijke Klimaatneutrale energiescenario's<sup>6</sup>, waarbij de scenario's in specifiek zijn gemaakt voor Gelderland. De 2050-scenario's dienen als hoekpunten van de ontwikkeling van het energiesysteem van Gelderland. Een overzicht van de verhaallijnen van de 2050 scenario's is weergegeven in 11.

<sup>5</sup> Als we navolgend over CO<sub>2</sub> reductie spreken, bedoelen we reductie van alle broeikasgassen inclusief CO<sub>2</sub>, uitgedrukt in CO<sub>2</sub> equivalenten en ten opzichte van het referentiejaar 1990.

<sup>6</sup> Berenschot (2020). Klimaatneutrale energiescenario's 2050.



Figuur 11. Overzicht verhaallijnen van de 2050-scenario's uit de Klimaatneutrale energiescenario's, welke ook zijn gehanteerd voor Gelderland.

### 3.2 Overzicht scenario's

In de volgende overzichtstabel (Tabel 1) staan de scenario's op hoofdlijnen naast elkaar. In dit hoofdstuk lichten we ze hieronder verder toe. Meer detail over de energie-ontwikkelingen per sector volgt in hoofdstuk 4.

Tabel 1. Overzichtstabel scenario's. \*Effectieve benutting dakoppervlakte is afhankelijk van ontwikkelingen in de woning- en gebouwvoorraad en het rendement van zonnepanelen. De gehanteerde waarden verschillen in de scenario's voor 2030 en 2050.

	Gelderland RES 2030	Gelderland (55%) 2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO2-sturing 2050	Internationale sturing 2050
Gebouwde omgeving	Absolute besparing van 1,5%/jr in alle sectoren	Absolute besparing van 1,5%/jr in alle sectoren en extra zon-PV op woningen	Focus op warmtenetten onder andere door geothermie, restwarmte en zonthermie	Voornamelijk all-electric warmtebronnen	Voornamelijk hybride warmtevoorzieningen. Gassen blijven belangrijk	Focus op hybride warmtepompen op waterstof als warmtebron
Mobiliteit	- Elektrificatie personenvervoer (30%). - Bussen grotendeels elektrisch, zeer beperkt aandeel waterstof. - Vrachtvervoer grotendeels fossiel, klein deels elektrisch en biobrandstoffen	- Elektrificatie personenvervoer (30%). - Bussen grotendeels elektrisch, zeer beperkt aandeel waterstof. - Vrachtvervoer grotendeels fossiel, klein deels elektrisch en biobrandstoffen	- Elektrificatie van personenvervoer en OV (100%). - Wegtransport voornamelijk elektrisch (90%) en bio-LNG (10%). - Binnenvaart elektrisch, fossiele en biobrandstoffen en	- Personenvervoer grotendeels elektrisch (95%), klein aandeel waterstof (5%). Bussen groter aandeel waterstof - Wegtransport elektrisch (33%) en waterstof (67%) - Binnenvaart elektrisch, fossiele en biobrandstoffen en	- Personenvervoer en OV grotendeels elektrisch (70%), waterstof (30%) - Wegtransport elektrisch (34%) en waterstof (33%) en fossiel (33%) - Binnenvaart elektrisch, fossiele en biobrandstoffen en	- Personenvervoer en OV grotendeels elektrisch (50%) en waterstof (40%), Biobrandstoffen (10%) - Wegtransport elektrisch (50%) en waterstof (50%) - Binnenvaart elektrisch, fossiele en biobrandstoffen en
Industrie	- Elektrificatie tussen 20-25%, afhankelijk van sector. - Waterstof een mogelijkheid bij overige industrie (keramisch).	- Elektrificatie tussen 20-25%, afhankelijk van sector. - Waterstof een mogelijkheid bij overige industrie (keramisch).	- Krimp van productie. - Veel elektrificatie (tot 85-90% in voeding en papierindustrie. Bij overige industrie elektrificatie tot ~25%), overig gassen.	- Kleine groei productie. - Veel elektrificatie, (tot 85-90% in voeding en papierindustrie. Bij overige industrie elektrificatie tot ~25%) en rest gassen.	- Flinke productiegroei. - Focus op gassen, met name waterstof bij de overige industrie. Bij papier- en voedingsindustrie nog 25% gas, rest elektrisch.	- Flinke productiegroei. - Focus op gassen, met name waterstof bij de overige industrie. Bij papier- en voedingsindustrie nog 25% gas, rest elektrisch.
Elektriciteitsproductie	0,8 GW Wind op Land  6,1 GW Zon-PV: 2,4 GW Zon op land 2,5 GW Zon op daken 1,2 GW Zon op daken huishoudens  Circa 22% geschikt dakoppervlak wordt benut*	1,3 GW Wind op Land  7,2 GW Zon-PV: 3,2 GW Zon op land 2,7 GW Zon op daken 1,3 GW Zon op daken huishoudens  Circa 24% geschikt dakoppervlak wordt benut*	2,6 GW Wind op Land  10,3 GW Zon-PV: 4,6 GW Zon op land 2,0 GW Zon op daken 3,7 GW Zon op daken huishoudens  Circa 30% geschikt dakoppervlak wordt benut*	2,6 GW Wind op Land  12,1 GW Zon-PV: 3,9 GW Zon op land 2,9 GW Zon op daken 5,3 GW Zon op daken huishoudens  Circa 42% geschikt dakoppervlak wordt benut*	1,3 GW Wind op Land  8,2 GW Zon-PV: 3,2 GW Zon op land 2,9 GW Zon op daken 2,1 GW Zon op daken huishoudens  Circa 26% geschikt dakoppervlak wordt benut*	1,3 GW Wind op Land  7,7 GW Zon-PV: 3,2 GW Zon op land 2,9 GW Zon op daken 1,6 GW Zon op daken huishoudens  Circa 23% geschikt dakoppervlak wordt benut*
Landbouw	25% duurzaam (biomassaketels, warmtepompen) 75% WKK	25% duurzaam (biomassaketels, warmtepompen)	Gasketels op groengas, biomassaketels en geothermie	Warmtepompen aangevuld met geothermie, biomassaketels en bio-WKK's	Warmtepompen aangevuld met geothermie en waterstofketels	Warmtepompen aangevuld met geothermie en bio-WKK's.

### 3.3 Scenario's 2030

De opbouw van de scenario's lichten worden hieronder kort toegelicht.

#### 2030 RES-biedingen

Als basis zijn de ETM-scenario's gebruikt die OverMorgen heeft gemaakt in opdracht van de provincie en die gebaseerd zijn op de concept RES'en. Deze zijn geüpdatet met de meest recente informatie uit de RES'en (peildatum 1 mei 2021), en vervolgens is hier nadere detaillering aan toegevoegd waar nodig en mogelijk op basis van vastgesteld beleid in de provincie en regio. Aan de vraagzijde wordt de afgesproken energiebesparing behaald en is er in de verschillende sectoren een toename in de transitie naar duurzame technologieën, zoals (hybride) warmtepompen, elektrische voertuigen. Het scenario gaat ervan uit dat de RES'en en bijbehorende realisatie van duurzame opwek succesvol worden uitgevoerd, de afgesproken 1,5 %/jaar besparing wordt gerealiseerd en trends zoals zon op dak en elektrisch vervoer conform beleid en verwachting worden doorgezet.

#### 2030 55% reductie

In het tweede scenario wordt uitgegaan van een CO<sub>2</sub> reductiedoelstelling van 55% ten opzichte van 1990. Dit scenario blijft aan de vraagzijde gelijk aan het RES-biedingen scenario van 2030. De extra CO<sub>2</sub> reductie ten opzichte van het RES-bod scenario wordt gerealiseerd met meer groen gas en een verhoogd vermogen aan duurzame opwek. Dit betekent dat er in dit scenario meer opgesteld vermogen zonnepanelen en windturbines is.

### 3.4 Scenario's 2050

Het jaar 2050 wordt in deze systeemstudie als richtjaar beschouwd waarin 100% CO<sub>2</sub> reductie moet zijn behaald. De vier scenario's voor 2050 zijn gebaseerd op de vier landelijke Klimaatneutrale energiescenario's<sup>10</sup>: Regionale sturing, Nationale sturing, Europese CO<sub>2</sub>-sturing en Internationale sturing. Op deze manier zijn er vier richtingen, waarin onzekerheden omtrent het verloop van de transitie een plek krijgen. Ieder scenario leidt tot een ander energiesysteem, en daarmee een andere energie-infrastructuur. De scenario's verkennen verschillende uitersten van de energietransitie. Deze uitersten worden ook wel hoekpunten genoemd, en de toekomstige situatie zal naar verwachting ergens tussen deze hoekpunten liggen. Daarmee is het ook niet de bedoeling om te kiezen tussen de scenario's. Het doel is om de grenzen van het verloop van de transitie te verkennen en daarmee inzicht te krijgen in de keuzes (en de gevolgen van die keuzes) die er de komende jaren gemaakt moeten worden op het gebied van energie-infrastructuur.

De landelijke scenario's zijn specifiek gemaakt voor de Gelderse context. Hierbij is bijvoorbeeld een beeld geschetst van het energieverbruik van de gebouwde omgeving, grootte van het personen- en vrachtvervoer en de aard en de samenstelling en het verbruik van de huidige industrie in Gelderland. Vervolgens is er per sector gekeken naar specifieke ontwikkelingen in Gelderland tot 2050. Deze staan verder toegelicht in hoofdstuk 4.

Hiernavolgend wordt een kort beeld geschetst van de vier 2050-scenario's.

#### 2050. Regionale sturing

In dit scenario ligt de regie voor de energietransitie voornamelijk bij de regionale bestuurslagen. Nederland haalt CO<sub>2</sub>-doelen door regionale ontwikkelingen. Nederland is grotendeels zelfvoorzienend en importen worden tot een minimum beperkt. Er wordt een krimp van de energie-intensieve industrie voorspeld. Burgers zijn gedreven en circulariteit is een belangrijk speerpunt.

Benodigde energie wordt vooral uit lokale energiebronnen opgewekt. Dit betekent dat er lokaal veel zonnepanelen en windturbines op land zijn. Er is in dit scenario meer energie-infrastructuur nodig om de ongelijktijdigheid tussen vraag en aanbod op te lossen. In dit scenario wordt er vooral voor collectieve oplossingen gekozen, zo wordt het potentieel aan warmtenetten volledig ingevuld.

### **2050: Nationale sturing**

In het scenario Nationale sturing staat het Rijk aan de regie voor de energietransitie. Ook in dit scenario wordt er gestreefd naar een hoge mate van zelfvoorziening en minimale importen. De nadruk ligt hier op grote nationale projecten, maar ook wordt de lokale potentie benut. Om de grote hoeveelheid duurzame energie in te passen is er in dit scenario een grote hoeveelheid flexibiliteitsopties nodig. De groei van de energie-intensieve industrie stagneert.

Het Rijk focust zich omwille van efficiëntie op grote projecten. Dit wordt met name duidelijk uit het hoge vermogen wind op zee. Nationaal worden er regelingen aangeboden voor het isoleren naar hoge isolatie labels, waarmee *all-electric* oplossingen in grote delen van de gebouwde omgeving mogelijk worden.

### **2050: Europese sturing**

In dit scenario haalt Europa de CO<sub>2</sub> doelen en is daarin koploper in de wereld. In Europa wordt gebruik gemaakt van een algemene CO<sub>2</sub> heffing. Daarnaast vindt er aan de Europese grens een importheffing en een compensatie plaats, waardoor Europa kan blijven concurreren met de rest van de wereld. De industrie in Nederland groeit in dit scenario en er wordt een grote hoeveelheid energiedragers geïmporteerd.

Doordat de verduurzaming vooral wordt gestuurd door de CO<sub>2</sub>-heffing is er een mix van verschillende technieken. Er wordt niet impliciet gekozen voor een bepaalde techniek, waardoor in iedere sector de goedkopere technologieën gekozen worden. Hierdoor wordt er in dit scenario ook gebruik gemaakt van CCS<sup>7</sup>. Er wordt niet gestuurd op collectieve oplossingen waardoor deze beperkt benut worden.

### **2050: Internationale sturing**

In het internationale scenario streeft de hele wereld naar het behalen van de CO<sub>2</sub> doelen. Net als de andere scenario's reduceert Nederland zijn CO<sub>2</sub> uitstoot met 100%. Mondiaal wordt er nadruk gelegd op het stimuleren van vrijehandel. Daarnaast worden handelsinfrastructuren bevorderd. Er is een wereldwijde markt voor waterstof en biomassa. En de energie-intensieve industrie groeit.

Het aandeel duurzaam gas in de gebouwde omgeving blijft tot in 2050 hoog. Dit zorgt voor minimale aanpassingen aan de infrastructuur. Hierdoor moet er echter een grote hoeveelheid duurzame gassen, zowel waterstof als groen gas, geïmporteerd worden.

---

<sup>7</sup> CCS: carbon capture and storage: het afvangen en opslaan van CO<sub>2</sub>

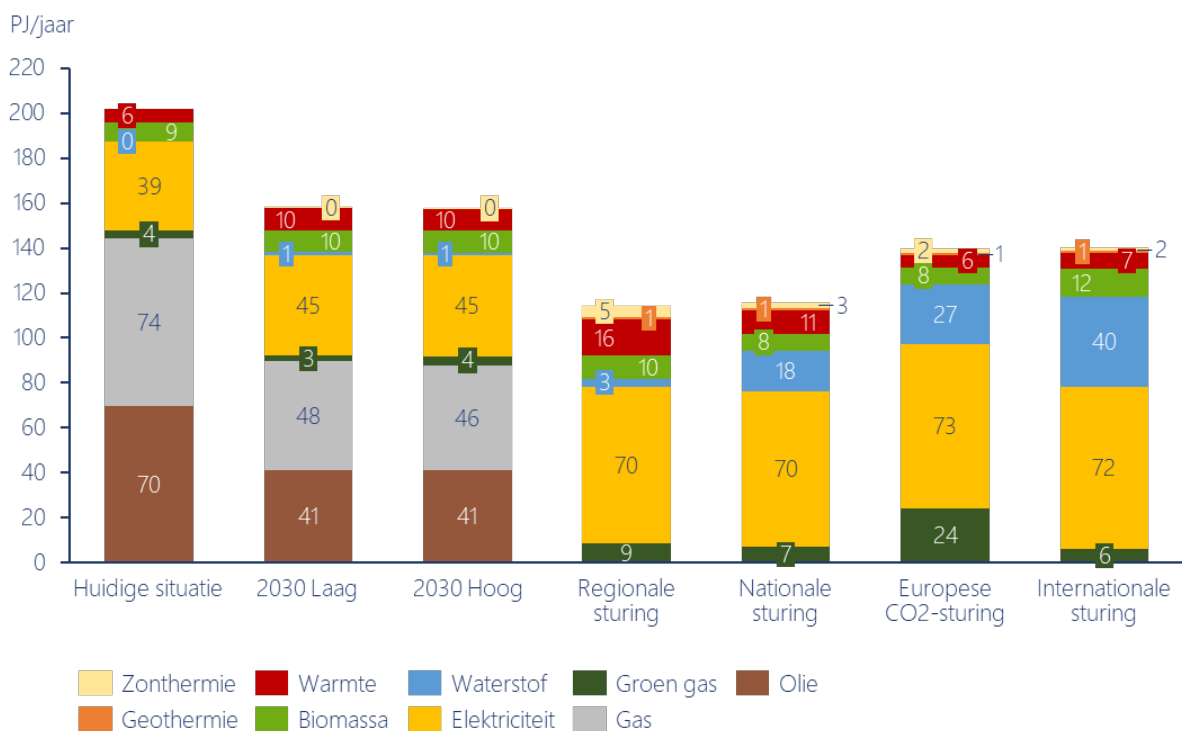
## 4. Verwachte ontwikkelingen in energievraag en aanbod

De scenario's beschreven in hoofdstuk 3 leiden ieder tot een andere ontwikkeling van de energietransitie in Gelderland. Dit geldt zowel voor de energievraag als de lokale productie van energie in 2030 en 2050. In paragraaf 4.2 wordt ingegaan op de toekomstige energievraag, met een korte toelichting per sector. Het aanbod van energie wordt beschreven in paragraaf 4.3. In Bijlage 2 tot en met Bijlage 6 wordt dieper in gegaan op elke specifieke sector en de onderliggende aannames per sector uitgelegd.

### 4.1 Samenvatting verwachte ontwikkelingen in energievraag en aanbod

De energievraag die resulteert uit de scenario's is weergegeven in Figuur 12. In de 2030-scenario's is de energievraag lager dan in de huidige situatie. In beide scenario's is een duidelijke verschuiving zichtbaar van fossiele energiedragers naar hernieuwbare energiedragers.

Het energiesysteem ontwikkelt zich in de scenario's voor 2050 in verschillende richtingen die alle resulteren in een klimaatneutrale energievoorziening. De verhaallijn van elk scenario heeft invloed op zowel de keuze voor energiedragers, alsook de uiteindelijke energievraag. In de scenario's Regionale en Nationale sturing is de energievraag laag, mede door lagere groei of zelfs krimp van de zware industrie. In de scenario's Europese en Internationale sturing is de industriële groei het sterkst, waardoor de energievraag hoger ligt. Daarnaast wordt er meer gebruik gemaakt van (geïmporteerde) gassen, zoals waterstof en groen gas.



Figuur 12. Finale energievraag per energiedrager voor 2030 en 2050 scenario's

Aan de aanbodzijde is er veel verschil te zien tussen de scenario's als er gekeken wordt naar elektriciteitsproductie, zoals weergegeven in Figuur 13. In het 2030 Hoog scenario is de extra hernieuwbare opwek capaciteit goed zichtbaar ten opzichte van het 2030 Laag scenario. In de 2050-scenario's zijn de verschillende verhaallijnen goed zichtbaar: Het Regionale en Nationale scenario kennen een hoge mate van zelfvoorzienendheid en hebben daartoe meer hernieuwbare opwekcapaciteit nodig. In het Europese en Internationale scenario is minder lokale opwek gemodelleerd en worden tekorten aangevuld met import.



Figuur 13. Elektriciteitsproductie in de verschillende scenario's

## 4.2 Ontwikkeling van de energievraag

In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de ontwikkeling van de energievraag per sector.

### 4.2.1 Gebouwde omgeving

Er wordt een toename in huishoudens en personen verondersteld in zowel de 2030- als de 2050-scenario's. Deze toename is gebaseerd op data van Primos<sup>8</sup> en informatie over zachte en harde woningbouwplannen van de provincie Gelderland. Daarnaast wordt er in alle 2050-scenario's van energiereductie van huishoudelijke apparaten en ledverlichting uitgegaan. In deze sectie worden de belangrijkste aannames en resultaten voor de gebouwde omgeving besproken. Eerst wordt ingegaan op de toegepaste warmtetechnieken en vervolgens wordt de resulterende energievraag getoond. Verdere details zijn te vinden in Bijlage 2.

<sup>8</sup> <https://primos.abfresearch.nl/jive>

## Warmtetechnieken

In Figuur 14 worden de warmtetechnieken in de huidige situatie afgezet tegen de aannames in de zes scenario's. In elk van de scenario's is rekening gehouden met het benodigde isolatieniveau. Het valt op dat veruit het grootste gedeelte van de gebouwde omgeving in de huidige situatie nog verwarmd wordt met Hr-ketels (op methaan). In 2030 is een groot deel van de Hr-ketels al vervangen. In 2050 wordt er vanuit gegaan dat er geen fossiele methaan meer gebruikt wordt voor de verwarming van de gebouwde omgeving. De volledige vraag wordt ingevuld met andere technieken dan de Hr-ketel. Afhankelijk van het karakter van het scenario worden technieken zoals (hybride)-warmtepompen en collectieve warmtebronnen, gedistribueerd door een warmtenet, ingezet.

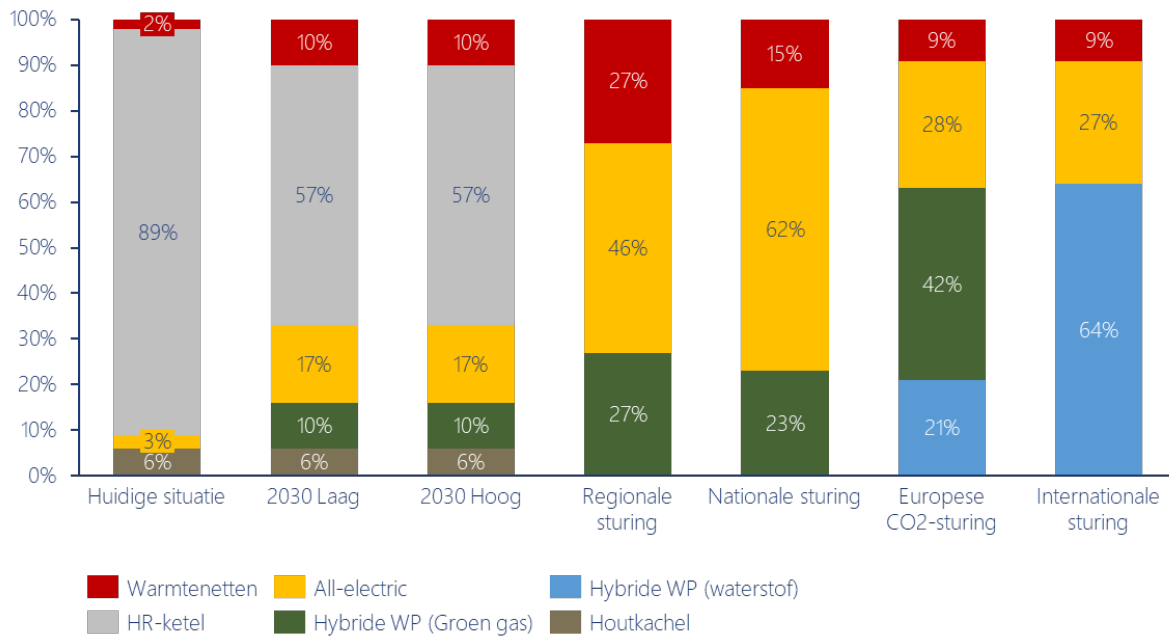
Warmtenetten verwarmen op dit moment ongeveer 2% van de gebouwde omgeving. De verwachting is dat dit percentage groeit tot circa 10% in 2030. Het percentage warmtenetten in de 2050-scenario's loopt uiteen tussen 9% en 27%. In het scenario Regionale sturing wordt de volledige potentie aan aanwezige warmte benut in Gelderland<sup>9</sup>. Hiermee kan 27% van de huishoudens verwarmd worden. In het scenario Europese CO<sub>2</sub>-sturing en het scenario Internationale sturing wordt er 9% van de huishoudens verwarmd met een warmtenet.

In de huidige situatie wordt 3% van de gebouwde omgeving verwarmd met *all-electric* warmtetechnieken. Dat is nu een combinatie van warmtepompen en elektrische kachels. In de toekomst is de verwachting dat *all-electric* alleen warmtepompen zijn. Andere technologieën zoals infrarood panelen zouden ook ingezet kunnen worden, maar deze zijn niet meegenomen in de modellering. Dit percentage groeit richting 2030 tot 17% van de huishoudens. In alle 2050-scenario's groeit dit percentage verder door. In het scenario Nationale sturing is uitgegaan van 62% van de woningen die *all-electric* worden verwarmd. In dit scenario is er een grote hoeveelheid beschikbare duurzame elektriciteit aangenomen. Dit percentage ligt lager in het Regionale scenario. In het scenario Europese CO<sub>2</sub>-sturing en het scenario Internationale wordt uitgegaan van importbeschikbaarheid van duurzame gassen. Dit zorgt ervoor dat het percentage *all-electric* hier lager ligt dan bij de andere twee 2050-scenario's.

---

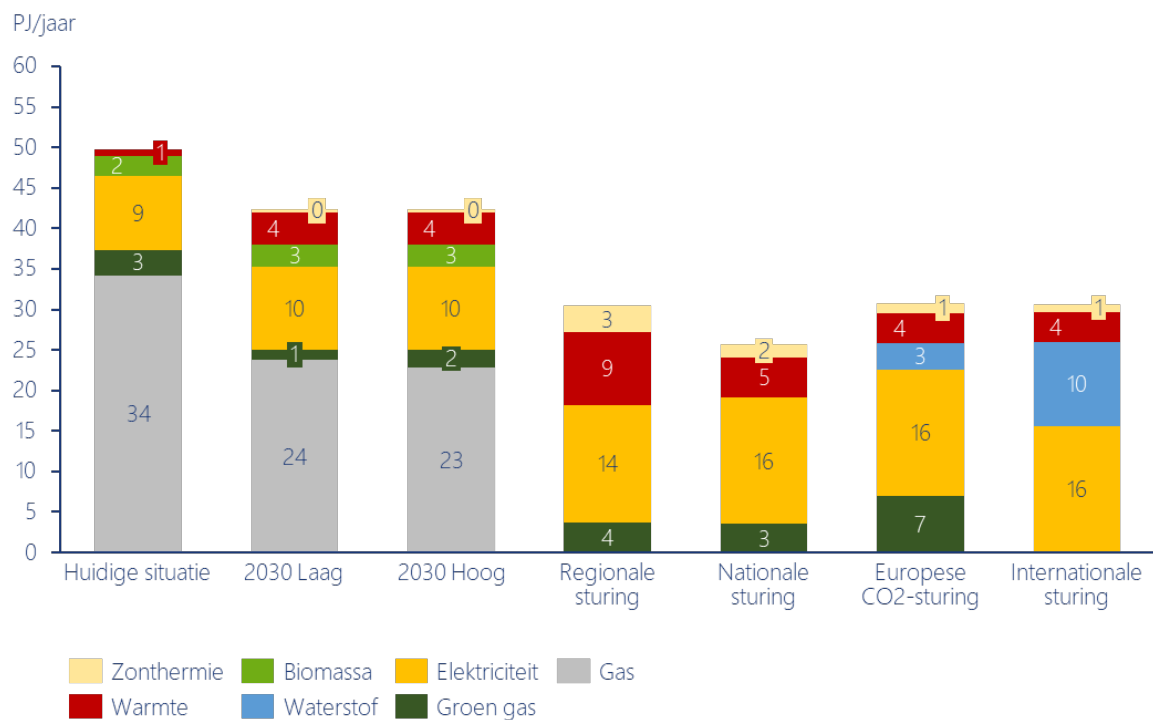
<sup>9</sup> Potentie is berekend aan de hand van aanwezige warmtebronnen in de Startanalyse van PBL (2021).



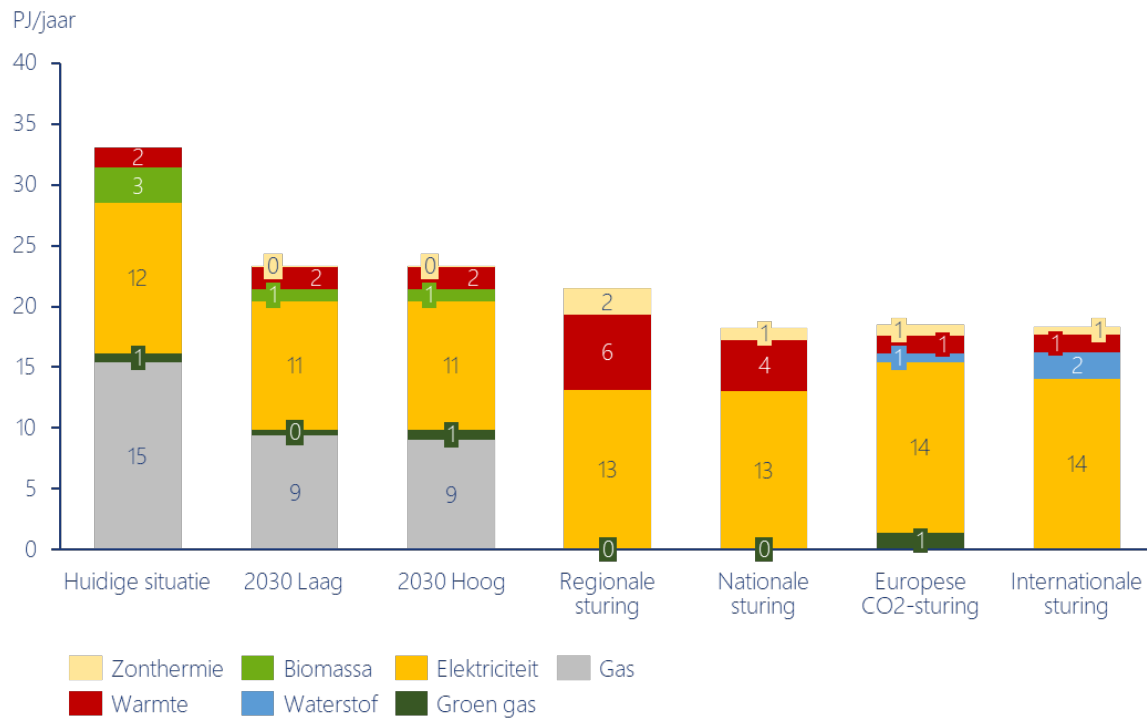


Figuur 14. Percentage woningen per warmtetechniek

#### 4.2.2 Energievraag gebouwde omgeving



Figuur 15. Finale energievraag huishoudens per energiedrager



Figuur 16. Finale energievraag utiliteiten per energiedrager

In Figuur 15 en Figuur 16 de finale energievraag weergegeven voor respectievelijk de huishoudens en de utiliteiten. In deze figuren is de energievraag voor de verschillende energiedragers opgesplitst.

De totale energievraag in de huishoudens is nu ongeveer 50 PJ per jaar. Hoewel het aantal huishoudens stijgt neemt de totale energievraag in alle scenario's af. Dit komt enerzijds door energiebesparing, en anderzijds door de toepassing van efficiëntere technologieën. Zo wordt er bijvoorbeeld in alle scenario's geïsoleerd, wordt er overgestapt op ledlampen en worden er warmtepompen ingezet waarmee een hoger rendement wordt behaald in vergelijking tot bijvoorbeeld de Hr-ketel. Het verschil in totale energievraag voor de 2050-scenario's komt voort uit de gekozen warmtetechnieken die samenhangen met de benodigde isolatiegraad (en daarmee met de behaalde energiebesparing). In het Regionale scenario worden bijvoorbeeld veel warmtenetten ingezet, waardoor een label B voor de meeste huishoudens volstaat. In het scenario Nationale sturing wordt juist veel op *all-electric* ingezet. De hoge efficiëntie en de benodigde isolatiegraad bij een warmtepompoplossing zorgt voor een lage energiebehoefte. In de scenario's Europese CO<sub>2</sub> en Internationale sturing wordt er veel gebruik gemaakt van hybride warmtepompen. Hier wordt minder geïsoleerd dan in het scenario Nationale sturing.

In 2050 zijn alle fossiele energiedragers vervangen door duurzame energiedragers. In het Regionale scenario zijn elektriciteit en duurzame warmte de grootste energiedragers. Onder duurzame warmte valt restwarmte, geothermie, omgevingswarmte en collectief opgewekte warmte door duurzame energiedragers. Voorbeelden hiervan zijn (piek)ketels op waterstof, groengas of biomassa en grootschalige warmtepompen. In het scenario Nationale sturing is elektriciteit de meest gebruikte energiedrager in de gebouwde omgeving. In het scenario Europese sturing wordt vooral elektriciteit en groen gas gebruikt en in het scenario Internationale sturing is dit vooral elektriciteit en waterstof.

In de utiliteitsbouw wordt een groot deel van de gebouwen al geïsoleerd en voorzien van een andere warmtebron dan in de 2030-scenario's. Dit maakt het verschil tussen de huidige situatie en 2030 groter. De verschillen tussen de 2030- en 2050-scenario's zijn hierdoor kleiner.

In de 2050-scenario's is er geen groot verschil zichtbaar in elektriciteitsverbruik. Dit komt omdat de energievraag in utiliteitsbouw voor een groot gedeelte bestaat uit de vraag van elektrische apparatuur. Dit onderdeel is groter dan bij de woningen.

Daarnaast is er een vergelijkbare situatie met de woningen waarin in het scenario Regionale sturing meer warmtevraag is, in het scenario Nationale sturing scenario een lagere warmtevraag is door verregaande isolatiemaatregelen en er in het scenario Europese CO<sub>2</sub>-sturing en het scenario Internationale sturing voor een groot gedeelte sprake is van hybride warmtepompen, respectievelijk op groen gas en waterstof.

### 4.2.3 Mobiliteit

Voor mobiliteit zowel voor personenvervoer als voor vrachtvervoer een inschatting gemaakt van de verwachte vraag per vervoerswijze, efficiëntiewinsten en techniekeuze van voertuigen. Voor 2030 is daarbij een concrete verwachting geformuleerd op basis van de huidige situatie in Gelderland en verwachtingen voor de ontwikkeling van onder andere elektrisch rijden en waterstof in het vervoer. Voor 2050 is aangesloten bij de uitgangspunten uit de vier Klimaatneutrale energiescenario's<sup>10</sup>.

In deze sectie worden de belangrijkste aannames en resultaten voor mobiliteit besproken. Vervolgens wordt de resulterende energievraag per energiedrager in de scenario's besproken.

#### Aandeel elektrisch en waterstof in vervoer

Belangrijk voor de systeemstudie is met name het aandeel elektrisch vervoer en waterstofvervoer in het personen- en vrachtvervoer in 2030 en 2050. Hiervoor is per vervoerswijze (personenauto's, bussen, treinen, vrachtwagens, binnenvaart) een inschatting gemaakt van het tempo waarin deze technologieën zich ontwikkelen op basis van prognoses. Daarin wordt een gestage opkomst van elektrisch (personen en vracht-) vervoer verwacht, en wordt ingeschat dat waterstof in 2030 (nog) geen rol van betekenis gaat spelen. Op de langere termijn (2050) bestaan hierover grotere onzekerheden en worden verschillende hoekpunten van ontwikkeling verkend. In overleg met de klankbordgroep is daarbij gekozen om een scenario te beschouwen waarin helemaal geen waterstof wordt ingezet (het Regionale scenario). Dit scenario is daardoor bij uitstek geschikt om mogelijke knelpunten en implicaties te onderzoeken, in het geval dat de mobiliteitssector grotendeels elektrificeert en daarmee afhankelijk is van de elektrische infrastructuur. Dit wil niet zeggen dat waterstof geen rol zal spelen in de mobiliteitssector.

De binnenvaart maakt in Gelderland een relatief groot deel uit van de huidige vraag naar energie voor vrachtvervoer in de provincie (20% vergeleken bij 8% landelijk)<sup>11</sup>. De ontwikkeling van technologieën in de binnenvaart is onzeker<sup>12</sup>. Hoewel de inzet van biobrandstoffen op korte termijn voor de hand ligt, kan elektrificatie op termijn ook een rol gaan spelen. De realisatie van elektrische binnenvaart kan leiden tot lokale laadbehoeften langs rivieren en kanalen. Daar staat tegenover dat elektrische binnenvaart, gebruik makend van verwisselbare batterijen, ook gezien kan worden als een vorm van aanvullende systeemflex. Het ETM maakt het echter (nog) niet mogelijk om de elektrificatie van binnenvaart te modelleren. Daarbij komt dat de verwachting is dat biobrandstoffen met name een rol zullen spelen waar elektrificatie uitdagend is door de afgelegde afstanden.<sup>13</sup> Binnen Gelderland vindt veel binnenvaartverkeer over lange afstand plaats, zoals goederentransport van Rotterdam naar Duitsland over de Waal. Ook is de provincie Gelderland koploper op het gebied van LNG en zij ziet bio-LNG als een kansrijke transitiebrandstof.<sup>14</sup> Elektrificatie van de binnenvaart wordt dus niet meegenomen in de scenario's. De energievraag van binnenvaart wordt volledig ingevuld door inzet van bio-LNG.

<sup>10</sup> Berenschot (2020). *Klimaatneutrale energiescenario's 2050*

<sup>11</sup> ETM

<sup>12</sup> Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020). *Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit*.

<sup>13</sup> Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019). *Routeradar 2019 Straatbeeldmonitor*.

<sup>14</sup> Provincie Gelderland (2018). *Koersdocument Duurzame Mobiliteit*

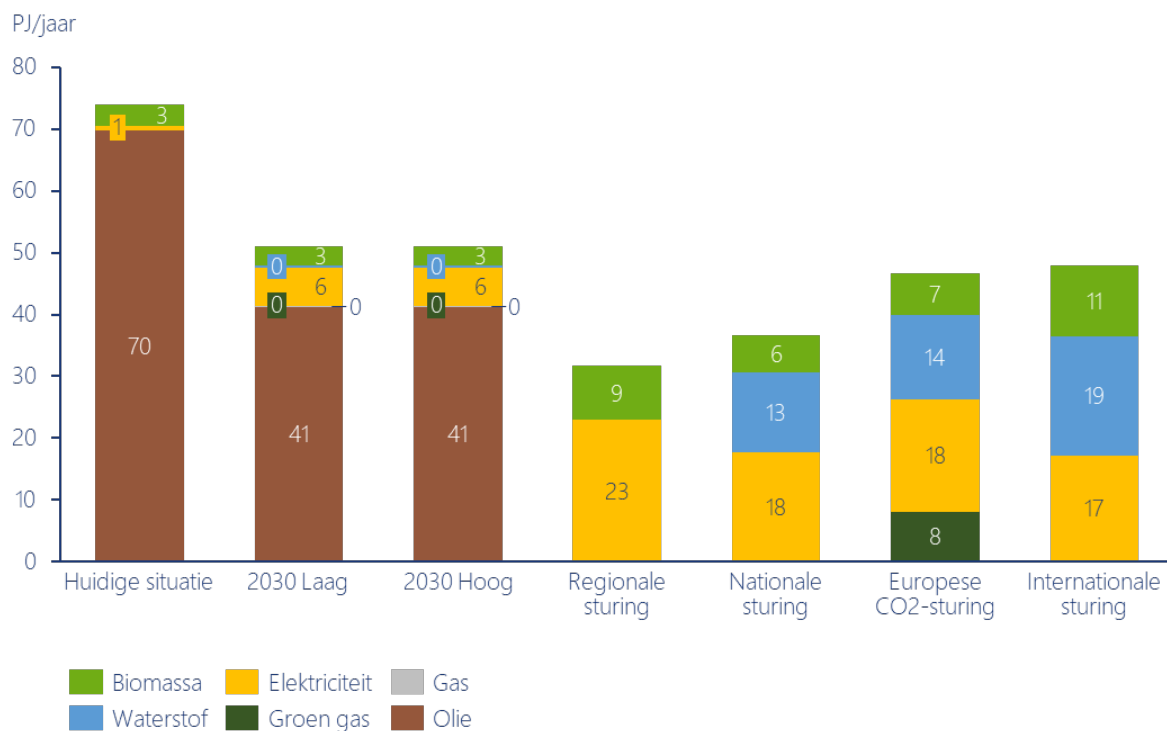
Dit levert een aanvullende vraag naar biobrandstoffen op (0,3 PJ in 2030, 6 PJ in 2050) en daarmee een aanzienlijke biomassa-import van buiten de provincie. In de analyse wordt beschouwd wat mogelijke gevolgen zijn van het wél meenemen van elektrificatie van de binnenvaart.

### Ontwikkeling energievraag mobiliteit

Figuur 17 toont de huidige en verwachte energievraag van mobiliteit in 2030 en 2050, uitgesplitst naar de scenario's. Mede vanwege efficiëntiewinsten en verschuivingen naar elektrisch vervoer daalt de finale energievraag in 2030. De totale finale energievraag in 2050 hangt samen met de gekozen hoekpunten.

De belangrijkste ontwikkeling van de energie-infrastructuur is de grotere vraag naar elektriciteit. Deze is het logische gevolg van de elektrificatie van het personen- en vrachtvervoer. Ook de inzet van biobrandstoffen neemt toe, met name in de 2050-scenario's. Dit is mede het gevolg van de vraag vanuit de binnenvaart, die zoals genoemd in werkelijkheid deels met elektriciteit kan worden ingevuld.

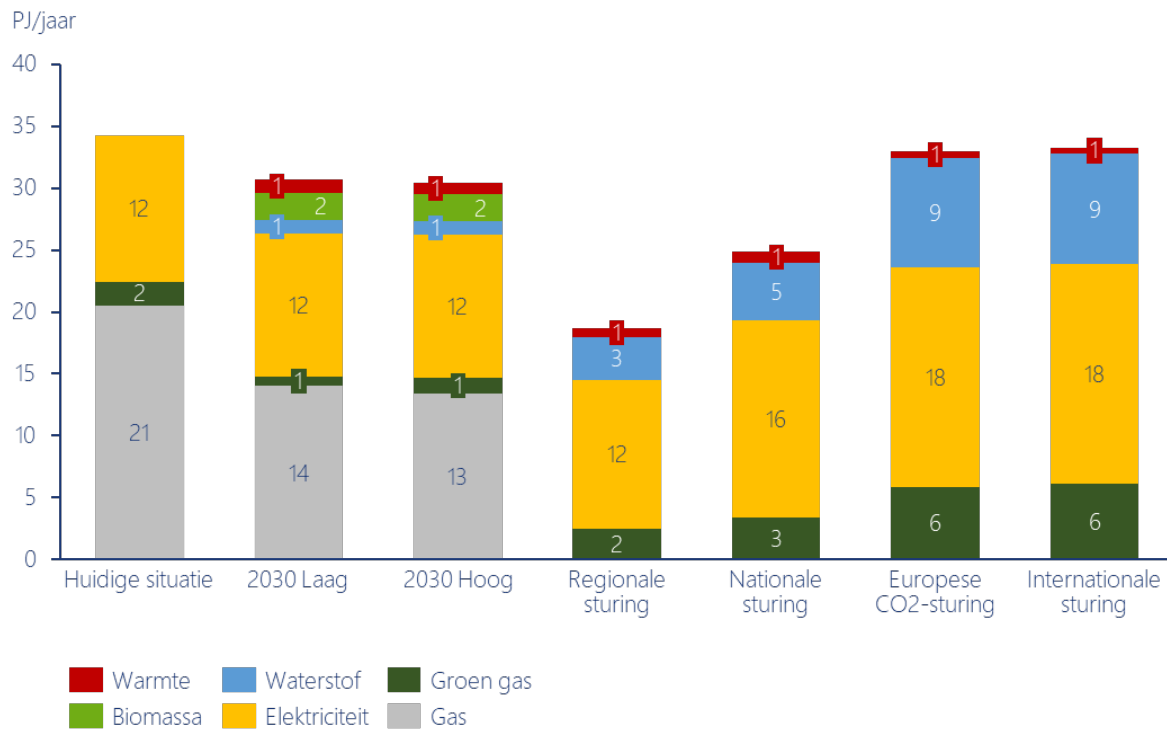
Waterstof speelt op middellange termijn nog nauwelijks een rol, maar is met name in het scenario met Internationale sturing wel doorgebroken. Er wordt aangenomen dat eventuele waterstof-tankstations met behulp van tankwagens voorzien worden.



Figuur 17. Finale energievraag mobiliteit per energiedrager voor de huidige situatie en elk van de scenario's.

#### 4.2.4 Industrie

De industrie in Gelderland is onderdeel van het zogenoemde zesde cluster. Dit is industrie die niet in een geografisch cluster nabij elkaar is gesitueerd, maar verspreid is door het land, bijvoorbeeld de voedingsindustrie, papierindustrie, en keramische industrie. Deze zijn in Gelderland sterk vertegenwoordigd. Overige sectoren zijn beduidend kleiner.



Figuur 18. Finale energievraag industrie per energiedrager voor de huidige situatie en elk van de scenario's.

In Figuur 18 wordt de energievraag van de industrie voor de verschillende scenario's weergegeven. In 2030 is de energievraag lager dan in de huidige situatie, ten gevolge van weinig tot geen groeiverwachting en een toename van energie-efficiëntie. Er is naar verwachting een klein aandeel WKK<sup>15</sup>, die in de figuur wordt gerepresenteerd door 'Warmte'. De hoeveelheid elektriciteitsvraag is nagenoeg gelijk aan de huidige situatie, door een toename van elektrificatie en een afname van de energievraag door toenemende efficiëntie, die elkaar in balans houden. De gasvraag neemt af, zowel door vervanging door elektriciteit, biomassa, of waterstof, als door energie-efficiëntie. Meer details over de aannames omtrent (verschuivingen in) energieverbruik van de Gelderse industrie zijn te vinden in Bijlage 4.

De energievraag in 2050 laat grote verschillen zien tussen de scenario's. De energievraag is het resultaat van productiegroei of krimp enerzijds, en energie-efficiëntie anderzijds. In alle scenario's neemt de energie-efficiëntie toe, en daardoor het verbruik per productie-eenheid af. In het scenario 'Regionale sturing', wordt een krimp van de huidige industriële productie voorzien, terwijl in het scenario 'Nationale sturing' een kleine groei, en in de scenario's 'Europese' en 'Internationale' sturing een grotere groei wordt aangenomen. De 2050-scenario's sluiten aan bij de landelijke scenario's, zodat de hoekpunten van mogelijke uitersten goed in beeld komen. De verwachting is dat de realiteit gematigder is en ergens tussen die hoekpunten in zal liggen.

<sup>15</sup> WKK: warmtekrachtkoppeling: gelijktijdige opwekken van warmte en elektriciteit.

In alle scenario's is een rol voor waterstof en groen gas weggelegd. Bepaalde industrie, met name de industrie die hoge temperatuur warmte nodig heeft, laat zich niet met uitsluitend elektriciteit verduurzamen. Dit is bijvoorbeeld van toepassing op de keramische industrie<sup>16</sup>. Voor de voedingsindustrie hebben we in één van de scenario's een zeer groot aandeel elektriciteit verondersteld, terwijl in andere scenario's meer ruimte is voor groen gas en/of waterstof. In veel gevallen zijn groen gas en waterstof beide technisch geschikt bevonden mogelijkheden, wanneer een gasvormige energiedrager is gewenst. Vaak is dan nog wel innovatie/doorontwikkeling/testen nodig van de verschillende technologieën en de effecten van de alternatieve duurzame brandstoffen op de productkwaliteit. Bovendien moeten deze alternatieven op de productielocatie op enig moment ook daadwerkelijk beschikbaar kunnen zijn.

#### 4.2.5 Landbouw

In de landbouw zijn verwachte ontwikkelingen toegepast op de huidige warmte- en elektriciteitsvraag om de toekomstige vraag vast te stellen. Binnen de landbouw is met name de technologische invulling van de warmtevraag een aandachtspunt in de transitie naar meer duurzame warmtebronnen. Hierbij is rekening gehouden met technische en financiële haalbaarheid en recente projecties van verschillende warmtebronnen, binnen de context van Gelderland. Dit vormt de basis voor de 2030-scenario's. In 2050 sluit de landbouw in grote lijnen aan bij de Klimaatneutrale energiemicroscenari'o's<sup>17</sup>, mits deze niet de Gelderse potentie overschrijden.

In deze sectie worden de belangrijkste aannames en resultaten voor de landbouw besproken. Daarbij wordt eerst de ontwikkeling van de vraag naar elektriciteit en warmte behandeld. Hierna wordt de verschuiving van de ingezette technieken voor warmtevoorziening toegelicht. Ten slotte wordt de resulterende energievraag per energiedrager besproken waarbij de verschillen tussen de scenario's duidelijk worden.

De energievraag in de landbouw bestaat uit twee vormen van energie, warmte en elektriciteit. De ontwikkeling van de elektriciteit is vastgesteld op basis van een jaarlijks groeigetal, te weten 0,88%<sup>18</sup>. Binnen Gelderland is een groter aandeel van de energievraag warmte, onder andere vanwege de glastuinbouw. Aangenomen wordt dat deze jaarlijks met 0,17% krimpt<sup>19</sup>. Dit is van toepassing op de scenario's in 2030 en 2050. De ontwikkelingen zijn minder uitgesproken dan er in de basis wordt aangenomen door de landelijke Klimaatneutrale energiemicroscenari'o's<sup>20</sup>. Deze hanteren een 3% groei van elektriciteitsvraag en 1% krimp van warmtevraag.

---

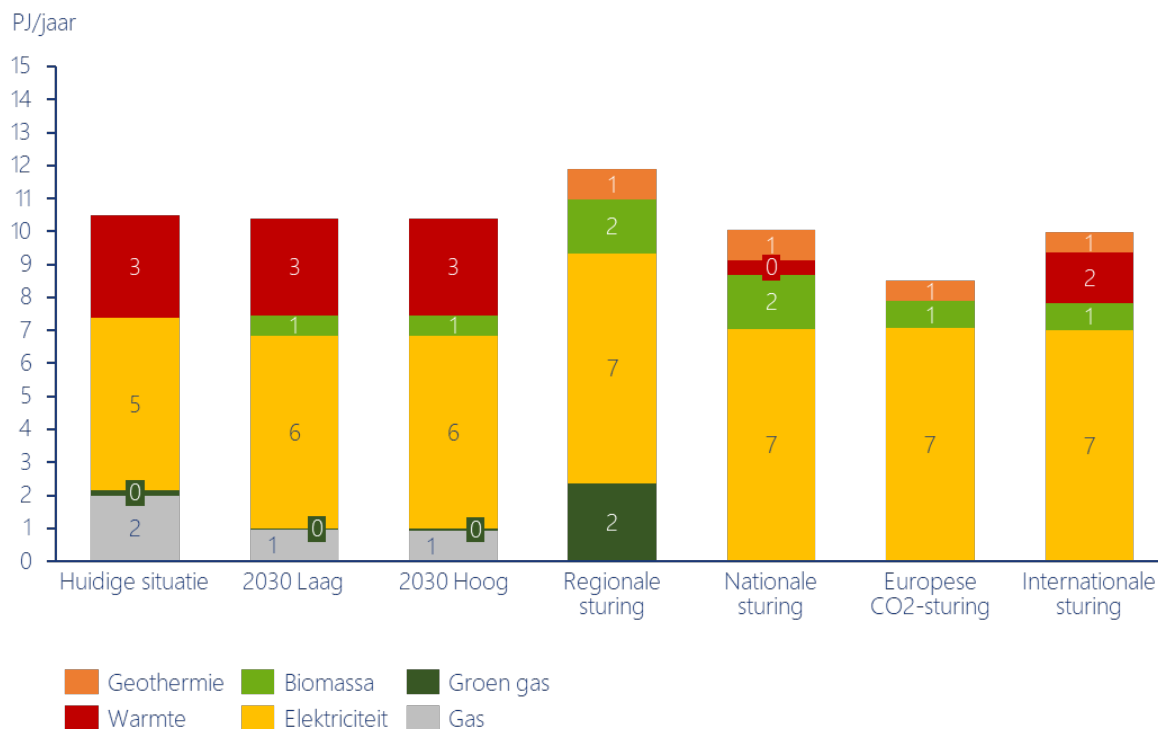
<sup>16</sup> PBL MIDDEN rapport: Besier & Marsidi 2020. *Decarbonisation options for the Dutch ceramic industry*

<sup>17</sup> Berenschot (2020). *Klimaatneutrale energiemicroscenari'o's 2050*.

<sup>18</sup> Planbureau voor de Leefomgeving, 2020. *Klimaat en Energieverkenning 2020*.

<sup>19</sup> Planbureau voor de Leefomgeving, 2020. *Klimaat en Energieverkenning 2020*.

<sup>20</sup> Berenschot (2020). *Klimaatneutrale energiemicroscenari'o's 2050*.



Figuur 19. Finale energievraag landbouw per energiedrager voor de huidige situatie en elk van de scenario's.

Figuur 19 toont de huidige en verwachte energievraag van landbouw in 2030 en 2050, uitgesplit naar de scenario's en energiedragers. Gezien de beperkte groeigetallen verandert de totale energievraag niet significant tot 2030. In 2050 is er minimale verschuiving in de nuttige energievraag. De primaire energievraag, zoals weergegeven in de figuur, varieert echter wel. De scenario's tonen een uitlopende beeld van de totale energievraag. Dit komt doordat de totale energievraag afhangt van de ingezette technologieën, die ieder een andere systeemefficiëntie hebben. Met name tussen de 2050-scenario's met Regionale en Europese sturing verschilt dit sterk. Bij Regionale sturing lijkt de nuttige energievraag te stijgen. Dit komt door de verhoogde inzet van biomassa, een technologie met aanzienlijk lagere systeemefficiëntie dan bodemwarmtepompen, zoals bij Europese sturing. De verhoogde biomassa-inzet komt direct voort uit de inzet van biomassaketels, bij gebrek aan geothermische potentie, en indirect doordat dit scenario sterker leunt op gasgebruik. Binnen dit Regionale scenario is het gasnetwerk volledig voorzien van groen gas.

De belangrijkste ontwikkeling voor de energie-infrastructuur is de grotere vraag naar elektriciteit. Deze is het logische gevolg van de elektrificatie van een deel van de warmtevraag én de verwachte groei van elektriciteitsvraag in de landbouw. Daarnaast is het belangrijk te onderstrepen dat deze figuur een aandeel bevat dat aangegeven wordt met 'warmte'. Dit is een gevolg van de modellering in het ETM, waarbij WKK's alleen ingevuld kunnen worden door een warmtenet in te zetten bij de landbouw. Later wordt in het ETM het aandeel warmtevraag uit de landbouw ingevuld met kleinschalige WKK's. In de 2050-scenario's is gas uit het nationale netwerk volledig groen gas en zullen WKK's op groen gas draaien.

### 4.3 Energieaanbod

De vraag naar energie die in paragraaf 4.2 is toegelicht, wordt geleverd door de opwekking van energie. De huidige energievoorziening is grotendeels gebaseerd op fossiele energiedragers. De opkomst van hernieuwbare energiebronnen neemt de laatste jaren in gestaag tempo toe, waardoor het aandeel fossiel in de energiemix afneemt. In 2030 vertegenwoordigt hernieuwbare energie al bijna 40% van de energiemix. In 2050 wordt uitgegaan van klimaatneutrale invulling van de energiebehoefte.

Fossiele energiedragers zijn weliswaar nog steeds toegestaan, maar er mag netto geen CO<sub>2</sub> vrijkomen. In deze paragraaf wordt ingegaan op het aanbod van energie. Aanvullende informatie is te vinden in Bijlage 6.

### 4.3.1 Elektriciteit

Figuur 20 geeft de elektriciteitsproductie in alle scenario's weer. De huidige vraag naar elektriciteit in Gelderland is circa 40 PJ, ofwel 11 TWh. Het grootste gedeelte daarvan wordt opgewekt buiten Gelderland, omdat in Gelderland nauwelijks centraal productievermogen is opgesteld. Dit is te zien in Figuur 20 waar de vraag vele malen groter is dan de lokale productie. Het verschil wordt opgevangen door de import van elektriciteit.



Figuur 20. Elektriciteitsproductie in de verschillende scenario's

#### 4.3.1.1 Hernieuwbare opwek

Richting 2030 verschuift de opwek van centraal naar decentraal. Hierdoor neemt het verschil tussen vraag en aanbod van elektriciteit in Gelderland af. Het totale aanbod van elektriciteit is afhankelijk van het 2030-scenario. In het scenario 2030 Laag is uitgegaan van het RES-bod. Voor 2030 Hoog scenario's is uitgegaan van de RES scenario's waarin alle zoekgebieden worden gerealiseerd. Daarbovenop is additionele zon-PV en wind op land geprojecteerd zodat de totale CO<sub>2</sub>-emissie in het 2030 Hoog scenario met 55% reduceert ten opzichte van 1990.

Op korte termijn wordt in beide scenario's een sterke toename verwacht van zon op daken van zowel woningen als utiliteiten. Het aanbod van zon-PV op land is klein in vergelijking met het aanbod van zon op daken en wind op land. Dit duidt op een groot potentieel van zon op daken, waardoor efficiënt kan worden omgesprongen met de beschikbare ruimte.

In 2050 wordt uitgegaan van elektriciteitsopwekking waarbij geen netto uitstoot meer afkomstig is van fossiele brandstoffen. In het scenario Regionale sturing is gekozen voor opties die kunnen ontstaan uit lokale initiatieven. Zon op daken (eigen keuze van burger) en wind op land (participatie van burgers in windprojecten) hebben hierin een hoofdrol.



In het scenario Nationale sturing worden vrijwel dezelfde technologieën toegepast als in het scenario Regionale sturing. De regie ligt echter bij de overheid, waardoor van bovenaf wordt bepaald welke projecten waar gerealiseerd worden. Dit geldt voornamelijk voor wind en zon op land.

Het aanbod van elektriciteit binnen Gelderland is in de scenario's Europese CO2-sturing en Internationale sturing kleiner dan in het Regionale en Nationale scenario. In dit scenario worden alleen kosteneffectieve projecten gerealiseerd en zal elektriciteitsimport plaatsvinden indien nodig. De piekvraag wordt in dit scenario opgevangen door gas- of waterstofcentrales buiten Gelderland. Zonne- en windenergie

Het huidige aanbod van zonne- en windenergie is klein in vergelijking met de geprognosticeerde waarde voor de 2030 en 2050-scenario's. Het vermogen zon-PV bedraagt circa 1,35 GW in 2020. In 2030 groeit dit vermogen door naar 6 GW in het scenario 2030 Laag en ruim 8 GW in het scenario 2030 Hoog. Een aanzienlijk deel van dit vermogen wordt gerealiseerd op daken, zodat de ruimtelijke impact beperkt blijft. In de 2050-scenario's neemt het vermogen zon-PV vooral toe in het Regionale en Nationale scenario. In het Europese en Internationale scenario groeit het vermogen langzaam ten opzichte van het scenario 2030 Laag. Het vermogen is zelfs vergelijkbaar met het scenario 2030 Hoog.

Het vermogen wind op land groeit naar 0,8 GW in het scenario 2030 Laag en 1,3 GW in 2030 Hoog. In het Regionale en Nationale scenario groeit dit vermogen door naar 2,6 GW. Dit betekent dat er een groot aantal windturbines gerealiseerd zal moeten worden. In het Europese en Internationale scenario blijft het vermogen 1,3 GW.

#### 4.3.1.2 AVI's

Het huidig opgesteld vermogen van afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) blijft in alle scenario's aanwezig. De verhouding tussen elektriciteits- en warmteproductie verschuift in de toekomst wel<sup>21</sup>. De verschuiving naar warmteproductie vindt plaats doordat er een grote warmtebehoefte ontstaat door de groei van warmtenetten. In de 2030-scenario's wordt de elektriciteitsproductie afgebouwd en de productie van warmte vergroot. Dit geldt voor zowel de ARN in Weurt als de AVR in Duiven. Richting 2050 zal de circulaire trend naar verwachting sterk merkbaar zijn. De hoeveelheid afval zal hierdoor reduceren. Het is daarom onzeker of de vermogens in Tabel 2 realiseerbaar zijn in 2050.

Tabel 2. Ontwikkeling elektriciteits- en warmteproductie AVI's

	Eenheid	ARN	AVR <sup>22</sup>
Elektriciteitsproductie huidige situatie	MWe	21,5	15
Elektriciteitsproductie 2030	MWe	13	25,5
Elektriciteitsproductie 2050	MWe	8,5	25,5
Warmteproductie huidige situatie	MWth	11	35
Warmteproductie 2030	MWth	33	40
Warmteproductie 2050	MWth	55	40

<sup>21</sup> Interviews met ARN en AVR.

<sup>22</sup> Berekend o.b.v. 7000 vollasturen

#### 4.3.1.3 WKK's

WKK's vormen een belangrijke bron van elektriciteit, warmte en CO<sub>2</sub> voor met name de glastuinbouw en voor een deel van de industrie. De verwachting is dat WKK's de komende jaren minder vollasturen zullen draaien. Daardoor zal de productie door WKK's naar verwachting afnemen, hoewel het opgestelde vermogen tot 2030 nog beperkt daalt<sup>23,24</sup>. De levering van afgevangen CO<sub>2</sub> van de ARN-centrale aan glastuinbouwbedrijven kan deze afschakeling versnellen<sup>25</sup>. Richting 2050 houdt Liander er rekening mee dat WKK's volledig zullen verdwijnen, waarbij het elektriciteitsnetwerk in staat moet zijn om de resulterende aanvullende elektriciteitsvraag te kunnen invullen invullen<sup>24</sup>.

Binnen deze systeemstudie is er rekening mee gehouden dat (bio)WKK's beperkt blijven bestaan in de 2050-scenario's. De inschatting van het opgestelde vermogen in 2030 per buurt is daarbij aangehouden als verdeelsleutel voor het resterende opgestelde vermogen in 2050.

#### 4.3.1.4 Centrales

In deze studie is ervoor gekozen om geen (waterstof-) back-upcentrale binnen Gelderland mee te nemen, omdat er momenteel ook geen grote elektriciteitscentrales in Gelderland aanwezig zijn. Op momenten van weinig hernieuwbare opwek en/of grote elektriciteitsvraag zal geïmporteerd moeten worden vanuit andere regio's of het buitenland (interconnectie met Duitsland tussen Doetinchem en Wesel) als flexibiliteitsopties niet toereikend zijn.

Het is overigens niet uit te sluiten dat er één of meerdere back-up/peiklastcentrales gebouwd zullen worden in Gelderland als gevolg van ingrijpende veranderingen in de Nederlandse energievoorziening. Bijvoorbeeld door de komst van Power-to-Gas in de regio. De impact die dat zou hebben op de infrastructuur is groot, maar pas zinnig om mee te nemen in een doorrekening als de noodzaak en/of locatie ervan bepaald zijn. Bij locatiekeuze zou ook rekening gehouden kunnen worden met capaciteit van infrastructuur.

#### 4.3.1.5 Import

Door het ontbreken van centrales is Gelderland momenteel afhankelijk van elektriciteitsimport. In de toekomst wordt deze afhankelijkheid kleiner doordat de elektriciteitsproductie binnen Gelderland toeneemt uit hernieuwbare bronnen. Deze productie is aanbod gestuurd, en niet – zoals het geval is bij huidige (fossiele) elektriciteitscentrales – vraag gestuurd. Daarmee zit er ongelijktijdigheid tussen vraag en aanbod, en is er import en export nodig van elektriciteit tussen de provincie Gelderland en de omliggende netten. Dat is geen probleem, zolang netten de capaciteit hebben om deze energie uit te wisselen. Flexibiliteitsoplossingen zorgen ervoor dat minder uitwisseling nodig is en er meer lokaal wordt opgelost, waardoor de netten minder worden belast. Ook met toepassen van flexibiliteit zal er nog een mate van in- en export plaatsvinden.

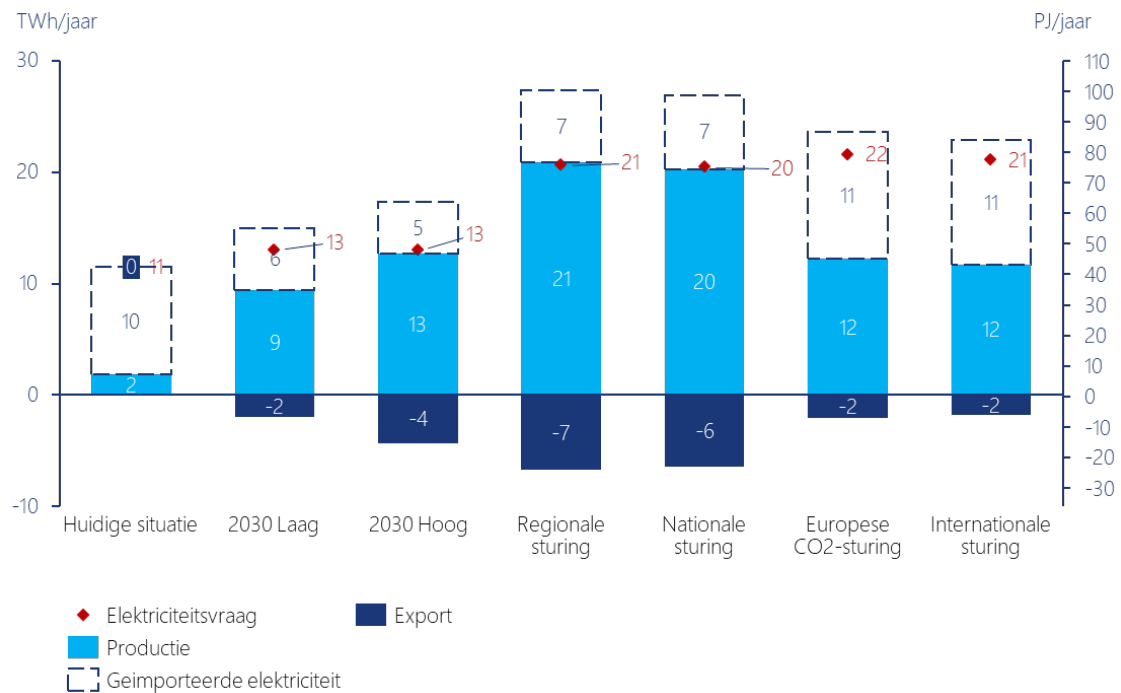
De impact van ongelijktijdigheid tussen elektriciteitsvraag en -aanbod op de jaarbalans wordt weergegeven in Figuur 21. In deze figuur is zowel de totale vraag naar elektriciteit, de lokale productie als de import- en export weergegeven. In alle scenario's wordt ook elektriciteit geëxporteerd op momenten dat de lokale productie groter is dan de vraag. Met name in de zelfvoorzienende scenario's (Regionale sturing en Nationale sturing) is de lokale productie van elektriciteit groot, waardoor er veel momenten per jaar op zullen treden dat de lokale productie de vraag overschrijdt. In het scenario Regionale sturing wordt op jaarbasis 7 TWh geëxporteerd, terwijl er ook 7 TWh geïmporteerd wordt. In het scenario Nationale sturing is dit ook het geval. Voor beide scenario's geldt dat de jaarbalans ongeveer op nul uitkomt. Een deel van de momenten dat Gelderland elektriciteit zal exporteren gaat waarschijnlijk gepaard met gelijktijdige overschotten in andere regio's.

<sup>23</sup> PBL (2020). *Klimaat- en Energieverkenning 2020*.

<sup>24</sup> Liander. *Prognose opgesteld vermogen WKK in glastuinbouw 2030 en 2050*.

<sup>25</sup> Trouw (2018). *Glastuinbouwers staan in de rij voor het CO<sub>2</sub> van de vuilverbrander*. Geraadpleegd op: <https://www.trouw.nl/nieuws/glastuinbouwers-staan-in-de-rij-voor-het-co2-van-de-vuilverbrander~bce7d1e6/>

Het is aannemelijk dat het zonnig weer is of er juist harde wind waait in Overijssel als dat in Gelderland ook het geval is. Export van elektriciteit is dus niet zonder meer oplossing voor elektriciteitsoverschotten.



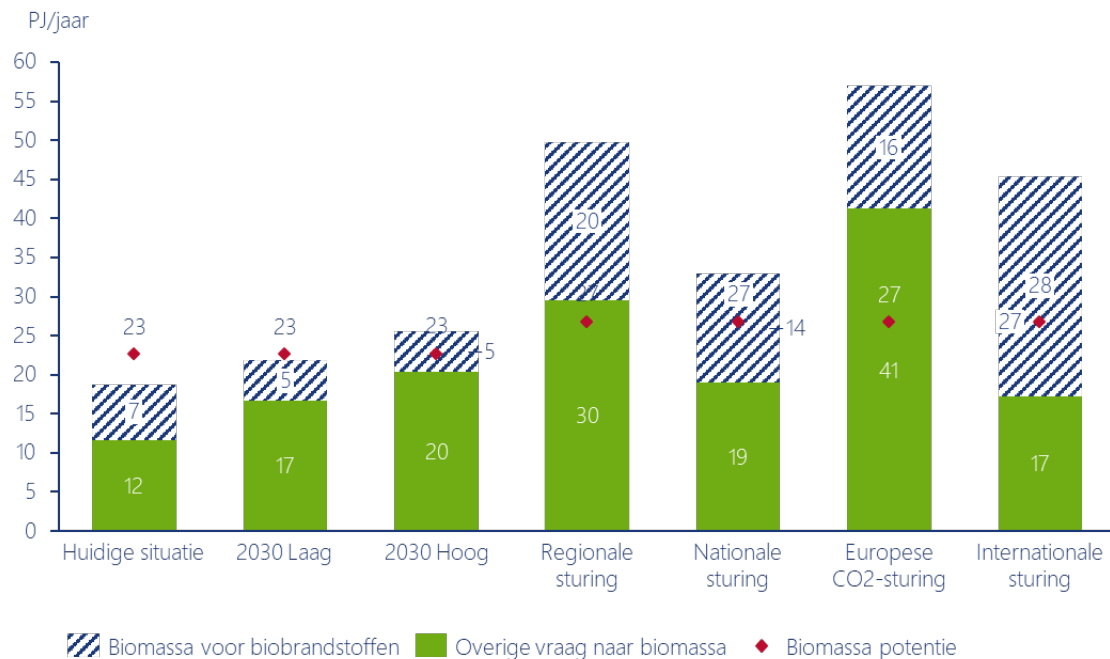
Figuur 21. Elektriciteitsbalans. De elektriciteitsvraag ligt hoger omdat verliezen en conversie door flexibiliteitsoplossingen zijn meegenomen.

#### 4.3.2 Biomassa

De potentie van biomassa in Gelderland wordt geschat op circa 27 PJ<sup>26</sup>. De meeste biomassa is beschikbaar in de vorm van natte biomassa. Alleen in het scenario 2030 Laag is er voldoende biomassa beschikbaar om aan de lokale vraag te voldoen. In alle 2050-scenario's is veel import van biomassa nodig. Dit komt met name vanwege de aanname dat alle binnenvaart op bio-LNG zal varen. Het is niet ondenkbaar dat richting 2050 nieuwe technologieën ontwikkeld zullen worden. Een elektrische aandrijflijn of varen op ammoniak of methanol zijn andere voorbeelden van dergelijke technologieën. Wanneer de binnenvaart niet op bio-LNG zal varen reduceert de vraag naar biomassa sterk. Dit wordt weergegeven in Figuur 22, waar bio-LNG onderdeel uitmaakt van biobrandstoffen.

Er is een mate van uitwisselbaarheid tussen groen gas en waterstof. In de scenario's is daar op basis van de verhaallijnen en vanuit input van de industrie een verdeling in aangenomen, maar afhankelijk van beschikbaarheid kan er ook een andere verdeling zijn.

<sup>26</sup> Gasunie (2018). *Verkenning 2050*. Geschaald naar Gelderland



Figuur 22. Biomassa potentie en vraag naar biomassa

#### 4.3.3 Methaan

In Gelderland is er beperkte gaswinning. In de buurt van Zaltbommel wordt gas uit gasveld Brakel gewonnen<sup>27</sup>. Naast aardgas wordt er binnen Gelderland ook groene methaan geproduceerd. Enerzijds wordt er lokaal biogas geproduceerd. Anderzijds wordt er groen gas geproduceerd door biogas op te waarden. Op veel locaties wordt biogas direct ingezet, waardoor er geen methaan ingevoerd wordt in de gasinfrastructuur.

#### 4.3.4 Waterstof

In Gelderland zal in 2050 groene waterstofproductie plaatsvinden door middel van elektrolyzers op momenten dat er sprake is van elektriciteitsoverschotten. Het vermogen van elektrolyzers is afhankelijk van de hoeveelheid systeemflexibiliteit in de scenario's. In paragraaf 6.3 **Error! Reference source not found.** wordt systeemflexibiliteit besproken. Daarnaast zal er waterstof geïmporteerd worden door middel van de waterstofbackbone. Afhankelijk van het scenario kan dit zowel groene als blauwe waterstof zijn.

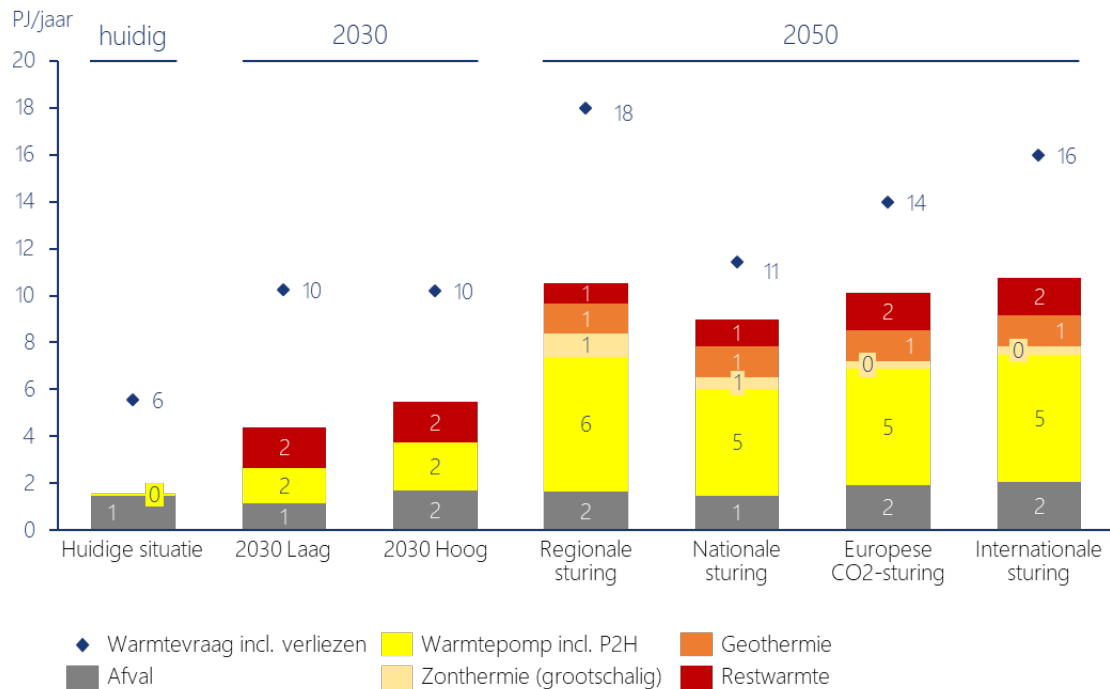
#### 4.3.5 Warmte

In Gelderland staan twee AVI's waarmee warmte wordt geproduceerd, zie paragraaf 4.3.1.2. Daarnaast zijn er mogelijkheden binnen de industrie om kleine hoeveelheden restwarmte te exporteren. Het potentieel wordt geschat op circa 1,7 PJ in 2030. De verwachting is dat dit potentieel na 2030 reduceert omdat er efficiënter zal worden omgegaan met energie.

De versnipperde locaties van de industrie met hoge temperaturen maken exporteren van warmte lastig. Met name binnen de keramische industrie vinden veel hoge temperatuurprocessen plaats waarbij veel restwarmte vrijkomt die elders ingezet zou kunnen worden. De locaties van deze fabrieken, in de uiterwaarden van de rivieren, maken het exporteren van warmte zeer lastig omdat de transportafstanden groot zijn.

<sup>27</sup> TNO (2016). *Seismiciteit onshore gasvelden Nederland*

Geothermie heeft een beperkt potentieel in Gelderland. In de land- en tuinbouwsector wordt het realistisch potentieel geschat op 0,9 PJ<sup>28</sup>. Voor de gebouwde omgeving wordt het realistisch potentieel geschat op 1,3 PJ.



Figuur 23. Warmtevraag en beschikbare warmte exclusief groengas en biomassa.

Figuur 23 geeft de warmtevraag en de beschikbare hoeveelheid warmte. In elk scenario is er een tekort aan warmte dat ingevuld wordt met biomassa en boilers op groen gas. Het heeft niet de voorkeur om basislastwarmte te produceren met behulp van ketels, omdat dit geen efficiënte manier is om warmte te produceren. Basislast betekent dat warmte gelijkmatig geproduceerd wordt over het hele jaar, waardoor de productie een vlak profiel kent. De basislastwarmtevraag kan daarom het beste worden ingevuld door geothermie of restwarmte, omdat beide bronnen een vlak productieprofiel kennen. Bovendien is het aanbod van vaste biomassa en groen gas beperkt, waardoor er maar beperkte warmteproductie vanuit deze energiedragers mogelijk is. Inzet van vaste biomassa en groen gas gebeurt daarom bij voorkeur tijdens piekvraag.

<sup>28</sup> Het realistische potentieel is bepaald op basis van een match tussen vraag- en aanbod van warmte op buurtniveau. Hieraan ten grondslag ligt de studie Berenschot en Panterra (2020). Potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron.

## 5. Huidige infrastructuur

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de impact van de scenario's op de huidige energie-infrastructuur in Gelderland. Eerst wordt algemene informatie gegeven over de huidige netten. Vervolgens wordt er ingegaan op de knelpunten in de huidige infrastructuur wanneer de scenario's werkelijkheid zouden worden.

### 5.1 Samenvatting infrastructuur

In de systeemstudie wordt de impact van de energievraag op de infrastructuur doorgerekend en geanalyseerd. De huidige energie-infrastructuur kan worden opgedeeld in drie onderdelen: het elektriciteitsnet, de gasnetten, en warmtenetten.

Het elektriciteitsnet kent onderscheid tussen het landelijke transportnet (beheerd door TenneT), en het regionale distributienet (beheerd door Liander). Het transportnet kent in Gelderland spanningsniveaus van 110, 150 en 380 kV en is voornamelijk bedoeld voor transport van grote hoeveelheden elektriciteit op landelijk niveau. Op dit net zijn grote elektriciteitsproducenten, zoals elektriciteitscentrales en windparken aangesloten. Ook zeer grote elektriciteitsafnemers worden op dit niveau aangesloten.

TenneT is verantwoordelijk voor de balanshandhaving in het elektriciteitsnet. Dit betekent dat productie en consumptie van elektriciteit met elkaar in balans zijn. Dit wordt momenteel met name geregeld door aansturing van grote elektriciteitsproducenten en afnemers. Door de toename van hernieuwbare opwekcapaciteit en elektrificatie van sectoren wordt de onbalans in het net groter. Om de balans te handhaven zal er in de toekomst meer flexibel vermogen nodig zijn.

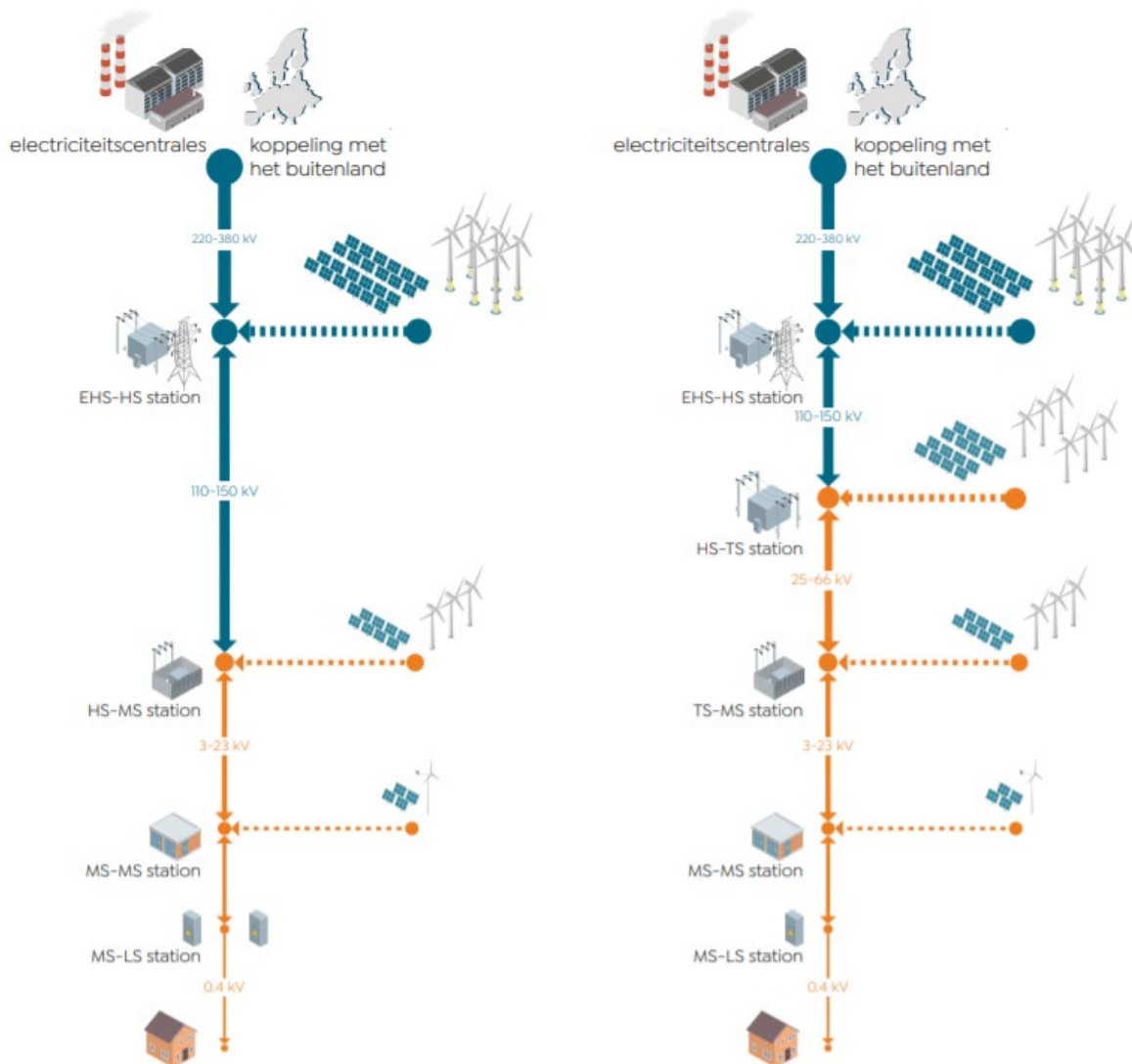
Het transportnet is met koppelstations gekoppeld aan het regionale distributienet van Liander. Het distributienet kent ook weer verschillende spanningsniveaus en is op te delen in het tussen- midden- en laagspanningsnet (TS-MS-LS). Het TS-niveau heeft een spanning tussen 23 en 66 kV. Daaronder vindt zich het MS-niveau met een spanning van 1 tot 23 kV. TS en MS wordt gebruikt voor elektriciteitstransport op regionaal niveau. Op beide spanningsniveaus worden windparken, zonneparken en diverse industriële sectoren aangesloten. Het laagspanningsniveau (0,4 kV) verzorgt de lokale distributie van elektriciteit naar kleine afnemers. Voorbeelden zijn woningen, publieke laadpalen en utiliteiten.

Het elektriciteitsnet krijgt de nadruk in deze systeemstudie, omdat daar de uitdaging het grootst is. Dat neemt niet weg dat er ook een opgave is voor gasnetten en warmtenetten. De huidige hoofdinfrastructuur voor gas valt onder Gasunie voor het landelijk transportleidingnet, en onder Liander voor het regionale distributienet. Warmtenetten worden als infrastructuur niet doorgerekend, maar wel wordt aangegeven wat de hoeveelheid warmte in de verschillende scenario's is. In de huidige situatie wordt de meeste warmte aan warmtenetten geleverd door grote installaties, zoals de afvalverbrandingsinstallaties AVR en ARN. Daarnaast zijn er ook kleinschaligere, bottom-up initiatieven, en worden er vaak meerdere bronnen gecombineerd om het warmtenet van warmte te voorzien.

### 5.2 Het elektriciteitsnet

Het elektriciteitsnet kent onderscheid tussen hoog-, midden- en laagspanning. Figuur 24 geeft schematisch weer hoe het Nederlandse elektriciteitsnet is ingericht. Het hoogspanningsnet met spanningsniveaus van 380, 150 en 110 kV is voornamelijk bedoeld voor elektriciteitstransport. Op dit net zijn grote elektriciteitsproducenten, zoals elektriciteitscentrales, wind- en grote zonneparken aangesloten. Ook zeer grote elektriciteitsafnemers worden op het hoofdspanningsnet aangesloten.

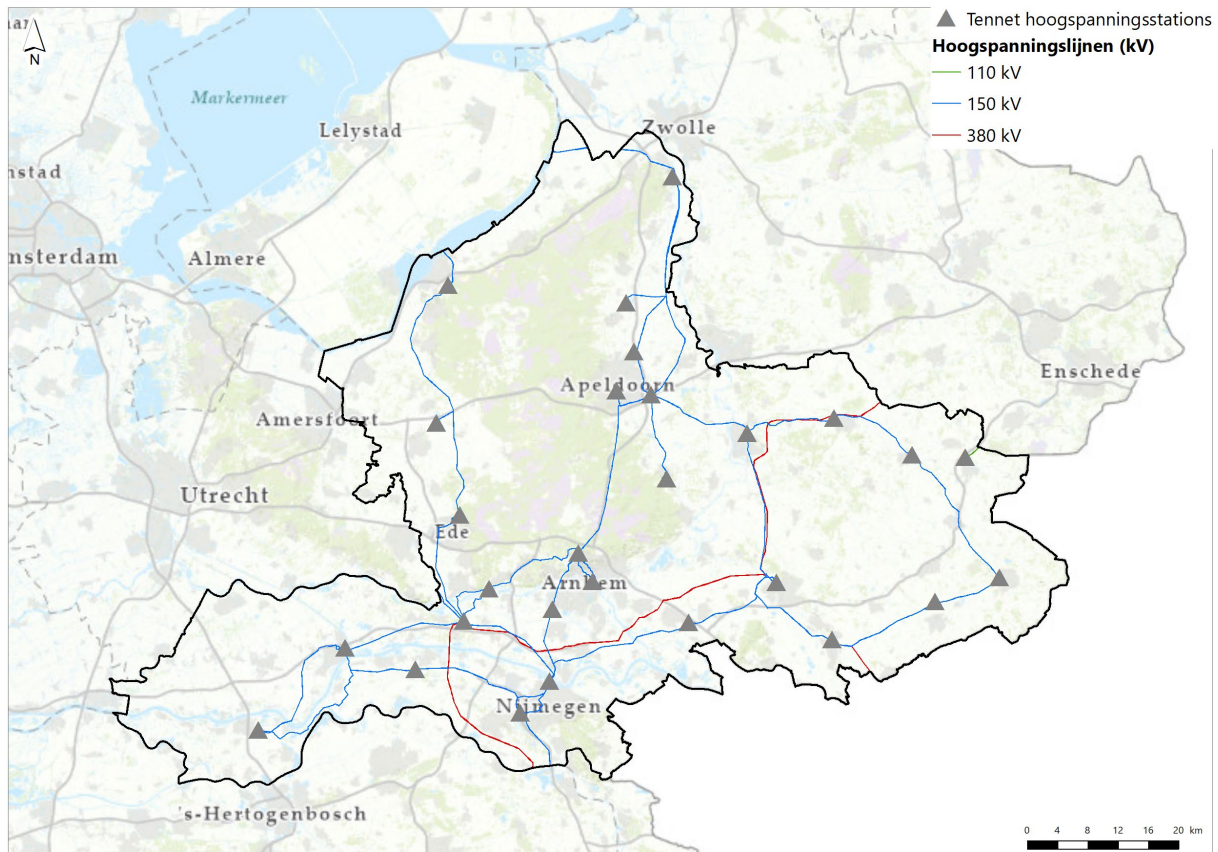
Onder het hoogspanningsnet bevindt zich het tussen- en/of middenspanningsnet. Het tussenspanningsniveau heeft een spanning tussen 23 en 66 kV. Daaronder vindt zich het middenspanningsniveau met een spanning van 1 tot 23 kV. Op beide spanningsniveaus worden kleinere windparken, reguliere zonneparken en diverse industriële sectoren aangesloten. Ook snellaadstations voor mobiliteitsdoeleinden worden op het middenspanningsnet aangesloten vanwege de grote piekbelasting die deze kunnen veroorzaken. Het laagspanningsniveau (0,4 kV) verzorgt de distributie van elektriciteit naar kleine afnemers. Voorbeelden zijn woningen, publieke laadpalen en utiliteiten. Ook kan er elektriciteit door het laagspanningsnet worden opgenomen. Bijvoorbeeld door zon-PV op daken van woningen.



Figuur 24. Spanningsniveaus in het elektriciteitsnet. Bron: Netbeheer Nederland







Figuur 26. TenneT hoogspanningsstations en hoogspanningsverbindingen in Gelderland

De huidige elektriciteitsinfrastructuur in Gelderland is - zoals in heel Nederland - aangelegd op basis van de vraag naar elektriciteit. Dit is terug te zien in de topologie van het distributienet dat voornamelijk rondom steden en dorpen gelegen is. Figuur 26 geeft een geografische weergave ervan en laat alleen de stations en netten binnen Gelderland zien. Hierin is duidelijk te zien dat landelijke gebieden minder stations en netten hebben. Ze zijn gebouwd op minder capaciteit, omdat daar van oudsher minder behoefte aan was. In de stedelijke omgeving zijn meer stations en liggen de lijnen dicht bij elkaar, omdat daar de vraag, en daarmee de behoefte aan transport van capaciteit, van oudsher hoger was.

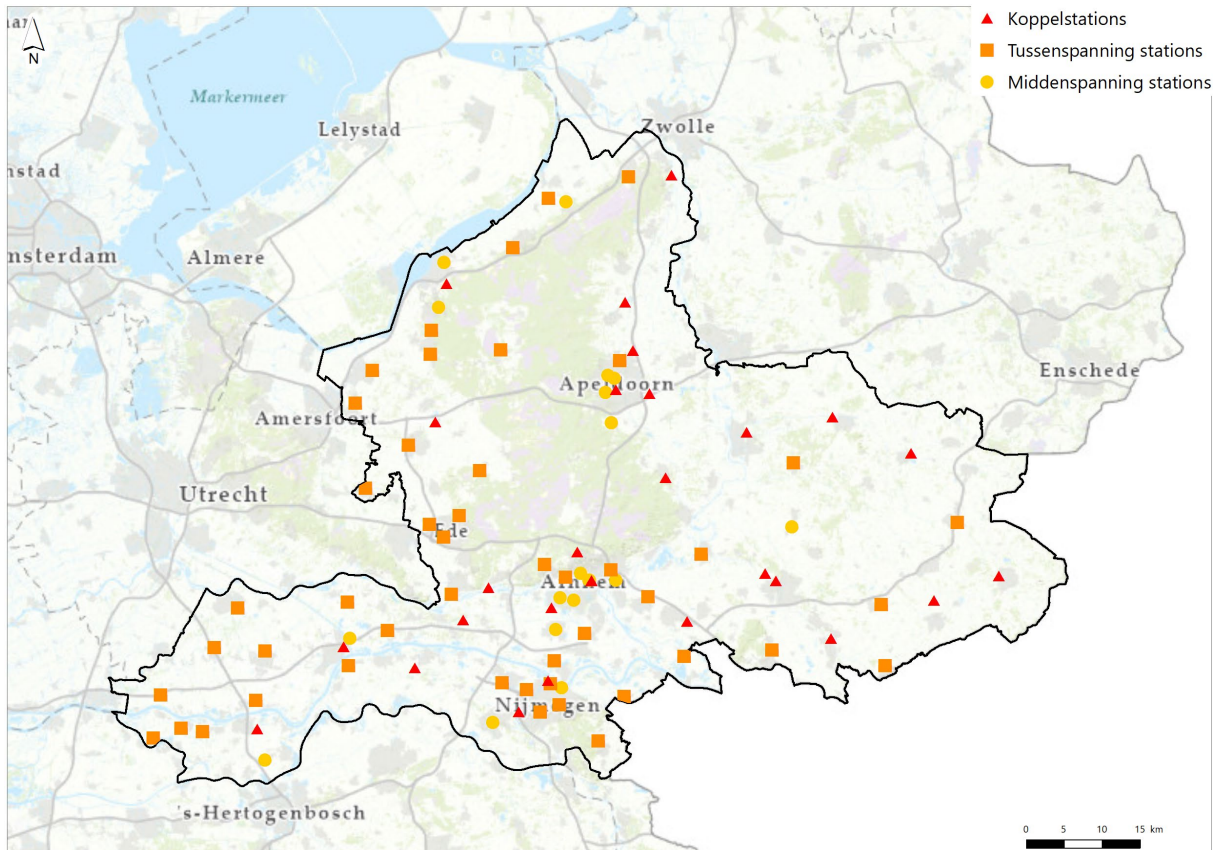
De balans op het elektriciteitsnet wordt door TenneT gewaarborgd. Aanbod en vraag van elektriciteit moeten continu met elkaar in balans zijn. Door aanbod op- of af te schakelen wordt van oudsher aan de vraag naar elektriciteit voldaan. Doordat er nu ook flexibel aanbod van elektriciteit bestaat, die de productie van energie door zon en/of wind volgt, wordt de uitdaging om de balans in het net te houden steeds groter. Daarnaast gaat deze ontwikkeling gepaard met zwaardere belasting van netten in landelijke gebieden, die niet op grote capaciteit zijn gebouwd. Doorgaans vindt de balanshandhaving met name plaats door regulaties op hoogspanningsniveau. In deze systeemstudie wordt meegenomen dat balanshandhaving op een lager spanningsniveau (< 110 kV) wordt geassisteerd door middel van de inzet van systeemflex in de netten van de regionale netbeheerder. Dit komt uitgebreid aan bod in hoofdstuk 6.

### Distributie elektriciteitsnetten

Het distributienet wordt in Gelderland beheerd door Liander. Het distributienet is verbonden aan het transportnet door middel van koppelstations. Daaronder bevindt zich het tussen- en middenspanningsniveau (TS en MS), waarna distributie in wijken plaatsvindt op het laagspanningsniveau.

In deze systeemstudie wordt specifiek aandacht besteed aan het 150 kV-hoogspanningsnet en de koppelstations in het distributienet. De koppelstations zijn in Figuur 24 aangegeven als HS-MS en HS-TS stations. In Gelderland zijn momenteel 28 koppelstations aanwezig waar het transportnet van TenneT aan het distributienet van Liander is gekoppeld. Er wordt nader ingegaan op deze koppeling tussen het omdat dit één van de belangrijkste componenten in het elektriciteitsnet is.

Daarnaast zijn er in Gelderland 13 tussenspanning stations en 51 middenspanning stations, weergegeven in Figuur 27 (in Figuur 24 aangeduid als TS-MS en MS-MS stations). Ook de impact van de scenario's op deze netvlakken komt aan bod.



Figuur 27. Overzicht HS-, TS- en MS stations van Liander in Gelderland

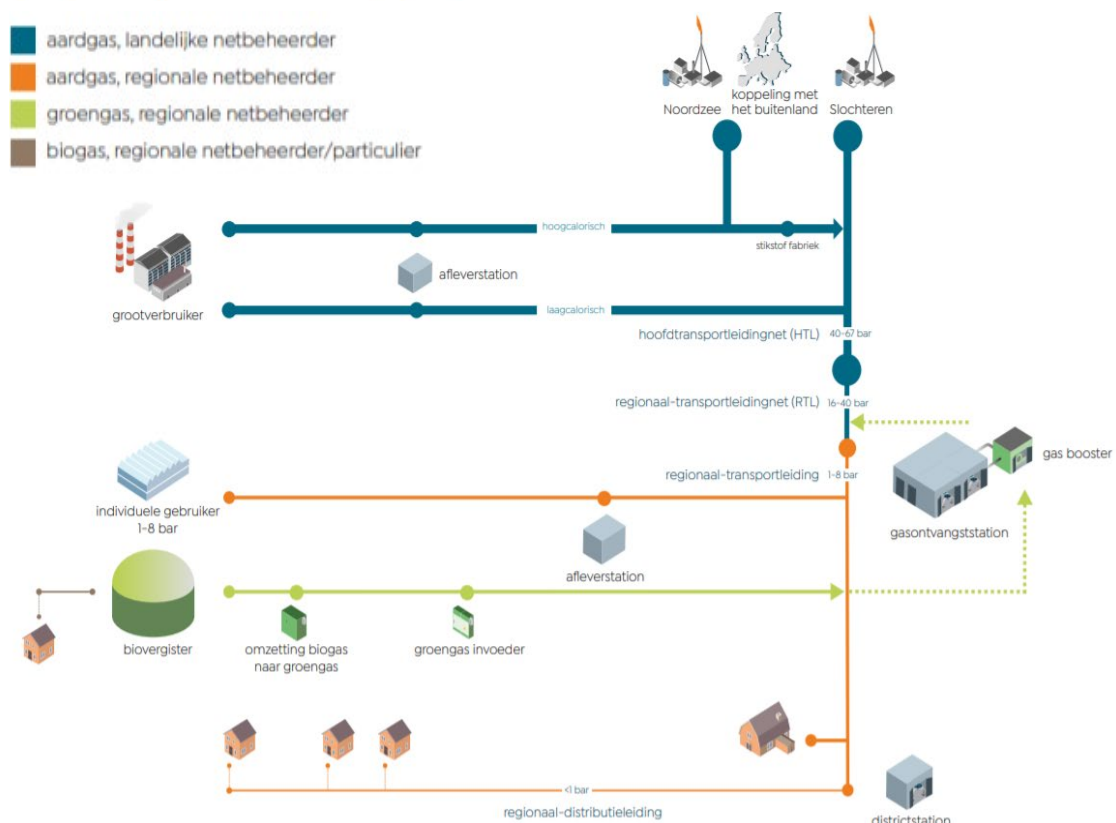
### Ontwikkelingen in het elektriciteitsnet

Op dit moment wordt het hoogspanningsnet al uitgebreid om te voorzien in de groei van duurzame opwek en het deels oplossen van de huidige transportschaarste. Onderdeel hiervan is het creëren van een zogenaamde 'pocket-structuur' in het 150 kV-net. De bestaande 150 kV-verbindingen worden open gezet, waardoor er kortere lijnen ontstaan en 'sluipverkeer' wordt tegengehouden. Deze 'pocket-structuur', ook wel deelnetten genoemd, zorgt ervoor dat de functie van het 150 kV-net verschuift van transport naar distributie. Hierdoor wordt het distributienet (de lagere netvlakken) ontlast. Als gevolg van deze 'pocket-structuur' kan er meer elektriciteit van het distributienet op het 150 kV-net worden gebracht.

Er zijn ook reeds geplande verzwaringen van het distributienet in de Gelderland. Verhoging van de capaciteit van de 150 kV-stations van Borculo en Doetinchem is reeds gepland, terwijl op de stations van Hattem en Harderwijk het aantal beschikbare velden wordt uitgebreid om nieuwe aansluitingen mogelijk te maken.

### 5.3 De gasnetten

Het Nederlandse gastransportnet wordt beheerd door GTS. Het ontwerp van het Nederlandse gasnet is schematisch weergegeven in Figuur 28. Onder hoge druk wordt het gas getransporteerd door heel Nederland via het hoofdtransportleidingnet (HTL). Vanwege verschillende calorische waarden van gassen bestaat het hoofdtransportleidingnet uit meerdere leidingen die elk een bepaald type gas transporteren. Vervolgens wordt het gas verder getransporteerd via het regionale transportleidingnet (RTL) dat eveneens in beheer is van GTS. Verdere distributie van gassen wordt verricht door de regionale netbeheerders. In Gelderland is dit Liander.



Figuur 28. Verschillende typen gasnetten in Nederland

#### Ontwikkelingen in de gasnetten

De energietransitie heeft ook zijn weerslag op de gasnetten. Allereerst neemt de vraag naar methaan af doordat Nederland “van het gas af” moet. Daarnaast wordt er meer gebruik gemaakt van groengas en zal waterstof een belangrijke rol gaan spelen in de energietransitie. Passende infrastructuur is hiervoor benodigd.

Binnen de glastuinbouw blijft een grote behoefte bestaan aan CO<sub>2</sub>. Door deze CO<sub>2</sub> niet zelf te produceren door WKK's, maar af te vangen bij industriële processen en uit te koppelen naar de glastuinbouw, kan verduurzaming plaatsvinden. Een voorbeeld hiervan is de uitkoppeling van afgevangen CO<sub>2</sub> van AVR naar glastuinbouwgebied NEXTgarden<sup>29</sup> Ook hiervoor is infrastructuur benodigd.

<sup>29</sup> Het zesde cluster (2020). *Klimaattransitie door de Nederlandse industrie*.

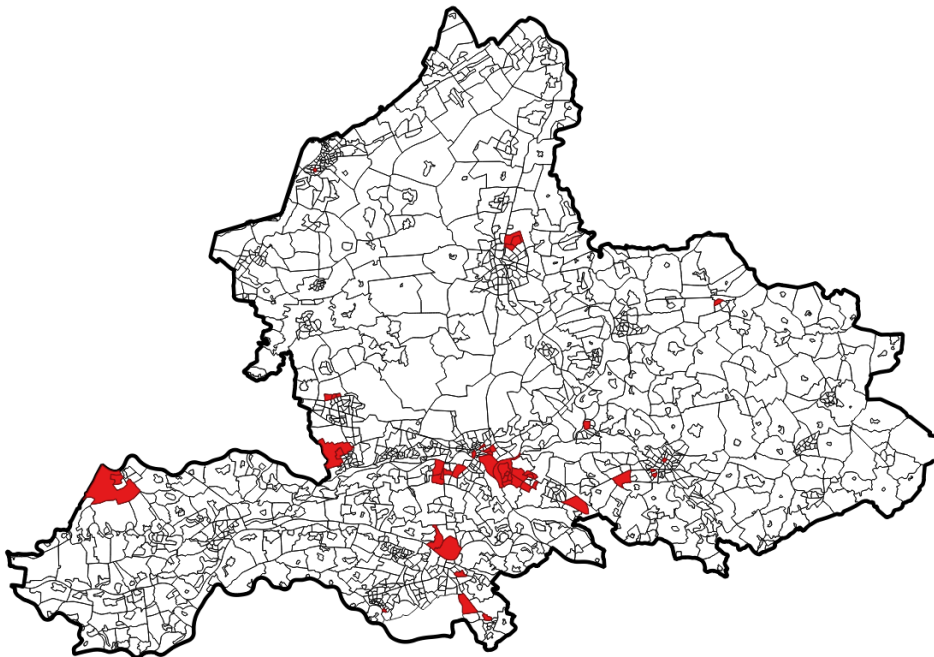
Al deze ontwikkelingen hebben als gevolg dat het aantal gassoorten dat getransporteerd moet worden toeneemt. Momenteel zijn dat twee soorten (hoog- en laagcalorisch gas), in de toekomst drie (groene methaan, waterstof en CO<sub>2</sub>), terwijl in de transitiefase er mogelijk vier soorten zijn (hoog- en laagcalorisch gas, waterstof en CO<sub>2</sub>).

Dit betekent dat de complexiteit in het gasnet toeneemt en dat er voor deelgebieden keuzes gemaakt moeten worden in de inrichting van het gasnet om de juiste gassen te kunnen transporteren.

Momenteel wordt gewerkt aan de realisatie van de waterstofbackbone die ook deels in Gelderland zal liggen. De waterstofbackbone maakt onderdeel uit van het HTL en heeft een zeer grote transportcapaciteit waarmee grote volumes waterstof door Nederland getransporteerd kunnen worden.

#### 5.4 De warmtenetten

Warmtenetten zullen een belangrijke rol spelen in de verduurzaming van stedelijke gebieden. Op dit moment zijn er al warmtenetten in gebruik op verschillende locaties in de provincie, weergegeven in Figuur 29. In 2020 was de warmtelevering via warmtenetten in Gelderland 1,5 PJ<sup>30</sup>, volgens het Nationaal warmtenet-tendrapport. Daarin wordt groei verwacht richting 3,2 PJ warmte in warmtenetten in 2030. Op dit moment zijn de grootste warmtenetten in Nijmegen en in Arnhem, en deze zijn aangesloten op de afvalverbrandingsinstallaties, zoals genoemd in paragraaf 4.3.1.2 De AVI's leveren op dit moment ook de grootste bijdragen aan de warmte in warmtenetten.



Figuur 29. Bestaande warmtenetten (in rood) in de regio<sup>31</sup>.

Andere locaties in Gelderland die op dit moment zijn aangesloten aan een warmtenet zijn te vinden in Culemborg, Apeldoorn, Zevenaar, Doetinchem, Doesburg, Wageningen, Ede, Berg en Dal en Wijchen. Ede wordt bediend met warmte uit lokale biomassa.

<sup>30</sup> Dutch New Energy Research (2020). *Nationaal Warmtenet Trendrapport 2021*.

<sup>31</sup> Warmteatlas.nl, online september 2021.

Er zijn plannen om de warmtenetten die daaraan zijn gekoppeld verder uit te breiden. Met name in Nijmegen wordt sterk ingezet op warmte, en bestaat er ook een gemeentelijk warmtebedrijf die daarin regie neemt. Dit warmtenet is aangesloten op de ARN in Weurt. In Arnhem spelen er ook kleinschalige initiatieven, naast dat in het naastgelegen Duiven een warmtenet van warmte voorziet. De zoektocht naar (alternatieve) warmtebronnen is ook een continu proces.

Een blik op de verscheidenheid van bronnen van warmtenetten laat zien dat er vele types en mogelijkheden bestaan. Naast grote, top-down initiatieven, zijn er ook voorbeelden van kleinschalige en bottom-up initiatieven. Een aantal locaties waar op dit moment warmtenetten aanwezig zijn, is verbonden aan proeftuinen rondom aardgasvrije wijken. Die liggen in Arnhem, Doesburg, Lingewaard, Nijmegen en Apeldoorn. In Lingewaard bijvoorbeeld is een aardgasvrije wijk aangesloten op een open warmtenet met meerdere bronnen, waaronder restwarmte uit het tuinbouwgebied, aquathermie, en zonnecollectoren op een vuilstortplaats<sup>32</sup>. In Apeldoorn wordt het warmtenet voorzien van warmte die vrijkomt bij een rioolwaterzuiveringsinstallatie, aangevuld met warmte uit biomassa<sup>33</sup>. In Culemborg bestaat er een warmtebedrijf dat eigendom is van de omwonenden: het wijkenergiebedrijf Thermo Bello. De warmte in die wijk is vrijwel volledig afkomstig van het drinkwaterbedrijf. Het grootste deel van warmtenetten in Culemborg wordt op dit moment gevoed door een WKK, wat laat zien dat kleinschalig en grootschalig ook naast elkaar bestaat.

---

<sup>32</sup> The Economic Board (2021). <https://theeconomicboard.com/nieuws/aardgasvrije-wijken-nederland/>

<sup>33</sup> Ennatuurlijk (2021). <https://ennatuurlijk.nl/warmtenet-apeldoorn-warmte-uit-rioolslib>

## 6. Ontwikkelingen in de regionale distributienetten

In dit hoofdstuk wordt de impact van de scenario's op de infrastructuur van de regionale netbeheerder behandeld. Er wordt in kaart gebracht waar knelpunten ontstaan op basis van welk scenario. De gehanteerde definitie van een knelpunt is: de aanbod- of vraagpiek overschrijdt de huidige beschikbare capaciteit.

### 6.1 Samenvatting inzichten distributienetten elektriciteit

In alle toekomstige scenario's voor 2030 en 2050 treden op alle netvlakken knelpunten op. Zo ontstaat in alle toekomst scenario's een grotere mismatch tussen vraag en aanbod die niet lokaal kan worden opgelost. De pieken die deze mismatch met zich meebrengt werken door tot in de hogere netvlakken en zouden forse netverzwaringen in alle netvlakken noodzakelijk maken. In de analyse van de distributienetten is gefocust op de koppelstations die het distributienet verbinden met het 150 kV-netvlak van TenneT, omdat daar de mismatch tussen vraag en aanbod op alle lager gelegen netvlakken samenkomt.

Op de koppelstations treden aanbodknelpunten al op in 2030 vanwege opwek van hernieuwbare elektriciteit. Met name in het 2030 Hoog-scenario ontstaan er veel knelpunten doordat er extra opwekcapaciteit wordt gemodelleerd. Op een enkel koppelstation ontstaat ook een vraagknelpunt door elektrificatie in de industrie.

In 2050 ontstaan er in alle scenario's zowel aanbod als vraagknelpunten. De aanbodknelpunten worden veroorzaakt door duurzame opwek, waarbij met name hoge pieken van zon-PV een grote impact heeft. Doordat er in het Regionale en het Nationale scenario veel duurzame opwekcapaciteit is gemodelleerd, zien we in deze scenario's de meeste aanbodknelpunten terug: 23 van de 28 koppelstations vormen een knelpunt. In het Europese en Internationale scenario is het aantal koppelstations dat een aanbodknelpunt vormt lager (16 van de 28) en zijn de knelpunten relatief minder ernstig.

Wat betreft de vraagknelpunten is het beeld omgekeerd: het Europese en Internationale scenario resulteert in meer en ernstigere knelpunten. Deze worden met name veroorzaakt door elektrificatie van de industrie, de gebouwde omgeving en transport.

Er is een mismatch zichtbaar vraag en aanbod van elektriciteit, zowel wat betreft de locatie (veel duurzame opwek gemodelleerd aan de randen van de provincie, veel vraag naar elektriciteit rondom steden en industriële gebieden), als in de tijd (veel opwek in de zomer, veel vraag in de winter). Dit leidt tot een grote behoefte aan transport- en opslagcapaciteit.

#### Flexibiliteit en redundantie verlaten

De mismatch tussen vraag en aanbod is dusdanig groot dat het noodzakelijk zal zijn om de balans tussen vraag en aanbod ook meer lokaal vorm te geven. De inzet van flexibiliteit is hiervoor een belangrijke oplossing, alsook voor het beperken van overbelasting van stations en verbindingen. Daarnaast kan overbelasting worden beperkt door redundantie bij het aansluiten van aanbod los te laten.

Bij het loslaten van redundantie wordt de 'vluchtstrook' van het net ingezet om meer hernieuwbare opwek aan te sluiten. Het net is ontworpen dat bij storing of onderhoud aan één van de elementen van de infrastructuur (bijvoorbeeld een transformator) de leveringszekerheid nog steeds wordt gegarandeerd, doordat er een extra (redundante)element de functie over kan nemen. Door deze redundante onderdelen in te zetten kan de capaciteit van stations om elektriciteit op te nemen, worden vergroot. Deze redundantie kan niet worden ingezet om de capaciteit voor levering te verhogen, omdat de leveringszekerheid bij storingen dan in gevaar komt.

Onder systeemflexibiliteit (hierna systeemflex) vallen in deze studie vier technieken die flexibel ingezet kunnen worden om tijdelijke pieken in vraag of aanbod van elektriciteit op te vangen of te voorkomen. Voor aanbodpieken zijn Power-to-Gas (P2G), grootschalige batterijen en curtailment (tijdelijk afschakelen van zon- en windparken) gemodelleerd. Voor vraagpieken zijn Gas-to-Power en eveneens grootschalige batterijen gemodelleerd. Systeemflex is primair nodig voor balanshandhaving in het net: zorgen dat vraag en aanbod van elektriciteit te allen tijde in balans zijn. Dit is een wettelijke taak van TenneT en vindt momenteel vooral plaats door regelacties in het transportnet van TenneT. Door systeemflex in het regionale distributienet van Liander te realiseren, is het mogelijk om naast balanshandhaving ook de benodigde transportcapaciteit in dit net te reduceren. Het modelleren van systeemflex is alleen voor de 2050-scenario's uitgevoerd. De flexibele vermogens zijn in deze studie toegevoegd op het niveau van de 150 kV de koppelstations, maar zouden ook op lagere netvlakken gemodelleerd kunnen worden om daar pieken op te vangen.

In het Regionale en het Nationale scenario zijn grotere systeemflex-vermogens gemodelleerd dan in het Europese en Internationale scenario, omdat hier meer onbalans in het net veroorzaakt wordt door de grotere hoeveelheid hernieuwbare opwek in deze scenario's. Door het modelleren van deze hoeveelheden systeemflex halveert het aantal koppelstations dat een knelpunt vormt in elk van de 2050-scenario's. Hoewel er ten tijde van deze systeemstudie nog niet de mogelijkheid was om de impact van systeemflex voor de 2030-scenario's door te rekenen, is de verwachting dat dit ook zal resulteren in een afname van het aantal knelpunten.

Het is belangrijk om te realiseren dat koppelstations zonder overbelasting alsnog gebieden kunnen bestrijken waar het onderliggende net flink overbelast is. De aanbod- en vraagpieken uit de lagere netvlakken komen samen op de koppelstations. Door systeemflex op de koppelstations in te zetten kunnen deze pieken (deels) opgevangen worden.

### Netverzwaring

In de 2050-scenario's zijn er maximaal twaalf koppelstations die ondanks de inzet van systeemflex en het verlaten van de redundantie nog steeds een knelpunt vormen. Voor die koppelstations is het noodzakelijk om de capaciteit uit te breiden of een nieuw station te realiseren.

Enkele koppelstations die in 2030 een knelpunt vormen zijn in de 2050-scenario's opgelost. Dit kan komen door de ontwikkelingen van vraag en aanbod, of door de inzet van systeemflex. Bij het plannen van netverzwaring richting 2030 moet er dus rekening gehouden worden met de mogelijke ontwikkelingen richting 2050, zodat er geen investeringen gedaan worden die maar voor een korte periode noodzakelijk zijn.

### TS- en MS-net

Ook op een spanningsniveau onder de koppelstations, de TS- en MS-netten, ligt er een enorme uitdaging. In 2030 is er al veel overbelasting van de TS- en MS-stations zichtbaar. Met name in het 2030 Hoog-scenario zijn er veel aanbodknelpunten door de grote hoeveelheid duurzame opwek.

Van de 2050-scenario's resulteren het Regionale en het Nationale scenario erin dat bijna alle TS- en MS-stations knelpunten vormen, zowel voor de vraag als het aanbod. Het Europese en Internationale scenario resulteren in minder aanbodknelpunten (door minder duurzaam opwekvermogen), maar een vergelijkbaar aantal vraagknelpunten doordat er hier ook een hoge mate van elektrificatie is gemodelleerd.

De vraag en aanbodpieken van de TS- en MS-stations komen samen op de koppelstations waar ze aan verbonden zijn. In deze studie is het systeemflex-vermogen gemodelleerd op het niveau van de koppelstations, waar het effectief ingezet kan worden om knelpunten op te lossen. Op een vergelijkbare wijze zou er een deel van dit flexibele vermogen op de TS- en MS-netten ingezet kunnen worden om ook daar knelpunten te voorkomen. Daarmee worden er minder hoge pieken doorgevoerd naar de koppelstations, die daarmee ook ontlast worden.

## LS-netvlak

Liander verwacht na 2025 (en voornamelijk in de periode 2030-2035) groeiende capaciteitsproblemen als gevolg van elektrisch laden, elektrisch koken en de warmtetransitie (warmtepompen). Bovendien zullen woningcorporaties in sommige straten de verduurzaming van hun panden grootschalig uitrollen, waardoor lokaal ook al eerder capaciteitsproblemen ontstaan. Studies naar de verwachte omvang van de problematiek lopen momenteel, maar een eerste inschatting voor het jaar 2030 laat zien dat er in 5% tot 40% van het LS-net zal moeten worden ingegrepen. Voor Gelderland kan dat mogelijk iets lager uitkomen door het landelijke karakter.

## 6.2 Knelpunten in de netten

Een knelpunt in het elektriciteitsnet wordt gedefinieerd als station of tracé waarbij gedurende het jaar een overschrijding van de maximale capaciteit plaatsvindt. Hierdoor kan op deze momenten niet alle gevraagde elektriciteit geleverd worden, of kan niet alle aangeboden elektriciteit opgenomen worden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen vraag- en aanbodknelpunten. Vraagknelpunten ontstaan als gevolg van een grote elektriciteitsvraag van bijvoorbeeld de industrie of elektrisch vervoer. Aanbodknelpunten worden veroorzaakt door teruglevering van elektriciteit door onder andere duurzame opwek met name zonne- en windenergie.

Door de doorrekening van Liander is per station (zowel HS, TS en MS stations) voor elk uur van het jaar de gevraagde en aangeboden hoeveelheid elektriciteit voorhanden. Door deze hoeveelheden te vergelijken met de capaciteit van de stations zijn de knelpunten geïdentificeerd. In deze rapportage wordt gewerkt met piekvermogens en overschrijdingen: op jaarbasis wordt gekeken naar het hoogste vermogen dat een station te verwerken krijgt ten opzichte van de capaciteit. Het distributienet is op HS-, TS-, en MS-niveau doorgerekend waarbij de knelpunten zijn geïdentificeerd. Hierbij is gefocust op de stations en niet op de verbindingen tussen de stations. Voor het LS-net is een kwalitatieve analyse gedaan. Hierna wordt dieper ingegaan op de knelpunten, die per spanningsniveau worden behandeld.

### 6.2.1 Het niveau van de koppelstations

Tabel 3 geeft een overzicht van het aantal vraag- en aanbodknelpunten op koppelstations in de verschillende scenario's. In alle scenario's zijn er meer aanbod- dan vraagknelpunten. Deze worden veroorzaakt door hoge pieken van zonne- en windenergie, terwijl vraagknelpunten voor een groot deel (maar niet uitsluitend) worden veroorzaakt door kortstondig laden van een geëlektrificeerde transport en logistieke sector. Op een aantal stations ontstaan knelpunten waarbij slechts enkele malen per jaar een overschrijding van de maximale capaciteit plaatsvindt. Dit blijkt uit het verschil tussen het aantal koppelstations met een overschrijding, en het aantal koppelstations waarbij de maximale capaciteit meer dan 100 uur per jaar wordt overschreden. De differentiatie in aantal uren overschrijding kan helpen om vast te stellen welk type oplossing (zoals systeemflex of plaatsgebonden flex) passend is. Zo is duidelijk dat het cruciaal is om te zorgen dat de kortstondige pieken in vraag überhaupt niet voorkomen door bijvoorbeeld het elektrische laden van de transport- en logistiek sector meer te spreiden. In 2050 zijn er in het Regionale en het Nationale scenario meer aanbodknelpunten dan in het Europese en Internationale scenario. Dit is eveneens het gevolg van meer opwek door zon en wind, omdat in deze scenario's zelfvoorzienendheid wordt nagestreefd.

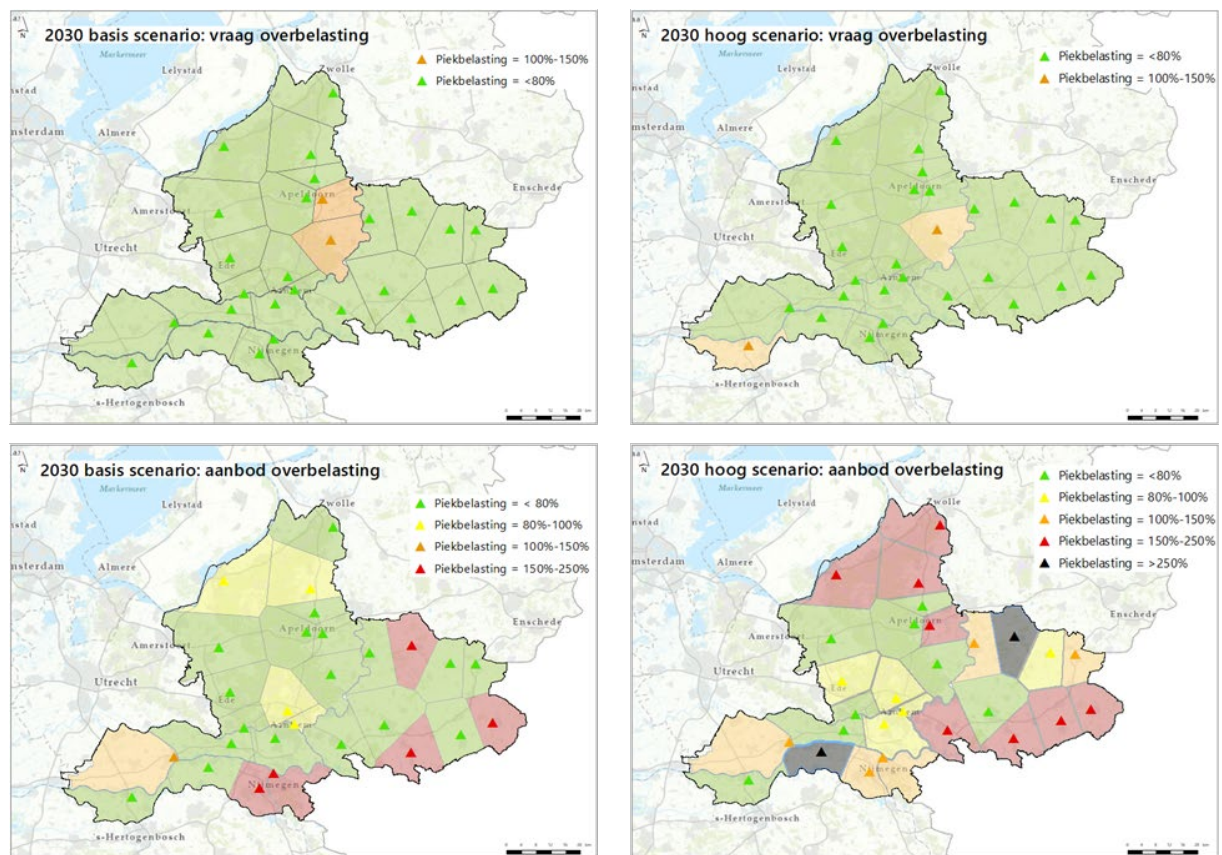
Tabel 3. Aantal knelpunten op koppelstations

Scenario	Aanbod-knelpunten	Vraag-knelpunten	Aanbodknelpunten >100 uur per jaar	Vraagknelpunten >100 uur per jaar
2030 basis	8	1	8	1
2030 Hoog	19	2	17	1
2050 Regionaal	23	18	22	7



Scenario	Aanbodknelpunten	Vraagknelpunten	Aanbodknelpunten >100 uur per jaar	Vraagknelpunten >100 uur per jaar
2050 Nationaal	23	11	21	8
2050 Europees	16	17	15	7
2050 Internationaal	16	19	13	7

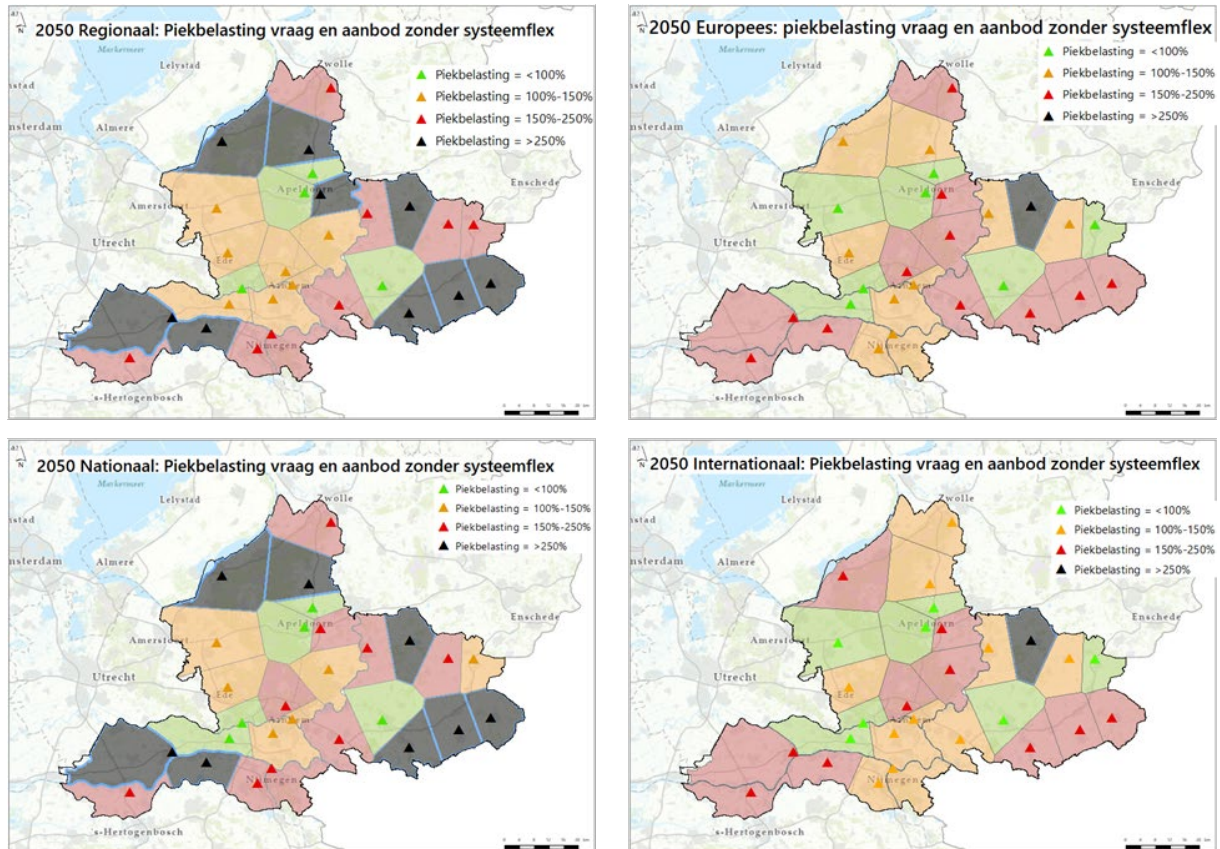
Figuur 30 beschrijft de relatieve overbelasting ten opzichte van de stationscapaciteit voor de twee scenario's van 2030. In Figuur 30 is onderscheid gemaakt tussen vraag- en aanbodknelpunten. Voor energieaanbod is de redundante netcapaciteit ook meegenomen. Alle gebruikte stationscapaciteiten zijn indicatief en zijn niet gecorrigeerd voor geplande uitbreidingen.



Figuur 30. Overbelasting op de 380/150 kV-koppelstations in de 2030-scenario's, voor aanbod en vraag van elektriciteit. Groen is een piekbelasting onder 80% van de capaciteit, geel tussen 80-100%, oranje tussen 100-150%, en in rood een belasting boven de 150%. Voor aanbod wordt in de kleurcodering van capaciteit al gebruik gemaakt van redundante capaciteit. Kleurcodes laten de relatieve belasting zien ten opzichte van de stationscapaciteit voor vraag en aanbod in de 2030-scenario's

Voor een paar koppelstations geldt dat dat huidige RES plannen al zullen zorgen voor een forse overschrijding. Indien de politiek zou besluiten om in te zetten op het 55% CO<sub>2</sub>-reductie-scenario (2030 Hoog), in plaats van de RES-biedingen (2030 Basis) dan neemt het aantal en de grootte van knelpunten sterk toe tot meer dan 250% in sommige gevallen!! Dit vraagt om veel nieuwe capaciteit die hoogstwaarschijnlijk niet binnen tien jaar kan worden gerealiseerd. De provincie en gemeente kunnen de energietransitie daarom alleen versnellen als ook wordt gekozen voor een groter aandeel windenergie in plaats van zonne-energie en/of ook een versnelde uitrol van oplossingen wordt gestimuleerd (zie paragraaf 6.3).

Figuur 31 beschrijft de relatieve overbelasting ten opzichte van de stationscapaciteit voor de vier scenario's in 2050. In Figuur 31 is geen onderscheid gemaakt tussen vraag- en aanbodknelpunten, maar is de grootste overbelasting (door vraag of aanbod) aangegeven. Alle gebruikte stationscapaciteiten zijn indicatief en zijn niet gecorrigeerd voor geplande uitbreidingen.

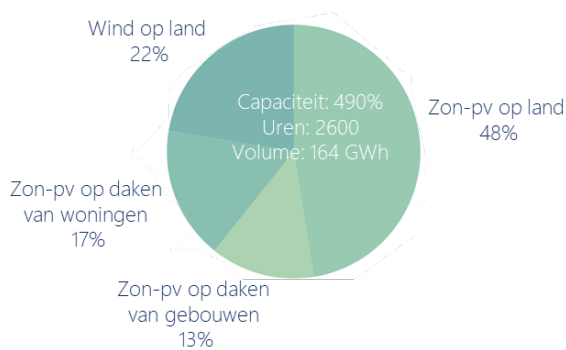


Figuur 31. Overbelasting op de 380/150 kV-koppelstations in de vier 2050-scenario's. Groen is een piekbelasting onder 80% van de capaciteit, geel tussen 80-100%, oranje tussen 100-150%, en in rood een belasting boven de 150%. Voor aanbod wordt in de kleurcodering van capaciteit al gebruik gemaakt van redundante-capaciteit. Kleurcodes laten de relatieve belasting zien ten opzichte van de stationscapaciteit voor vraag en aanbod in de vier 2050-scenario's

In 2050 ontstaan in alle scenario's veel knelpunten, met name in het Regionale en het Nationale scenario. Deze twee scenario's voorzien in vergaande elektrificatie en veel lokale energieproductie door zon en wind. Het Europese en Internationale scenario laat meer ruimte voor duurzame gassen en import van elektriciteit, waardoor met name de grootte van de knelpunten afneemt, maar niet zozeer het aantal knelpunten. De essentie is dat meer lokale energie en meer elektrificatie (zoals voorzien in het Regionale en Nationale scenario) de mismatch tussen vraag en aanbod alleen maar verder vergroot, waardoor er nog meer noodzaak is tot het lokaal handhaven van balans in het elektriciteitsnet en het introduceren van oplossingen (zoals systeemflex) om de lokale balanshandhaving mogelijk te maken. Daarmee vragen deze meer lokaal georiënteerde scenario's om een actievere houding van gemeenten en provincie om deze scenario's en benodigde oplossingen te stimuleren en samen met de netbeheerders en marktpartijen te accommoderen. De keuze voor een hogere mate van zelfvoorziening binnen de provincie vraagt om het nemen van verantwoordelijkheid, regie en coördinatie vanuit provincie en gemeenten om dit ook goed vorm te geven.

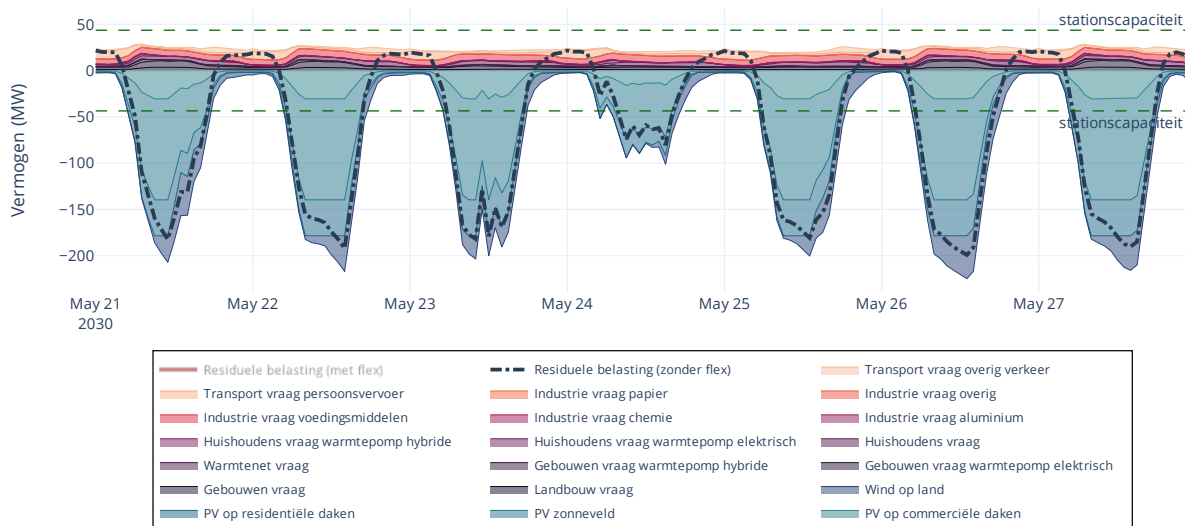
## Grootste drijvers in aanbodknelpunten

Figuur 32 beschrijft per opwektechniek het aandeel (percentage) in de totale volumeoverschrijding (164 GWh) voor alle uren (2600 uur) dat de stationscapaciteit van koppelstation Lochem wordt overschreden. De situatie geldt voor het Nationale scenario 2050, maar is ook representatief voor veel andere koppelstations. Het grootste gedeelte van de knelpunten wordt veroorzaakt door surplus zon-PV. Ook wind op land draagt gedeeltelijk bij aan de aanbodknelpunten. De impact van wind op land is aanzienlijk kleiner dan de impact van zon-PV doordat windenergie een vlakker profiel kent dan zonne-energie.



Figuur 32. Aandeel in overbelasting door surplusaanbod voor koppelstation Lochem in het scenario 2050 Nationaal. De percentages geven per opwektechniek het aandeel weer in de totale volumeoverschrijding (164 GWh) voor alle uren (2600 uur) dat de stationscapaciteit van koppelstation Lochem wordt overschreden door een teveel aan aanbod.

Figuur 33 zoomt verder in op de energiebalans van koppelstation Lochem tijdens een zonnige week in mei. Positieve waarden geven de elektriciteitsvraag weer, negatieve waarden het elektriciteitsaanbod. De gestippelde lijn is het netto vermogen dat door het station heen loopt. Het is duidelijk te zien dat door het aanbod zon- en windenergie de capaciteit van het station tot bijna 500% wordt overschreden.



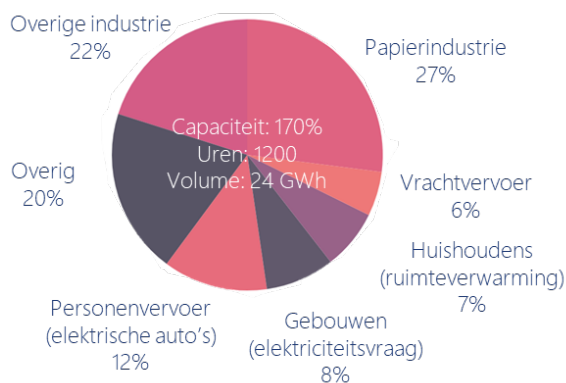
Figuur 33. Energiebalans koppelstation Lochem scenario 2050 Nationaal

## Vraagknelpunten

Koppelstations Woudhuis, Eerbeek, Zaltbommel en Kattenberg ondervinden vraagknelpunten in alle 2050-scenario's. De voornaamste reden is de sterke elektrificatie in de periode 2030-2050. Station Eerbeek vormt in beide 2030-scenario's al een vraagknelpunt doordat de industrie daar sterk elektrificeert. Dit is ook terug te zien in Figuur 34 dat de overbelasting laat zien voor koppelstation Eerbeek. Figuur 343 toont per sector het aandeel (percentage) in de totale volumeoverschrijding (24 GWh) voor alle uren (1200 uur) dat er een overschrijding plaatsvindt.

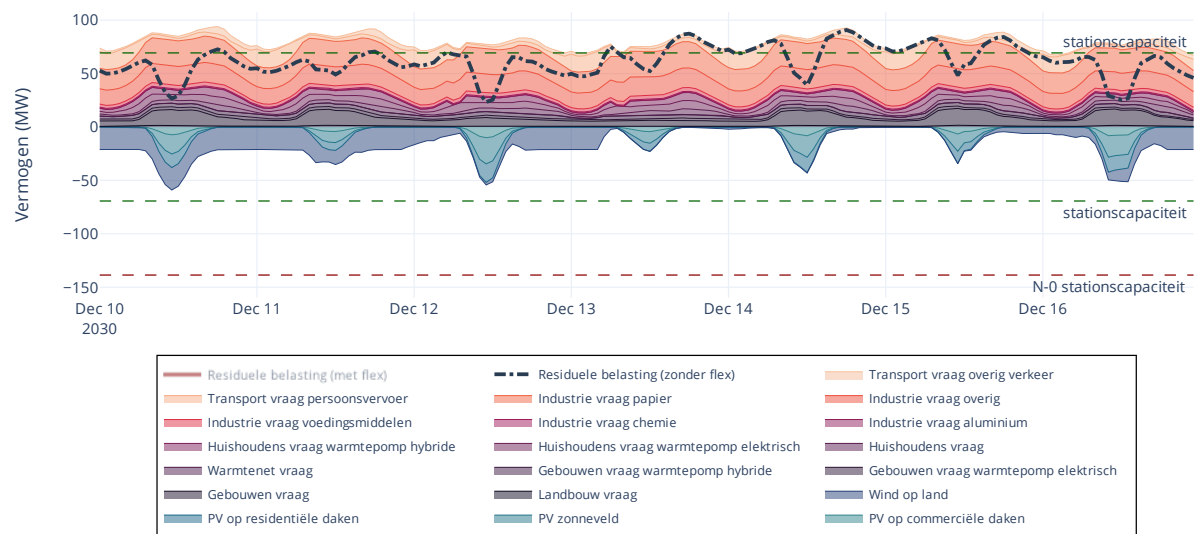
Bij de andere koppelstations zijn de oorzaken divers. Koppelstation Kattenberg kampt met een grote vraag naar elektriciteit vanuit de gebouwde omgeving, terwijl op koppelstation Zaltbommel een vraagknelpunt ontstaat door een sterke elektriciteitsvraag vanuit de landbouw.

Bij een groot deel van de koppelstations ontstaat een vraagknelpunt door elektrisch wegtransport. Deze knelpunten zijn kortstondig. Er wordt om veel elektriciteit gevraagd in een korte periode, waardoor het elektriciteitsnet zwaar belast wordt.



Figuur 34. Aandeel in overbelasting per sector voor koppelstation Eerbeek in scenario 2050 Nationaal. De percentages geven per sector het aandeel in de totale volumeoverschrijding (24 GWh) voor alle uren (1200 uur) dat de stations capaciteit van koppelstation Lochem wordt overschreden door surplus levering.

Figuur 35 toont de energiebalans van station Eerbeek in een week in december voor het scenario 'nationale sturing' in 2050. De belasting van het station overschrijdt de capaciteit door met name de grote vraag naar elektriciteit vanuit de industrie, gecombineerd met maar een beperkte hoeveelheid gelijktijdige duurzame opwek.



Figuur 35. Energiebalans koppelstation Eerbeek scenario 2050 Nationaal

### 6.2.2 Tussen- en middenspanning

In Tabel 4 wordt het aantal knelpunten tussen- en middenspanningsstations (TS en MS) weergegeven. In Gelderland zijn er dertien TS- en 52 MS-stations. In 2030 is te zien dat er met name aanbodknelpunten ontstaan. Vooral op het MS-niveau ligt het aantal knelpunten aanzienlijk hoger voor het RES-biedingsscenario door het toegevoegde duurzame opwekvermogen.

In alle 2050-scenario's loopt het aantal knelpunt fors op. Vrijwel alle tussenspanningsstations vormen een knelpunt, met een redelijk gelijke verdeling van aanbod- en vraagknelpunten. Het aantal aanbodknelpunten is hoger in het Regionale en Nationale scenario, wat verklaard kan worden door het grotere aanbod van hernieuwbare energie. Ook op het TS- en MS-niveau worden deze knelpunten voornamelijk veroorzaakt door zon-PV. In het Europese en Internationale scenario is het aantal vraagknelpunten hoog vanwege de groeiende vraag naar elektriciteit. De voornaamste veroorzakers zijn de gebouwde omgeving en de mobiliteitssector.

Tabel 4. Aantal knelpunten bij tussen- en middenspanningsstations

Scenario	Tussenspanning aanbodknelpunten	Tussenspanning vraagknelpunten	Middenspanning aanbodknelpunten	Middenspanning vraagknelpunten
2030 Laag	5	1	11	4
2030 Hoog	7	0	24	7
2050 Regionaal	9	10	31	31
2050 Nationaal	10	9	29	24
2050 Europees	7	11	19	26
2050 Internationaal	7	11	14	30

### 6.2.3 Laagspanning

Exacte inschattingen van de overbelasting op het LS-net<sup>34</sup> hangen sterk af van de onzekere ontwikkelingen rond zon op dak, elektrisch laden en warmtepompen in elke straat, en zijn daarom nu moeilijk te maken. Liander ziet nu al dat door de toename van zon op dak het aantal spanningsklachten op het gehele LS-net in 2020 met 175% is gestegen ten opzichte van 2019. In alle wereldbeelden verwacht Liander dat het aantal spanningsklachten verder toeneemt door de groei van zon op dak. Vaak zijn deze spanningsklachten ook een voorbode voor toekomstige capaciteitsproblemen. Liander verwacht na 2025 (en voornamelijk in de periode 2030-2035) groeiende capaciteitsproblemen als gevolg van elektrisch laden, elektrisch koken en de warmtetransitie (warmtepompen). Bovendien zullen woningcorporaties in sommige straten de verduurzaming van hun panden grootschalig uitrollen, waardoor lokaal ook al eerder capaciteitsproblemen ontstaan.

#### Problematiek in cijfers

Binnen Liander zijn momenteel de eerste studies gestart om de trends die grote impact hebben op het LS-net met cijfers te onderbouwen, zodat hiermee de juiste investeringsbeslissingen genomen kunnen worden. Omdat deze studies nog in de verkennende fase zitten en omgeven zijn door relatief grote onzekerheden, is het lastig om ver in de toekomst (>2030) te kijken.<sup>35</sup> De eerste schetsen geven echter een ontluisterend beeld. Voor het jaar 2030 verwacht Liander dat in circa 5% tot 40% van het LS-net zal moeten worden ingegrepen. Voor Gelderland kan dat mogelijk iets lager uitkomen door het landelijke karakter.

### 6.3 Oplossen van knelpunten in het regionale distributienet

Op basis van de doorrekening van de netbeheerder kan er geconcludeerd worden dat er grote knelpunten in het Gelderse distributienet kunnen ontstaan als gevolg van de energietransitie. Want uit het voorgaande hoofdstuk blijkt dat er op alle niveaus van het elektriciteitsnet een grotere onbalans ontstaat tussen vraag en aanbod: 'de residuale load'. Het is daarom belangrijk om stil te staan bij mogelijke oplossingen voor deze knelpunten.

Dit hoofdstuk bespreekt de verschillende oplossingsrichtingen van de knelpunten. Daarbij zijn twee type oplossingsrichtingen kwantitatief geanalyseerd (flexibiliteitsoplossingen en het verlaten van redundantie). Daarnaast zijn kwalitatief andere oplossingsrichtingen beschreven. De volgende paragrafen gaan dieper in op de werking en kwantitatieve effecten van de verschillende oplossingsrichtingen. Ook zijn de oplossingsrichtingen gewaardeerd aan de hand van vier criteria. Gedetailleerde omschrijvingen van de verschillende oplossingsrichtingen zijn te vinden in Bijlage 8.

#### Flexibiliteitsoplossingen voor lokale energiebalans

Op het elektriciteitsnet moeten aanbod en vraag te allen tijde met elkaar in balans zijn. De balans op het elektriciteitsnet wordt vanouds door TenneT gewaarborgd door aanbod op- of af te schakelen (zoals grote kolencentrales). Door toename van zon- en windenergie, alsook de toename van elektrische voertuigen en (hybride) warmtepompen ontstaat er op alle niveaus van het elektriciteitsnet een mismatch tussen de vraag en het aanbod. Omdat deze mismatch voor alle niveaus van het elektriciteitsnet geldt, is het daarom noodzakelijk om de balans tussen vraag en aanbod meer lokaal te handhaven. Dat betekent dat er voor het regionale net van Liander oplossingen moeten komen die kunnen ondersteunen bij het beperken en handhaven van de balans, in plaats van dat de balanshandhaving alleen op de hoogste netvlakken plaatsvindt.

<sup>34</sup> Bestaande uit middenspanningsruimtes en LS-kabels

<sup>35</sup> Voor de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 is er wel een inschatting van de 2050-problematiek op het LS-net gemaakt, maar het detailniveau waarmee die analyse is ingestoken leent zich niet voor deze systeemstudie. In de nabije toekomst verwacht Liander rekenmodellen te ontwikkelen die op basis van externe data (zoals bij deze systeemstudie) inschattingen kunnen maken van de belasting op het LS-net.

Dit zou er niet alleen voor kunnen zorgen dat de lokale mismatch tussen vraag en aanbod kleiner wordt, maar ook dat de mismatch minder doorwerkt tot in de hogere netvlakken, waardoor bij verschillende netvlakken mogelijk ook minder verzwaringen nodig zijn. Een belangrijke oplossing voor het handhaven van de balans is flexibiliteit. Flexibiliteit (*hierna flex*) betekent in deze context: de mogelijkheid om op specifieke momenten de vraag en/of aanbod naar elektriciteit te vergroten en/of verkleinen. Flexibiliteit heeft een gunstig effect op de belasting van het elektriciteitsnet doordat vraag en aanbod in balans worden gehouden met als gevolg dat ook de (lokale) piekbelasting wordt afgevlakt. Daarom is aan alle scenario's voor 2050 flex toegevoegd om de pieken van vraag en van aanbod te verlagen. In deze systeemstudie wordt onderscheid gemaakt tussen twee type flex-oplossingen *plaatsgebonden flexibiliteit* en *systeemflexibiliteit*.

### Plaatsgebonden flex

Plaatsgebonden flex kan de onbalans tussen vraag en aanbod verkleinen en daardoor ook zorgen voor een minder grote belasting van het elektriciteitsnet in de lage en hogere netvlakken. Plaatsgebonden flex kan zowel expliciet zijn, doormiddel van actieve aansturing, als impliciet door nieuwe type tarifiering (statische/dynamische prijsprikkels), aansluitafspraken of actief beleid dat plaatsgebonden flex stimuleert. Plaatsgebonden flexibiliteit is voornamelijk, maar niet uitsluitend, te vinden in de lager gelegen netvlakken. Binnen deze categorie vallen technologieën zoals slim laden en vehicle-to-grid (V2G), het gebruik van kleinschalige batterijen (wijk- en thuisbatterijen), het aftoppen van piekproductie van zonnepanelen en het slim bufferen van warmte met een warmtepomp als zonnepanelen veel energie produceren.

De verwachting is dat plaatsgebonden flex de komende jaren veel doorgang zal vinden, mits dit door de gemeente, provincie en netbeheerder voldoende wordt gestimuleerd/beloont en door marktpartijen mogelijk wordt gemaakt. Gegeven deze verwachting is ervoor gekozen om plaatsgebonden flexibiliteit zowel voor de scenario's van 2030 als 2050 mee te nemen in de doorrekeningen van de netbeheerders. Hierbij zijn vooralsnog alleen 'slim laden' en thuisbatterijen meegenomen in de beschouwing. Er is nog meer potentieel om uit andere sectoren plaatsgebonden flex ook impliciet of expliciet aan te wenden. Denk aan slim laden in de publieke transportsector en logistieke sector en slimme aansturing (demand response) bij industrie.

Op basis van de scenario's zonder systeemflex is duidelijk dat plaatsgebonden flex de onbalans tussen vraag en aanbod niet voldoende vermindert. Er is lokaal nog meer behoefte aan flex die actief kan worden aangestuurd om de balans tussen vraag en aanbod te handhaven. Dit zou ondervangen kunnen worden door ook in te zetten op systeemflex. Dit betekent echter niet dat plaatsgebonden flex zinloos is. Het maximaliseren van plaatsgebonden flex helpt om de noodzaak van systeemflex te beperken.

### Systeemflex

Systeemflex is meegenomen door in de 2050-scenario's naast plaatsgebonden flex ook systeemflex toe te passen. Aan de 2030-scenario's is geen systeemflex aan de berekeningen toegevoegd, omdat de modellen van de netbeheerders hier nog niet gereed voor waren. Onder systeemflex vallen de volgende vier technieken:

- 1 **Power-to-Gas (P2G, ook wel elektrolyse genoemd).** Power-to-Gas betreft de flexibele productie van waterstof uit elektriciteit en water, waarmee tijdens pieken in aanbod extra elektriciteit wordt gevraagd.
- 2 **Gas-to-Power (G2P, elektriciteitscentrales).** Gas-to-Power betreft de productie van elektriciteit uit een gas (zoals methaan of waterstof), waarmee tijdens pieken in vraag, extra elektriciteit wordt geleverd. Dit kan zowel een gascentrale zijn als een brandstofcel.
- 3 **Grootschalige batterijen.** Grootschalige batterijen worden ingezet om te laden tijdens aanbodpieken en te ontladen tijdens vraagpieken.
- 4 **Curtailement.** Curtailement betreft het reduceren van de piekbelasting van grote zonne- en windparken.

Systeemflex is in 2050 toegevoegd op het niveau van de koppelstations. Dit zijn de stations die het distributienet van Liander verbinden met het transportnet van TenneT. De inzet van systeemflex is daarbij door TenneT modelmatig vastgesteld. De uitkomst hiervan is dat in elke van de vier scenario's voor 2050 per koppelstation is bepaald hoeveel vermogen aan systeemflex moet worden toegevoegd, en uit welk van de vier systeemflex-technieken dit moet bestaan. In Bijlage 9 wordt verder ingegaan op de wijze waarop systeemflex is gemodelleerd. In het volgende kader wordt een meer gedetailleerde toelichting gegeven over de wijze waarop systeemflex is toegepast en welke disclaimers in acht moeten worden genomen voor de inzet van systeemflex.



## Toelichting en disclaimers bij systeemflex

De systeemflex is modelmatig aan de 2050-scenario's voor Gelderland toegevoegd. Het model is tot stand gekomen uit een samenwerking tussen alle netbeheerders in het kader van de I13050-studie. Het model heeft als doel om te bepalen hoeveel systeemflex nodig is om de mismatch tussen vraag en aanbod op het niveau van de koppelstations te beperken. Daarbij wordt per koppelstation uitgegaan van de totale geaggregeerde vraag en aanbodprofielen van het gehele onderliggende elektriciteitsnet. Bij de toewijzing van systeemflex over de verschillende koppelstations in Gelderland evalueert het model ook hoe het transport van elektriciteit over het gehele transportnet van TenneT (dus zowel binnen als buiten Gelderland) zoveel als mogelijk kan worden beperkt. Om te komen tot de capaciteit en verdeling van systeemflex over de koppelstations worden globaal de volgende twee stappen doorlopen:

- 1 Ten eerste wordt per 2050-scenario en per koppelstation bepaald hoeveel capaciteit aan Power-to-Gas (P2G) en Gas-to-Power (G2P) geïnstalleerd zou moeten worden om de verwachte mismatch per koppelstation te beperken. Voor zowel P2G als G2P is door TenneT een gestandaardiseerd 'landelijk' profiel vastgesteld dat voor elk uur definieert op welk vermogen P2G en G2P zouden moeten draaien om de totale landelijke onbalans te minimaliseren. Vervolgens zijn de gestandaardiseerde landelijke profielen voor P2G en G2P geschaald naar het vermogen waarvoor de lokale mismatch per koppelstation zoveel als mogelijk wordt beperkt. In het bepalen van de schaalfactor is daarbij ook expliciet gekeken voor welk vermogen aan P2G/G2P per koppelstation de transporten over het gehele transportnet zoveel als mogelijk kunnen worden geminimaliseerd. In Bijlage 9 wordt verder ingegaan op enkele kenmerken van de standaardprofielen voor P2G en G2P.
- 2 Ten tweede is per 2050-scenario en per koppelstation modelmatig vastgesteld hoeveel curtailment en batterijsopslag nodig zou zijn om de mismatch tussen vraag en aanbod per koppelstation verder te beperken.

### Disclaimer #1

Het benodigd vermogen en type systeemflex is gegeven per koppelstation. Dat wil echter niet zeggen dat deze technieken op dit niveau in het elektriciteitsnet dienen te worden geïmplementeerd. Doel is juist om deze technieken zoveel als mogelijk meer lokaal in het regionale elektriciteitsnet toe te passen, zodat de lokale mismatch tussen vraag en aanbod ook beter lokaal kan worden beperkt/opgelost. In Bijlage 9 is per type systeemflex een weergave van de gehanteerde hoeveelheid per koppelstation gegeven voor elk van de vier scenario's van 2050.

### Disclaimer #2

In de berekeningen van de hoeveelheid systeemflex is de balanshandhaving (wettelijke taak van TenneT) als uitgangspunt genomen. Hierbij is geen rekening gehouden met gedrag van de markt. Er is dus van uitgegaan dat de systeemflex uitsluitend wordt ingezet voor deze uitgangspunten.

### Disclaimer #3

De standaard profielen voor P2G en G2P zijn geheel toegespitst op de levering van flexibiliteit. De verhouding tussen piekcapaciteit en vollasturen is gezien vanuit de businesscase voor dergelijke installaties wellicht niet optimaal. Techno-economische afwegingen ten aanzien van de dimensionering van de installaties i.r.t. het verdienmodel zijn dan ook niet beschouwd.

### Disclaimer #4

De gehanteerde modellering brengt op sommige momenten juist een extra mismatch teweeg. Dat wordt veroorzaakt doordat gebruik is gemaakt van de standaard belastingprofielen voor G2P en P2G, waardoor er in sommige gevallen een extra belasting wordt toegevoegd bovenop de residuele belasting.

## Redundantie verlaten

Bij sommige stations en verbindingen is het mogelijk om de ingebouwde redundantie los te laten. Om leveringszekerheid te kunnen garanderen zijn systemen (bijvoorbeeld transformatoren) van het elektriciteitsnet vaak redundant (dubbel) uitgevoerd. Als er een storing of onderhoud aan één van deze systemen is, kan het andere systeem de functie overnemen en zodoende elektriciteitslevering garanderen.

Voor opname van opgewekte elektriciteit kunnen deze redundante onderdelen ingezet worden, mits het specifieke ontwerp van het station dit toelaat. In welke mate de stationscapaciteit voor opname toeneemt is afhankelijk van de beschikbare (reserve) trafo's en specifieke netconfiguraties. In geval van storing of onderhoud aan het primaire systeem worden de aangesloten zonne- of windparken afgeschakeld zodat de redundante systemen hun originele rol van back-up weer kunnen vervullen. Redundante systemen kunnen niet ingezet om extra capaciteit te creëren voor de levering van elektriciteit, aangezien dit de leveringszekerheid in gevaar brengt. Daarnaast brengt het afschakelen van de energievraag ook andere uitdagingen met zich mee, zoals verplichtingen voor levering van producten, en gaat vaak gepaard met kosten en verminderde energie-efficiëntie.

### Netverzwaring en uitbreiding

De traditionele manier om knelpunten te voorkomen is door uitbreidingen van het net (nieuwe stations en verbindingen) en verzwaring van het net (verhogen capaciteit bestaande stations en verbindingen). Grote investeringen in het distributienet zijn in alle gevallen nodig, zelfs als systeemflex een grote rol gaat spelen in de toekomst. De uitdaging is om netverzwaringen door te voeren op plekken waar ze onontbeerlijk zijn, maar om ook de andere oplossingsrichtingen slim in te zetten om te voorkomen dat de opgave en de kosten boven het hoofd van de netbeheerder groeien. Dit betekent dat netverzwaring met name nuttig is op knelpunten waar vele uren in het jaar een overbelasting plaatsvindt en waar zowel vraag als aanbod de stationscapaciteit overstijgt.

### Andere oplossingsrichtingen

- **Meer wind dan zon:** PBL<sup>36</sup> stelt dat een verhouding van elektriciteitsproductie (MWh/jaar) tussen wind-op-land versus zon-op-land het meest optimaal is bij een verhouding van 4:1, omdat hierdoor de mismatch tussen vraag en aanbod wordt verkleind, waardoor minder verzwaringen en minder systeemflex noodzakelijk zouden zijn. Dit blijkt ook uit een MKBA studie in opdracht van Enpuls<sup>37</sup> waarin wordt gesteld dat een verhouding van 1:1 (zoals ook het geval in Gelderland) zorgt voor hogere systeemkosten en een potentieel slechter verdienmodel voor exploitanten van zonnepanelen. Bezien vanuit het energiesysteem is het dus wenselijk om meer wind dan zonne-energie te realiseren.
- **Combineren zon en wind:** Wind en zon produceren vaak op andere tijdstippen energie en zijn daarmee complementair. Bovendien wordt de totale capaciteit van een aansluiting bij opwekinstallaties voor zon (12%)<sup>38</sup> en wind (28%) maar beperkt benut. Door beide installaties op dezelfde aansluiting te realiseren, kan efficiënter gebruik (39%) worden gemaakt van de beschikbare aansluitcapaciteit. Door zon en wind te combineren zijn minder netuitbreidingen nodig en kan er per aansluiting meer opwekvermogen geplaatst worden.
- **Andere opstelling PV:** Zon-PV installaties realiseren de hoogste opbrengst wanneer ze zijn georiënteerd op het zuiden. Dit zorgt echter ook voor een piekproductie tijdens het middaguur, wanneer de elektriciteitsvraag relatief laag is. Door zon-PV installaties in een oost/west oriëntatie te plaatsen kan de piekproductie worden beperkt én meer in overeenstemming worden gebracht met de vraag naar elektriciteit in de ochtend en namiddag/avond.
- **WKK/brandstofcellen:** Lokale opwekinstallaties kunnen bijdragen aan het beperken van vraagknelpunten. Voorbeelden hiervan zijn WKK's of brandstofcellen. Beide type installaties draaien op duurzaam gas en produceren elektriciteit en (rest)warmte. Hiermee kan lokaal worden voldaan aan de elektriciteitsvraag, kunnen gebouwen worden verwarmd met de restwarmte en hoeft de elektriciteit niet te worden getransporteerd over het net.

<sup>36</sup> PBL, oktober 2020, Regionale Energie Strategieën, een tussentijdse analyse

<sup>37</sup> Enpuls, maart 2021, MKBA inpassing zon-en-wind-op-land

<sup>38</sup> Netbeheerder Nederland. [https://www.netbeheernederland.nl/\\_upload/Files/Netcapaciteit\\_60\\_a7ae27bf52.pdf](https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Netcapaciteit_60_a7ae27bf52.pdf)

- **Geografisch vraag-aanbod bij elkaar brengen:** De [noodzaak om elektriciteit te transporteren kan worden beperkt door vraag en/of aanbod dicht(er) bij elkaar te brengen. Denk bijvoorbeeld aan laadinfrastructuur die dicht(er) bij zon- of windprojecten wordt gerealiseerd of het bij elkaar brengen van grote energievragers (datacenters, industrie in het algemeen) en grote energieopwekkers (zon/wind).

### **Kwalitatieve score per oplossingsrichting**

De keuze voor een oplossing is uiteraard afhankelijk van het type probleem, de grootte van het probleem, de snelheid waarmee het probleem moet worden opgelost en de ruimtelijke impact. Figuur 36 geeft een overzicht van hoe elke oplossing scoort op deze criteria. In bijlage 10 zijn voor enkele toekomstscenario's van 2050 concrete knelpunten uitgelicht en is beschreven hoe verschillende oplossingsrichtingen kunnen helpen om deze knelpunten te verkleinen.

Nog relevanter is om in eerste instantie te kiezen voor oplossingen die onbalans *voorkomen*, in plaats van *genezen*. Dat wil zeggen: voorkom een onbalans tussen vraag en aanbod in plaats van deze met systeemflex en/of netverzwaring op te lossen. Een mogelijke volgorde van oplossingen is daarom als volgt:

- 1 Breng vraag en aanbod van energie zoveel mogelijk fysiek bij elkaar zodat opgewekte energie zoveel mogelijk direct gebruikt kan worden.
- 2 Zet in op een goede balans tussen zon en wind, omdat deze aanvullende productieprofielen hebben.
- 3 Koppel zon en wind achter één aansluiting, omdat hiermee de netaansluiting efficiënt gebruikt wordt.
- 4 Zet in op een oost/west-opstelling voor zonnepanelen zodat productiepieken beter gespreid worden over de dag.
- 5 Loslaten van redundantie (overcapaciteit die als soort vluchtstrook fungeert) waar mogelijk voor extra capaciteit om hernieuwbare opwek aan te sluiten.
- 6 Stimuleer lokale balanshandhaving door inzet plaatsgebonden flexibiliteit (onder andere kleinschalige batterijen, vraagsturing industrie, slim laden).
- 7 Zet systeemflex in op het juiste niveau in de netten om zodoende balanshandhaving en congestiemanagement aan te kunnen pakken met dezelfde installatie.
- 8 Pas waar nodig netverzwaring toe, richt hierbij in eerste instantie op knelpunten met langdurige pieken van zowel vraag als aanbod.

Methode	Omschrijving	Impact	Betaalbaarheid	Ruimtelijke inpasbaarheid	Realisatiesnelheid	Oplossing voor knelpunttype
Netverzwaring	Uitbreiding van stations en tracés is de huidige standaard – het net moet zich aanpassen aan het gebruik.					Afname en opwek
Verplaatsen naar ander netvlak	Verplaatsen van belasting naar ander netvlak kan goedkoop en voor lange duur worden ingezet, mits er capaciteit beschikbaar is.					Afname en opwek
Redundantie verlaten (N-0)	Het net is berekend op functioneren als er een onderdeel uitvalt (N-1). Bij het loslaten van die "redundantie" loopt de leveringszekerheid risico.					Opwek
Curtailment	Aftoppen van pieken in opwek. Bij voorkeur inzetbaar voor hoge pieken en kleine volumes.					Opwek
Grootschalige batterij	Oplossing bij plaatsing tussen netknelpunt en oorzaak. Geschikt voor met name korte tijdschaal en relatief prijzig.					Afname en opwek
Kleinschalige batterij	V2G, thuis- of buurtbatterij, met name voor korte tijdschaal (dagbalans) een interessante oplossing.					Afname en opwek
Power to gas	Geschikt voor ODN knelpunten en voor tijdschaal van seconden tot maanden.					Opwek
Power to heat	Geschikt voor tijdsduur tot weken/ maanden afhankelijk van opslag en verliezen.					Opwek
Vraagsturing (op aanbod)	Bij veel aanbod wordt er alvast elektriciteit gebruikt voor koelen of bij gemalen. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.					Opwek
Hybridisering	Bij veel aanbod van elektriciteit wordt elektriciteit gebruikt, en anders de andere energiedrager (vaak gas).					Afname
Geografisch bij elkaar brengen vraag en aanbod	Verplaatsen opwek of verplaatsen afname					Afname en opwek
Andere opstelling zon-PV	Door andere oriëntatie wordt de piek gereduceerd en opwek op andere tijdstippen verhoogd.					Opwek
WKK/brandstofcellen	Lokale opwek bij vraagknelpunten: hierdoor kan lokaal worden voldaan aan de vraag en hoeft de elektriciteit niet te worden getransporteerd over het net.					Afname
Combineren zon en windenergie bij aanbodknelpunten	Door beide op dezelfde aansluiting te realiseren wordt beter gebruik gemaakt van de netcapaciteit					Opwek
Vraagsturing (op afname)	Bij veel vraag wordt er vraag afgeschakeld en verplaatst naar later tijdstip. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.					Afname

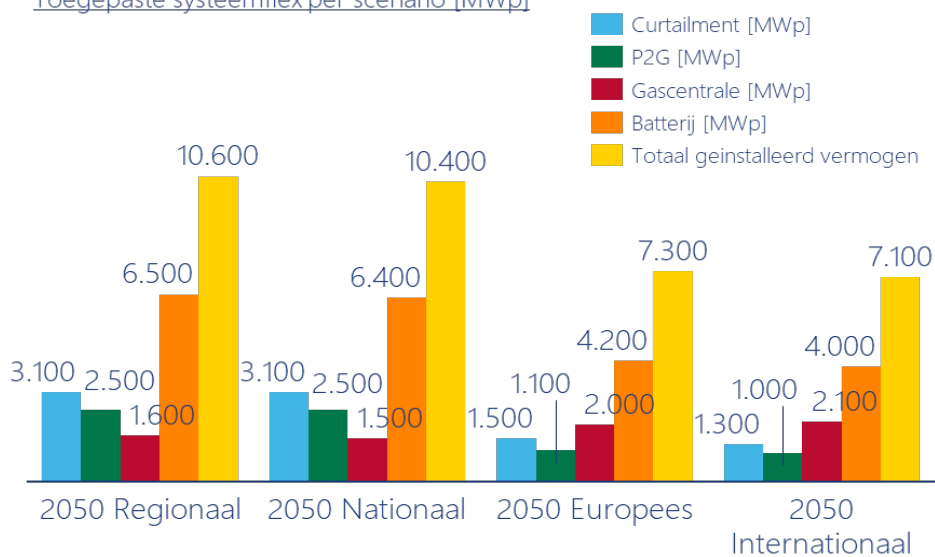
Figuur 36. Overzicht van oplossingsrichtingen met kwalitatieve waardering op impact, betaalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid en realisatiesnelheid. Hoe meer ingevuld het bolletje, hoe hoger de score op het betreffende aspect.

## Benodigde hoeveelheid systeemflex per scenario

De benodigde vermogens aan systeemflex zijn per scenario samengevat in Figuur 37. Wat opvalt is dat de behoefte aan systeemflex het grootste is in het Regionale en Nationale scenario. Dat komt omdat het aanbod aan lokale zonne- en windenergie in deze scenario's groot is, terwijl de vraag naar elektriciteit juist kleiner is dan in het Europese en Internationale scenario. Er ontstaan daardoor grotere overschotten door een mismatch tussen vraag en aanbod. Om deze overschotten op te vangen kan elektriciteit worden geëxporteerd via het transportnet of extra lokale flexibele vraag naar elektriciteit worden gerealiseerd. Voor dit laatste is impliciet gekozen in de vorm van meer curtailment (beperken van vraagpieken), meer Power-to-Gas (vergroten van de vraag) en meer grootschalige batterijsopslag (opvangen van een mismatch tussen aanbod en vraag). Want ten grondslag aan de allocatie van systeemflex ligt de wens om het transport van elektriciteit over het transportnet van TenneT te beperken. Hierdoor wordt de oplossing dus lokaal gezocht in de vorm van systeemflex.

In fFiguur 37 is verder te zien dat de behoefte naar Gas-to-Power in het Europese en Internationale scenario groter is dan in de Regionale en Nationale scenario's. Dit komt doordat de elektriciteitsvraag in het Europese en Internationale scenario juist hoger is en de lokale elektriciteitsproductie lager, waardoor de noodzaak om energie tijdelijk op te slaan kleiner is. Er zijn daardoor minder lokale (opgeslagen) overschotten, maar juist vaker tekorten. Om deze tekorten op te lossen is meer import naar de provincie van elektriciteit via het transportnet nodig of meer lokale productiecapaciteit. Voor dit laatste is impliciet gekozen in de vorm van Gas-to-Power, omdat anders de transportcapaciteit vergroot zou moeten worden.

Toegepaste systeemflex per scenario [MWp]



Figuur 37. Type en vermogen aan systeemflex per scenario in 2050

Zoals te zien in Tabel 5 valt op dat de benodigde capaciteit van Power-to-Gas-centrales het sterkste verschil tussen de verschillende scenario's (maximaal 150%), terwijl de verschillen in benodigde capaciteit aan Gas-to-Power redelijk beperkt zijn (maximaal 40%). Een groot verschil tussen de scenario's geldt ook voor de hoeveelheid curtailment (maximaal 140%) die nodig is. Dit is echter minder problematisch aangezien curtailment schaalbaar is met het geïnstalleerd vermogen aan zonne- en windenergie. Voor grootschalige batterijsopslag zijn de verschillen tussen de scenario's minder groot (maximaal 60%). Ook geldt dat batterijsopslag redelijk makkelijk schaalbaar is, waardoor hier gemakkelijker/sneller opgestuurd kan worden.

Tabel 5. Opgestelde vermogen aan systeemflex en percentueel verschil tussen benodigde vermogens

	2050 Regionaal	2050 Nationaal	2050 Europees	2050 Internationaal	percentuele verschillen tussen scenario's
Curtailment	3.100 MW	3.100 MW	1.500 MW	1.300 MW	maximaal 140%
Power-to-Gas (P2G)	2.500 MW	2.500 MW	1.100 MW	1.000 MW	maximaal 150%
Gas-to-Power (G2P)	1.600 MW	1.500 MW	2.000 MW	2.100 MW	maximaal 40%
Grootschalig batterijopslag	6.500 MW	6.400 MW	4.200 MW	4.000 MW	maximaal 60%
P2G+G2P+batterijopslag	<b>10.600 MW</b>	<b>10.400 MW</b>	<b>7.300 MW</b>	<b>7.100 MW</b>	n.v.t

### Geografische spreiding van systeemflex

Bijlage 9 bevat per scenario en type systeemflex een overzicht hoeveel systeemflex per koppelstation geïnstalleerd zou kunnen worden. Uiteraard betreft dit een verwachting op basis van een mogelijk toekomstscenario, maar het geeft wel handvatten om meer lokaal te kijken waar en hoeveel systeemflex gerealiseerd zou kunnen worden. Dit is met name interessant als informatie voor de provincie en lokale gemeente.

#### 6.3.1 Effecten van systeemflex en verlaten redundantie (n-0)

Tabel 6 laat zien wat de impact is van het toevoegen van systeemflex en het verlaten van de redundantie op de knelpunten op het niveau van de koppelstations. In alle vierde scenario's vermindert het aantal knelpunten drastisch. Als wordt gekeken naar knelpunten met meer dan 100 uur per jaar overbelasting, daalt het aantal verder naar 6 of 7 voor de 2050-scenario's. Het aantal knelpunten waar een piekoverschrijding meer dan 100 uur per jaar voorkomt, ligt voor de 2050-scenario's zelfs gelijk of lager dan voor de 2030-scenario's waar geen systeemflex aan is toegevoegd.

Tabel 6. Aantal knelpunten (koppelstations) voor/na inzet van systeemflex en het verlaten van redundantie

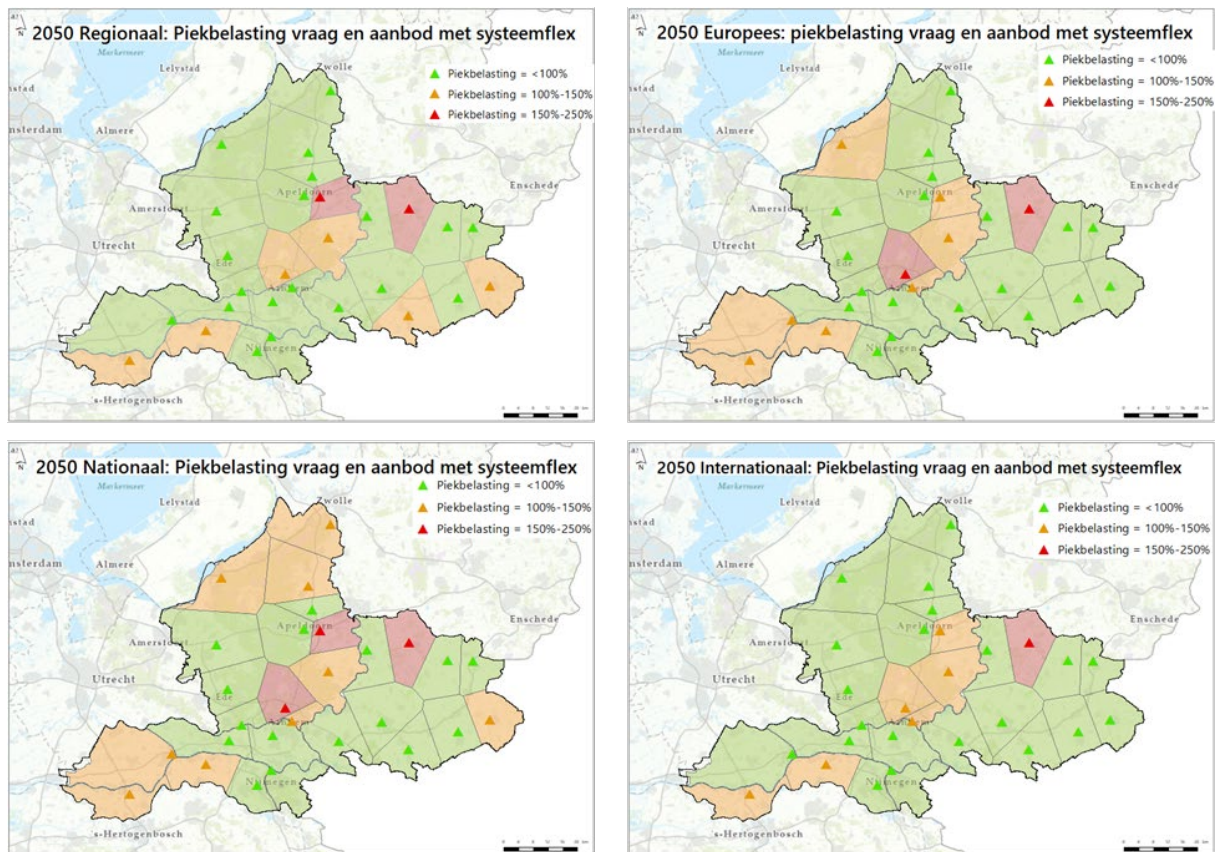
Scenario	Aantal knelpunten zonder systeemflex	Aantal knelpunten met systeemflex	Aantal knelpunten met systeemflex en n-0	Knelpunten >100 uur per jaar
2030 basis	9	n.v.t.	8	6
2030 hoog	19	n.v.t.	17	15
2050 Regionaal	24	12	8	6
2050 Nationaal	23	13	12	7
2050 Europees	21	11	9	6
2050 Internationaal	21	9	7	6

Tabel 7 geeft een overzicht bij welke koppelstations in 2050 nog sprake is van een overschrijding van het huidige geïnstalleerd vermogen na inzet van systeemflex en het verlaten van redundantie (n-0). De totale overschrijding geeft slechts een indicatie, omdat de exacte stationscapaciteit ook als indicatie is meegegeven. Of en hoeveel overbelasting er plaats vindt, hangt af van het scenario. Wat opvalt is dat in vrijwel elk scenario bij nagenoeg dezelfde twaalf stations nog sprake is van een overbelasting. De grootste bottleneck is stelselmatig het koppelstation Druten. Gevolgd door Lochem en Woudhuis.

Tabel 7. Overzicht koppelstations met capaciteitsoverschrijding na inzet systeemflex en verlaten redundantie (n-0)

#	Station	Piekbelasting zonder systeemflex	Piekbelasting met systeemflex	Piekbelasting met systeemflex en n-0
1	150 kV-station Druten	486% - 742%	232% - 281%	132% - 181%
2	150 kV-station Woudhuis	277% - 577%	147% - 180%	147% - 180%
3	150 kV-station Lochem	312% - 510%	158% - 180%	158% - 180%
4	150 kV-station Vaassen	288% - 557%	107% - 171%	100% - 105%
5	150 kV-station Kattenberg	146% - 173%	132% - 155%	132% - 155%
6	150 kV-station Tiel	202% - 496%	100% - 143%	100% - 118%
7	150 kV-station Winterswijk	215% - 455%	100% - 140%	100% - 140%
8	150 kV-station Zaltbommel	181% - 219%	125% - 130%	125% - 130%
9	150 kV-station Hattem	277% - 466%	115% - 124%	100% - 121%
10	150 kV-station Eerbeek	163% - 193%	110% - 142%	110% - 142%
11	150 kV-station Ulft	197% - 344%	100% - 103%	100% - 103%
12	150 kV-station Arnhem	107% - 130%	100% - 107%	100% - 107%

Figuur 38 geeft voor de vier scenario's van 2050 aan waar de knelpunten zich na inzet van systeemflex bevinden. De extra impact van grootschalige opwek in het Regionale en Nationale wereldbeeld is duidelijk zichtbaar. Knelpunten bevinden zich vooral in de landelijke gebieden van de provincie.



Figuur 38. Knelpunten 2050 met toepassing van systeemflex. Groen is een piekbelasting onder 100% van de capaciteit, oranje tussen 100-150%, en in rood een belasting boven de 150%. Voor aanbod wordt in de kleurcodering van capaciteit al gebruik gemaakt van redundante capaciteit. Kleurcodes laten de relatieve belasting zien ten opzichte van de stationscapaciteit.

### Netuitbreiding en netverzwaring

Op basis van Tabel 7 is duidelijk dat er, afhankelijk van het scenario, nog maximaal twaalf koppelstations zijn die ondanks de inzet van systeemflex en het verlaten van de redundantie nog steeds een knelpunt vormen. Voor die koppelstations is het dan ook noodzakelijk om de capaciteit uit te breiden of een nieuw station te realiseren. Maar let op: ook koppelstations zonder overbelasting kunnen alsnog gebieden bestrijken waar het onderliggende net zwaar in de problemen kan komen door lokale onbalans tussen vraag en aanbod.

Tabel 8 geeft per scenario een overzicht van de benodigde uitbreidingen en/of nieuw te realiseren koppelstations. Hierbij is rekening gehouden met de mogelijkheden om bestaande koppelstations nog uit te breiden. Indien dit niet mogelijk is, wordt gekozen voor nieuwbouw.

Duidelijk is dat er voor het 2030-Basisscenario al tenminste acht nieuwe en/of uitgebreide koppelstations noodzakelijk zijn om de verwachte ontwikkelingen te kunnen accommoderen. Dit aantal ligt in dezelfde ordegrrootte als het benodigde aantal uitbreidingen/nieuwe stations voor de scenario's voor 2050 (inclusief systeemflex en het verlaten van redundantie). Dat zou kunnen betekenen dat er na 2030 nauwelijks nieuwe stations bijgebouwd zouden moeten worden, mits systeemflex volledig wordt gerealiseerd en mits de locatie en extra vermogens van deze koppelstation daarmee overeenkomen..



Een hogere verduurzamingsambitie, zoals beoogd in het 2030 Hoog-scenario, zou zorgen voor meer dan een verdubbeling van het aantal nieuw te bouwen koppelstations voor 2030. Hierdoor zouden er voor 2030 meer nieuwe stations moeten worden gebouwd dan dat er in de 2050-scenario's zijn voorzien (met het gegeven dat systeemflex volledig wordt gerealiseerd). Met als gevolg dat de investeringsbehoefte voor 2030 niet in lijn ligt met die van 2050. Een goede afweging tussen netverzwaring en systeemflexibiliteit op het gebied van kosten, realisatiesnelheid en maakbaarheid is van belang om desinvesteringen te voorkomen.

Tabel 8. Overzicht netuitbreiding en verzwaring

Scenario	Uitbreidingen koppelstations 80 MVA	Uitbreidingen koppelstations 160 MVA	Nieuwbouw koppelstations 80 MVA	Nieuwbouw koppelstations 160 MVA	Totaal
2030 basis	3		3	2	8
2030 hoog	4	1	7	4	16
2050 Regionaal	4		4		8
2050 Nationaal	5		7		12
2050 Europees	4		5		9
2050 Internationaal	3		4		7

## 6.4 Tussen- en middenspanning

Tabel 4 (paragraaf 6.2.2) toont het aantal knelpunten op de Gelderse tussen- en middenspanningstations. Dit zijn de knelpunten die in de scenario's ontstaan als er geen systeemflex wordt gerealiseerd op deze netvlakken. In deze systeemstudie is al het systeemflex-vermogen toegekend aan de koppelstations van Liander, maar in de praktijk is het zeer goed mogelijk dat dit vermogen (deels) op lagere netvlakken gerealiseerd wordt en ook daar een belangrijke rol kan spelen in het oplossen van knelpunten. Met name curtailment en batterijen zijn hier zeer geschikt voor: curtailment kan de vermogens van zonne- en windparken die op het TS- of MS-netvlak zijn aangesloten, beperken en is dus naar rato van aangesloten opwekvermogen inzetbaar. Batterijen kunnen zowel vraag- als aanbodpieken opvangen en zijn modulair op te bouwen: Meerdere kleinere batterijen op lagere netvlakken hebben samen een vergelijkbaar effect als een grote batterij op een hoger netvlak. Wat betreft ruimtegebruik en investeringskosten kan het de voorkeur hebben om kleinere batterijen in te zetten.

Voor Power-to-Gas en Gas-to-Power geldt dat er schaalvoordelen zijn bij het neerzetten van grotere vermogens, zowel wat betreft investering als af- en aanvoer van gassen. Hierdoor zullen deze technieken naar verwachting een minder grote rol spelen in de lagere netvlakken.

## 7. Ontwikkelingen voor het landelijke hoogspanningsnet

### 7.1 Samenvatting inzichten landelijk hoogspanningsnet

In de 2030-scenario's worden meerdere knelpunten verwacht in het hoogspanningsnet. Dit is in overeenstemming met knelpunten die zijn geconstateerd bij het opstellen van het investeringsplan door landelijk hoogspanningsnetbeheerder TenneT, waar voor de meeste knelpunten een generieke oplossing is gevonden. Die oplossing ligt in het vergroten van de transformatiecapaciteit tussen het 150 kV-net en het 380 kV-net in Dodewaard, Doetinchem, Lelystad en Breukelen Kortrijk. Daarnaast worden bepaalde hoogspanningsverbindingen op het 150 kV-net tussen de provincies Flevoland, Gelderland en Utrecht geopend, waardoor het 150 kV-net als een afgebakend web rondom een koppeling met het 380 kV-net wordt ingericht (zogenoemde 'loadpockets'). De elektrische energie die niet binnen deze loadpockets niet zelf wordt afgenomen wordt via de koppelpunten naar het 380 kV-netvlak getransporteerd. Daarmee wordt transport van elektriciteit beter via het 380 kV-net geleid, en minder via sluiproutes op lagere netvlakken die daar niet op zijn berekend.

Door het toepassen van loadpockets én daarbovenop het toepassen van systeemflex op de 150kV-koppelstations zijn er in 2050 beduidend minder knelpunten dan in 2030. Overschrijdingen die er zijn, duren relatief gezien niet lang. Oplossingen kunnen in meerdere richtingen worden gevonden, maar gegeven de relatieve beperktheid (het aantal uur dat de overschrijding plaatsvindt in combinatie met de mate van overbelasting) van de knelpunten is netverzwaring mogelijk niet in alle gevallen de meest kosteneffectieve oplossingsrichting. Welke oplossingen het meest effectief en kostenefficiënt zijn zal nader moeten worden bepaald.

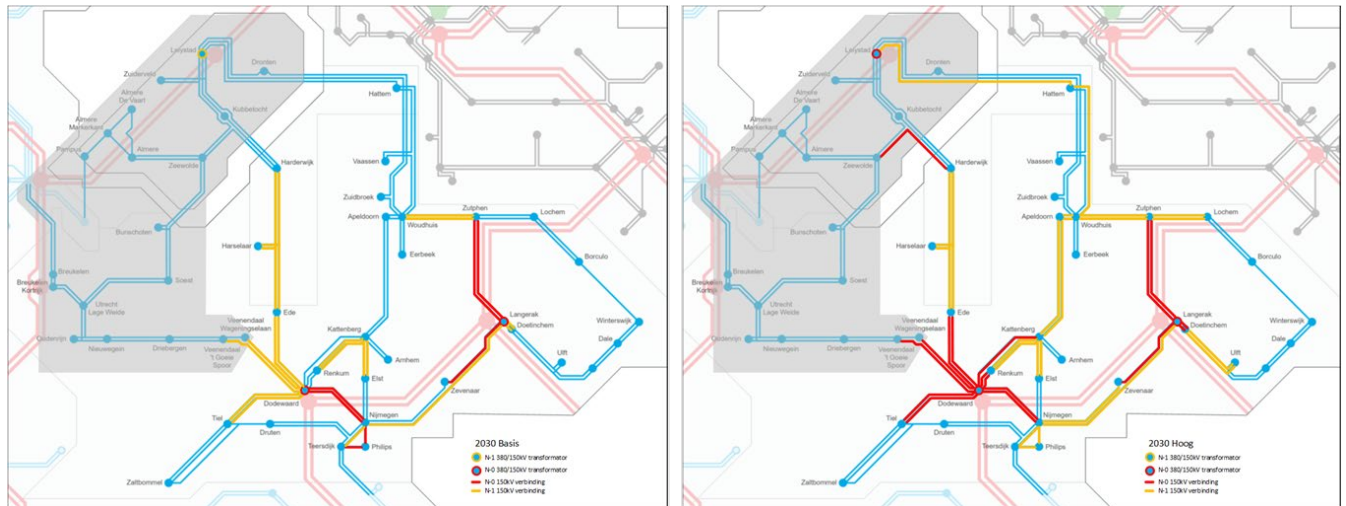
### 7.2 Knelpunten transportnetten elektriciteit in 2030

De scenario's voor 2030 zijn door TenneT doorgerekend om de impact van de elektriciteitsvraag en aanbod op het 150 kV- en 380 kV-transportnet vast te stellen. In hoofdstuk 5.2 is beschreven wat de huidige situatie is van het elektriciteitsnet, en wat de begrenzingen zijn tussen het deel dat door TenneT en het deel dat door Liander beheerd wordt. In hoofdstuk 2.4 is de methode van doorrekening beschreven.

In Figuur 39 worden de knelpunten op het 150 kV-net weergegeven, en op de hoogspanningsstations met een koppeling naar het 380 kV-net. Een knelpunt treedt op wanneer de berekende transportvraag de bestaande capaciteit overschrijdt. De figuur links geeft de knelpunten aan voor het RES-biedingen-scenario, en het rechter figuur voor het 55%-reductie-scenario. Duidelijk wordt dat er reeds in 2030 knelpunten worden verwacht op de transportnetten en op twee van de hoogspanningsstations naar het 380 kV-net in Gelderland.

De eis qua netontwerp is dat bij het uitvallen van een enkel element (ook genoemd de 'N-1') de leveringszekerheid niet in gevaar komt. Daarnaast is getoetst aan de uitval van een enkel element tijdens onderhoud (ook wel genoemd de "N-2").

Op de oranje gekleurde tracés vindt overschrijding van de transportcapaciteit plaats bij N-1. De rood gekleurde tracés geven aan waar zelfs in de ongestoorde toestand (N-0) knelpunten optreden. Dat gaat dus om echt grote overschrijdingen. Op de tracés tussen Dodewaard en Nijmegen, en tussen Zutphen, Langerak en Zevenaar vindt een zodanig hoge transportvraag plaats dat deze zelfs bij N-0 de capaciteit van het net overschrijdt. Dit gebeurt in beide 2030-scenario's. Zoals verwacht kan worden, en ook in lijn met de resultaten in hoofdstuk 6, zijn bij het 55%-reductiescenario in 2030 de overschrijdingen op meerdere plaatsen en met hogere percentages te vinden.



Figuur 39. Knelpunten binnen de transportnetten in 2030. Weergegeven zijn in lichtrood het 380kV-net, in blauw het 150 kV-net, en knelpunten bij N-1 (in geel) en bij N-0 (in rood).

## 7.3 Oorzaken en oplossingen voor knelpunten in 2030

### 7.3.1 Oorzaken 2030-knelpunten

In het scenario '2030 basis' zijn er vooral N-1-knelpunten welke zich concentreren op de 150kV-verbindingen rond de 380/150kV-koppelpunten. Deze knelpunten worden hoofdzakelijk veroorzaakt tijdens een hoog aanbod van (gelijktijdige) zon- en windproductie. De opgewekte energie die niet in Gelderland wordt afgenomen, moet worden afgevoerd naar het 380kV-net. Een enkele verbinding geeft alleen een knelpunt om 's winters vermogen aan te voeren.

In het '2030 Hoog'-scenario worden de al gesignaleerde knelpunten extremer, het aantal knelpunten stijgt en enkele N-1 knelpunten groeien door tot knelpunten die ook al optreden in de ongestoorde ('N-0')-toestand. Het extremer worden van de knelpunten in het '2030 Hoog'-scenario is te wijten aan het grotere aanbod van hernieuwbare energie.

### 7.3.2 Oplossing door creëren van loadpockets

De knelpunten die zijn geïdentificeerd in deze systeemstudie komen overeen met de knelpunten zoals bepaald tijdens de investeringsplanberekeningen van TenneT, waarvoor een integrale visie als oplossing is opgenomen. De visie voor het 150kV-net in de provincies Flevoland, Gelderland en Utrecht (FGU-net) is de opsplitsing in minimaal vier (load/productie) pockets rond de huidige 380/150kV-koppelpunten. Hiermee worden op zichzelf staande pockets gecreëerd, waarbinnen de energie direct van en naar het 380/150kV-koppelpunt wordt getransporteerd en niet meer verspreid door het gehele 150kV-net. Een analogie kan worden gevonden in het wegennet: snelwegen (het 380 kV-net) zijn bedacht op grote volumes, daar waar de provinciale of regionale wegen (150 kV-net) die volumes niet aankunnen. Door verkeer voor de grote afstanden eerst naar de snelweg te leiden, is er minder verkeer over de provinciale wegen, die daardoor worden ontlast.

Het 380 kV-net heeft een veel grotere transportcapaciteit dan het 150 kV-net. Door het benutten van deze capaciteit, in plaats van de elektriciteit ook haar weg te laten vinden over het 150 kV-net, worden de 150 kV-netten ontlast en vindt het transport plaats op het hogere netvlak, waar wel voldoende capaciteit aanwezig is. Verzwaring van het 150 kV-net om in het transport te kunnen voorzien is dan veel minder of bijna niet nodig. Om de volumes tussen het 150 en 380 kV-net te kunnen uitwisselen, is dan binnen deze pocketvorming wel extra versterking van de 380/150kV-koppelpunten nodig door het verhogen van de transformatiecapaciteit.

## 7.4 Knelpunten transportnetten elektriciteit in 2050

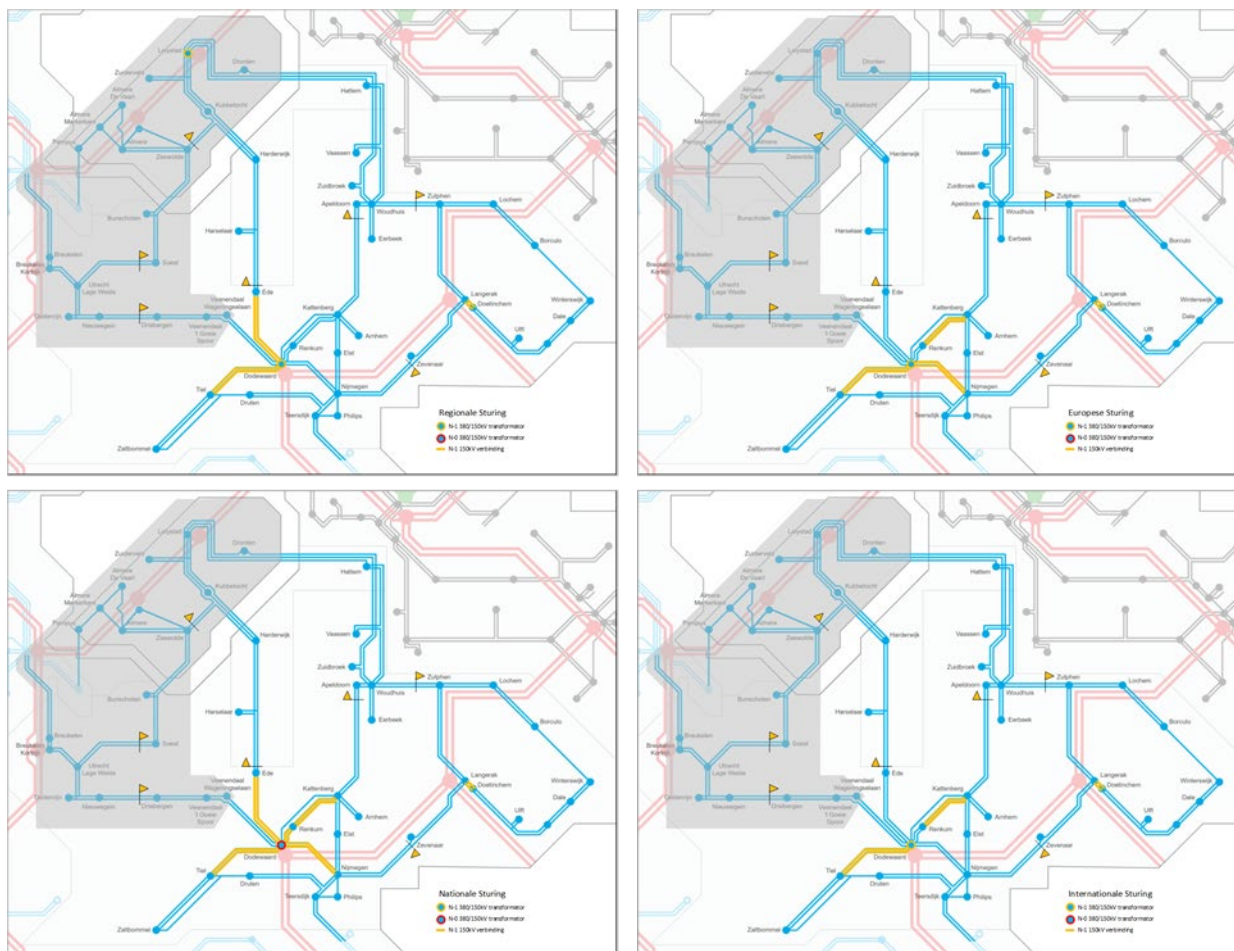
In de doorrekening van de 2050-scenario's zijn er twee belangrijke wijzigingen ten opzichte van de 2030-doorrekeningen:

- De oplossing zoals geschetst voor de 2030 knelpunten, namelijk het hanteren van loadpockets, is het uitgangspunt van de netstructuur in 2050.
- Er is op het punt van de 150 kV-stations, waar ook de transformatoren van Liander zijn aangesloten, systeemflex toegepast.

De ontwikkelingen die zijn geschetst in hoofdstuk 6 omtrent de regionale distributienetten van elektriciteit hebben ook hun weerslag op de transportnetten. Doordat de belasting op de infrastructuur zo hoog wordt, en veel meer fluctuatie kent dan in het verleden, is het adresseren van knelpunten enkel en alleen door middel van netverzwaring niet langer houdbaar. Toepassen van systeemflex, waarvan realisatie en optimalisatie zeker nog onderwerp is van nadere studie, geeft goede mogelijkheden om in combinatie met verzwaring van netten te zorgen voor oplossingen van knelpunten op een haalbare en kosteneffectieve manier. Daarom heeft TenneT voor 2050 de scenario's doorgerekend met toepassing van systeemflex.

In Figuur 40 worden de knelpunten weergegeven van het 150 kV-netvlak en de 380/150kV-koppelpunten. Opvallend is dat er *minder* knelpunten zijn dan in de 2030-situatie. Slechts in één van de scenario's, het scenario Nationale sturing, is er bij N-0 al overbelasting van het station in Dodewaard. In alle scenario's zijn richting Dodewaard of vanuit Dodewaard wel N-1-knelpunten terug te vinden, waar een oplossing voor moet worden gevonden.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de combinatie van loadpockets en systeemflex zodanig effectief is dat veel knelpunten worden vermeden. Anderzijds zijn er nog wel degelijk knelpunten terug te vinden, en zal daar naar oplossingen moeten worden gezocht. Mogelijk kunnen door slimme keuzes zowel knelpunten bij TenneT als bij Liander worden opgelost en daarin synergieën worden gevonden.



Figuur 40. Knelpunten op het 150 kV en 380 kV-transportnet van TenneT voor de vier 2050-scenario's. In 2050 wordt uitgegaan van toepassing van loadpockets en van systeemflex. Mede daardoor treden er relatief weinig en milde knelpunten op. Weergegeven is in lichtrood het 380kV-net, in blauw het 150 kV-net, en knelpunten bij N-1 (in geel) en bij N-0 (in rood).

## 7.5 Oorzaken en oplossingen voor 2050-knelpunten op het transportnet

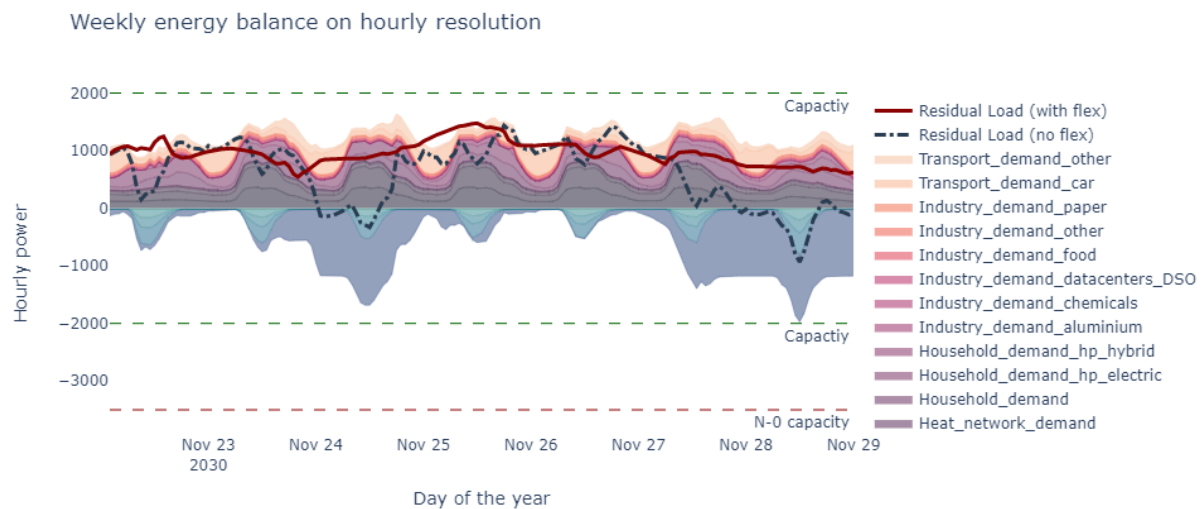
In alle scenario's is een zekere mate van vergelijkbaarheid te vinden. Dit was ook te zien in hoofdstuk 6. Bij de transportnetten is altijd het tracé Dodewaard-Tiel terug te vinden als knelpunt, en in drie van de vier gevallen het tracé Langerak-Doetinchem, Dodewaard-Nijmegen, en Renkum-Kattenberg.

Geen van de scenario's kent een hoog aantal uur waarin de transportcapaciteit wordt overschreden. De zwaarste overbelasting (bij N-1) treedt op bij het tracé Doetinchem-Langerak. De piekbelasting is het hoogst in het nationale scenario (156% van de capaciteit), en in uren is de overbelasting het langstdurend in het Europese scenario (624 uur in het jaar). Dit tracé bestaat uit twee lijncircuits. De hoogste overschrijding treedt op ten gevolge van een hoge laadpiek van vrachtvervoer terwijl er weinig lokale opwek is bij de achterliggende stations. In geen van de scenario's is er sprake van een overbelasting bij ongestoord bedrijf, dat wil zeggen als het hele netwerk verder goed functioneert zonder uitval of verstoringen.

Het enige knelpunt bij ongestoord bedrijf treedt op bij het nationale scenario in 380/150kV-koppelpunt Dodewaard. Nadere analyse wijst uit dat dit slechts om een marginale overschrijding gaat, waarbij gedurende één uur de capaciteit wordt overschreden. Dit gebeurt in een scenario waar de belasting maximaal is. Genoemd uur is terug te vinden in het midden van de week waarvan het profiel zichtbaar is in Figuur 41. De vraag is hoog, en het aanbod van hernieuwbare opwek is minimaal. Dit gaat dus om een 'vraag'-gerelateerd knelpunt.

Drijvers van die vraag zijn met name de sectoren vrachtvervoer en gebouwde omgeving. In het figuur is de overschrijding niet te zien.

Overschrijding van de capaciteit wordt veroorzaakt door het totaal aan koppelstations dat achter het 380/150kV-koppelpunt Dodewaard is aangesloten, wat meer is dan in het resultante profiel zichtbaar is, maar waarvan het profiel vergelijkbare kenmerken heeft.



Figuur 41. Vraag en aanbod van elektriciteit in 2050 in het Nationale scenario voor koppelstation Dodewaard.

De vraag naar elektriciteit door vrachtvervoer zorgt mede voor overschrijdingen in de 2050-scenario's. Hier is het aspect van 'slim laden' echter nog niet meegenomen. Die oorzaak is relatief eenvoudig weg te nemen of te verminderen door het toepassen van slim laden bij vrachtvervoer, waardoor de piekvraag wordt verlaagd en de elektriciteitsvraag wordt uitgesmeerd over de nacht, in plaats van te pieken in de avonduren.

De vraag naar elektriciteit van de gebouwde omgeving is eveneens fors op het moment dat de knelpunten optreden. Dit heeft te maken met de warmtevraag. Meerdere oplossingen zijn hiervoor te bedenken. Kosteneffectiviteit van de maatregelen kan in toepassing ervan een rol spelen, evenals haalbaar- en maakbaarheid.

Eenzijds kan meer isoleren zorgen voor het verlagen van de warmtevraag in de gebouwde omgeving. Dat is een oplossing die valt onder de categorie 'overige', en krijgt daardoor vaak minder aandacht. Deze maatregel is echter wel noemenswaardig en kan helpen bij het tegengaan van de overschrijding van capaciteit.

Anderzijds kunnen aanpassingen in het elektriciteitsnet een oplossing zijn, zoals het verzwaren ervan of door het loslaten van redundantie. Dat laatste wordt alleen als optie gezien voor lokale opwek en niet voor vraagknelpunten, omdat dan de leveringszekerheid in het geding komt. Verzwaren lijkt vooral interessant als het vele uren een knelpunt blijft. Ook aanpassing van de precieze invulling van de loadpockets, of het anders aansluiten van een verbinding op het net op bijvoorbeeld een nabij gelegen ander netvlak, kunnen worden ingezet als oplossingsmogelijkheden. Daarnaast kunnen ook de ingerichte loadpockets worden herzien, zodat er kleinere deelnetten achter nieuw te bouwen 380 kV-stations ontstaan.

Ook binnen de flexibiliteitscategorie zijn oplossingen te vinden. De hoeveelheid systeemflex kan mogelijk optimaler worden ingezet, waardoor mogelijk knelpunten worden vermeden. Flexibiliteit kan ook op lagere netvlakken worden toegepast. Zeker in het geval van vraagknelpunten door de gebouwde omgeving kan het zinvol zijn deze optie nader te bekijken, omdat de oorzaak vanuit de lagere netvlakken anders doordringt naar de rest van het net.

Binnen de categorie flexibiliteit kan kleinschalige opwek van elektriciteit, het toepassen van (wijk/thuis)batterijen, en hybridisering van warmtevoorziening in beeld komen als oplossing voor het vraagknelpunt.

Naast flexibiliteit kan er ook worden gezocht naar alternatieven voor het verwarmen van de gebouwde omgeving die minder vraag naar elektriciteit met zich meebrengen. Isolatie is reeds genoemd, maar ook denkbaar is het toepassen van warmtenetten op plaatsen waar warmtepompen collectief de elektrische infrastructuur onder druk zetten.

Welke oplossing het beste is, moet per situatie worden afgewogen. Daarbij is het zaak de ontwikkelingen in de gaten te houden, omdat nog niet duidelijk is hoe het energiesysteem in 2050 eruit zal zien. Wel geven de resultaten aan welke verbindingen waarschijnlijk het eerst knelpunten gaan vormen. Knelpunten die in meerdere of alle scenario's voorkomen zijn goede startpunten om meer verdiepende studies naar te starten.

## 8. Ontwikkelingen bij de gasnetten

### 8.1 Samenvatting inzichten gasnetten

Gasnetten hebben in het algemeen grote capaciteit en meer mogelijkheden om fluctuaties op te vangen. Bij het elektriciteitsnet zit daar juist een uitdaging omdat er constant balans moet worden gehouden tussen vraag en aanbod. Door de energietransitie verandert het soort gas dat getransporteerd moet worden. Waar het nu enkel om hoog- en laagcalorisch gas gaat, is er in de toekomst ook vraag naar transport van waterstof en wellicht CO<sub>2</sub>. Tegelijkertijd moet aardgas worden uitgefaseerd en kan groen gas op sommige plekken juist een grotere rol gaan spelen.

In de regionale transportleidingen (RTL) en lokale distributienetten ligt de uitdaging in de verwachte vraag naar waterstof. Zowel de RTL en de regionale distributienetten hebben over het algemeen ruim voldoende capaciteit en de leveringszekerheid wordt via een systeem van vermazing (onderlinge verknoping) geborgd. Echter, er kan hierdoor slechts één energiedrager door het leidingstelsel van een bepaald gebied stromen. Als een bepaald gebied een transitie naar waterstof wil maken, dan moet op gebiedsniveau dat deel van het gasnet geïsoleerd worden. Dat kan voor infrastructuraanpassingen en wellicht knelpunten zorgen rond of na 2030. Belangrijk is dat waterstofplannen binnen de industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit al in een vroeg stadium met Liander en Gasunie gedeeld worden. Planvorming kan dan gezamenlijk plaatsvinden en er kan geïnventariseerd worden wat kostenefficiënte, ruimtelijke haalbare en maakbare oplossingen zijn.

De productie van groen gas kan lokaal zorgen voor capaciteitsknelpunten in de regionale distributienetten doordat het lokale aanbod groter is dan de lokale vraag naar gas. Dit type knelpunt kan al voor 2030 ontstaan. Het plaatsen van boosters waarmee het produceerde groene gas op een hoger drukniveau ingevoed kan worden en het vergroten van het afzetgebied door regionale distributienetten met elkaar te verbinden kan als oplossing dienen.

Binnen de hoofdtransportleidingen zouden mogelijk capaciteitsknelpunten kunnen ontstaan als gevolg van transport van waterstof naar Duitsland of naar nieuwe elektriciteitscentrales. Deze knelpunten zijn pas na 2030 te verwachten. Het ontstaan van dit type knelpunten is momenteel te onzeker om specifieke oplossingen aan te dragen.

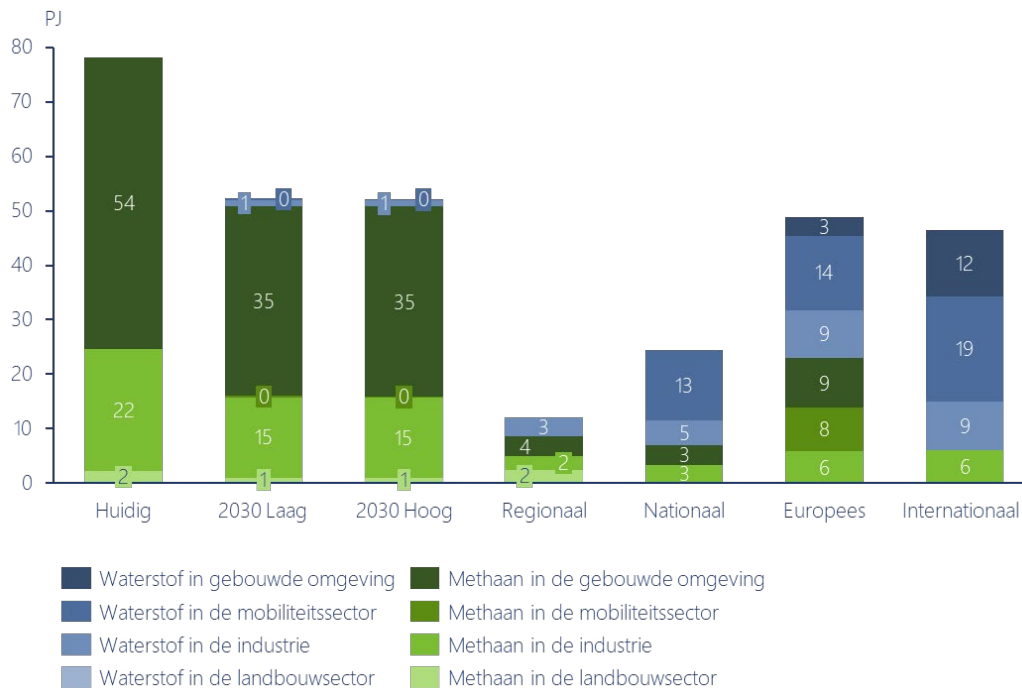
### 8.2 Knelpunten in de gasnetten

Groengasproductie vindt het gehele jaar plaats met een vlak profiel. De vraag naar methaan is echter niet constant. In de winter is de vraag naar methaan groter vanwege een grotere warmtevraag afkomstig uit de gebouwde omgeving. Gedurende de zomerperiode is de warmtevraag juist gering. Het aanbod van groengas overstijgt in dat geval mogelijk de vraag naar methaan. Wanneer het aanbod van groengas de vraag voor een langere periode overstijgt, zal het groen gas in een hoger netvlak ingevoed moeten worden. Knelpunten, veroorzaakt door groengasproductie, treden op in het distributienet van Liander. In de gasnetten van GTS leidt dit meestal niet tot knelpunten.

De energietransitie kenmerkt zich onder andere door diversificatie in energiedragers. Momenteel worden er meerdere gaskwaliteiten (hoogcalorisch en laagcalorisch aardgas) via de gasinfrastructuur van GTS getransporteerd. In de gasnetten van de regionale netbeheerders wordt echter maar één kwaliteit gebruikt (laag calorisch gas). Door de opkomst van waterstof en de mogelijke inzet hiervan in verschillende sectoren ontstaat een complex vraagstuk.



Hoewel het mengen van waterstof en methaan technisch mogelijk is, heeft het de voorkeur om één soort gas te transporteren door een leiding<sup>39</sup>. Op regionale niveau kan dus maar één type gas worden getransporteerd. Een dubbele gasinfrastructuur zou vereist zijn om zowel waterstof als methaan op regionaal niveau te distribueren. Aanleg van een dubbele gasinfrastructuur is, onder andere vanwege de teruglopende vraag naar methaan, niet kostenefficiënt en vanwege de omvang van het gasnet in Nederland niet maakbaar.



Figuur 42. Vraag naar methaan en waterstof per sector

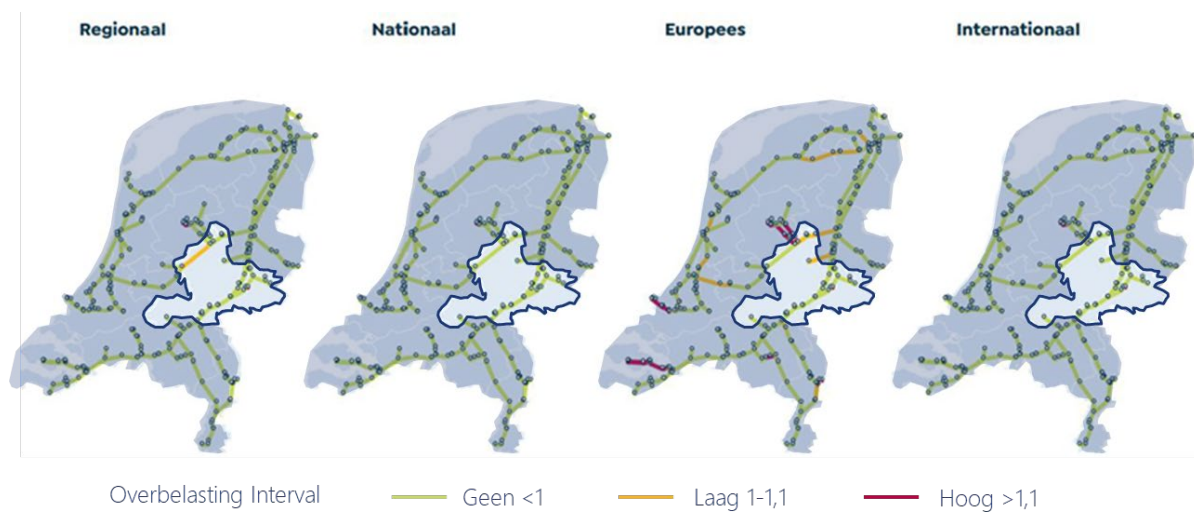
Figuur 42 geeft de vraag naar methaan en waterstof per sector weer. Momenteel is er geen vraag naar waterstof. Richting 2030 zal er een geringe waterstofvraag ontstaan in de industrie en mobiliteit. Een stijgende vraag naar waterstof is in de periode 2030-2050 te verwachten. In het regionale scenario is de vraag naar waterstof relatief beperkt. In met name het Europese en het Internationale scenario is de vraag groot vergeleken met 2030. Ook komt de vraag naar waterstof vanuit verschillende sectoren, wat de distributie complexer maakt.

Voor de mobiliteitssector is de distributie van waterstof eenvoudig te realiseren via tankwagens. De industrie is over het algemeen geconcentreerd. Uitzonderingen zoals de keramische industrie daargelaten. Daarnaast heeft de industrie vaak een grote waterstofvraag per aansluiting, waardoor een fijnmazig netwerk niet noodzakelijk is. Voor de gebouwde omgeving is dit echter wel het geval. Vrijwel elke woning en elk gebouw heeft momenteel een gasaansluiting.

<sup>39</sup> De gaskwaliteit (Wobbe index etc.) moet constant zijn. Het borgen van de gaskwaliteit is zeer complex als waterstof en methaan worden gemengd. Wanneer er lokaal groen gas wordt ingevoerd moet er ook waterstof op die locatie worden toegevoegd om de kwaliteit constant te houden. Er wordt wel onderzoek gedaan naar gasscheiders, zodat er zowel waterstof als methaan door de gasnetten kan stromen, maar er bij de eindgebruikers slechts één type gas uit het gasnet wordt onttrokken.

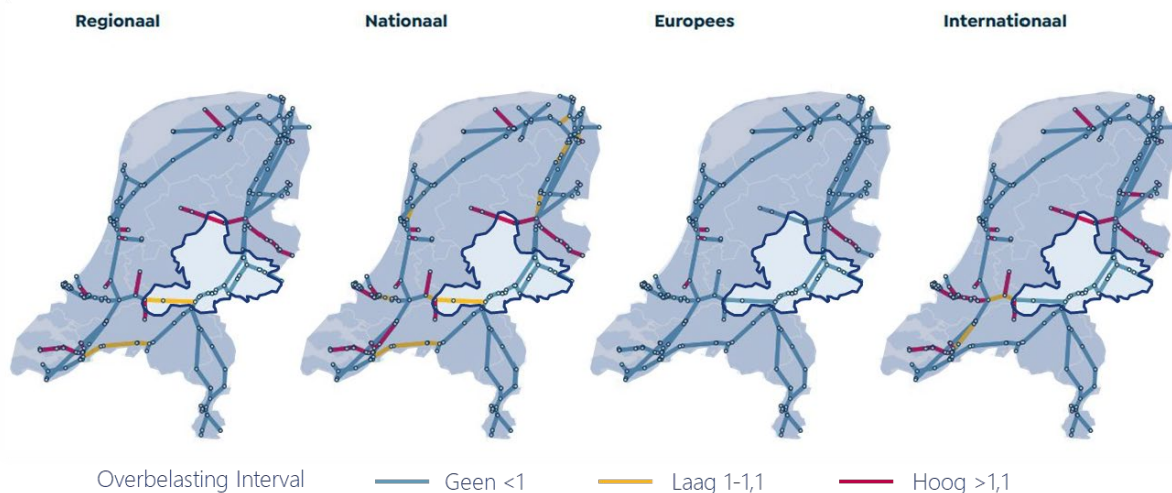
In de scenario's is rekening gehouden met de complexiteit. Dit is met name het geval binnen het Europese scenario, waar zowel waterstof als methaan worden ingezet in vrijwel alle sectoren. Dit betekent dat beide energiedragers gedistribueerd moeten worden in een fijnmazig netwerk. Aangezien een dubbele gasinfrastructuur niet wenselijk is op regionaal niveau zal er een verdelingsvraagstuk ontstaan. De nettopologie en het beschikbare volume waterstof en groengas bepalen welke energiedrager per regio/gebied worden ingezet.

In Gelderland is het verdelingsvraagstuk extra complex vanwege het zesde industriecluster. Dit industriecluster ligt versnipperd over de provincie, vaak met een beperkte energie-infrastructuur. Hierdoor kan een versnipperde vraag naar waterstof en groen gas ontstaan. Verduurzamingsplannen van dit industriecluster zullen grote invloed ondervinden van het type energiedrager dat geleverd gaat worden. Dit betekent dat plannen goed gecommuniceerd moeten worden tussen bedrijven onderling en Liander.



Figuur 43. Belasting methaannetten (HTL) op basis van waarschijnlijke toekomstige netconfiguratie GTS

De gasinfrastructuur is niet provinciegrensgebonden. Een grote vraag naar waterstof in een aangrenzende provincie kan tot knelpunten leiden in de Gelderse gasinfrastructuur. Dit wordt weergegeven in Figuur 43 en Figuur 44, waarbij respectievelijk het HTL-methaan en waterstof zijn afgebeeld voor de landelijke gasinfrastructuur in 2050. In Figuur 43 zijn alleen in het noorden van Gelderland knelpunten aanwezig in het Regionale en Europese scenario. De voornaamste oorzaak van het knelpunten in het Europese scenario is een grote gascentrale, in Flevoland geprognostiseerd, die gevoed wordt vanuit Gelderland. In de overige delen van Gelderland zijn geen knelpunten in de HTL methaannetten gesignaleerd.



Figuur 44. Belasting waterstofnetten (HTL) op basis van mogelijk toekomstige netconfiguratie GTS

De impact van elk scenario op de waarschijnlijke toekomstige configuratie van de waterstofnetten is weergegeven in Figuur 44. Dit figuur laat uitsluitend het HTL zien waarin waterstof getransporteerd wordt. In het Regionale, Nationale en Internationale scenario ontstaat een duidelijk knelpunt in het noorden van Gelderland. De oorzaak hiervan is een grote waterstofcentrale in Flevoland die gevoed wordt vanuit Gelderland. Tevens is er in het Regionale en Nationale scenario sprake van een overschrijding van de capaciteit van een waterstofleiding in de Betuwe. Deze overschrijding wordt veroorzaakt door het transport van waterstof richting Duitsland.

### 8.3 Oplossingsrichtingen knelpunten gasnetten

In deze paragraaf worden de oplossingen voor verschillende typen knelpunten besproken. Dit zijn: overschot van methaan door decentrale groengasproductie en inzet van waterstof in de huidige gasinfrastructuur. Het verknopen van gasnetten en het plaatsen van boosters kunnen knelpunten als gevolg van decentrale groengasproductie voorkomen. Door gasnetten op te knippen kunnen zowel waterstof als methaan getransporteerd en gedistribueerd worden door middel van de huidige gasinfrastructuur.

#### Verhogen transportsnelheid – vraag- en aanbodknelpunten

Door de transportsnelheid in gasleidingen te verhogen kan een groter volume gas getransporteerd worden per tijdseenheid, waardoor zowel aanbod als vraagknelpunten opgelost kunnen worden. De energiedichtheid per volume-eenheid van methaan is circa drie keer zo groot als die van waterstof. Dit betekent dat er driemaal zoveel waterstof in volume getransporteerd moet worden op een gelijke hoeveelheid energie te leveren. Door de transportsnelheid te verhogen van circa 10 meter per seconde naar 30 meter per seconde zou dit probleem opgelost kunnen worden. Onderzoek van DNV-GL toont aan dat het verhogen van de transportsnelheden van waterstof in GTS-leidingen mogelijk is. Hiermee is de verwachting dat het transporteren van waterstof door gasleidingen kan, maar dat dit extra onderzoek vergt om dit definitief vast te kunnen stellen<sup>40</sup>.

#### Drukverlaging – aanbodknelpunten

Door de druk in het gasnet te verlagen wordt extra bufferruimte gecreëerd in het net. Op momenten dat het aanbod van methaan de vraag overschrijdt, kan er meer methaan ingevoerd worden in het gasnet. Hierbij mag de minimale druk niet lager worden dan de contractueel afgesproken minimale druk bij de afnemers.

<sup>40</sup> DNV-GL (2017). *Verkenning waterstofinfrastructuur*.

### **Koppelen van gasnetten – vraag- en aanbodknelpunten**

De maximale capaciteit van lokale gasnetten wordt overschreden wanneer het aanbod van groengas een langere periode de lokale vraag naar methaan overstijgt. Door gasnetten te koppelen (groter te maken) wordt het afzetgebied van lokale gasnetten vergroot. In feite wordt hiermee de kans vergroot dat het geproduceerde groene gas gelijktijdig wordt afgenomen. Een nadeel hiervan is dat een groter deel van de bestaande gasinfrastructuur wordt gebruikt voor methaan, waardoor deze niet meer kan worden gebruikt voor waterstoftransport. Dit is een afweging die gemaakt moet worden

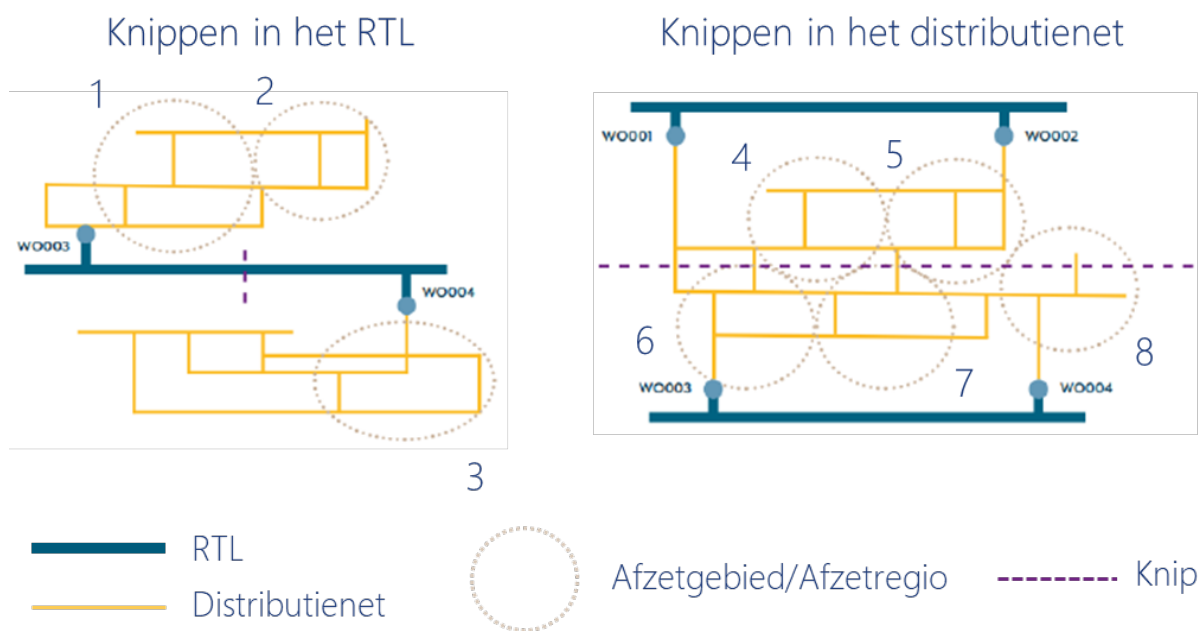
### **Boosters - aanbodknelpunten**

In dunbevolkte gebieden met veel landbouw kan een situatie ontstaan waarin er structureel meer groengas wordt geproduceerd dan wordt afgenomen. In een dergelijke situatie zal het groene gas ingevoed moeten worden in een hoger gelegen netvlak. In hogere netvlakken wordt echter een hogere druk gehanteerd. Om dit drukverschil te slechten kunnen boosters worden ingezet. In de praktijk wordt groengas in het 8 bar- of lagere druk-netvlak van Liander ingevoed. Bij een overproductie aan groengas kan dit door middel van boosters worden ingevoed/overgepompt in het RTL van GTS dat operationeel is op 40 bar.

### **Knippen in gasnetten - verdelingsvraagstuk**

De inzet van waterstof en methaan is op verschillende manieren mogelijk. Ten eerste kunnen beide energiedragers gemengd worden. Deze oplossing wordt vooralsnog beschouwd als onwenselijk. Een tweede optie is het aanleggen van een dubbele infrastructuur. Dit is echter in de RTL en de distributienetten niet kostenefficiënt. De laatste optie is het opknippen van de gasnetten.

Deze laatste optie wordt gezien als meest realistisch. Door de gasnetten op te knippen ontstaan separate netten voor zowel waterstof als methaan. Een gevolg hiervan is dat per regio/gebied maar één gasvormige energiedrager gebruikt wordt. De uitwerking in de praktijk is afhankelijk van de nettopologie en de manier waarop het huidige gasnet geknipt wordt.



Figuur 45. Het knippen van gasnetten

In Figuur 45 worden twee voorbeelden gegeven van het knippen in de gasnetten. In het voorbeeld aan de linkerzijde wordt geknipt in de RTL van GTS. Dit betekent dat er op een hoger niveau in het gasnet bepaald wordt welke regio's/gebieden er waterstof of methaan geleverd krijgen. Een gevolg hiervan is dat afzetgebieden 1 en 2 dezelfde energiedrager geleverd krijgen. Afzetgebied 3 krijgt een andere energiedrager. In het voorbeeld aan de rechterzijde van Figuur 45 wordt geknipt in het distributienet. Het distributienet ligt op een lager niveau in het gasnet. Door te knippen in het distributienet kan een andere verdeling worden gecreëerd. Dit wordt geïllustreerd door het voorbeeld aan de rechterzijde van Figuur 45. Afzetgebieden 4 en 5 zullen dezelfde energiedrager geleverd krijgen, terwijl afzetgebieden 6, 7 en 8 een andere energiedrager krijgen dan afzetgebieden 4 en 5.

Er zijn vele mogelijkheden waarop de gasnetten opgeknipt kunnen worden. Belangrijk is om te bepalen waar een grote vraag of levering naar methaan of waterstof te verwachten is, zodat hierop geanticipeerd kan worden door de topologie van de gasnetten toekomstbestendig te maken. In Bijlage 11 is een uitwerking van een casus te vinden, waarmee geïllustreerd wordt hoe er geknipt kan worden in de gasnetten.

## 9. Kosten, ruimtebeslag en maakbaarheid

Deze studie biedt op hoofdlijnen inzicht in het benodigde ruimtebeslag en de kosten van de energie-infrastructuur in Gelderland, op basis van de vier gemodelleerde scenario's. Hoewel het gehanteerde detailniveau onvoldoende is om (investerings)beslissingen te nemen, kan er wel geconcludeerd worden dat de energietransitie gepaard gaat met hoge investeringskosten in de infrastructuur, zowel in netverzwaring als in de benodigde systeemflex. Bovendien speelt maakbaarheid een rol in de afweging tussen de verschillende oplossingsrichtingen. De realisatiesnelheid van netverzwaring is laag, wat het momentum van energietransitie doet afnemen. Systeemflex kan op de kortere termijn wellicht uitkomst bieden. Tenslotte is ruimtebeslag een belangrijk thema. De fysieke ruimte is beperkt in Nederland, waardoor slim omgegaan moet worden met de ruimte. Systeemflex zou het aantal benodigde uitbreidingen van stations en tracés kunnen verlagen, waardoor de ruimtelijke impact hiervan verkleind kan worden. Aangezien systeemflex ook ruimte inneemt zal er een integrale afweging gemaakt moeten worden.

### 9.1 Samenvatting kosten, ruimtebeslag en maakbaarheid

Deze studie biedt op hoofdlijnen inzicht in het benodigde ruimtebeslag en de kosten van de energie-infrastructuur in Gelderland, op basis van de vier gemodelleerde scenario's. Hoewel het gehanteerde detailniveau onvoldoende is om (investerings)beslissingen te nemen, kan er wel geconcludeerd worden dat de energietransitie gepaard gaat met hoge investeringskosten in de infrastructuur, zowel in netverzwaring als in de benodigde systeemflex. Bovendien speelt maakbaarheid een rol in de afweging tussen de verschillende oplossingsrichtingen. De realisatiesnelheid van netverzwaring is laag, wat het momentum van energietransitie doet afnemen. Systeemflex kan op kortere termijn wellicht uitkomst bieden. Tenslotte is ruimtebeslag een belangrijk thema. De fysieke ruimte is beperkt in Nederland, waardoor slim omgegaan moet worden met de ruimte. Systeemflex zou het aantal benodigde uitbreidingen van stations en tracés kunnen verlagen, waardoor de ruimtelijke impact hiervan verkleind kan worden. Aangezien systeemflex ook ruimte inneemt zal er een integrale afweging gemaakt moeten worden.

### 9.2 (Maatschappelijke) kosten

Er is specifiek gekeken naar de kosten binnen het elektriciteitsnet. De kosten voor de aanpassingen aan het gasnet zijn niet nader onderzocht, omdat de grootste kosten veroorzaakt worden door aanpassing van het gasnet voor waterstof en hier nog veel onzekerheden over bestaan.

Het toekomstbestending maken van de elektriciteitsnetten brengt grote investeringen met zich mee. Vooral in het Regionale en Nationale scenario zijn de benodigde investeringen erg groot. De voornaamste oorzaak is de mate waarin de provincie zelfvoorzienend is. Hoe minder afhankelijk Gelderland van energie-import is, hoe hoger de investeringskosten in de energie-infrastructuur. In het Europese en Internationale scenario zijn de benodigde investeringen daarom lager dan in het Regionale en Nationale scenario.

De mate waarin deze investeringen gedaan moeten worden zijn afhankelijk van de hoeveelheid systeemflex in het elektriciteitsnet en de plaats in het elektriciteitsnet waar deze wordt toegepast. Bij het toepassen van systeemflex op het regionale distributienet worden veel kosten van netverzwaring vermeden. Eventueel extra benodigde systeemflex op het hoogspanningsnet is buiten beschouwing gelaten, en daardoor kunnen genoemde kosten voor netverzwaring en systeemflex niet met elkaar vergeleken worden.

De investeringen voor netverzwaring door Liander<sup>41</sup> liggen voor de scenario's Regionale en Nationale sturing respectievelijk rond de € 52 miljoen en € 81 miljoen. Bij Europese en Internationale sturing is dat respectievelijk € 60 miljoen en € 46 miljoen. In 2030 zijn de investeringen in netverzwaring berekend op respectievelijk € 63 miljoen en € 135 miljoen voor het Basis en het Hoog scenario. Voor TenneT komen daar nog de volgende investeringen bij: 38, 65, 47 en 37 in de 2050-scenario's, en €54 en 118 miljoen in 2030 Basis en Hoog.

Voor systeemflex zijn de investeringskosten<sup>42</sup> voor de scenario's Regionale, Nationale, Europese, en Internationale sturing in 2050 ingeschat op: voor P2G respectievelijk: € 4.500 miljoen, € 4.500 miljoen, € 2.000 miljoen en € 1.800 miljoen, voor G2P op respectievelijk € 900 miljoen, € 800 miljoen, € 1.100 miljoen en € 1.100 miljoen, en voor systeembatterijen op respectievelijk € 2.600 miljoen, € 2.500 miljoen, € 1.700 miljoen en € 1.600 miljoen.

Naast het feit dat netverzwaring en systeemflex dus niet als substituten gelden, moet worden opgemerkt dat de genoemde netverzwaringskosten niet volledig zijn en waarschijnlijk hoger uitvallen dan genoemd wanneer ze in totaliteit worden beschouwd. Eventuele kosten voor het verzwaring van tracés tussen stations, aanleggen van nieuwe tracés, het opkopen van de benodigde grond zijn buiten beschouwing gelaten. Daarnaast is de verwachting dat de kosten voor systeemflex sterk zullen dalen in de komende decennia.

De kosten van netverzwaring worden gedragen door de netbeheerders. De investeringen die netbeheerders doen om hun energie-infrastructuren te onderhouden en te verzwaren worden doorberekend aan klanten via de tarieven die netbeheerders hanteren. In feite worden hiermee de kosten van netverzwaringskosten gesocialiseerd.

Vooralsnog is onduidelijk wie verantwoordelijk is voor het realiseren van systeemflex. Initiatieven vanuit de markt zouden hierop in kunnen spelen, maar door het ontbreken van een gedegen businesscase zijn er weinig partijen die durven te investeren in systeemflex. Waar de kosten terechtkomen is daarom onduidelijk.

Op hoofdlijnen kan geconcludeerd worden dat systeemflexibiliteit vanwege hoge investeringskosten en daaraan gerelateerde risico's op dit moment niet vanzelf door marktpartijen gerealiseerd worden. Een kostendaling is noodzakelijk om systeemflex-technologieën door marktpartijen onderdeel te laten worden van het energiesysteem. Daarnaast zullen in de aanloopfase financiële risico's afgedekt moeten worden, zodat het vermogen aan systeemflexibiliteit snel zal toenemen.

<sup>41</sup> Er is alleen gekeken naar kosten van stations, kosten gerelateerd aan vervanging of nieuwe tracés zijn niet onderzocht. \*\*De netverzwaringskosten zijn exclusief systeemflex.

<sup>42</sup> Op basis van € 1,8 miljoen/MWe (<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-conceptadvies-sde-plus-plus-2022-waterstofproductie-via-elektrolyse-4392.pdf>) voor P2G, € 0,54 miljoen/MWe voor G2P (ETM Technische parameters en kosten waterstofcentrale), € 0,22 miljoen/MWe en € 0,24 miljoen/MWh voor batterijen (<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/79236.pdf>).

### 9.3 Ruimtebeslag

Door de energietransitie verandert het energiesysteem ingrijpend. Dit heeft zijn weerslag op de ruimte. Door het toenemende vermogen van onder andere hernieuwbare opwek wordt er een claim gelegd op de ruimte.

Uitbreiding van de elektriciteitsnetten, aanpassingen van gasnetten en het toepassen van systeemflex vraagt ook om extra ruimte, zowel boven- als ondergronds. De ruimte in Nederland is schaars. Ruimtebeslag is daarom een belangrijke factor waarmee rekening gehouden dient te worden. In deze studie is op hoofdlijnen bepaald wat de ruimtelijk impact van de energietransitie in Gelderland is bovengronds. Ondergronds zullen echter ook grote aanpassingen moeten worden gedaan in met name de dichtbevolkte gebieden. Het gaat dan specifieke om de lagere netvlakken waarin distributie naar onder andere gebouwen plaatsvindt. In de landelijke I13050-rapportage wordt de verwachting uitgesproken dat circa één op de drie straten in Nederland opengebroken moet worden.

#### 9.3.1 Ruimtebeslag door uitbreidingen van stations en systeemflex

Voor het ruimtebeslag van stations is uitgegaan van standaard kengetallen die gehanteerd worden door Liander. Er is specifieke gekeken naar het aantal benodigde hectaren voor de uitbreiding van stations en nieuw te bouwen stations. Daarnaast is gebruik gemaakt van kengetallen om een indicatie te geven van het ruimtebeslag door systeemflex. Voor curtailment is de aanname dat hiervoor geen ruimte benodigd is. Bij P2G is uitgegaan van 250 MW/hectare<sup>43</sup> en van 80 MW/hectare voor G2P<sup>44</sup>. Voor G2P is uitsluitend uitgegaan van grote waterstofcentrales, terwijl in de praktijk ook kleinschalig brandstofcellen of waterstof WKK's ingezet zouden kunnen worden. Deze technologieën hebben een andere ruimtelijk beslag. Het ruimtebeslag van batterijen is bepaald op basis van 140 MWh/ha<sup>45</sup>.

Tabel 9. Benodigde ruimte voor nieuwe stations, uitbreidingen van bestaande stations en systeemflex (ha).

RES	Gelderland RES 2030	Gelderland (55%) 2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO2-sturing 2050	Internationale sturing 2050
HS (Liander en TenneT)	14	30	63	55	39	39
TS (Liander)	1	1	1	1	1	1
MS Liander)	5	5	5	5	4	2
Curtilment	Geen systeemflex	Geen systeemflex	0	0	0	0
P2G	Geen systeemflex	Geen systeemflex	10	10	4	4
G2P	Geen systeemflex	Geen systeemflex	10	9	12	13
Batterijen	Geen systeemflex	Geen systeemflex	34	33	22	21
<b>Totaal</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>110</b>	<b>105</b>	<b>98</b>	<b>80</b>

<sup>43</sup> Verkenning aanlanding NOZ -Samenvatting en tussentijdse notitie 2018

<sup>44</sup> ETM Technische parameters en kosten waterstofcentrale

<sup>45</sup> Klimaat Energie en Ruimte 2018



De getoonde waarden hebben betrekking op het hoog- en middenspanningsnet. In het laagspanningsnet zal het ondergrondse ruimtebeslag veel groter zijn. Ook zullen de hiervoor benodigde werkzaamheden merkbaar zijn in de maatschappij. Dit geldt voor zowel het landschappelijk beeld, maar ook voor de mogelijke overlast van de werkzaamheden. Daarnaast is het ruimtelijkbeslag van de energietransitie iets waarin vele partijen betrokken zijn en veelal tegenstrijdige belangen aanwezig zijn. Netbeheerders, overheden en burgers zullen samen moeten zoeken naar locaties waarop onder andere nieuwe stations gerealiseerd kunnen worden om zo de energietransitie te realiseren.

### 9.3.2 Ruimtebeslag zon en wind op land

In alle scenario's wordt een groei van hernieuwbare energie op land verondersteld. Dit heeft ruimtelijke impact. In Tabel 10 wordt de benodigde hoeveelheid land voor windenergie weergegeven. De ruimtelijke impact wordt weergegeven door middel van twee cijfers. Het eerste cijfer geeft de benodigde ruimte van meervoudig grondgebruik wanneer gerekend wordt met 8 MW/hectare. Dit kengetal geeft de daadwerkelijk benodigde oppervlakte voor een windturbine en de onderhoudsweg. In de Regionale Energiestrategieën (RES'en) wordt met 0,15 MW/hectare gerekend<sup>46</sup>, omdat hierbij rekening wordt gehouden met de afstand tot woningen en utiliteiten. De totale oppervlakte per RES-regio is afkomstig van CBS-statline<sup>47</sup>.

Tabel 10. Benodigde ruimte voor nog te realiseren wind op land vanaf 2021 (ha). \*Het eerste cijfers geeft de daadwerkelijk benodigde oppervlakte aan voor een windturbine en de onderhoudsweg. Er is gerekend met 8 MW/hectare. \*\*Het tweede cijfer tussen haakjes geeft de benodigde ruimte wanneer gerekend wordt met 0,15 MW/hectare zoals gebruikelijk is in de Regionale Energiestrategieën (RES'en).

RES	Totale oppervlakte (ha)	Gelderland RES 2030	Gelderland (55%) 2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO2-sturing 2050	Internationale sturing 2050
Achterhoek	121.719	24 (1.258)	31 (1.673)	66 (3.515)	66 (3.515)	31 (1.673)	31 (1.673)
Arnhem/Nijmegen	95.891	1 (712)	35 (1.880)	56 (2.963)	56 (2.963)	35 (1.880)	35 (1.880)
Foodvalley	61.349	1 (405)	3 (466)	19 (1.007)	19 (1.007)	3 (466)	3 (466)
Noord-Veluwe	54.154	2 (441)	5 (936)	32 (1.695)	32 (1.695)	5 (936)	5 (936)
Rivierenland	75.586	28 (1.472)	34 (1.809)	91 (4.843)	91 (4.843)	34 (1.809)	34 (1.809)
Cleantech	104.929	4 (240)	26 (1.357)	52 (2.765)	52 (2.765)	26 (1.357)	26 (1.357)
<b>Gelderland</b>	<b>513.628</b>	<b>85 (4.530)</b>	<b>153 (8.121)</b>	<b>315 (16.788)</b>	<b>315 (16.788)</b>	<b>153 (8.121)</b>	<b>153 (8.121)</b>

<sup>46</sup> NP RES (2019)

<sup>47</sup> CBS Statline. Kerncijfers wijken en buurten 2018

Tabel 11 geeft het ruimtebeslag van zon-PV op land per RES-regio aan. Er is gerekend met een kengetal van 1 MW/hectare zoals gebruikelijk is in de RES'en<sup>48</sup>. Vanuit ruimtelijk perspectief en netefficiëntie bekeken is het aan te raden om zon-PV en wind op land te combineren.

Tabel 11. Benodigde ruimte voor nog realiseren zon-PV op land vanaf 2021 (ha). Bron: CBS statline en eigen berekening op basis van 1 MW/ha.

RES	Totale oppervlakte (ha)	Gelderland RES 2030	Gelderland (55%) 2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO2-sturing 2050	Internationale sturing 2050
Achterhoek	121.719	135	135	265	203	135	135
Arnhem/Nijmegen	95.891	378	507	582	547	507	507
Foodvalley	61.349	139	139	180	160	139	139
Noord-Veluwe	54.154	99	167	278	225	167	167
Rivierenland	75.586	141	141	218	181	141	141
Cleantech	104.929	206	414	646	535	414	414
<b>Gelderland</b>	<b>513.628</b>	<b>1097</b>	<b>1503</b>	<b>2170</b>	<b>1851</b>	<b>1503</b>	<b>1503</b>

## 9.4 Maakbaarheid

Netverzwaring is de standaardoplossing voor knelpunten. Op steeds meer plekken blijft de realisatiesnelheid achter bij de vraagontwikkeling doordat noodzakelijke keuzes niet tijdig worden genomen en procedures veel tijd in beslag nemen. Op lagere spanningsniveaus zorgen tegenwoordig ook personeel- en materiaaltekorten regelmatig voor langere doorlooptijden. Hierdoor ontstaan knelpunten die op korte termijn langdurig voor problemen kunnen zorgen. Door langdurig aanhoudende knelpunten kan de maatschappij problemen ondervinden. Bedrijven zullen bijvoorbeeld hun uitbreidings- of verduurzamingsplannen niet kunnen doorzetten en nieuwbouwwijken kunnen niet gerealiseerd worden, omdat er niet kan worden aangesloten op het elektriciteitsnet. In bestaande wijken kan de verduurzamingstransitie niet plaatsvinden, omdat hier van oudsher rekening is gehouden met 1 kW per huishouden. Elektrificatie van de warmtebron, aansluiten van zonnepanelen en laadpalen is hierdoor niet mogelijk op korte termijn. Dit is niet wenselijk. Het rekening houden met de maakbaarheid van de oplossingen is daarom cruciaal.

Het is van belang om te kijken naar de huidige stappen in het netverzwaringproces. De meeste tijd is gemoed met het doorlopen van inspraak- en vergunningsprocedures. Hier kan tijdswinst behaald worden door samen met de overheden (waaronder de provincie) op te trekken. Een voorbeeld hiervan is de verwevenheid tussen ruimtebeslag en maakbaarheid. Bij veel energiegerelateerde projecten moeten inspraakprocedures doorlopen worden ten aanzien van maakbaarheid. Deze inspraakprocedures nemen veel tijd in beslag, waardoor het energiesysteem zich minder snel aanpast dan noodzakelijk is en de maakbaarheid in het gedrang komt.

<sup>48</sup> NP RES (2019)

Ook is het van groot belang om tijdig keuzes te maken, zodat zowel de elektriciteits- als gasnetten tijdig aangepast kunnen worden. Door *no-regret*-keuzes op korte termijn te realiseren, wordt het energiesysteem beter voorbereid op de toekomst en wordt er voldoende flexibiliteit geboden om mee te bewegen met de behoeften van de energietransitie op de lange termijn.

Hoewel netverzwaring wellicht een (kosten)effectieve oplossing is voor specifieke knelpunten, is het zinvol om te inventariseren welke alternatieven uitkomst kunnen bieden voor de knelpunten. Stimulering van alternatieve oplossingen die op korte termijn wel uitkomst kunnen bieden door financiële risico's af te dekken, knelpunten inzichtelijk te maken voor marktpartijen en het voor marktpartijen wettelijk mogelijk te maken hierop in te spelen, is aan te raden.

## 10. Conclusies en aanbevelingen

In deze systeemstudie worden de mogelijke richtingen waarin het Gelderse energiesysteem zich tot 2050 gaat ontwikkelen, en de daarbij behorende opgaven voor de energie-infrastructuur, inzichtelijk gemaakt. De verkregen inzichten worden in dit hoofdstuk samengevat met vermelding van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

### 10.1 Conclusies

Met deze systeemstudie is de mogelijke impact die energietransitie heeft op de Gelderse energie-infrastructuur verkend door middel van het doorrekenen van scenario's. Overkoepelend kan geconcludeerd worden dat de energietransitie ingrijpende consequenties heeft voor de energie-infrastructuur. Er zijn het meest dringend aanpassingen nodig in de elektriciteitsinfrastructuur, omdat daar te allen tijde de balans moet worden gehandhaafd. Knelpunten treden op wanneer er meer elektriciteit getransporteerd moet worden dan er capaciteit voor is in de netten. De oorzaken van de knelpunten zijn te vinden in de lagere netvlakken en zorgen voor problematiek in de hogere netvlakken. Bij de gasnetten ligt de uitdaging in het distribueren van zowel waterstof als groen gas. Waar en op welk moment zich knelpunten voordoen, is goed te zien in de manier waarop Gelderland is ingericht: met een flinke energievraag vanuit het industriecluster rondom Eerbeek en landbouw rondom Zaltbommel, met stedelijke gebieden met een grote vraag om elektriciteit vanuit de gebouwde omgeving en voor mobiliteit, en met landelijke gebieden waar veel elektriciteitsopwek plaatsvindt. Hiernavolgend gaan we in op de belangrijkste conclusies betreffende de verschillende infrastructuren:

Ten aanzien van regionale distributienet (beheerd door Liander):

- In alle scenario's ontstaan er knelpunten in het distributienet. Deze worden veroorzaakt door grote pieken in vraag en aanbod van elektriciteit, doordat ze niet op dezelfde locatie en/of hetzelfde tijdstip plaatsvinden. Pieken in aanbod ontstaan met name in de zomer aan de randen van de provincie (door duurzame opwek), terwijl pieken in de vraag met name in de winter in stedelijke en industriële gebieden zichtbaar zijn (door elektrisch vervoer, warmtevraag gebouwde omgeving en industrie). In de 2030-scenario's worden de grootste knelpunten veroorzaakt door aanbod van elektriciteit. In alle 2050-scenario's ontstaan er zowel aanbod als vraagknelpunten. In de scenario's Regionale en Nationale sturing ontstaan er grootschalige aanbodknelpunten doordat er fors meer opwekvermogen gemodelleerd is om zelfvoorzienend te zijn. In het Europese en Internationale scenario zijn meer vraagknelpunten zichtbaar door onder andere groei van de industrie. Over het algemeen kan gesteld worden dat een hogere mate van zelfvoorziening leidt tot meer elektriciteit in de energiemix, wat een grote impact heeft op de benodigde energie-infrastructuur.
- In de 2050-scenario's is gewerkt met het toepassen van systeemflex op het regionale netvlak, waar dat nu geregeld is op het hoogspanningsnetvlak. Er zijn grote vermogens systeemflex nodig voor de balanshandhaving in alle gemodelleerde scenario's. Het benodigde vermogen neemt toe als er meer duurzame opwek wordt gerealiseerd, zoals duidelijk zichtbaar is in de scenario's Regionale en Nationale sturing. Het (deels) plaatsen van deze benodigde systeemflex in het regionale distributienet leidt ertoe dat een groot aantal knelpunten opgelost kan worden, aangezien het flexibele vermogen hier de pieken in vraag en aanbod op kan vangen.
- In alle scenario's zijn grote hoeveelheden systeemflex nodig voor balanshandhaving. Zoals al gesteld kan dit ook ingezet worden om knelpunten in het regionale net op te lossen. Het realiseren hiervan is een grote uitdaging, zowel op het gebied van de technologie en de wet- en regelgeving, alsook financieel en qua organisatie.

Ten aanzien van nationale transportnet (beheerd door TenneT):

- Knelpunten die in de 2030-scenario's in het hoogspanningsnet bij TenneT zichtbaar zijn, kunnen voor een groot deel worden opgelost door het openen van bepaalde hoogspanningsverbindingen op het op 150 kV-niveau, waardoor de onderlinge verknoping gereduceerd wordt (toepassen van 'loadpockets') en er meer elektriciteitstransport via het 380 kV plaatsvindt. De transformatiecapaciteit tussen het 150 kV-net en het 380 kV-net moet dan wel worden vergroot.
- Er treedt sterke reductie van knelpunten op tussen de 2030 en de 2050-scenario's, wanneer die loadpockets worden toegepast en er systeemflex wordt toegepast. Doordat er een grote hoeveelheid systeemflex in het regionale net wordt ingericht, wordt de balans voor een deel al op dat netvlak geregeld. Overschrijdingen die er dan nog optreden komen relatief beperkt voor en hebben een relatief lage piek. Voor een deel zijn ze afkomstig van een vraagpiek vanuit vrachtvervoer, die goed op te lossen is door slim laden de standaard te maken.

Ten aanzien van het gasnet:

- De uitdaging van de gasnetten zit met name in de logistiek van de distributie. Wanneer zowel waterstof als groen gas gedistribueerd moet worden, moeten er keuzes worden gemaakt welk gebied met welke gassoort kan worden bediend.
- Locaties die dichtbij de waterstofbackbone liggen, zullen als eerste interessant zijn voor het realiseren van grote vermogens Power-to-Gas. Voor overige locaties zal een lokale afnemer voor het geproduceerde waterstof gevonden moeten worden, tenzij het lokale gasnet omgezet wordt naar waterstof. Hier ontstaat een belangrijke interactie tussen de infrastructuur voor elektriciteit en gas.

Ruimte, kosten en maakbaarheid

- De energietransitie kent een grote ruimte vraag. Naast ruimte voor hernieuwbare opwek is er ook ruimte nodig voor het realiseren van de benodigde energie-infrastructuur. De scenario's laten een duidelijke koppeling zien hierin: meer duurzame opwek betekent meer benodigde infrastructuur en een grotere behoefte aan systeemflex-vermogen. Al deze onderdelen nemen fysieke ruimte in en zijn niet los van elkaar te zien. De keuze voor een grotendeels zelfvoorzienend Gelders energiesysteem (scenario's 2050 Regionaal en Nationaal 2050) is wat betreft ruimtebeslag uitdagender om te realiseren.
- Het plaatsen van (een deel van) systeemflex in het regionale elektriciteitsnet leidt tot lagere investeringen in de elektriciteitsnetten doordat netverzwaring hierdoor op sommige plaatsen voorkomen kan worden.

## 10.2 Aanbevelingen

Analyse van de knelpunten die in het regionale distributienet ontstaan in de doorgerekende scenario's hebben geleid tot de volgende generieke aanbevelingen, waarbij stap 1 tot en met 4 dienen ter voorkoming van knelpunten en stap 5 tot en met 8 om knelpunten die alsnog ontstaan op te lossen:

- 1 Breng vraag en aanbod van energie zoveel mogelijk fysiek bij elkaar zodat opgewekte energie zoveel mogelijk direct gebruikt kan worden.
- 2 Zet in op een goede balans tussen zon en wind, omdat deze aanvullende productieprofielen hebben.
- 3 Koppel zon en wind achter één aansluiting, omdat hiermee de netaansluiting efficiënt gebruikt wordt.
- 4 Zet in op een oost/west-opstelling voor zonnepanelen zodat productiepieken beter gespreid worden over de dag.
- 5 Loslaten van redundantie (overcapaciteit die als soort vluchtstrook fungeert) waar mogelijk voor extra capaciteit om hernieuwbare opwek aan te sluiten.
- 6 Stimuleer lokale balanshandhaving door inzet plaatsgebonden flexibiliteit (onder andere kleinschalige batterijen, vraagsturing industrie, slim laden)

- 7 Zet in op het realiseren van systeemflex op het juiste niveau in de netten om zodoende balanshandhaving en congestiemanagement samen aan te kunnen pakken.
- 8 Pas waar nodig netverzwaring toe. Richt hierbij in eerste instantie op knelpunten met langdurige pieken van zowel vraag als aanbod.

De wijzigingen die gepaard gaan met de energietransitie brengen ook een sturingsvraagstuk met zich mee. Hierna volgen specifieke aanbevelingen voor de verschillende betrokken actoren:

#### *Provincie*

Als overkoepelend overheidsorgaan is de provincie bij uitstek gepositioneerd om een regiefunctie op zich te nemen, met specifieke aandacht voor de volgende onderwerpen:

- Zorg voor sturing van de locatie en opstelling van hernieuwbare opwek op basis van bovenstaande factoren (1 tot en met 4). Door in het RES2.0-proces hier aandacht voor te hebben en de impactanalyses van de netbeheerders daarin mee te nemen, kunnen mogelijk al knelpunten vermeden worden of kan capaciteit van infrastructuur efficiënter worden benut.
- Zet in op een mix van verduurzamingsopties bij het verhogen van ambitie. Zoals te zien in het 2030 Hoog-scenario stijgt het aantal knelpunten op energie-infrastructuur aanzienlijk omdat extra emissiereductie is gerealiseerd door enkel meer duurzame opwek te plaatsen. Het is beter ook in te zetten op andere opties, zoals het stimuleren van isolatie en elektrificatie in de gebouwde omgeving, efficiëntie en elektrificatie van de industrie en extra elektrisch vervoer.
- Hou de doorkijk naar 2050 in ogenschouw, zodat oplossingsrichtingen die voor 2030 worden geboden ook relevant zijn richting 2050.
- Zorg ervoor dat bij aanbestedingen slim laden wordt meegenomen.
- Zorg voor goede communicatie tussen bedrijven, gemeenten, provincie en netbeheerders. Het is cruciaal dat netbeheerders op de hoogte zijn van verduurzamingsplannen die spelen binnen het bedrijfsleven en de regionale overheden, zodat er gezamenlijke planvorming kan plaatsvinden. De provincie kan een rol spelen in het faciliteren van de communicatie, het vergroten van de bewustwording bij bedrijven van de noodzaak om tijdig plannen te delen met netbeheerders, en om te helpen met het in acht houden van de lange termijn.
- Breng partijen bij elkaar om lokale uitwisseling van energiestromen te stimuleren, zowel op kleine als op grote schaal. Dit kan door locaties voor energiehubbs te onderzoeken waar deze uitwisseling optimaal plaats kan vinden en waar zowel batterijopslag, P2G, als G2P, (als eventueel ook waterstofopslag, warmtenetten en laad-infrastructuur) een plaats krijgt.
- Ga actief aan de slag met het mobiliseren van de arbeidsmarkt voor technisch personeel, door extra scholing of buitenlandse arbeidskrachten.
- Initieer en regisseer de integrale aanpak van oplossingsrichtingen op het grensvlak van de elektriciteits- en gasnetten. De locatie van gasnetten is van belang voor de onderzochte systeemflexibiliteitsopties (productie van waterstof door P2G). Koppel hier ook mogelijke lokale afnemers van waterstof aan, zeker wanneer er geen waterstofbackbone in de omgeving voorzien is.

#### *Gemeentes*

- Reserveer ruimte voor energie-infrastructuur bij het maken nieuwe plannen voor de gebouwde omgeving, industrieterreinen en hernieuwbare opwek.
- Versnel procedures (onder andere inspraak- en vergunningprocedures) waardoor gemaakte keuzes sneller uitgevoerd kunnen worden. Doorloop de vergunningsprocedures voor hernieuwbare opwek en de bijbehorende netaansluiting parallel, zodat tijdsinstroom kan worden.

### Nationale overheid

- Netbeheerders mogen momenteel geen flexibel vermogen realiseren omdat dit buiten hun wettelijke taak ligt. Tegelijkertijd is er momenteel nog geen rendabele businesscase voor marktpartijen om dit flexibele vermogen te realiseren. Bovendien zit er spanning tussen het doel van systeemflex en verdienmodellen vanuit de markt. Hierbij bestaat een risico dat systeemflex op sommige momenten juist knelpunten veroorzaakt. Als voorbeeld twee mogelijke richtingen om dit te doorbreken:
  1. Sta netbeheerders toe om zelf flexibel vermogen neer te zetten als onderdeel van hun netwerk.
  2. Zorg voor strikte marktregulering bij het totstandkomen en inzetten van systeemflex, zodat gewaarborgd wordt dat het enkel wordt ingezet voor netbalancing en verlichting van knelpunten.

### Netbeheerders:

- De mogelijkheid tot extra curtailment moet worden onderzocht als oplossing voor aanbodknelpunten waar gedurende relatief beperkte tijdsduur overschrijding plaatsvindt. Er zijn weinig aanbodknelpunten waarbij de maximale capaciteit van het koppelstation meer dan 100 uur per jaar wordt overschreden. Het energieverlies dat door deze oplossingsrichting wordt bereikt, is hierdoor beperkt.
- Onderzoek op welk niveau in het net systeemflex het beste gerealiseerd kan worden, zodat dit naast balanshandhaving ook maximaal ingezet kan worden om knelpunten te voorkomen.
- Onderzoek samen met marktpartijen op welke manier flexdiensten gecontracteerd kunnen worden, zodat ze binnen de kaders van balanshandhaving en congestieproblematiek ingezet worden en geen averechtse effecten hebben.
- Reken ook voor 2030 de potentiële impact van systeemflex in het distributienet door om te voorkomen dat er onnodig netverzwaring wordt gerealiseerd.
- Deze systeemstudie richt zich voornamelijk op de koppelstations oftewel de verbinding tussen het transportnet (TenneT) en het distributienet (Liander). Nader onderzoek en het verbeteren van de modellering om knelpunten in de lagere netvlakken in kaart te brengen, is nodig om meer inzicht te bieden in de problematiek die zich daar afspeelt en de potentie van het deels plaatsen van systeemflex in deze lagere netvlakken.
- Houdt de vinger aan de pols bij het bedrijfsleven (voornamelijk industriële grootgebruikers) omtrent het verwachte (toekomstig) energieverbruik, zodat de prognoses van de netbeheerders aangescherpt kunnen worden ter verbetering van de investeringsplannen.

## Bijlage 1. Scenario's in het energietransitiemodel

Scenario	Link
2030 RES-biedingen	<a href="https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815716">https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815716</a>
2030 Hoog	<a href="https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815715">https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815715</a>
2050 Regionale sturing	<a href="https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815695">https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815695</a>
2050 Nationale sturing	<a href="https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815696">https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815696</a>
2050 Europese CO <sub>2</sub> -sturing	<a href="https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815697">https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815697</a>
2050 Internationale sturing	<a href="https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815698">https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/815698</a>



## Bijlage 2. Gebouwde omgeving

De ontwikkelingen binnen de gebouwde omgeving zijn gebaseerd op de uitkomsten van de Startanalyse, waarbij rekening is gehouden met de laagste kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub>. De uitkomsten zijn gebruikt om alle scenario's op te bouwen. Hierbij is rekening gehouden met de Gelderse karakteristieken voor elk van de scenario's. In Tabel 12 zijn de gehanteerde waarden voor de gebouwde omgeving weergegeven.

Tabel 12. Inputs scenario's vanuit de Startanalyse

	Gelderland RES 2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO <sub>2</sub> -sturing 2050	Internationale sturing 2050
Focus	25% van de woningen aardgasvrij, ingroei hybride warmtepomp	Focus op warmtenetten onder andere door geothermie, restwarmte en zonthermie	Voornamelijk all-electric warmtebronnen	Voornamelijk hybride warmtevoorzieningen. Gassen blijven belangrijk	Focus op hybride warmtepompen op waterstof als warmtebron
Input	Warmtenet % Hybride All-electric Gem. Isolatielabel B	Warmtenet 27% Hybride 27% All-electric 46% Gem. Isolatielabel A/B	Warmtenet 15% Hybride 23% All-electric 62% Gem. Isolatielabel A	Warmtenet 9% Hybride 64% All-electric 27% Gem. Isolatielabel B	Warmtenet 9% Hybride 64% All-electric 27% Gem. Isolatielabel B

In alle 2030- en 2050-scenario's wordt de gemiddelde isolatiegraad verbeterd ten opzichte van de huidige situatie. In de 2030-scenario's is de isolatiegraad aangepast om de op provinciaal niveau afgesproken 16,6% energiereductie (1,5% verbetering per jaar over twaalf jaar) in de gebouwde omgeving te behalen. In de 2050-scenario's is de isolatiegraad gekoppeld aan het percentage *all-electric* in de gebouwde omgeving. Dit betekent dat het scenario Nationale sturing de hoogste isolatiegraad heeft, namelijk gemiddeld label A. Dan volgt het Regionale scenario, waar ook 46% van de woningen *all-electric* verduurzaamd wordt. Het gemiddelde isolatielabel ligt tussen A en B. In de scenario's Europese en Internationale sturing ligt de isolatiegraad in 2050 het laagst. Er wordt hier gemiddeld uitgegaan van label B.

De verdeling naar buurniveau is gebaseerd op de uitkomsten van de Startanalyse. De Startanalyse geeft per buurt aan welke warmtebron de laagste kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> heeft. Door de scenariokarakteristieken in acht te nemen, is bepaald hoeveel van elke warmtebron er in elk van de scenario's voorkomt. De gebouwde omgeving is hierdoor bottom-up opgebouwd, wat direct resulteert in een verdeling op buurniveau.

## Bijlage 3. Mobiliteit

### B.3.1 Vraagontwikkeling personenvervoer

De vraag naar personenvervoer hangt samen met ontwikkelingen, zoals de lokale bevolkingsgroei. Deze vraagontwikkeling is in Gelderland naar verwachting in lijn met het landelijk gemiddelde<sup>49</sup>, namelijk een lichte stijging van 0,8% per jaar tot 2030<sup>50</sup>. Voor de 2050-scenario's wordt aangesloten bij de uitgangspunten in de landelijke Klimaatneutrale scenario's 2050.

Effecten van de coronacrisis op de vervoersvraag op lange termijn zijn onzeker<sup>51</sup>, en zijn daarom niet meegenomen in de 2030-scenario's. Ook is uitgegaan van de huidige verdeling van vervoersvraag over de vervoerswijzen (personenauto, trein, fiets, etc.). De verwachte verschuivingen zijn relatief gering en leiden niet tot significante verschuivingen in het licht van de geldende onzekerheden. Efficiëntiewinsten zijn meegenomen voor 2030 volgens verwachtingen op de middellange termijn<sup>52,53</sup> en voor 2050 volgens de Klimaatneutrale scenario's.

### B.3.2 Vraagontwikkeling vrachtvervoer

Het vervoer van vracht is een belangrijke sector in de provincie Gelderland, mede door de aanwezigheid van enkele grote vervoersaders zoals snelwegen en rivieren. De binnenvaart maakt daarom een relatief groot deel uit van de huidige vraag naar energie voor vrachtvervoer in de provincie (20% vergeleken bij 8% landelijk)<sup>54</sup>.

Voor de verwachte ontwikkeling van vrachtvervoer in 2030 is opnieuw aangesloten bij de landelijke verwachtingen voor 2030<sup>55</sup>, een jaarlijkse groei van 1%. Voor 2050 worden de verschillende hoekpunten in de Klimaatneutrale scenario's 2050 toepast. Een lichte verschuiving van vervoersvraag van vrachtwagens naar binnenvaart is opgenomen in de scenario's voor 2030 in lijn met de landelijke prognoses<sup>50</sup>. Efficiëntiewinsten zijn meegenomen voor 2030 volgens verwachtingen op de middellange termijn<sup>56,57</sup> en voor 2050 volgens de Klimaatneutrale scenario's.

### B.3.3 Technologiekeuze personenvervoer

De opmars van elektrische auto's en de elektrificatie van het openbaar vervoer zijn bepalende factoren als het aankomt op de energievraag in 2030 en 2050. Ook waterstof en biobrandstoffen kunnen een grotere rol gaan spelen, met name richting 2050. De scenario's opgesteld in het kader van het RES-proces hebben op dit punt een update gekregen op basis van de nieuwste inzichten.

<sup>49</sup> Planbureau voor de Leefomgeving, 2020. *Ontwikkeling Mobiliteit: PBL/CPB-notitie ten behoeve van de werkgroep Toekomstbestendige mobiliteit van de Brede maatschappelijke heroverwegingen 2020*. Geraadpleegd op: <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/PBL-CPB-notitie-apr2020-Ontwikkeling-Mobiliteit.pdf>

<sup>50</sup> PBL (2020). *Klimaat- en Energieverkenning 2020*.

<sup>51</sup> CPB en PBL: Verrips, A.S. & H.D. Hilbers (2020). *Kansrijk mobiliteitsbeleid 2020*.

<sup>52</sup> EVConsult (2020). *Transitiestudie verduurzaming wegtransport*.

<sup>53</sup> CE Delft (2017). *Energiebesparing op het spoor*.

<sup>54</sup> ETM

<sup>55</sup> PBL (2020). *Klimaat- en Energieverkenning 2020*.

<sup>56</sup> EVConsult, 2020. *Transitiestudie verduurzaming wegtransport*.

<sup>57</sup> CE Delft, 2017. *Energiebesparing op het spoor*.

Over het aandeel elektrische personenauto's in de totale passagierskilometers bestaat nog veel onzekerheid. Voor deze systeemstudie is voor 2030 30% aangehouden, uitgaande van strenger Europees beleid<sup>58</sup>. Waterstof zal naar verwachting in 2030 slechts heel beperkt ingezet worden<sup>59</sup>. Het openbaar vervoer (trein, bus) zal naar verwachting in 2030 emissieloos zijn en bijna volledig elektrificeren<sup>60,61,62</sup>. De inzet van waterstof blijft in 2030 beperkt. Voor 2050 worden verschillende hoekpunten opgezocht door aan te sluiten bij de uitgangspunten van de Klimaatneutrale scenario 2050. In 2050 vervult elektriciteit over de breedte het grootste gedeelte van de energievraag. Daarnaast spelen ook biobrandstoffen en waterstof in 2050 een grotere rol dan in 2030.

### B.3.4 Technologiekeuze vrachtvervoer

De elektrificatie van het vrachtvervoer per weg zal naar verwachting de komende jaren economisch interessanter worden. Vooral voor stadslogistiek zal elektrisch vrachtvervoer een grote opmars maken<sup>63</sup>, waarmee in 2030 naar verwachting zo'n 15% van de tonkilometers elektrisch worden afgelegd<sup>64,65</sup>. Waterstof speelt in 2030 slechts een beperkte rol vanwege de hoge kosten. Het vrachtvervoer per trein elektrificeert naar verwachting in langzamer tempo dan het personenvervoer en zal in 2030 nog niet volledig elektrisch zijn<sup>66</sup>.

De ontwikkeling van technologieën in de binnenvaart is nog sterk onzeker. Een beperkte inzet van (bio-)LNG in 2030 is mogelijk<sup>67</sup>, evenals de inzet van elektrische binnenvaartschepen<sup>68</sup>. Het Energietransitiemodel maakt het echter (nog) niet mogelijk om de elektrificatie van binnenvaart te modelleren; deze potentiële elektriciteitsvraag wordt dus niet meegenomen in de systeemstudie. Dit levert een aanvullende vraag naar biobrandstoffen op (0,3 PJ in 2030, 6 PJ in 2050) en daarmee een aanzienlijke biomassa-import van buiten de provincie. Bovendien kan de realisatie van elektrische binnenvaart leiden tot lokale laadbehoeften langs rivieren en kanalen<sup>68</sup>. Daar staat tegenover dat elektrische binnenvaart gebruik makend van verwisselbare batterijen ook gezien kan worden als een vorm van aanvullende systeemflex.

Voor 2050 wordt wat betreft technologiekeuze aangesloten bij de aannames uit de Klimaatneutrale energiescenario's 2050.

### B.3.5 Regionalisering mobiliteit

Voor de regionalisering van mobiliteit is onderscheid gemaakt tussen personenauto's en wegtransport. Het aantal personenauto's per buurt vanuit de CBS-kerncijfers voor wijken en buurten is gebruikt om te bepalen in welke buurten een vraag naar elektriciteit ontstaat. Voor vrachtvervoer is een verdeling gemaakt op basis van prognoses van ELaad (middenscenario). Andere categorieën zoals elektrische bussen, elektrische motoren, fietsen en treinen zijn tevens onder deze categorie geschaard, omdat de modellering van netbeheerders nog niet gedetailleerd nodig is om deze categorieën in meer detail mee te nemen.

<sup>58</sup> CPB en PBL: Verrips, A.S. & H.D. Hilbers (2020). *Kansrijk mobiliteitsbeleid 2020*.

<sup>59</sup> Uitgangspunt afgestemd met Provincie Gelderland

<sup>60</sup> Provincie Gelderland (2020). *Visie voor een bereikbaar Gelderland*.

<sup>61</sup> Provincie Gelderland (2018). *Koersdocument Duurzame Mobiliteit*.

<sup>62</sup> ElaadNL (2019). *Naar 100% Z.E. in het OV: De ontwikkeling van elektrische bussen en hun laadlocaties in Nederland tot en met 2035*. Geraadpleegd op: [https://www.elaad.nl/uploads/files/initiatiefnemers/ElaadNL\\_Outlook\\_E-bussen.pdf](https://www.elaad.nl/uploads/files/initiatiefnemers/ElaadNL_Outlook_E-bussen.pdf).

<sup>63</sup> ElaadNL (2019). *Outlook 'Volgeladen naar zero-emissie stadslogistiek*.

<sup>64</sup> CBS (2021). *Wegvervoer bestelauto's; vervoerd gewicht, ladington- en voertuigkilometers*.

<sup>65</sup> Eurostat (2021). *Annual road freight transport, by load capacity of vehicle*.

<sup>66</sup> CE Delft (2018). *Roadmap duurzaam OV en spoor*.

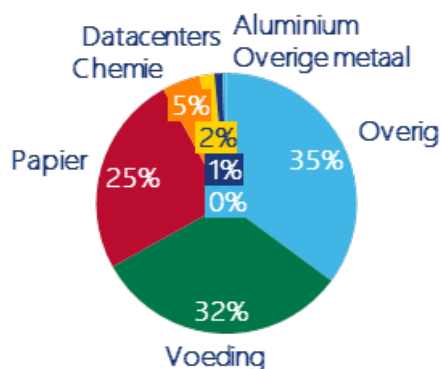
<sup>67</sup> Rijkswaterstaat (2019). *Rapportage Routeradar Brandstofvisie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit*.

<sup>68</sup> ElaadNL (2020). *Outlook 'Tegen de stroom in varen'*.

## Bijlage 4. Industrie

Om de energievraag voor 2030 en 2050 te bepalen is navraag gedaan bij de grootste ca. 60 Gelderse bedrijven wat hun verwachting is van het energieverbruik in 2030 en 2050, en verschuivingen in energiedragers en technologie-toepassingen. Deze data zijn per sector geaggregeerd. Ruim de helft (56%) heeft data aangeleverd. Data zijn aangevuld met gesprekken met de verschillende industriële sectoren en vanuit kennis uit de MIDDEN rapporten voor de keramische industrie, glasvezelindustrie, papierindustrie, voedingsindustrie en aluminiumindustrie. Hiermee is er voor elke sector een goed beeld van de Gelderse situatie en mogelijkheden tot verduurzaming tot 2030 en richting 2050.

Industrie in Gelderland is onderdeel van het zogenoemde 6<sup>e</sup> cluster. Dit is industrie die niet in een geografisch cluster nabij elkaar ligt, maar verspreid door het land. Figuur 46 geeft een overzicht van de energievraag verdeeld naar sector. De meeste CO<sub>2</sub> emissies van industrie in Gelderland zijn afkomstig van de sectoren die in het model als 'overig' wordt gecategoriseerd, waaronder bijvoorbeeld de keramische industrie, asfalt, afvalwaterzuivering, en glasvezel vallen. Met name de keramische industrie is in Gelderland sterk vertegenwoordigd. Daarnaast is ook de voedingsindustrie en de papierindustrie sterk vertegenwoordigd. Overige sectoren zijn beduidend kleiner. Vanwege de kleine schaal is in de modellering de 'overige metaal' categorie toegevoegd aan de 'overig' sector, zodat de energiedragers beter kunnen worden gemodelleerd. Sommige industriële sectoren zijn niet vertegenwoordigd in Gelderland, zoals raffinaderijen en primaire staal of primaire aluminiumproductie.

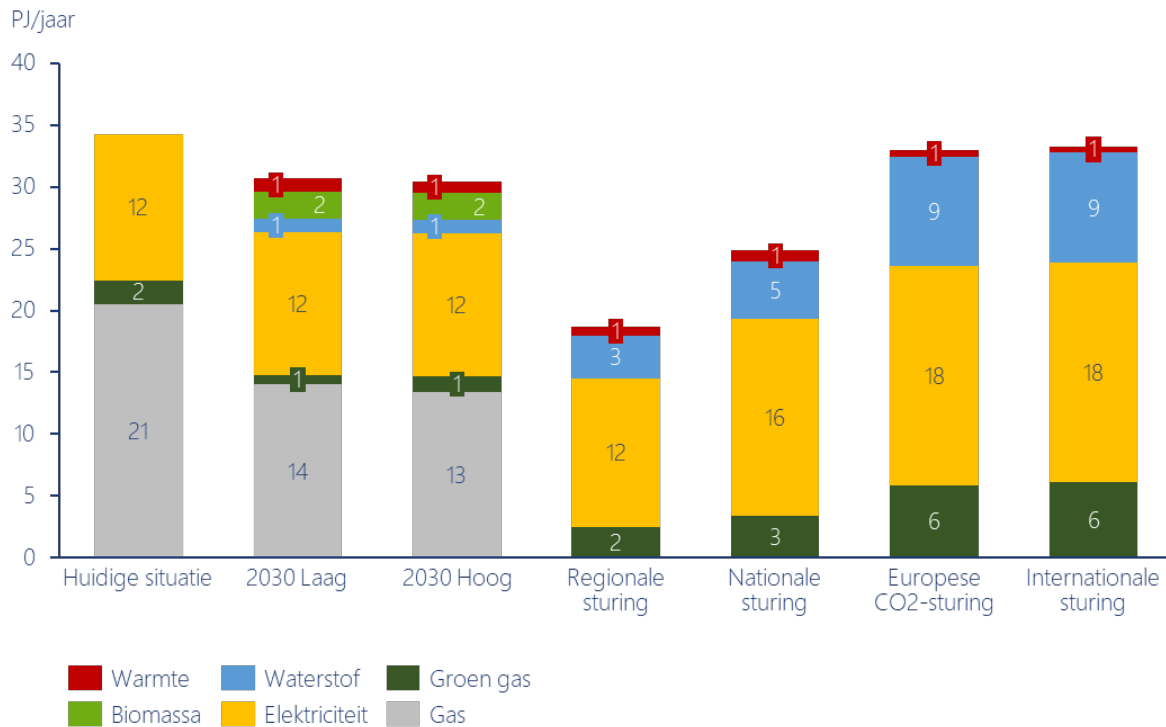


Figuur 46. Verdeling energievraag Gelderse industrie

De energievraag en mogelijkheden voor verduurzaming verschillen per sector en soms per bedrijf (waar wel of geen mogelijkheid is voor bijvoorbeeld geothermie). Voor de helft van de industrie (qua emissies) zijn specifieke data toegepast, waarbij rekening is gehouden met verduurzamingsopties op sectorniveau. De sectoren waarvoor dat geldt zijn de voedingsindustrie, papierindustrie, en de sector 'overig'. Voor de overige helft wordt een gemiddelde toegepast.

In Figuur 47 wordt de energievraag voor de verschillende scenario's weergegeven. In 2030 is de energievraag lager, ten gevolge van weinig tot geen groeiverwachting, en een toename van energie-efficiëntie. Er is naar verwachting een klein aandeel WKK, dat wordt gerepresenteerd door 'Warmte'. In het 'huidige situatie'-scenario wordt dat niet apart gemodelleerd, maar wel voor de 2030-scenario's.

De hoeveelheid elektriciteitsvraag is nagenoeg gelijk aan de huidige situatie; een toename door elektrificatie en een afname door efficiëntie, die elkaar in balans houden. De gasvraag neemt af, zowel door vervanging door elektriciteit, biomassa, of waterstof, alsook door energie-efficiëntie<sup>69</sup>.



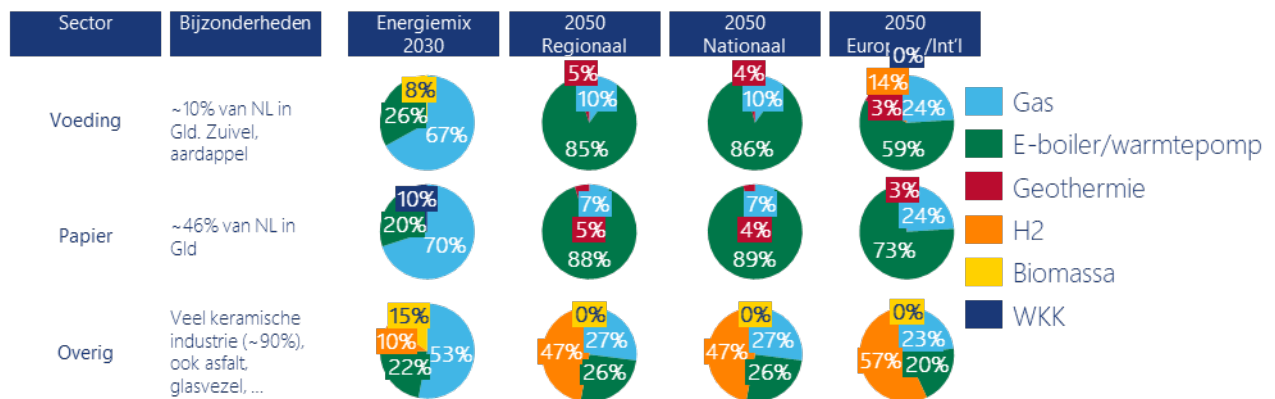
Figuur 47. Finale energievraag industrie per energiedrager

De energievraag in 2050 toont grote verschillen tussen de scenario's. In het scenario Regionale sturing wordt een krimp van de huidige industriële productie voorzien, terwijl in het scenario Nationale sturing een kleine groei wordt verwacht, en in de scenario's Europese en Internationale sturing een grotere groei. De 2050-scenario's sluiten aan bij de landelijke scenario's, zodat de hoekpunten van mogelijkheden goed in beeld komen. Vanuit de data die zijn aangeleverd door Gelderse bedrijven<sup>69</sup> zijn twee hoofdroutes naar verduurzaming richting 2050 te verwachten. Regionale sturing en Nationale sturing zijn nagenoeg gelijk qua energiemix (met een klein verschil in de aangenomen hoeveelheid geothermie), maar verschillend in groei/krimp van de sector, en het scenario Europese CO<sub>2</sub>-sturing is in groeiverwachting en energiemix bij industrie gelijk aan het scenario Internationale sturing, voor de industrie in Gelderland. De verwachting is dat de realiteit gematigder is en ergens tussen de vier scenario's in zal zitten.

In alle scenario's is een rol voor waterstof en groen gas weggelegd. Bepaalde industrie, met name die hoge temperatuur warmte nodig heeft, laat zich niet met uitsluitend elektriciteit verduurzamen. Dit is bijvoorbeeld van toepassing op de keramische industrie. Voor de voedingsindustrie is in een van de scenario's een zeer groot aandeel elektriciteit verondersteld, terwijl in andere scenario's meer ruimte is voor groen gas en/of waterstof. In veel gevallen zijn groen gas en waterstof beide technisch geschikt bevonden mogelijkheden, wanneer een gasvormige energiedrager is gewenst. Vaak is dan nog wel innovatie/doorontwikkeling/testen nodig van de verschillende technologieën en de effecten van de alternatieve duurzame brandstoffen op de productkwaliteit. Bovendien moeten deze alternatieven op de productielocatie op enig moment ook daadwerkelijk beschikbaar kunnen zijn.

<sup>69</sup> Datauitvraag bij Gelderse bedrijven via enquête in het kader van deze studie.

Voor de overige industrie (waaronder de keramische industrie), papierindustrie, en voedingsindustrie wordt de energiemix per scenario weergegeven in Figuur 48. Ontwikkelingen in de keramische industrie, voedingsindustrie, en papierindustrie worden in de volgende alinea's meer toegelicht.



Figuur 48. Energiemix van de voedingsindustrie, papierindustrie, en overige industrie in Gelderland voor de scenario's in 2030 en 2050. Gas in de energiemix van 2050 is groen gas, terwijl het in 2030 voornamelijk aardgas is.

### Keramische industrie

De keramische industrie is in Gelderland sterk vertegenwoordigd. Er zijn in ieder geval 25 bedrijven die onder die noemer vallen. Van vijftien bedrijven is respons ontvangen op de vraag omtrent energieverbruik in de toekomst. De hoofdproducten die worden geproduceerd zijn bakstenen en dakpannen, middels een continu proces waarin stenen worden geproduceerd uit hoofdzakelijk rivierklei. Gegeven de grote vraag naar huizen, en de trend om baksteen en dakpannen te gebruiken bij de productie van nieuwe huizen, is de verwachting dat de industrie voorlopig licht groeit. Innovaties, zoals het gebruik van steenstrips, kunnen mogelijk zorgen voor flinke dematerialisatie van de productieomvang<sup>70</sup>. Steenstrips zijn dunne bakstenen, zodat de façade van een gebouw er uitziet als baksteenmetselwerk, maar er geen volle bakstenen worden gebruikt.

Een groot aandeel van de kosten van een baksteen is terug te leiden naar het energieverbruik. Een belangrijk kenmerk van de keramische industrie is de noodzaak van hoge temperatuurwarmte. Het bakproces en het droogproces vragen het gros van het energieverbruik. In het droogproces wordt vrijwel uitsluitend restwarmte vanuit het bakproces gebruikt. Het droogproces is voor een belangrijk deel wellicht te elektrificeren. Dat zou tot circa 30% van het gasverbruik kunnen reduceren. Bij het bakproces wordt gedacht aan de inzet van waterstof, groen gas, of ondersteuning met magnetronstraling<sup>71, 72</sup>. CCS is in theorie een mogelijkheid. Daarbij wordt CO<sub>2</sub> uit de rookgassen gefilterd, afgevangen, en opgeslagen. Vanwege de relatief kleine bronnen lijkt dat binnen de keramische industrie op dit moment niet de meest voor de hand liggende optie. De kans is klein dat buisleidingen de industrie, dat relatief versnipperd is, zal verbinden, maar vervoer per binnenvaartschip richting een pijplijn in een kustregio zou een mogelijkheid zijn.

Het proces is ingericht op efficiëntie en een zeer stabiele warmtevraag, en omdat het starten en stoppen van bedrijfsvoering met energieverliezen gepaard gaan, is het proces ingericht voor volcontinue operatie<sup>71</sup>. Dat heeft als gevolg dat flexibiliteit op dit moment vaak haaks staat op de huidige ingerichte processen, die op efficiëntie zijn ingericht. Om het proces zo in te richten dat flexibel kan worden ingespeeld op een variabel aanbod van

<sup>70</sup> Interview met sectorvertegenwoordiger, 2021.

<sup>71</sup> Interview met keramieksector expert, 2021.

<sup>72</sup> PBL MIDDEN rapport: Besier & Marsidi (2020). *Decarbonisation options for the Dutch ceramic industry*.

elektriciteit moet het hele proces opnieuw ingericht worden, en waardoor het proces mogelijk juist meer energie kost.

### Voedingsindustrie

Vanuit de emissieregistratie-database<sup>76</sup> zijn er gegevens beschikbaar van 34 bedrijven in Gelderland die onder de voedingsmiddelenindustrie vallen. De zeven grootste daarvan zijn zuivel- en aardappelverwerkingsbedrijven die verantwoordelijk zijn voor ca. 85% van de CO<sub>2</sub> emissie van deze sector in Gelderland. Wat verduurzamingsopties betreft is gefocust op deze sectoren. Twee kenmerken van de sector zijn bijzonder van belang bij de energietransitie: ten eerste het type energieverbruik, dat voor een groot deel om warmte onder de 200 C, en koeling gaat<sup>73,74</sup>. Ten tweede zit deze sector dicht op biomassaströmen die kunnen worden ingezet voor energie, zoals bijvoorbeeld restproducten zoals aardappelschillen en biogas vanuit de veehouderijen waar ook de melk wordt geproduceerd.

In de huidige situatie zijn er bedrijven die biogas gebruiken voor een deel van hun energieopwekking. Dit is gas dat vanuit onder andere mest wordt geproduceerd, en direct wordt ingezet in bijvoorbeeld een WKK. Dit gaat niet via een centraal distributienet, en is daarmee losgekoppeld van de centrale infrastructuur. De verwachting is dat dit kan toenemen richting 2030. Elektrificatie is een andere trend waarvan veel wordt verwacht binnen deze sector. In 2050 kan het gebruik hiervan zelfs toenemen tot 100%, maar richting 2030 kan het ook al een rol spelen. Innovaties zoals het vervangen van het indampen door filtratie, en een verschuiving van gas naar elektriciteitsverbruik scheelt daarnaast ook een factor 4-5 in energieverbruik<sup>73</sup>. Ook het vervangen van thermische door mechanische dampcompressie zorgt voor meer efficiëntie. Bij de aardappelverwerkingsindustrie vormt frituren van de aardappelen tot het product<sup>74</sup> het grootste aandeel van het energieverbruik. Restwarmte van het bakproces kan worden ingezet bij andere processen, of zelfs in de omgeving. Na het frituren wordt het product ingevroren. Dit is ook een energie-intensief proces dat elektriciteit verbruikt. Mogelijkheden voor verduurzaming van deze sector zijn biogas, elektrificatie, en geothermie<sup>74</sup>, waarvan de toepassing mede afhankelijk is van de specifieke temperatuurvraag van de verschillende processen, en er in veel gevallen nog innovatie nodig zal zijn. CCS is een mogelijkheid, maar vanwege de schaal van de bedrijven en de locaties vermoedelijk niet heel voor de hand liggend<sup>75</sup>.

### Papierindustrie

Bijna de helft van de Nederlandse papierindustrie zit in Gelderland (op basis van de emissies<sup>76</sup>). Er wordt sterk ingezet op elektrificatie binnen de sector, en op flexibiliteit<sup>77</sup>. Er zijn ook al e-boilers in gebruik, in hybride opstelling met een gasketel<sup>78</sup>. Voor de hogere temperaturen zijn industriële warmtepompen nodig om de temperaturen tot 200 C te kunnen bereiken. WKKs zijn gebruikelijk in de sector, en ingericht op warmteverbruik. Naar verwachting zijn er nog wel WKKs in 2030<sup>77</sup>. Biogas wordt ook toegepast, en daar is groei in mogelijk. Vanuit afvalwater van de industrie kan biogas worden gewonnen, welke weer wordt gebruikt binnen de sector. Inschatting van de sector is dat H<sub>2</sub> een onwaarschijnlijke route is, tenzij waterstof goedkoop beschikbaar is. De verwachting is dat beschikbaarheid van waterstof beperkt is en andere sectoren die minder alternatieven hebben bereid zijn er een hogere prijs voor te betalen.

Richting 2050 is elektrificatie een mogelijke route, alsook elektrificatie in combinatie met geothermie<sup>79</sup>. 30% van de benodigde emissiereductie vraagt nog om doorbraaktechnologieën, bijvoorbeeld in innovatie om

<sup>73</sup> PBL MIDDEN rapport: Pierrot & Schure (2020). *Decarbonisation options for the Dutch dairy processing industry*.

<sup>74</sup> PBL MIDDEN rapport: West, de Jonge, and van Hout (2021). *Decarbonisation options for the Dutch potato products industry*.

<sup>75</sup> Interview met zuivelsector expert, 2021.

<sup>76</sup> Nederlandse Emissieautoriteit, 2018.

<sup>77</sup> Interview met papiersector expert, 2021.

<sup>78</sup> Datauitvraag bij Gelderse bedrijven via enquête in het kader van deze studie.

<sup>79</sup> PBL MIDDEN rapport: Rademaker & Marsidi (2019). *Decarbonisation options for the Dutch paper and board industry*.

energieverbruik van droogprocessen te verminderen<sup>77</sup>. Biogas/groen gas wordt minder beschikbaar geacht, mede vanwege competitie om het gebruik ervan en mogelijke reductie van aanbod vanwege een genoemde onzekere toekomst van veeteelt in de regio.

Waterstof lijkt geen logische keuze voor deze sector, maar bij beschikbaarheid en rendabiliteit is dit in theorie een optie. Het kan met name een toegevoegde waarde hebben wanneer in hybride vorm ingezet wordt met elektriciteit en flexibel wordt ingezet om te zorgen voor betere balans in de elektriciteitsnetten.

#### **B.4.1 Regionalisering (alleen elektriciteit)**

Voor de locaties van de subsectoren papier, voeding, en overige industrie (waaronder keramische industrie) is voor de bedrijven die onder het EU-ETS vallen een verdeling van het energieverbruik gemaakt, op sectoraal niveau. Op basis van de emissies die geregistreerd worden door de Nederlandse Emissieautoriteit is het aandeel van het energieverbruik van een bedrijf binnen de subsector ingeschat (op basis van de CO<sub>2</sub>-emissies van het jaar 2018). Op basis van het aandeel van het energieverbruik van een bedrijf in die subsector wordt eenzelfde aandeel van het elektriciteitsverbruik van die subsector toegewezen aan de buurt waarin dat bedrijf zich bevindt. Via de postcode wordt de toewijzing naar de overeenkomstige buurtcode gemaakt. Voor de resterende industrie is de huidige regionale verdeling elektriciteitsvraag en gasvraag (NP RES data) gehanteerd. Voor de warmte die in de toekomst geëlektrificeerd wordt, is de verdeling tot stand gekomen op basis van de huidige gasvraag. Inzake de elektriciteit is de verdeling tot stand gekomen op basis van de huidige elektriciteitsvraag naar buurniveau. Inzake de datacenters is de verdeling gebaseerd op de huidige locaties en vermogens.



## Bijlage 5. Land- en glastuinbouw

### B.5.1 Technologiekeuze warmte

In de huidige situatie wordt de warmtevraag op twee manieren ingevuld. De eerste is door middel van installaties voor warmtekrachtkoppeling (WKK's), met name in de glastuinbouw. Deze installaties voorzien deze vorm van landbouw in hun behoefte aan warmte en CO<sub>2</sub>. De overige landbouw heeft een relatief kleiner aandeel in de warmtevraag en de inzet van gasketels voorziet daarin. In de 2030-scenario's wordt een verschuiving verwacht van gasketels naar biomassaketels en bodemwarmtepompen. Samen zullen deze technologieën 20% van de warmtevraag invullen.<sup>80</sup> Tot 2030 wordt geen significante krimp van het aandeel WKK verwacht.<sup>81</sup> Er zijn geen concrete pilots met geothermie in Gelderland.<sup>82</sup>

De potentie van geothermie is binnen Gelderland beperkt.<sup>83,84</sup> Dit heeft vooral voor de 2050-scenario's als gevolg dat er wordt afgeweken van de landelijke Klimaatneutrale scenario's. Deze gaan uit van grootschalige overschakeling van WKK naar geothermie voor warmtevraag in de landbouw. Door de beperkte, rekening houdend met technische en economische factoren, in Gelderland, wordt in deze warmtevraag naar verhouding meer voorzien door de alternatieve warmtebronnen binnen de 2050-scenario's. Dit betekent bijvoorbeeld een relatief groter aandeel biomassa voor het scenario Regionale sturing.

### B.5.2 Regionalisering

Voor de verdeling van de land- en glastuinbouwsector zijn de huidige elektriciteitsvraag (NP RES-data) gehanteerd. Deze verdeling is vervolgens aangepast op basis van data die door Liander beschikbaar zijn gesteld over de te verwachten nieuwe glastuinbouwlocaties en de verdeling van de huidige glastuinbouw.

---

<sup>80</sup> PBL (2017). *Klimaat en Energieverkenning 2017*. Prognose opgesteld vermogen WKK in glastuinbouw 2030 en 2050

<sup>80</sup> SDE viewer RVO, <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer>

<sup>81</sup> Liander. *Prognose opgesteld vermogen WKK in glastuinbouw 2030 en 2050*

<sup>82</sup> SDE viewer RVO, <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/sde/feiten-en-cijfers-sde-algemeen>

<sup>83</sup> Berenschot (2020). *Waarde van Aardwarmte en Regionale Mogelijkheden*. <https://kennisbank.ebn.nl/wp-content/uploads/2020/09/Potentie-van-aardwarmte-als-duurzame-warmtebron-WARM2020.pdf>

<sup>84</sup> EBN (2020). *Detailstudies regionale potentie aardwarmte per RES regio*. <https://kennisbank.ebn.nl/detailstudies-regionale-potentie-aardwarmte/>

## Bijlage 6. Energieproductie

Energieproductie vindt in Gelderland plaats in meerdere vormen. Elektriciteitsproductie door zon en wind is de voornaamste energiebron. Daarnaast zijn er WKK's aanwezig.

### B.6.1 Zon en wind

Zon-PV is in deze systeemstudie verdeeld over drie categorieën: kleinschalige zon-PV op daken (<15 kWp), grootschalige zon-PV op daken (>15 kWp) en zon-PV op land. Wind op zee speelt een grote rol in 2030 en 2050, maar zal waarschijnlijk niet aanlanden op een station gelegen in Gelderland. Wind op zee is daarom niet meegenomen in deze systeemstudie. Import van elektriciteit opgewekt door productievermogen op zee is echter zeer aannemelijk.

### B.6.2 Regionalisering elektriciteit vanuit zon en wind

#### 2030

Voor kleinschalige zon-PV op daken is er uitgegaan van het vermogen genoemd in het [meeste recente scenario](#) voor Gelderland in 2030 gemaakt door Over Morgen. Het totale vermogen is vervolgens verdeeld over alle Gelderse buurten op basis van de potentie voor kleinschalige zon op daken per buurt uit analyseresultaten van zonatlas.

Voor grootschalige zon-PV op daken en wind op land is er aangesloten bij de NP RES-prognoses per RES-regio. Iedere RES regio's heeft drie scenario's gemaakt waarin mogelijke toekomstbeelden zijn geschetst, te weten:

- 1 het meest realistische scenario.
- 2 een scenario waarin alle zoekgebieden worden gerealiseerd.
- 3 een scenario's waarin alleen de projecten die momenteel al in de pijpleiding zitten worden gerealiseerd. '.

Voor het 2030 Laag-scenario is het meest realistische scenario gehanteerd. Voor het 2030 Hoog-scenario is het scenario gebruikt waarin alle zoekgebieden worden gerealiseerd. Het totale vermogen is verdeeld over alle buurten conform de RES biedingen.

Het 2030 Hoog-scenario bevat meer wind op land vermogen dan is geprognostiseerd in het scenario van het RES-proces waarin alle zoekgebieden worden gerealiseerd. Het aanvullende vermogen is verdeeld over de tachtig meest kansrijke buurten voor wind op land. De tachtig meest kansrijke buurten zijn bepaald op basis van het beschikbare oppervlak aan landbouwareaal zonder harde restricties inclusief uitzondering van Natura2000 (N2000) en het Gelderse Natuurnetwerk (GNN). Binnen deze tachtig kansrijke buurten is het additionele vermogen verdeeld op basis van beschikbaar landbouwareaal zonder harde restricties inclusief uitzondering van Natura2000.

#### 2050

Voor 2050 is aangesloten bij I13050 wat betreft de nationale totalen voor zon en wind op land. Vanuit de nationale totalen is een uitsnede gemaakt voor Gelderland zodat de totalen per scenario voor Gelderland bepaald konden worden. De gehanteerde geografische verdeling is vergelijkbaar met de methode gebruikt voor 2030-scenario's. In eerste instantie zijn de vermogens voor zon en wind verdeeld conform de RES-biedingen. Wanneer er in een scenario meer vermogen verondersteld is dan is geprognostiseerd in het scenario van het RES-proces , waarin alle zoekgebieden worden gerealiseerd, wordt het aanvullende vermogen verdeeld volgens de volgende methodes:

- Grootschalige zon-PV op daken (>15 kWp): Het aanvullende vermogen is verdeeld over alle buurten op basis van de potentie voor grootschalige zon op daken per buurt uit analyseresultaten van zonatlas.

- Grootschalige zon-PV op land: Het aanvullende vermogen is verdeeld over alle buurten op basis van het beschikbare oppervlak aan grond en water zonder harde restricties inclusief uitzondering van Natura2000 (N2000) en het Gelderse Natuurnetwerk (GNN).
- Wind op land: Het aanvullende vermogen is verdeeld over de tachtig meest kansrijke buurten voor wind op land. De tachtig meest kansrijke buurten zijn bepaald op basis van het beschikbare oppervlak aan grond zonder harde restricties inclusief uitzondering van Natura2000 (N2000) en het Gelderse Natuurnetwerk (GNN).

Voor kleinschalige zon-PV op huishoudens (< 15 kWp) is een verdeling gemaakt op basis van de potentie voor kleinschalige zon op daken uit analyseresultaten van zonatlas.

Er is geen wind op zee gealloceerd aan Gelderland. Er is aangenomen dat er geen wind op zee aanlandt in Gelderland.

### B.6.3 Centrales

Bij de doorrekeningen van I13050 wordt regelbare elektriciteitsproductie meegenomen als systeemflexibiliteit. Deze studie sluit aan bij deze methode.

### B.6.4 Groengas

In Gelderland wordt zowel groengas als biogas gebruikt. Biogas wordt decentraal opgewekt vanuit biomassa door middel van vergisting of vergassing. Biogas wordt veelal direct ingezet op nabijgelegen locaties en kan niet in het gasnet worden gevoed. Biogas moet eerst opgewerkt worden tot groengas door de concentratie van CO<sub>2</sub> te reduceren en de concentratie methaan te verhogen.

Het huidige biomassapotentieel wordt geschat op 23,2 PJ, waarvan natte biomassa (10,8 PJ), droge biomassa (8,6 PJ), oliehoudende biomassa (1,3 PJ) en biogeen afval (2,5 PJ). Voor 2030 wordt hetzelfde potentieel gehanteerd. Er wordt een kleine groei van het natte biomassa potentieel verondersteld richting 2050, waardoor het potentieel toeneemt tot 26,8PJ<sup>85</sup>. Dit is onderverdeeld in natte biomassa (14,4 PJ), droge biomassa (8,6 PJ), oliehoudende biomassa (1,3 PJ) en biogeen afval (2,5 PJ).

### B.6.5 Geo- en zonthermie

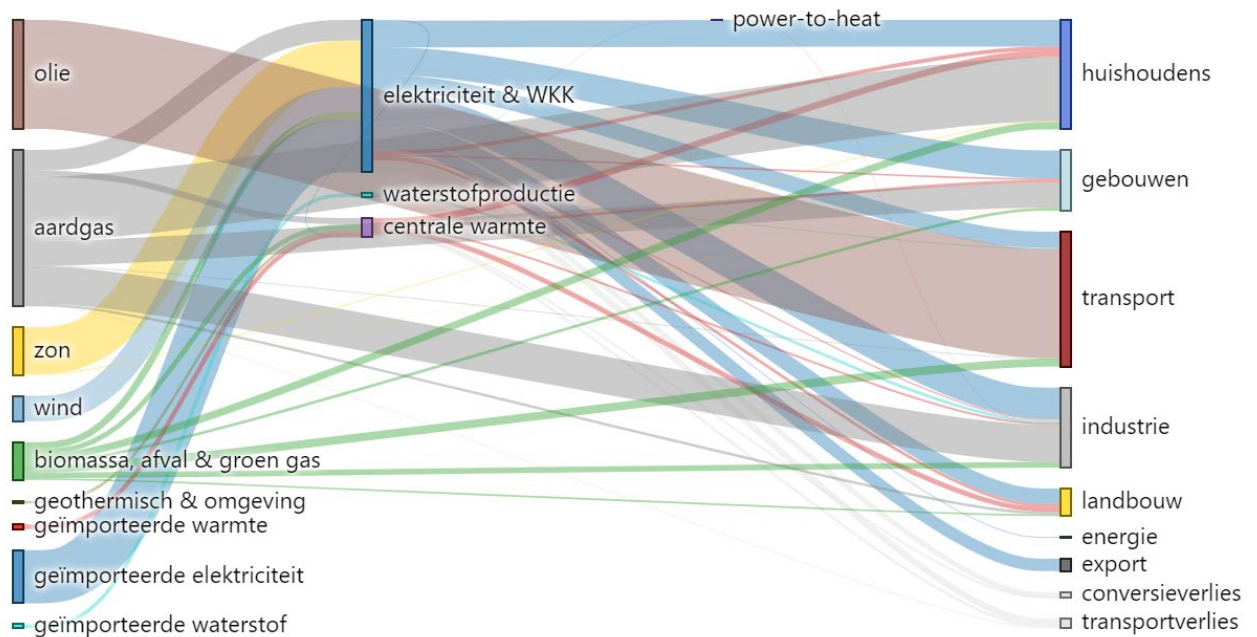
In Gelderland is de verwachting dat in 2050 gebruikt wordt gemaakt van geo- en zonthermie. Geothermie is met name terug te vinden binnen de land- en tuinbouwsector en dient als warmtebron voor warmtenetten. Zonthermie wordt uitgerold op een kleinschalige manier door woningen en utiliteiten te voorzien van warmtecollectoren of in combinatie met zon-PV door PVT-panelen.

---

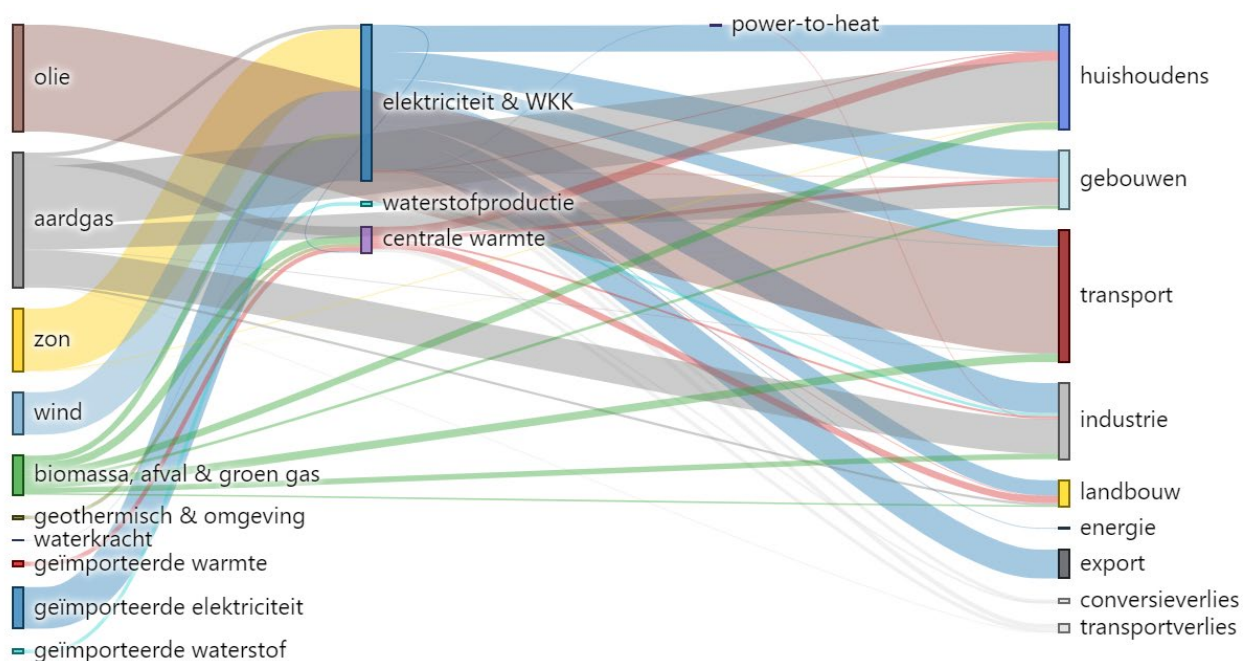
<sup>85</sup> Gasunie (2018). *Verkenning 2050*.

## Bijlage 7. Energiestromen

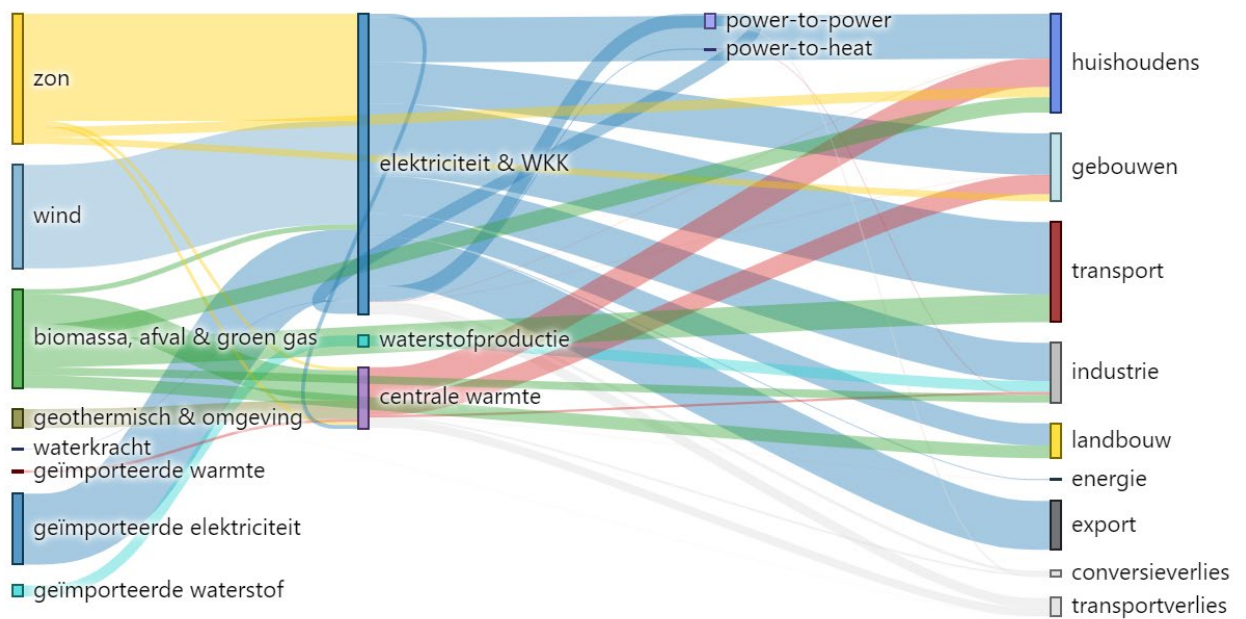
In deze bijlage staan de energiestromen van de scenario's. Links is het aanbod van energie weergegeven, en de stromen duiden hoe de verschillende energiedragers verbruikt worden door de verschillende sectoren. Daarnaast zijn er conversie- en transportverliezen, en vindt er import en export plaats. Voor beschrijving van energieaanbod en -vraag zie hoofdstuk 4.



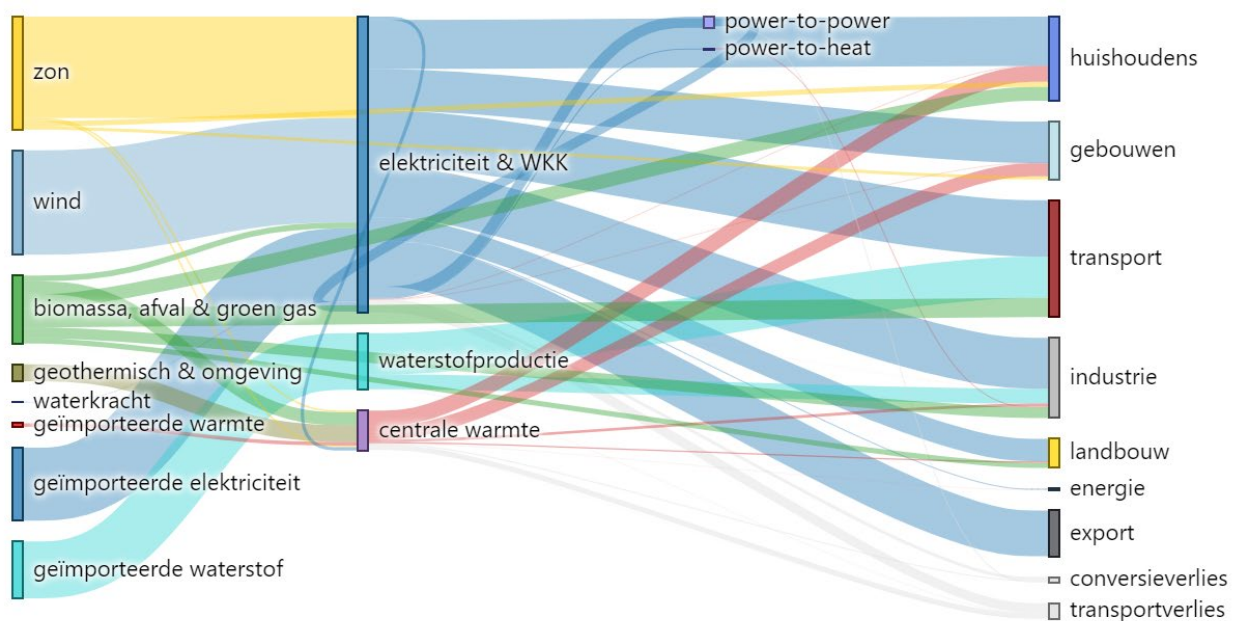
Figuur 49. Energiestromen in het 2030 basisscenario



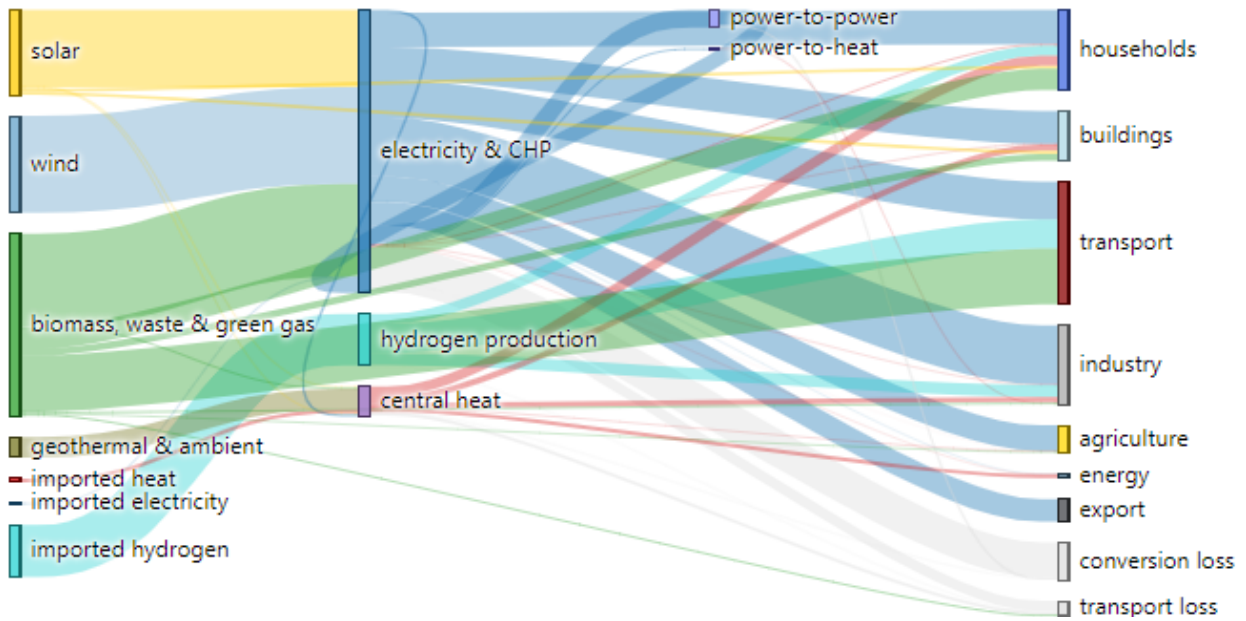
Figuur 50. Energiestromen in het 2030 55% reductiescenario ('hoog')



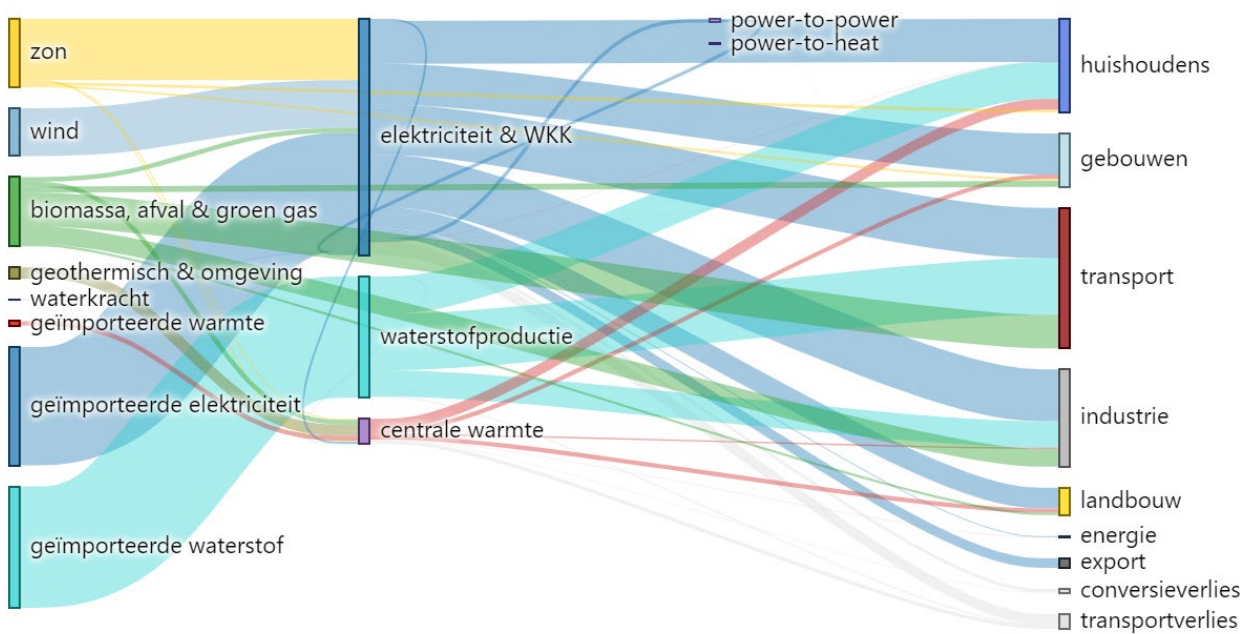
Figuur 51. Energiestromen in het 2050 scenario Regionale sturing



Figuur 52. Energiestromen in het 2050 scenario Nationale sturing



Figuur 53. Energiestromen in het 2050 scenario Europese sturing



Figuur 54. Energiestromen in het 2050 scenario Internationale sturing

## Bijlage 8. Oplossingsrichtingen

In de volgende figuur wordt een overzicht gegeven van de meest voor de hand liggende oplossingsrichtingen, met een korte beschrijving en kwalitatieve score op de aspecten 'Impact', 'Betaalbaarheid', 'Ruimtelijke inpasbaarheid', en 'Realisatiesnelheid'. Het aspect 'Impact' geeft weer hoe direct en voorspelbaar de genoemde oplossingsrichting voor een structurele oplossing zorgt. Het aspect 'Betaalbaarheid' scoort goed wanneer de kosten die met de oplossing gemoeid zijn laag zijn. Het aspect 'Ruimtelijke inpasbaarheid' is een weergave van het benodigde ruimtebeslag de oplossingsrichting. Bij hoge score is er weinig ruimte benodigd. Het aspect 'Realisatiesnelheid' geeft een grove indicatie van de looptijd en arbeidsintensiteit die met een oplossingsrichting gepaard gaan. De scores zijn met een team van experts bepaald, maar zijn mede afhankelijk van de situatie, ontwikkelingen, en kunnen er in de toekomst anders uitzien.

Methode	Omschrijving	Impact	Betaalbaarheid	Ruimtelijke inpasbaarheid	Realisatiesnelheid	Oplossing voor knelpunttype
Netverzwaring	Uitbreiding van stations en tracés is de huidige standaard – het net moet zich aanpassen aan het gebruik.					Afname en opwek
Verplaatsen naar ander netvlak	Verplaatsen van belasting naar ander netvlak kan goedkoop en voor lange duur worden ingezet, mits er capaciteit beschikbaar is.					Afname en opwek
Redundantie verlaten (N-0)	Het net is berekend op functioneren als er een onderdeel uitvalt (N-1). Bij het loslaten van die "redundantie" loopt de leveringszekerheid risico.					Opwek
Curtailement	Aftoppen van pieken in opwek. Bij voorkeur inzetbaar voor hoge pieken en kleine volumes.					Opwek
Grootschalige batterij	Oplossing bij plaatsing tussen netknelpunt en oorzaak. Geschikt voor met name korte tijdschaal en relatief prijzig.					Afname en opwek
Kleinschalige batterij	V2G, thuis- of buurtbatterij, met name voor korte tijdschaal (dagbalans) een interessante oplossing.					Afname en opwek
Power to gas	Geschikt voor ODN knelpunten en voor tijdschaal van seconden tot maanden.					Opwek
Power to heat	Geschikt voor tijdsduur tot weken/ maanden afhankelijk van opslag en verliezen.					Opwek
Vraagsturing (op aanbod)	Bij veel aanbod wordt er alvast elektriciteit gebruikt voor koelen of bij gemalen. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.					Opwek
Hybridisering	Bij veel aanbod van elektriciteit wordt elektriciteit gebruikt, en anders de andere energiedrager (vaak gas).					Afname
Geografisch bij elkaar brengen vraag en aanbod	Verplaatsen opwek of verplaatsen afname					Afname en opwek
Andere opstelling zon-PV	Door andere oriëntatie wordt de piek gereduceerd en opwek op andere tijdstippen verhoogd.					Opwek
WKK/brandstofcellen	Lokale opwek bij vraagknelpunten: hierdoor kan lokaal worden voldaan aan de vraag en hoeft de elektriciteit niet te worden getransporteerd over het net.					Afname
Combineren zon en windenergie bij aanbodknelpunten	Door beide op dezelfde aansluiting te realiseren wordt beter gebruik gemaakt van de netcapaciteit					Opwek
Vraagsturing (op afname)	Bij veel vraag wordt er vraag afgeschakeld en verplaatst naar later tijdstip. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.					Afname

Figuur 55. Overzicht oplossingsrichtingen met kwalitatieve waardering op impact, betaalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid en realisatiesnelheid. Hoe meer ingevuld het bolletje, hoe hoger de score op het betreffende aspect.

### Oplossingen binnen het elektriciteitsnet

Onder oplossingen binnen het elektriciteitsnet zijn naast netverzwaring drie anderen oplossingen gedefinieerd: het aansluiten op een ander netvlak, n-0 aansluitingen en curtailement.

### Netverzwaring – vraag- en aanbodknelpunten



De huidige standaardoplossing voor knelpunten is netverzwaring. Hierbij worden stations en tracés uitgebreid, zodat de capaciteit wordt vergroot. Deze oplossing biedt uitkomst voor zowel de vraag- als aanbodknelpunten. De tijdschaal waarop deze oplossing van netverzwaring kan worden ingezet, is onbeperkt, omdat de transportcapaciteit in de regel altijd kan worden vergroot.

Er zitten ook nadelen aan de oplossing netverzwaring: het is een kapitaalintensieve oplossing (hoge investeringen), het vergt ruimte, het is arbeidsintensief en heeft daardoor een aanzienlijke doorlooptijd totdat netverzwaring gerealiseerd is. De investeringskosten worden gedragen door de netbeheerders, die dit doorberekenen in hun tarieven. Deze kosten worden dus uiteindelijk door de maatschappij gedragen. Indien de investeringen slechts worden gemaakt om een aantal piekmomenten op te vangen, kan dit tot hoge investeringen leiden. Het verzwaren van een (onder)station of een tracé neemt veel tijd in beslag en vergt veelal ruimte, zowel onder als boven de grond. Deze ruimte moet uiteraard wel beschikbaar zijn. Netverzwaring heeft daarentegen wel een lange levensduur, dit vraagt aan de ene kant om prudentie, aan de andere kant kunnen de investeringen over een zeer lange periode worden afgeschreven, waardoor de kosten meevallen. In deze studie is gezocht naar alternatieven voor deze oplossing.

### **Verplaatsen naar een ander netvlak – vraag- en aanbodknelpunten**

Als er een knelpunt ontstaat in een bepaald netvlak zou het zinvol kunnen zijn om de elektriciteit naar een ander netvlak te brengen waar nog wel capaciteit beschikbaar is. Een netvlak wordt gedefinieerd als een stuk elektriciteitsinfrastructuur dat bedreven wordt op een gelijke spanning, bijvoorbeeld 380 kV, 150 kV of 400 V.

Wanneer in een hoger of lager netvlak wel capaciteit beschikbaar is, zou de elektriciteit over dit andere netvlak getransporteerd kunnen worden. Hiervoor geldt de eis dat stations waarin de elektriciteit naar een ander netvlak wordt gebracht, voldoende capaciteit hebben. Deze oplossing kan zowel aanbod- als vraagknelpunten oplossen.

De tijdsduur waarop deze optie ingezet kan worden is onbeperkt, mits er voldoende capaciteit beschikbaar is op een ander netvlak en in de benodigde stations. Het vermogen is eveneens afhankelijk van hoeveel capaciteit er nog beschikbaar is elders. Daarnaast is dit alleen een logische oplossing waar een ander netvlak in de buurt ligt. De kosten van deze oplossing zijn beperkt, maar mede afhankelijk van nabijheid van een ander netvlak, in hoeverre kabels verlengd moeten worden aangelegd.

Op plaatsen waar de hoogspanningsinfrastructuur minder zwaarbelast wordt dan de middenspanningsinfrastructuur kan dit uitkomst bieden.

### **N-0 (aansluiten met lagere zekerheid) – vraag- en aanbodknelpunten (in de praktijk alleen aanbodknelpunten)**

Netbeheerders zijn momenteel verplicht om aansluitingen te realiseren met hoge betrouwbaarheid, zo dat ook elektriciteit van het net afgenomen kan worden en op het net gebracht kan worden tijdens onderhoudswerkzaamheden en storingen (dit wordt technisch aansluiten met N-1 zekerheid genoemd). Dit houdt in dat alle elektriciteitsnetten dubbel zijn uitgelegd om leveringszekerheid te kunnen garanderen. Dit wordt gerealiseerd door twee circuits, waarbij geldt dat één circuit in principe voldoende is bij maximale belasting. Beide circuits hoeven onder normale omstandigheden daardoor nooit meer dan 50% van hun nominale capaciteit te transporteren.

Dit impliceert dat er meer transportcapaciteit beschikbaar is wanneer er aangesloten wordt als men dit principe loslaat en met een lagere zekerheid (N-0) het net ontwerpt. Er kan hierdoor meer getransporteerd worden over de bestaande infrastructuur; de capaciteit wordt immers vergroot zonder dat het net verzwakt hoeft te worden. Hierdoor loopt echter de leveringszekerheid risico, waardoor het slechts op een aantal onderdelen van de infrastructuur toegestaan is om de infrastructuur N-0 te bedrijven. In het hoogspanningsnet zullen de 380/110 en 220/110 kV-transformatoren altijd N-1 veilig bedreven worden. Daarnaast dient de leveringszekerheid voor

afnemers geborgd te blijven. Het verlagen van de redundantie mag voor hen daarom geen consequenties hebben.

Daarom moet bij knelpunten in het net steeds worden onderzocht of het – na aanpassingen op de stations – technisch mogelijk is om de redundantie voor opwekkers te verlaten zonder dat dit consequenties heeft voor de afnemers. Het vermogen van deze oplossing is dus afhankelijk van de netcapaciteit en de mate waarin invoeders op een lagere zekerheid kunnen en willen aansluiten.

Momenteel wordt zonneparken aangesloten met schakelmechanismen waarmee de regionale netbeheerder op afstand zonneparken kan afschakelen. Deze zonneparken kunnen daardoor aangesloten worden met N-0-zekerheid. Op momenten van storing of beperkte capaciteit worden de zonneparken afgeschakeld zodat leveringszekerheid geborgd kan worden.

Deze oplossing kan zowel tijdelijk als langdurig ingezet worden, de tijdschaal is hierdoor onbeperkt. Er treden pas problemen op onder abnormale omstandigheden. Het vermogen van deze oplossing is afhankelijk van de netcapaciteit en de (lagere) zekerheid waarop men wil aansluiten. De investeringskosten van deze oplossing zijn laag. Alle benodigdheden zijn tenslotte al aanwezig afgezien van schakelkasten waarmee de regionale netbeheerder op afstand het zonnepark kan afschakelen. Wanneer er abnormale omstandigheden optreden zou het kunnen voorkomen dat producenten hun elektriciteit niet op het net kunnen brengen, waardoor zij opbrengsten mislopen. Hierover zullen afspraken gemaakt moeten worden met de netbeheerders.

Liander heeft in een eerste verkenning voor de verschillende scenario's gekeken wat N-0 in Gelderland kan betekenen. N-0 kan een oplossing zijn voor knelpunten met een aanbodpiek; grootschalige opwek mag reeds N-0 aangesloten worden. Voor deze eerste verkenning zijn daarom de stations bekeken met een aanbodpiek en met knelpunten die onoplosbaar bleken met uitbreidingen.

#### **Curtaiment (aansluiten met een lagere capaciteit) – aanbodknelpunten**

Bij curtaiment wordt een grens gesteld aan het maximale vermogen dat mag worden ingevoerd op het net. Dit is in de praktijk alleen zinvol bij zon-PV installaties. Zo zou bijvoorbeeld een zonnepark met een piekvermogen van 10 MW kunnen worden aangesloten door middel van een aansluiting met transportvermogen voor 7 MW. Variatie in het piek- en aansluitvermogen wordt ook wel kwantitatief geduid worden met de DC/AC ratio, de verhouding tussen opgesteld vermogen gelijkspanningsbron en op het net ingevoerde vermogen wisselspanning. Wanneer het piekvermogen groter is dan het transportvermogen, zal de producent van elektriciteit af moeten schakelen. Een gevolg hiervan is dat het netwerk niet verzwakt hoeft te worden tot het piekvermogen van een elektriciteitsproducent. Curtaiment is daarom een eenvoudige oplossing om flexibiliteit te realiseren in het energiesysteem. Echter, curtaiment kan alleen worden toegepast wanneer het een aanbodknelpunt betreft.

Curtaiment kan op ieder moment worden toegepast voor een onbeperkte tijdsduur en vermogen. De capaciteit van deze vorm van flexibiliteit is slechts beperkt door het vermogen aan zon-PV. Hierbij moet de kanttekening worden gemaakt dat bij het afschakelen van de producent elektriciteit verloren gaat.

### **Flexibiliteitsoplossingen**

Onder flexoplossingen vallen grootschalige en kleinschalige batterijen, Power-to-Gas/elektrolyse, Power-to-Heat, overige flex, hybridisering en vraagsturing.

#### **Grootschalige batterijen – vraag- en aanbodknelpunten**

Grootschalige batterijen kunnen uitkomst bieden voor zowel aanbod- als vraagknelpunten. Wanneer een aanbodknelpunt ontstaat door overvloedige productie kan een grootschalige batterij opladen. Hierbij is het van belang dat de grootschalige batterijen geplaatst worden tussen het aanbodknelpunt en de productielocatie van elektriciteit. In dit geval kan er aangesloten worden met een lagere capaciteit. Wanneer er een vraagknelpunt

ontstaat doordat er onvoldoende elektriciteit getransporteerd kan worden naar de locatie waar de vraag naar elektriciteit optreedt, kunnen batterijen ook uitkomst bieden.

In deze situatie moet de batterij geplaatst worden tussen het vraagknelpunt en de locatie waar vraag naar elektriciteit optreedt. Over het algemeen worden batterijen op een korte tijdschaal ingezet. Batterijen kunnen op zeer korte termijn op- en ontladen en lenen zich daarom voor het opvangen van kortstondige onbalans in het elektriciteitsnet. Op dit moment worden batterijen nuttig ingezet voor het stabiliseren van de netfrequentie; hier is hooguit 100 MW vermogen voor nodig.

De verwachting is dat de kostprijs van batterijen sterk zal dalen. Als batterijen goedkoper worden, kan ook de businesscase op de tijdschaal van een dag positief worden. Dat wil zeggen als batterijen worden ingezet om tekorten en overschotten over een dag in te vullen. De verwachting is dat batterijen vooral voor deze dag-nachtbalans een belangrijke rol gaan spelen in het klimaatneutrale energiesysteem. Ook in combinatie met P2G kunnen batterijen interessant zijn om te komen tot kosteneffectieve oplossingen voor de energiebalans. Hiermee zullen batterijen een essentieel onderdeel worden van het energiesysteem. Batterijen kunnen ook gebruikt worden om elektriciteit voor langere periodes op te slaan, om daarmee netverzwaring te voorkomen. Grotere batterijen brengen echter hogere investeringskosten met zich mee. De inzet van batterijen is daarom techno-economisch gezien interessant, als er regelmatig wordt op- en ontladen. Bij de inzet voor langere periodes met een grote capaciteit, kan de batterij maar beperkt worden ingezet. Hierdoor is er voorlopig geen positieve business case voor opslag op langere termijn met grotere capaciteit

### **Kleinschalige batterijen (V2G, huis of buurtbatterij) – vraag- en aanbodknelpunten (voornamelijk vraagknelpunten)**

Ook kleinschalige batterijen vormen een goede oplossing voornamelijk voor vraagknelpunten. Deze batterijen worden alleen in het laagspanningsnetvlak geplaatst, waar deze vaak dichtbij zowel de vrager naar energie als aanbod van energie geplaatst zijn. Voorbeelden hiervan zijn kleinschalige batterijen in huishoudens of V2G. Wanneer een huishoudens overdag met zonnepanelen meer elektriciteit produceert dan het verbruikt, kan met deze elektriciteit de batterij opgeladen worden. Wanneer er 's nachts geen elektriciteit wordt opgewekt, kunnen de batterijen ontladen worden.

Ook voor kleinschalige batterijen geldt dat deze vaak op een korte tijdschaal worden ingezet. Dat wil zeggen lang genoeg om tekorten en overschotten gedurende een dag in te vullen. Batterijen kunnen ook gebruikt worden om elektriciteit voor langere periodes op te slaan. Dit is echter niet aan te bevelen omdat de investeringskosten van batterijen hoog liggen. De inzet van batterijen is daarom techno-economisch gezien interessant wanneer er regelmatig wordt opgeladen- en ontladen. Het vermogen en capaciteit van de kleinschalige batterijen is afhankelijk van het type batterij. Wanneer het om batterijen gaat die gebruikt worden in huishoudens zal de capaciteit afgestemd worden op het vermogen van zonnepanelen die op het dak van het huis liggen. Bij V2G is het vermogen en de capaciteit afhankelijk van het type elektrische auto. In het geval van buurtbatterijen zal er voldoende vermogen en capaciteit gerealiseerd moeten worden voor meerdere huishoudens.

Zoals eerder genoemd zijn de investeringskosten van kleinschalige batterijen hoog. Het optimaal benutten van deze batterijen is daarom van belang. Dit gebeurt vaak efficiënt door een dag-nachtbalans te realiseren. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van V2G liggen de investeringskosten een stuk lager, omdat de batterijen al aanwezig zijn. Hierbij geldt wel dat niet de gehele capaciteit van de batterij benut kan worden, omdat de eigenaar altijd een voldoende opgeladen elektrische auto tot zijn beschikking wil hebben. Ook speelt tijdigheid een rol. Wanneer overdag veel elektriciteit wordt geproduceerd aan huis, moet de elektrische auto wel op deze locatie aanwezig zijn om te kunnen fungeren als batterij. Met enige regelmaat is dit niet het geval, waardoor V2G niet altijd uitkomst biedt.

Lokale batterijen in de woonkernen kunnen een deel van het aanbod van de zonnepanelen op daken opvangen. In de zomer zullen nog steeds de grote pieken van de zonnepanelen niet volledig opgeslagen kunnen worden en hierdoor zullen de knelpunten blijven bestaan en groot blijven.

### **Power-to-Gas (P2G) - aanbodknelpunten**

Conversie van elektriciteit naar waterstof wordt Power-to-Gas (P2G) genoemd. Door de opgewekte elektriciteit op te zetten in waterstof kan het elektriciteitsnet ontlast worden. De verwachting is dat koolstofvrije gassen, waarvan waterstof één van de voornaamste is, een steeds nadrukkelijker rol zullen gaan spelen. In de landelijke Klimaatneutrale energiewebstroomscenario's wordt een deel van de waterstofvraag ingevuld door productie via elektrolyse. Verschillende sectoren hebben behoefte aan directe inzet van waterstof, bijvoorbeeld voor mobiliteit en bij hoge temperatuurprocessen in de industrie. Daarnaast vormen in de meeste scenario's waterstofcentrales een cruciale back-up/piekvoorziening voor de elektriciteitsbehoefte.

De tijdschaal (uren/dagen/weken/maanden) waarop P2G kan worden ingezet is in principe onbeperkt, zolang de geproduceerde waterstof opgeslagen of getransporteerd kan worden. Het vermogen is afhankelijk van het elektrolysevermogen. Dit vermogen kan opgeschaald worden, omdat grote elektrolyzers vaak modulair worden opgeleverd. De capaciteit is dus wel afhankelijk van hoeveel waterstof die opgeslagen of getransporteerd kan worden.

Door deze grote capaciteit is P2G een relatief goede oplossing voor aanbodknelpunten, maar de kosten voor deze elektrolyzers zijn echter wel hoog. P2G zal de komende jaren duurder blijven dan netverzwaring. De realisatiesnelheid is relatief hoog, omdat de elektrolyzers vaak modulair zijn. Wel vergt de ontwikkeling elektrolysetechnologie nog enige tijd totdat het op grote schaal kan worden uitgerold.

Er zijn echter ook een enkele andere belangrijke overwegingen bij de inzet van P2G. Ten eerste heeft P2G een grotere impact op knelpunten als het dichtbij de elektriciteitsproductielocatie staat. Ten tweede moet de geproduceerde waterstof op locatie verbruikt, opgeslagen of getransporteerd worden. Ten derde treedt er verlies op bij de omzetting van elektriciteit naar waterstof. Tenslotte zijn er aanzienlijk investeringskosten mee gemoeid en is voldoende ruimte nodig om de P2G-installatie te kunnen realiseren.

Ook de manier waarop P2G wordt ingezet is van belang. Een reden om P2G in te zetten is om een aanbodknelpunt te ontlasten. In dit geval zal er alleen waterstofproductie plaatsvinden wanneer het aanbod van elektriciteit erg groot is. Dit om piekbelasting van het net te voorkomen. Dit heeft als gevolg dat de totale opbrengst van waterstof gering is en de elektrolyser maar weinig draaiuren maakt wat de business case van een elektrolyser niet ten goede komt.

### **Power-to-heat (P2H) - aanbodknelpunten**

Conversie van elektriciteit naar warmte wordt Power-to-Heat (P2H) genoemd. Door de opgewekte elektriciteit dichtbij de productielocatie om te zetten in warmte wordt het elektriciteitsnet ontlast. De opgewekte elektriciteit hoeft immers niet getransporteerd te worden. Ook deze oplossing kan in de regel alleen aanbodknelpunten ontlasten en werkt in die zin vergelijkbaar met P2G, maar is veel minder kapitaalintensief en hoeft daarom niet bijna volcontinu te draaien.

De tijdschaal waarop P2H kan worden ingezet is in principe onbeperkt, zolang de geproduceerde warmte opgeslagen of getransporteerd kan worden. Het vermogen is afhankelijk van de schaal waarop P2H wordt toegepast. De capaciteit is afhankelijk van hoeveel warmte er opgeslagen of getransporteerd kan worden. Het voordeel van P2H is dat er relatief weinig energie verloren gaat wanneer deze vorm van flexibiliteit wordt ingezet. Ook zijn de kosten laag in vergelijkingen met andere vormen van de flexibiliteit, mits andere voorzieningen al aanwezig zijn.

Bij P2H is het echter noodzakelijk dat de omzetting van elektriciteit naar warmte plaatsvindt relatief dichtbij de locatie waar elektriciteit wordt opgewekt om knelpunten te voorkomen. Dit betekent ook dat de gecreëerde warmte redelijk dichtbij deze locatie moet worden verbruikt, omdat warmtetransport over grote afstanden leidt tot grote verliezen en daardoor niet meer rendabel is. Wanneer een warmtenet in een buurt ligt van een aanbodknelpunt zou P2H uitkomst kunnen bieden.

P2H om knelpunten in het elektriciteitsnet te voorkomen kan in Gelderland interessant zijn op plekken waar duurzame opwek dichtbij afnemers ligt, bijvoorbeeld bij industrieterreinen of bij warmtenetten met warmteopslag. Het aantal van dit soort punten is echter beperkt en P2H zal dus niet een algemene oplossing worden voor aanbodknelpunten.

### **Hybridisering (fuel shift) - vraagknelpunten**

Bij hybridisering wordt gebruikt gemaakt van meerdere energiedragers. De primaire energiedrager is elektriciteit, maar op momenten dat het net volledig belast wordt, zal overgeschakeld worden naar een andere energiedrager. Voorbeelden hiervan zijn te vinden in de gebouwde omgeving waar huizen en kantoorpanden worden verwarmd met hybridewarmtepompen op aardgas en in de toekomst wellicht waterstof. Ook binnen de industrie zijn gehybridiseerde processen te vinden. Hybridisering heeft betrekking op de vraag naar elektriciteit en biedt daardoor alleen uitkomst voor vraagknelpunten.

De tijdschaal waarop deze oplossing ingezet kan worden, is onbeperkt. Hybridetechnologieën kunnen tenslotte schakelen tussen energiedragers voor onbeperkte duur. Het vermogen van deze oplossing is afhankelijk van het vermogen van de hybridetechnologie. Het gaat in dit geval om het vermogen wanneer een andere energiedrager wordt gebruikt.

De grootste belemmering die hybridisering in de weg staat, zijn de nettarieven. Doordat hybridetechnologieën gebruik maken van twee energiedragers moet voor beide energiedragers betaald worden voor de maximale capaciteit. Dit is ongunstig omdat de primaire energiedrager veel gebruikt wordt, terwijl de secundaire energiedrager slechts op momenten dat er piekbelasting optreedt in het net wordt ingezet. Ook kunnen hybridetechnologieën niet overal worden toegepast. Zeker binnen de industrie is dit zeer specifiek.

### **Vraagsturing (demand response) - vraagknelpunten**

Bij vraagsturing wordt de vraag naar elektriciteit afgestemd op basis van de beschikbare transportcapaciteit van het net. Wanneer er een knelpunt optreedt kan een vrager naar elektriciteit de vraag reduceren, waardoor het net niet overbelast wordt. Mocht er meer ruimte op het net ontstaan, dan kan de vrager naar elektriciteit weer meer elektriciteit afnemen van het net. Deze oplossing is alleen toepasbaar op vraagknelpunten.

De tijdschaal waarop deze oplossing ingezet kan worden, is afhankelijk van de periode waarin de vrager naar elektriciteit met een gereduceerde elektriciteitslevering vooruit kan. Om dit te verduidelijken wordt het eerder genoemde voorbeeld van een koelhuis beschouwd. Voor de koeling is elektriciteit nodig. Wanneer er een piekvraag optreedt in het net kan een koelhuis voor een bepaalde tijd geen elektriciteit afnemen van het net. Het net wordt hierdoor ontlast. Echter, de periode waarin het koelhuis zonder elektriciteit kan, is beperkt. Het vermogen van deze oplossing is afhankelijk van de installatie die afschakelt. De capaciteit van de oplossing is afhankelijk van de periode waarin de installatie zonder elektriciteit kan en het vermogen dat wordt afgeschakeld of verminderd.

De investeringskosten van deze oplossing zijn nihil. Er hoeven namelijk geen aanpassingen gedaan te worden aan het net of aan installaties. Een nadeel is echter wel dat de inzet van deze oplossing onzeker is. Niet alle processen en installaties kunnen zomaar stil worden gelegd. Als er een piekvraag optreedt op een zeer warme dag is het mogelijk dat het eerder genoemde koelhuis toch niet kan afschakelen, omdat het maximale koelvermogen benodigd is. Er zullen hiervoor zeer goede afspraken gemaakt moeten worden tussen netbeheerders en degene die hun vraag naar elektriciteit variëren om het net in balans te houden. Een compensatie is hierbij ook denkbaar, omdat er in feite een service wordt geleverd aan de netbeheerders.

### **Overige flexibiliteit - aanbodknelpunten**

Onder overige flexibiliteit vallen oplossingen waarbij elektriciteit verbruikt wordt op momenten waarop dit eigenlijk later pas nodig is. Voorbeelden hiervan zijn extra koeling in koelhuizen op momenten dat er een te groot aanbod van elektriciteit is of het in werking laten treden van gemalen. Met deze oplossingen wordt op een eerder moment elektriciteit verbruikt, zodat dit later niet meer hoeft te gebeuren. Ook bij deze vorm van flexibiliteit geldt dat de opwekte elektriciteit dichtbij de locatie van opwek verbruikt moet worden.

De tijdsschaal waarop overige flexibiliteit kan worden ingezet, is afhankelijk van het type flexibiliteit. In een koelhuis kan niet onbeperkt worden gekoeld, terwijl een gemaal in principe eindeloos zou kunnen blijven pompen. Het theoretische vermogen is afhankelijk van de gebruiker. In een koelhuis zal dit het maximale vermogen van de koelinstallatie zijn, terwijl dit bij een gemaal het maximale vermogen van de pomp betreft. In de praktijk zal het extra vermogen over langere tijd lager zijn. De kosten voor deze vorm van flexibiliteit zijn laag, omdat er geen investeringen gedaan hoeven te worden. De afnemers van elektriciteit bestaan immers al. De beschikbaarheid kan echter wel voor problemen zorgen. Er hoeft tenslotte niet altijd gekoeld of water opgepompt te worden.

Een ander belangrijk aspect is het maken van afspraken. Wanneer een nabijgelegen afnemer extra elektriciteit zal gaan verbruiken om een aanbodknelpunt op te lossen, zal deze afnemer een vergoeding vragen. Deze vorm wordt ook wel congestiemanagement genoemd.

### **Andere oplossingen**

#### **Andere opstellingen zon-PV - aanbodknelpunten**

De energetische opbrengst van zon-PV is afhankelijk van de oriëntatie en hoek waaronder zonnepanelen worden gemonteerd. In Nederland wordt de hoogste opbrengst gerealiseerd door zonnepanelen zuidelijk georiënteerd te plaatsen onder een hoek van 35 graden. Dit heeft gevolgen voor het elektriciteitsnet, omdat piekproductie door zon-PV tegelijkertijd plaatsvindt wanneer een groot deel van alle zonnepanelen op het zuiden georiënteerd is. Door zonnepanelen te monteren met een andere oriëntatie en hoek kan het piekvermogen gereduceerd worden en in extreme gevallen zelfs verschoven worden naar een ander tijdstip. Voorbeeld hiervan zijn oost-west opstellingen, zonnepanelen geïntegreerd in de gevels en bifacial zonnepanelen in geluidswallen.

#### **Lokale opwek (WKK/Fuel-cells) – vraagknelpunten**

Regelbare lokale opwek van elektriciteit kan een uitkomst bieden bij vraagknelpunten. Er hoeft namelijk geen elektriciteit getransporteerd te worden over grote afstanden wanneer elektriciteit wordt opgewekt dichtbij de vraag naar elektriciteit. Er kan dus voldaan worden aan de piekvraag, zonder dat het net overbelast wordt.

De tijdschaal waarop deze oplossing kan worden ingezet, is afhankelijk van het type lokale opwek. Mogelijke vormen zijn een warmtekrachtkoppeling (regelbaarvermogen) of een brandstofcel. Ook het vermogen en de capaciteit is hiervan afhankelijk, evenals de investeringskosten. Er moet eveneens voldoende ruimte aanwezig zijn om deze elektriciteit te kunnen opwekken en wanneer er elektriciteit opgewekt wordt door middel van een warmtekrachtkoppeling zal ook de warmte nuttig ingezet moeten worden

### **Combineren wind- en zonne-energie - aanbodknelpunten**

Wind en zonne-energie zijn complementair. Op zonnige dagen is het vaak windstil, terwijl het op grauwe dagen vaak waait. Door wind- en zonne-energie op dezelfde netaansluiting te realiseren kan de netaansluiting effectief worden gebruikt en is er minder netverzwaring nodig in het geval van twee aparte aansluitingen.

Deze oplossing kan altijd ingezet worden. Beide technologieën dienen echter wel ruimtelijk ingepast te kunnen worden. Daarnaast heeft deze oplossing alleen effect op knelpunten in lagere netvlekken, omdat transport alsnog nodig blijft wanneer het elektriciteitsaanbod de vraag overschrijdt in een regio.

### **Samenbrengen vraag en aanbod & microgrids – vraag en aanbodknelpunten**

Door vraag en aanbod van elektriciteit dichterbij elkaar te brengen is er minder transportbehoefte en wordt de impact op het elektriciteitsnet verminderd. Het plaatsen van zonnepanelen op daken van bedrijven met een grote elektriciteitsvraag is hiervan een voorbeeld.

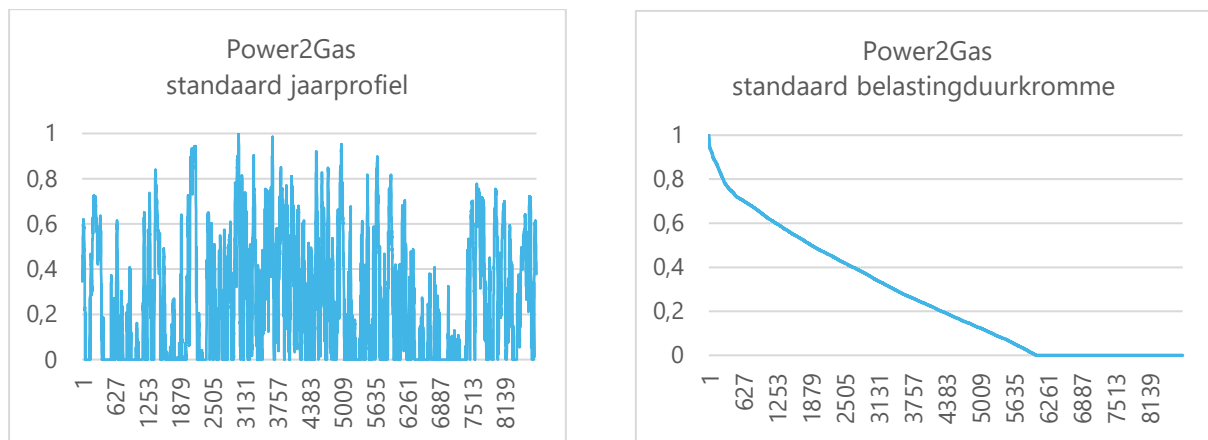
Microgrids zijn gekoppeld aan het elektriciteitsnet, maar kunnen in geval van kritische situaties op het elektriciteitsnet ook autonoom opereren. In microgrids zijn alle componenten van een energiesysteem aanwezig: elektriciteitproductie, opslag- en distributie en elektriciteitsvraag. Doordat microgrids autonoom kunnen opereren kan de impact op het elektriciteitsnet in kritische situaties worden gereduceerd.

## Bijlage 9. Analyse van systeemflex model en inzet

Een aantal flexibiliteitsoplossing is in het kader van de systeemstudie geschaard onder de noemer: "systeemflex". Deze subselectie heeft betrekking op flexibiliteitsoplossingen die in de basis niet plaatsgebonden zijn, te weten 1) curtailment, 2) Power-2-Gas (P2G) door middel van elektrolyzers, 3) Gas-2-Power en 4) utility scale batterij opslag. De inzet van deze vier oplossingen is voor de 4 scenario's in 2050 berekend op basis van een modelmatige analyse door TenneT. De uitkomst van deze analyse is een inschatting van de hoeveelheid benodigde capaciteit van systeemflex voor alle 28 koppelstation (TS-HS). Voor de eerste drie systemen (curtailment, P2G, G2P) is het benodigde vermogen en verdeling over de koppelstations bepaald door de lokale mismatch tussen vraag en aanbod te beperken en het transport over het hoogspanningsnet (HS) van TenneT zo laag mogelijk te krijgen. Na verdeling en dimensionering van curtailment, P2G en G2P is de inzet van batterijopslag per koppelstation bepaald.

### Standaardprofielen voor P2G en G2P

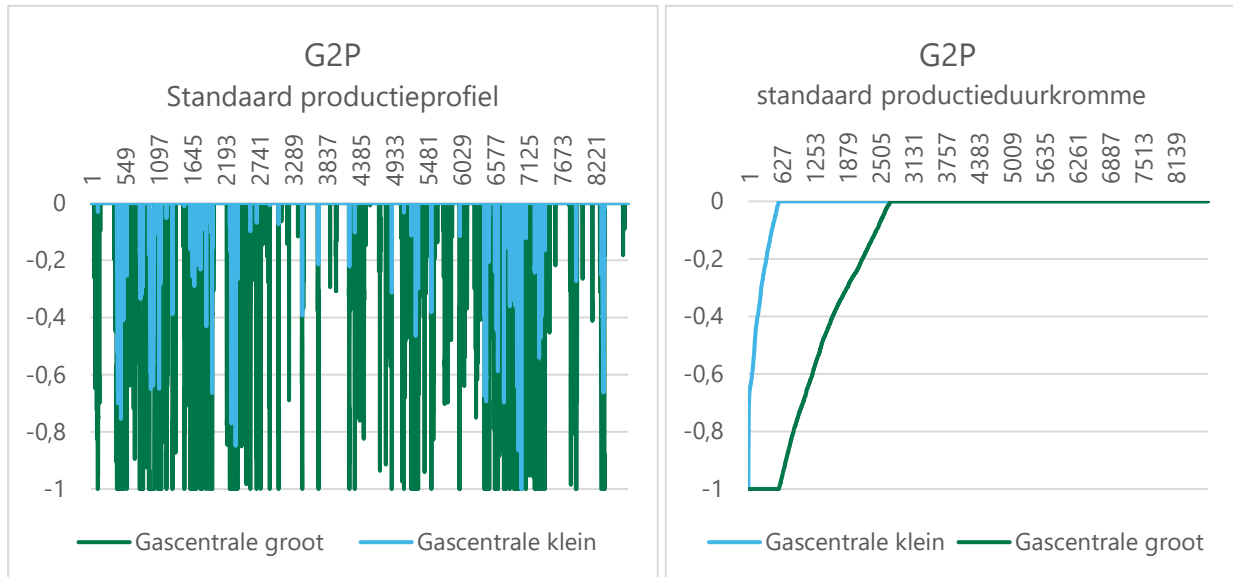
Om de effecten van inzet van P2G en G2P te bepalen is gebruik gemaakt van een gestandaardiseerd opnameprofiel (P2G) en leveringsprofiel (G2P). Voor elk koppelstation is de juiste schaalgrootte bepaald door het profiel lineair te schalen naar het benodigde vermogen. Het opname en productieprofiel is dus uniform voor alle koppelstations en verschilt enkel in termen van geïnstalleerd vermogen. Figuur 56 laat het gestandaardiseerde vraagprofiel en jaarbelastingduurkromme voor de P2G installatie zien. Zoals te zien in Figuur 56 is het standaard verbruiksprofiel van P2G sterk gevarieerd en de productie van waterstof niet constant. Hieruit valt op te maken dat de inzet van P2G daarom niet zozeer is toegespitst op de productie van groene waterstof, maar hoofdzakelijk op de levering van flexibiliteit.



Figuur 56. Het door TenneT gehanteerde standaardprofiel voor Power-to-Gas installaties. Op links het standaard jaarprofiel en op rechts de standaard jaarbelastingduurkromme

Figuur 57 laat het gestandaardiseerde productieprofiel en jaarproductiekromme voor de kleine en grote G2P zien. Uit Figuur 57 valt op te maken dat met name de productie van de kleine G2P sterk varieert en nauwelijks op vol vermogen draait. De grote G2P daarentegen draait vrijwel het gehele jaar regelmatig op vol vermogen.





Figuur 57. Het door TenneT gehanteerde standaardprofiel voor Gas-to-Power installaties. Op links het standaard jaarprofiel en op rechts de standaard jaarproductiekromme

In Tabel 13 is de informatie uit de grafieken in Figuur 56 en Figuur 57 samengevat in een aantal operationele kenmerken zoals het aantal vollasturen, het aantal draaiuren en het gemiddelde vermogen per draaiuur. Uit tabel 13 volgt dat voor de P2G installatie het aantal vollasturen (~2300 uur) en gemiddelde piekcapaciteit (37%) relatief laag zijn. De installatie staat veel aan (~6000 uur), maar draait zelden op vol vermogen. Uit tabel 13 valt verder op te maken dat de inzet van kleine G2P hoofdzakelijk is geënt op de levering van flexibiliteit, omdat het aantal vollasturen zeer laag ligt (~600uur). De grote G2P draaien een hoger aantal vollasturen (~2700 uur) en leveren naast flexibiliteit dus ook relatief veel elektriciteit.

Tabel 13. kwantitatieve duiding van operationele inzet systeemflex

Systeemflex oplossingen	Vollasturen per jaar	Draaiuren per jaar (op vol/deellast)	Gem. vermogen per jaar voor alle draaiuren
Power-to-Gas	2300 uur	6050 uur	37% van piekcapaciteit
Gas-to-Power klein	200 uur	600 uur	29% van piekcapaciteit
Gas-to-Power groot	1500 uur	2700 uur	55% van piekcapaciteit

### Opslagspecificaties

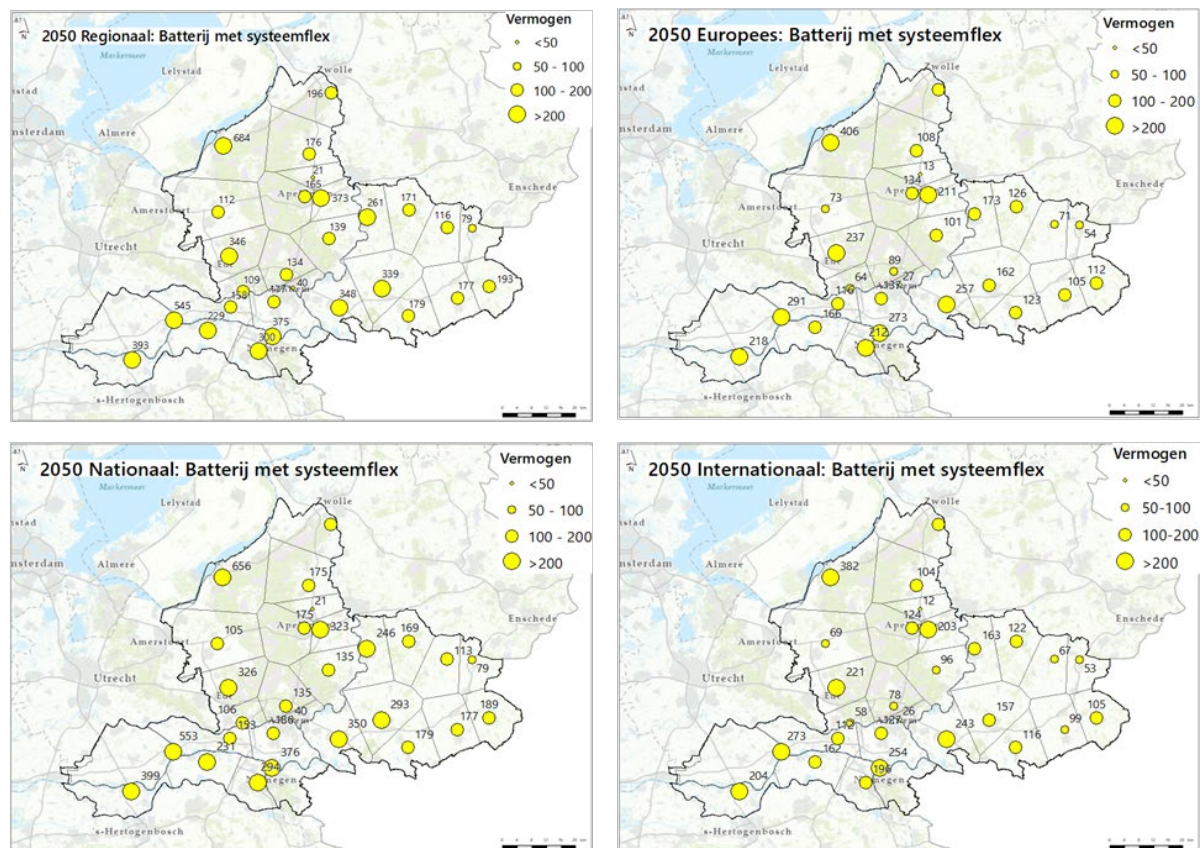
Tabel 14 bevat een gedetailleerdere analyse van de benodigde batterijcapaciteit en het jaarlijkse laad plus ontlad volume. Analoog aan het te installeren vermogen is in de internationaal georiënteerde scenario's minder capaciteit nodig. Wat verder opvalt is de grote vermogen/capaciteits ratio (1,35). Er is duidelijk behoefte aan veel vermogen, met een betrekkelijk kleine opslagcapaciteit. Daarmee is de batterij dus primair bedoeld om snel en vaak veel vermogen te leveren en minder om grote volumes af te vangen.

Tabel 14. Batterijopslag als systeemflex

	Einheid	2050 Regionaal	2050 Nationaal	2050 Europees	2050 Internationaal
Te installeren vermogen	MW	6500	6400	4200	4000
Te installeren capaciteit	MWh	4800	4600	3100	2900
Jaarlijkse energievolume	GWh/jaar	4400	4100	3000	2900

### Locaties met grootschalige batterijopslag

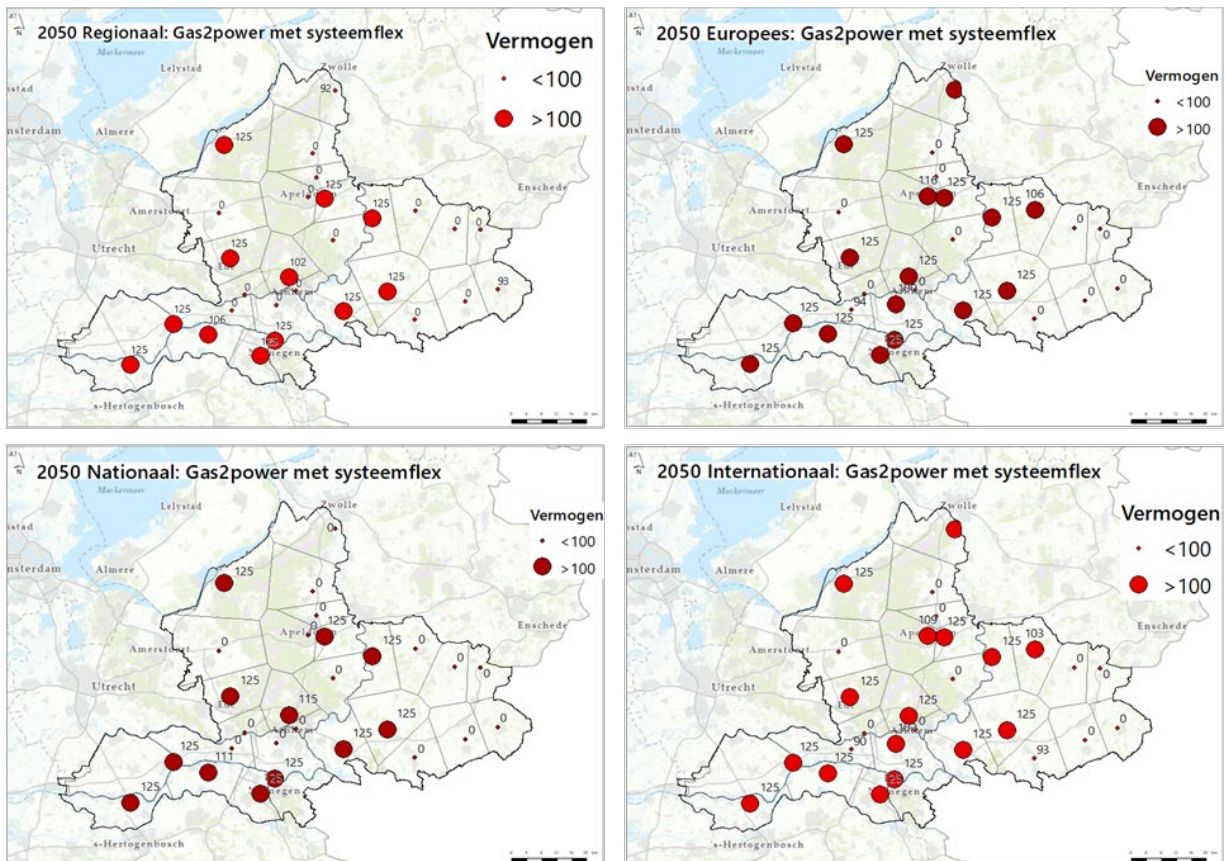
Figuur 58 geeft de gemodelleerde geografische spreiding van batterijcapaciteit over de koppelstations in de vier scenario's. In het Regionale en Nationale scenario concentreert de opslagcapaciteit zich meer, terwijl in het Europese en Internationale scenario de opslagcapaciteit meer homogeen verdeeld is over alle koppelstations. Vermoedelijk komt dat omdat er in het Regionale scenario op een aantal plaatsen meer zonne- en windenergie wordt gerealiseerd, met als gevolg dat daar de belasting op het koppelstation wordt beperkt door het bijplaatsen van batterijen.



Figuur 58. Verdeling vermogen batterijen in de 2050 scenario's

## Locaties met Gas-to-Power

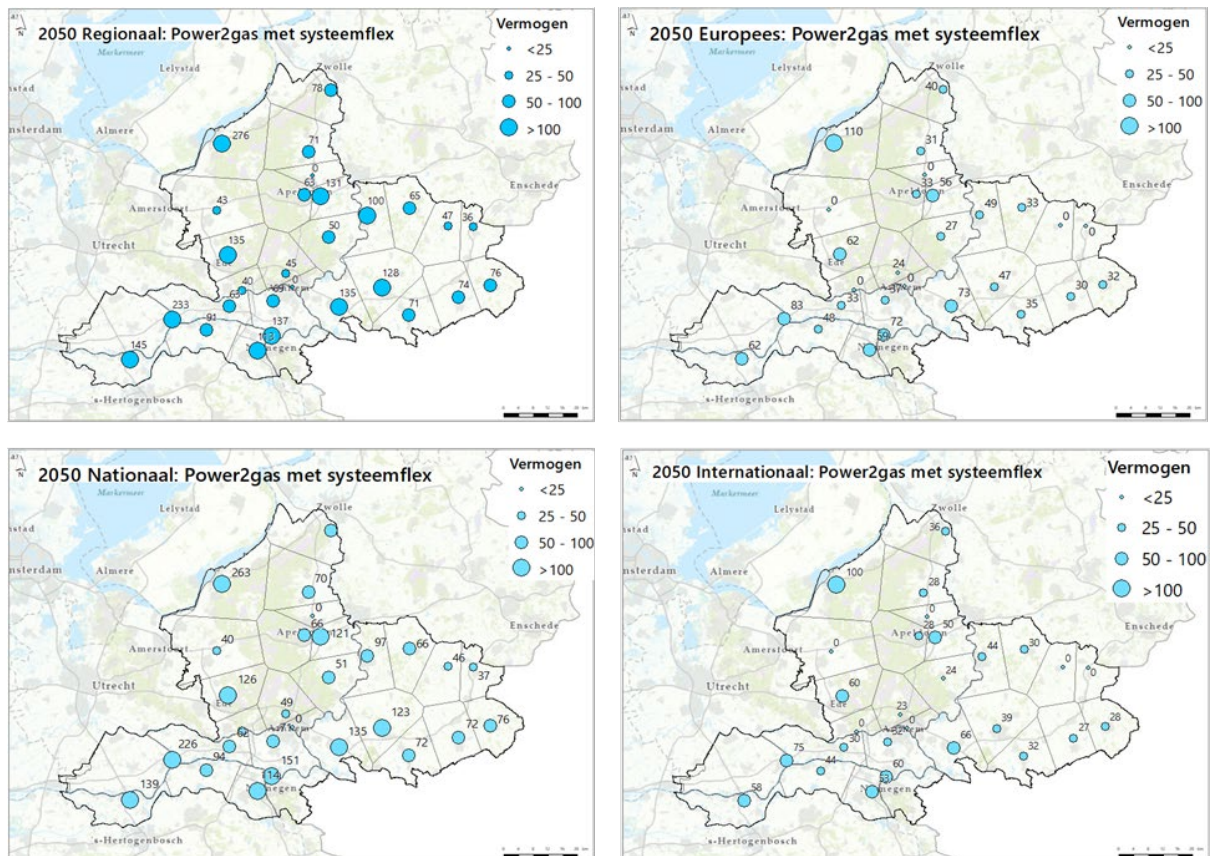
Figuur 59 geeft de gemodelleerde geografische spreiding van G2P over de koppelstations voor de vier scenario's. Dit betreft zowel de vermogens voor grote als voor kleine type G2P installaties. Voor alle scenario's geldt dat zowel de spreiding als het absolute vermogen vrijwel overal hetzelfde zijn. Hier zijn twee uitzonderingen op. In het Regionale scenario is in het gebied bij koppelstation Winterswijk ook G2P voorzien. Verder zijn er in het Internationale en Europese scenario's respectievelijk 3-4 G2P locaties extra voorzien ten opzichte van het Regionale en Nationale scenario. Dit betreft de gebieden nabij de koppelstations Lochem, Apeldoorn, Elst en Dodewaard (EUR).



Figuur 59. Verdeling vermogen G2P in de 2050-scenario's

## Locaties met Power-to-gas (P2G)

Figuur 60 geeft de gemodelleerde geografische spreiding van P2G capaciteit over de koppelstations voor de vier scenario's. Afgezien van de capaciteit zijn de koppelstations waar P2G-installaties zijn gemodelleerd vrijwel identiek voor alle vier de scenario's. Uitzondering hierop vormen Renkum, Harselaar, Borculo en Eibergen, waarin het Europese en Internationale scenario geen P2G-installatie komen. In alle scenario's is op een aantal specifieke koppelstations veel meer vraag naar P2G-capaciteit dan op andere koppelstations, zoals die bij Tiel en Harderwijk. Dit komt doordat er op die koppelstations veel hernieuwbaar opwekvermogen wordt aangesloten.



Figuur 60. Verdeling vermogen P2G in de 2050-scenario's

De waterstof, zuurstof en restwarmte die wordt geproduceerd met P2G installaties moeten uiteindelijk ook ergens heen. Het is daarom de vraag of en waar er behoefte is aan deze 'producten'. In Gelderland wordt op middellange termijn een deel van de waterstofbackbone gerealiseerd, waar waterstof mogelijk zou kunnen worden ingevoerd. Deze backbone loopt op hoofdlijnen langs de as van Ommen, Zutphen, Arnhem en Nijmegen, met vertakkingen richting het zuidwesten van Nederland en het Ruhrgebied in het oosten. Op plaatsen waar deze backbone ontbreekt is nadrukkelijker behoefte aan zicht op een potentiële afnemers van waterstof, zuurstof en restwarmte. Dit betreft in ieder geval de koppelstations van Harderwijk, Tiel, Zaltbommel, Ede en Woudhuis (oost van Apeldoorn). Een kans is om P2G installaties te combineren met voorziene G2P installaties. Immers geldt dat er voor een aantal locaties voor beide type systeemflex een grote behoefte is.

De beste match is wellicht te vinden in het Regionale en Nationale scenario's, waar de capaciteit van P2G en G2P installaties in een aantal gevallen redelijk overeenkomt. In het Europese en Internationale scenario is er in alle gevallen een grotere vraag naar capaciteit aan G2P dan aan P2G. De vergelijking kan het beste casus voor casus worden bekeken, waarbij niet alleen het vermogen, maar vooral ook de volumes en benodigde opslagcapaciteit belangrijk zijn om te bepalen of er een zinvolle synergie valt te behalen door P2G en G2P op dezelfde locatie te realiseren, waarmee gas dan lokaal wordt geproduceerd en gebruikt en effectief als buffer voor elektriciteitsoverschotten werkt.

## Bijlage 10. Voorbeelden knelpunten en oplossingsrichtingen

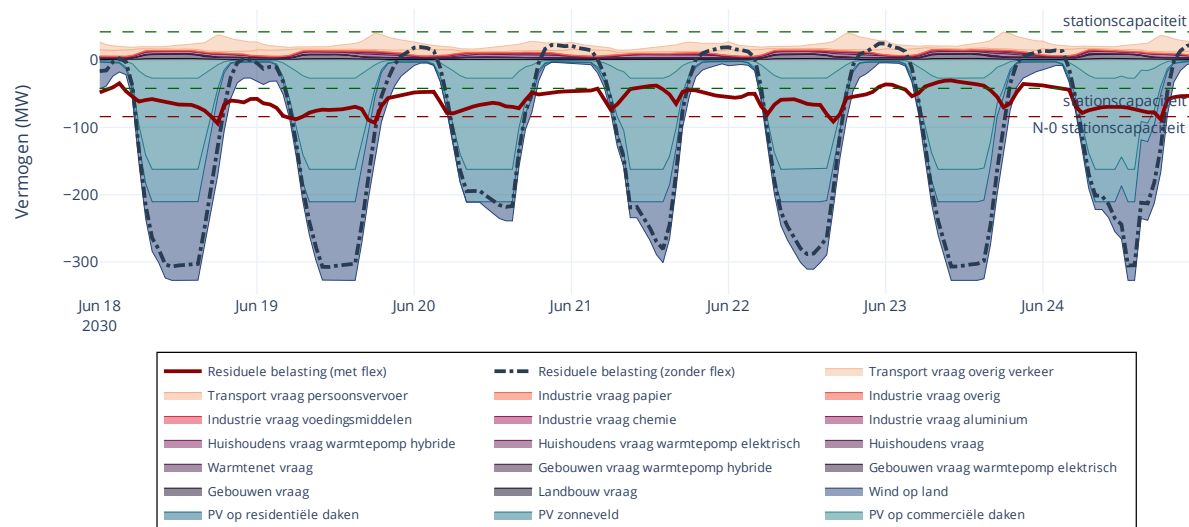
In deze bijlage worden enkele knelpunten en hun mogelijke oplossingsrichtingen nader bekeken.

### Aanbodknelpunten

#### Zon/wind in landelijk gebied

In landelijke gebieden is relatief veel ruimte beschikbaar voor het realiseren van duurzame opwek, terwijl er vaak weinig elektriciteitsvraag is. Dit betekent dat hoge pieken op zonnige en/of winderige dagen vrijwel volledig opgenomen en getransporteerd moeten worden door het net. Figuur 61 laat het weekprofiel voor een week in juni zien van koppelstation Druten. Positieve waarden geven elektriciteitsvraag weer, negatieve waarden zijn elektriciteitsaanbod. De gestippelde lijn is het netto vermogen dat door het station heen loopt, en de rode lijn het netto vermogen inclusief toegepaste systeemflex. De capaciteit van het station wordt weergegeven met de horizontale gestreepte lijnen. De duurzame opwek zorgt hier voor hoge piekbelasting omdat er weinig gelijktijdige vraag tegenover staat.

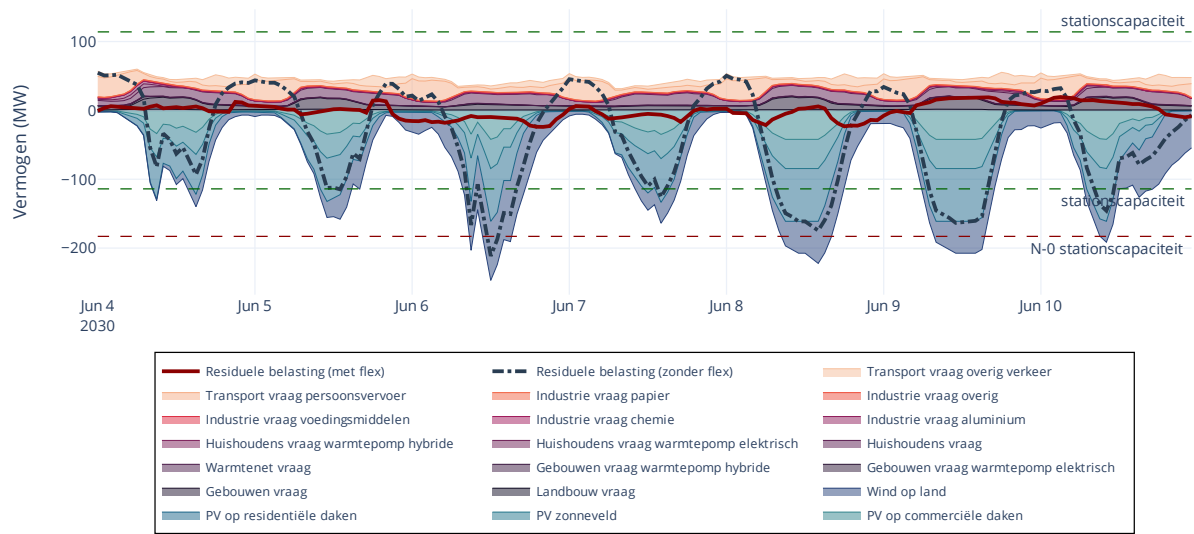
Relevante oplossingsrichtingen zijn in dit geval verlaten van redundantie (vergroting van opnamecapaciteit), inzet systeemflex (met name curtailment is effectief, maar ook batterijen en P2G), betere zon-wind balans, en andere opstellingen PV. Netverzwaring is een mogelijkheid maar als deze op de piekbelasting van zonneparken wordt afgestemd zal het net een lage benuttingsgraad hebben en dus een relatief dure oplossing zijn.



Figuur 61. Druten - Regionaal scenario 2050

#### Aanbod knelpunt met maar kleine overschrijding

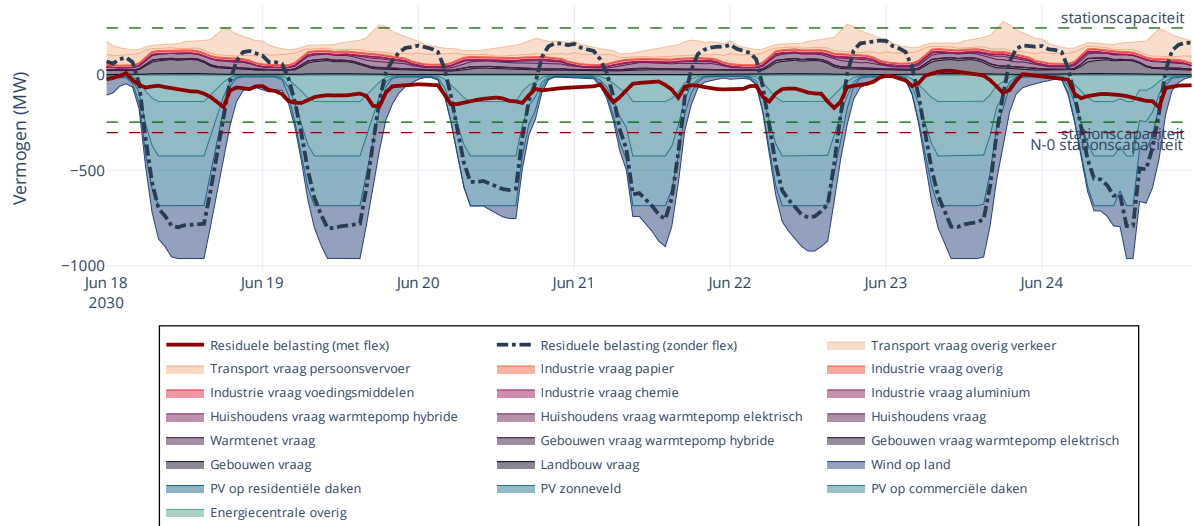
Figuur 62 toont een weekprofiel van station Elst in het Regionale scenario. Slechts enkele uren vindt er een kleine overschrijding plaats van de N-0 stationscapaciteit. Dit betekent dat een combinatie van verlaten van redundantie en inzet van curtailment een effectieve oplossing voor het knelpunt kan bieden.



Figuur 62. Elst - Regionaal scenario 2050

### P2G-knelpunt

Op koppelstation Harderwijk is in alle scenario's een groot vermogen Power-to-Gas gemodelleerd. Dit flexibele vermogen wordt ingezet om aanbodpieken op te vangen. Figuur 63 laat zien dat de residuele vraag met systeemflex de stationscapaciteit niet overschrijdt, waarmee het aanbodknelpunt wordt opgelost. Hiervoor is er 276 MW P2G-vermogen gemodelleerd. Station Harderwijk ligt niet in de buurt van de (geplande) waterstofbackbone. Mogelijk is in 2050 het waterstofnet al verder uitgebreid en is er dus een mogelijkheid om waterstof in te voeden. Zo niet, dan moet er voor de geproduceerde waterstof een lokale afnemer gevonden moeten worden. Bij plannen over inrichten van flex is het dan zaak om ook met (lokale) bedrijven in gesprek te gaan over opslag, benutting van waterstof, of transport van waterstof naar een afnemer.

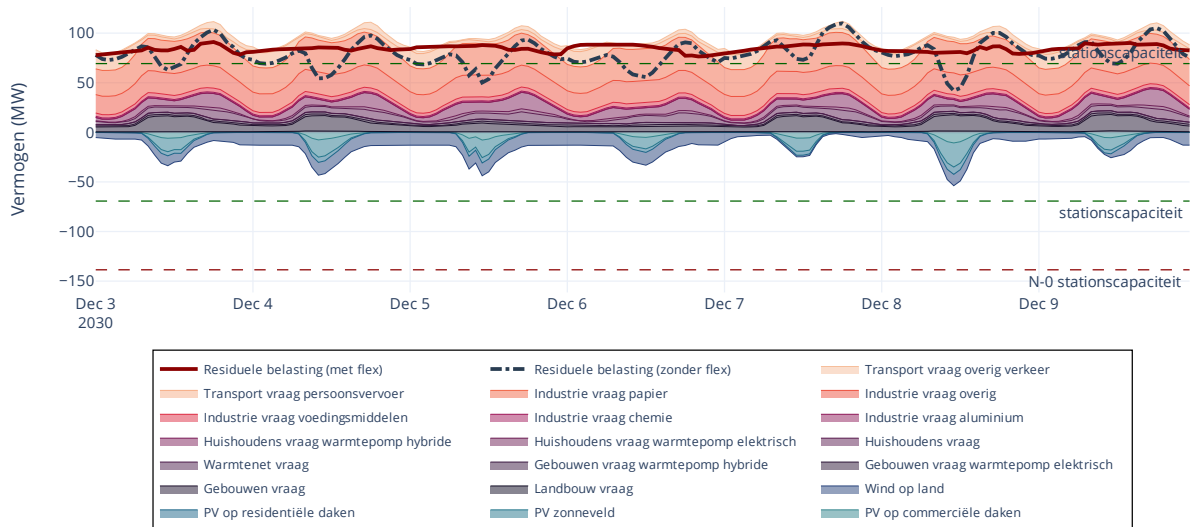


Figuur 63. Harderwijk - Regionaal scenario 2050

## Vraagknelpunten

### Industrie

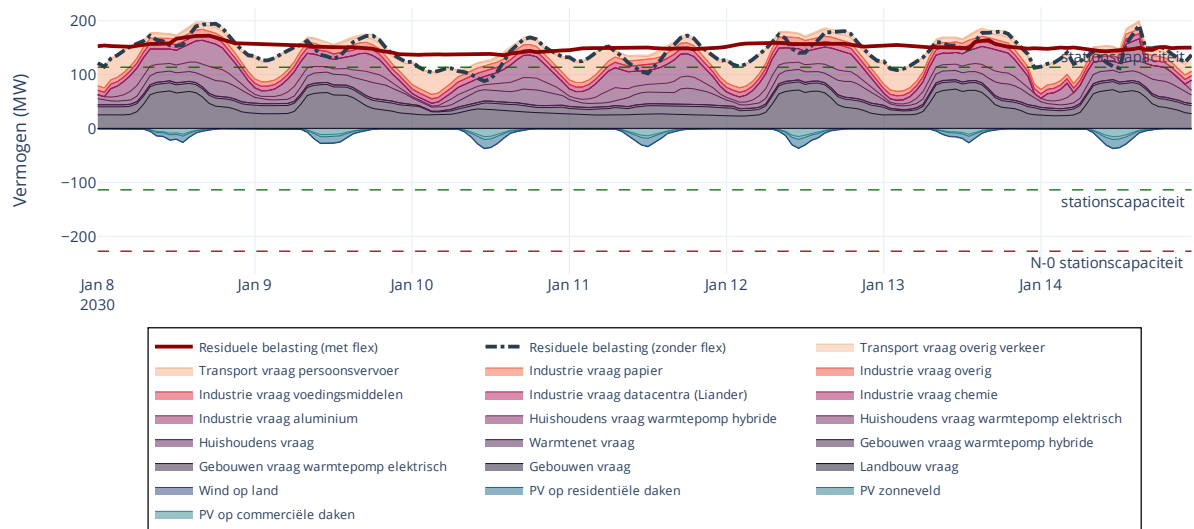
Door elektrificatie ontstaat er vanuit de industrie een grotere elektriciteitsvraag. Deze vraag kent echter een relatief vlak profiel waarbij er een groot volume elektriciteit getransporteerd wordt zonder hoge pieken. Dit leidt tot een efficiënte benutting van het net. Op enkele stations leidt dit alsnog tot een knelpunt zoals in Figuur 64 zichtbaar is voor koppelstation Eerbeek, waar de papierindustrie op aangesloten is. Netverzwaring is hier een goede optie om het knelpunt op te lossen. Ook kan onderzocht worden of energie-efficiëntie of gedeeltelijk overschakelen op waterstof een oplossing biedt voor het knelpunt.



Figuur 64. Eerbeek - Europees scenario 2050

### Gebouwde omgeving

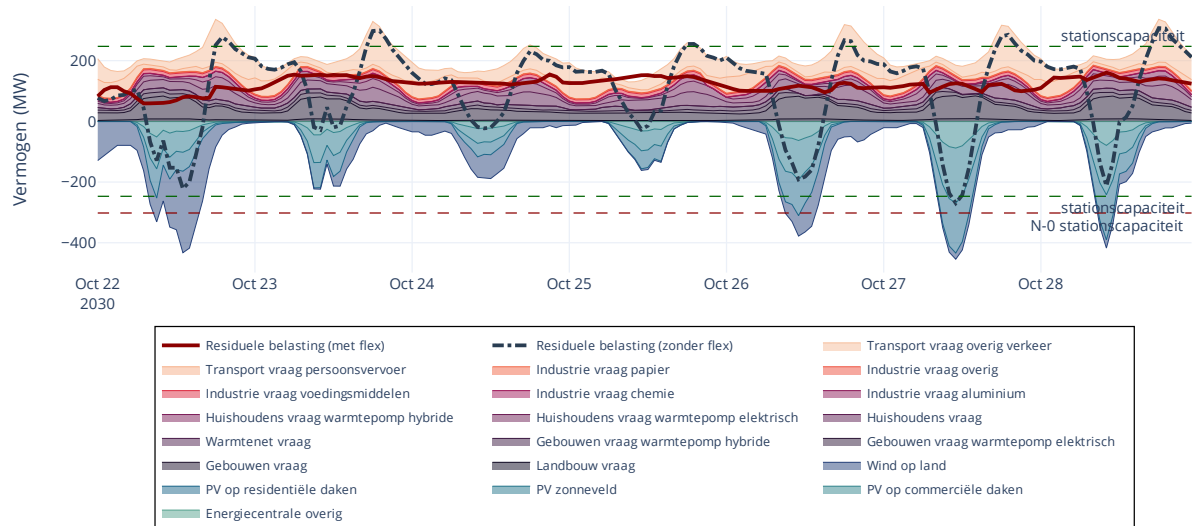
Elektrificatie van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving zorgt in de winter voor piekbelasting, zoals in Figuur 65 weergegeven voor station Kattenberg. Slimme aansturing van (hybride) warmtepompen kan deze pieken verlagen en inzet van batterijen kan een rol spelen om de vraagpiek te spreiden. Deze twee vormen worden in de scenario's al toegepast onder de noemer 'plaatsgebonden flex'. Als op hetzelfde station in de zomer een aanbodpiek ontstaat door duurzame opwek is netverzwaring een mogelijke efficiënte oplossing. Bij het bepalen van de strategie is het dus zaak om niet alleen naar de hoogste piek te kijken, maar ook naar of alle pieken dezelfde oorzaak of meerdere oorzaken kennen. Anders wordt met een oplossingsrichting mogelijk slechts de hoogste piek opgelost en blijven andere overschrijdingen bestaan.



Figuur 65. Kattenberg - Europees scenario 2050

### Vrachtvervoer

Elektrificatie zorgt voor een grote toename van de vraag vanuit de transportsector. Het ETM (dat gebruikt is voor het modelleren van de scenario's) geeft wel een optie voor slimladen van personenauto's, maar geeft deze optie (nog) niet voor vrachtvervoer. Dat betekent dat in de doorgerekende scenario's een grote vraagpiek ontstaat door het gelijktijdig laden van elektrisch vrachtvervoer. Zoals in Figuur 66 zichtbaar is, kan dit leiden tot een knelpunt. Een oplossingsrichting hiervoor is het stimuleren van slim laden voor vrachtvervoer. Daarnaast kan met systeembatterijen (een deel van) de piek opgevangen worden zoals te zien is in de afname van het profiel na het implementeren van systeemflex. Voor het Regionale scenario 2050 zou in het bedieningsgebied van koppelstation Harderwijk circa 684 MW grootschalige batterijopslag moeten worden gebouwd, versus 125 MW aan gascentrales. Daarmee zou grootschalige batterijopslag dus een significante rol kunnen spelen in het balanceren van het elektriciteitsnet, door o.a. het laadgedrag van elektrisch vrachtvervoer.

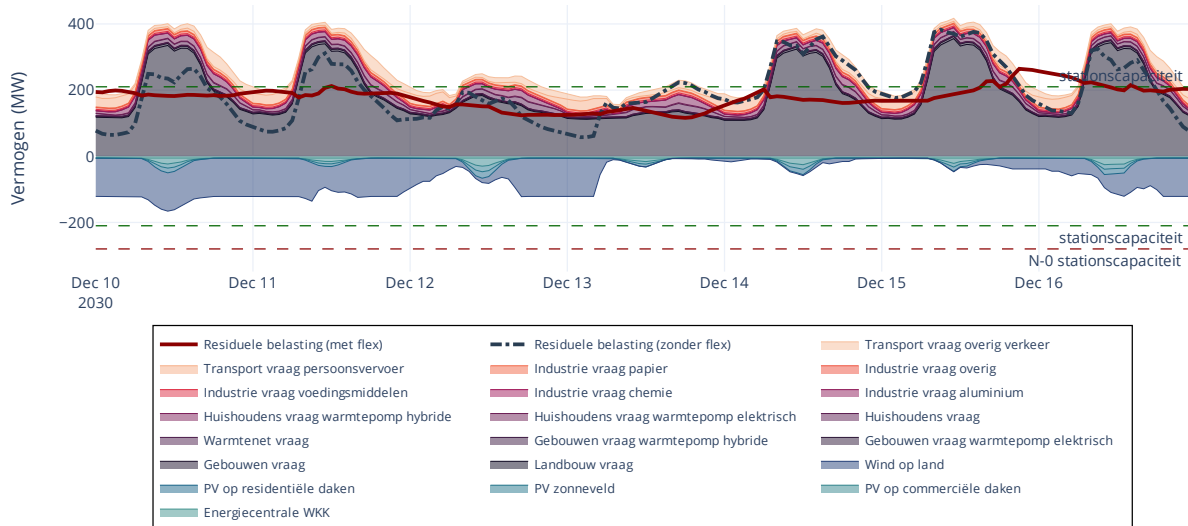


Figuur 66. Harderwijk - Regionaal scenario 2050



## Landbouw

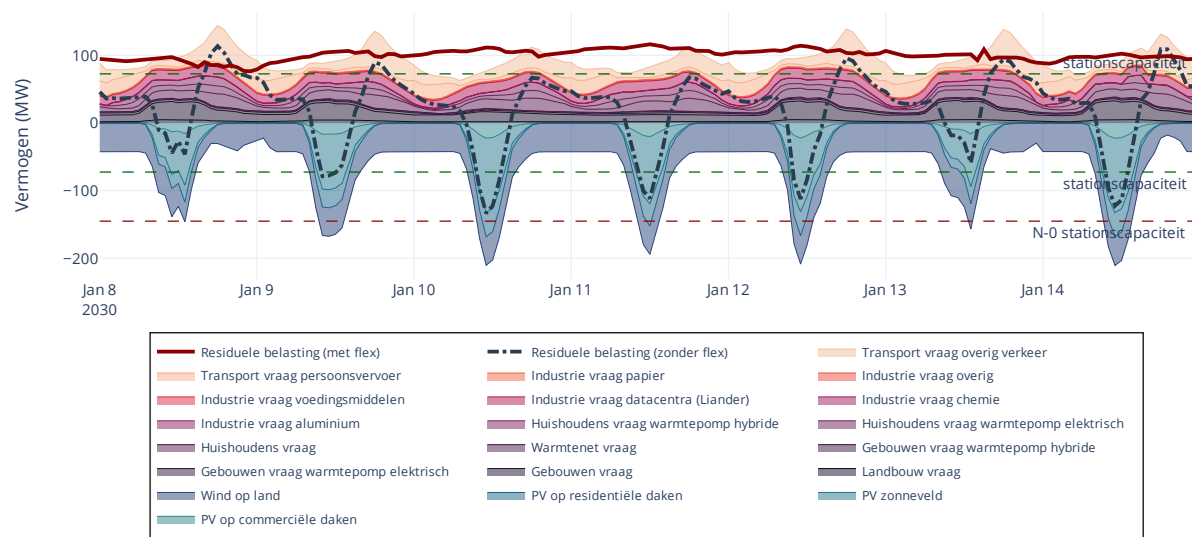
Koppelstation Zaltbommel kent een grote vraag vanuit de glastuinbouw. Momenteel wordt daar lokaal veel elektriciteit en warmte geproduceerd op basis van aardgas. In de 2050-scenario's wordt overgeschakeld op alternatieve bronnen. Voor elektriciteit kan dit tot een vraagknelpunt leiden op dagen met weinig zon en wind, zoals te zien valt in Figuur 67. Oplossingsrichting hiervoor is het plaatsen van Gas-to-Power vermogen, dat draait op duurzame gassen. Op deze manier kan (net als nu) een deel van de benodigde elektriciteit lokaal geproduceerd worden.



Figuur 67. Zaltbommel - Europees scenario 2050

### Knelpunten veroorzaakt door inzet systeemflex

In sommige gevallen kan systeemflex een knelpunt veroorzaken in plaats van oplossen. De tijdsprofielen voor curtailment, import/export, P2G en G2P zijn voor een scenario bepaald vanuit de residuele vraag op landelijk niveau. Deze landelijke profielen zijn pro rata geregionaliseerd op basis van de residuele vraag per koppelpunt. De batterij-profielen zijn specifiek per koppelpunt bepaald. De wens om de uitlegbaarheid en de transparantie van de flexmethode zo goed mogelijk te houden, heeft er voor gezorgd dat in sommige lokale gevallen extra aanbod ontstaat door flex op een koppelpunt, zoals te zien valt in Figuur 68. Waar de inzet van systeemflex op dit koppelpunt het aanbodknelpunt in de zomer verhelpt, ontstaat er in de wintermaanden een vraagknelpunt door de inzet ervan. Wanneer de piek ervan lager is kan het evengoed zinvol zijn, maar het zal ook nodig zijn om in de praktijk de inzet van systeemflex goed te bepalen en aandacht te houden dat de toegepaste flexibiliteit het systeem ten goede komt. Oplossingsrichting hierbij is goede regulering van de inzet van flexmiddelen zodat ze geen knelpunten veroorzaken.



Figuur 68. Woudhuis - Regionaal scenario 2050

## Bijlage 11. Startpunt transitie waterstof: case keramische industrie Betuwe nabij Heteren

Door Maarten Afman (Liander)

De industrie staat onder toenemende druk om broeikasgasemissies snel te reduceren. Afhankelijk van het soort proces zijn er diverse technische alternatieve technische oplossingen, naast efficiëntieverbeteringen en energiebesparing in het bestaande proces. Voor sommige industrieën is elektrificatie een mogelijke route. Er zijn echter ook industrieën waar dermate hoge temperaturen nodig zijn dat een duurzaam gas, bijvoorbeeld waterstof, de meest aantrekkelijke verduurzamingsoptie is.

Naast de industrie hebben andere sectoren ook grote interesse in waterstof, zo laten de toekomstbeelden voor 2050 in deze systeemstudie zien, net als de studies die in andere provincies zijn uitgevoerd, en de landelijke energiesysteemstudie, de Integrale Infrastructuur Verkenning (II3050).

Netbeheerders willen deze transitie mogelijk maken. Er zijn echter nog betrekkelijk weinig gedetailleerd uitgewerkte infrastructuurontwikkelpaden voor hoe de transitie naar waterstof in een bepaald gebied eruit kan zien, en wat de rol van de bestaande gasnetten daarbij kunnen zijn<sup>1</sup>.

Om dit te onderzoeken en lessen hieruit te kunnen trekken, heeft Liander, in samenwerking met GTS, een casus uitgewerkt over hoe een drietal industriebedrijven uit de keramische industrie op waterstof zou kunnen worden aangesloten. Dit als eerste stap in een verdere transitie van het regionale gasnet naar een regionale waterstofdistributie. De case is een uitwerking van wat het zou behelzen om de bedrijven waterstof te gaan beleveren: een beschouwing van de vereiste infrastructuraanpassingen op hoofdlijnen. Het is geen haalbaarheidsstudie en ook geen businesscase.

Een aantal randvoorwaarden is van belang en zijn meegenomen in de uitwerking in deze case.:

- Het aansluiten op waterstof moet kunnen tegen aanvaardbare kosten voor de maatschappij. Dit betekent dat er zoveel mogelijk van het bestaande gasnet moet worden gebruikt, en het realiseren van nieuwe leidingen zoveel mogelijk moet worden voorkomen.
- Een betrouwbare gaslevering moet gegarandeerd zijn. Gaslevering aan de sectoren die gedurende het ontwikkelpad nog aardgas gebruiken en pas later overgaan naar waterstof (of een ander alternatief) moet in stand blijven, er mogen geen concessies aan betrouwbaarheid en veiligheid gedaan worden.
- De keuzes en infrastructuraanpassingen (en nieuwe stukken infrastructuur) moeten compatibel zijn met verdere verduurzaming i.e. het moet toekomstige keuzes niet in de weg staan.

Er is ingezoomd op de casus van de industrie. Een korte beschrijving van het gasnet is noodzakelijk om de keuzes in deze casus te begrijpen. Gas stroomt vanuit de netten van de landelijke netbeheerder, Gasunie Transport Services (GTS), naar de gasnetten van de regionale netwerkbeheerder, in Gelderland vrijwel overal Liander. De eindafnemers zijn meestal aangesloten op het regionale net; enkele industriële klanten en de grote elektriciteitscentrales hebben een GTS aansluiting. Gasunie Transport Services beheert een regionaal transportleidingennet (RTL) en hoofdtransportleidingen netwerk (HTL).

Een gasontvangststation (GOS) is het overdrachtpunt tussen de LNB en de RNB's. Achter ieder GOS zit een distributienet.

De distributienetten zijn grotendeels aangelegd in een vermaasde structuur, net als overigens het regionaal transportleidingennet van Gasunie. Dat houdt in dat er veel netten onderling zijn gekoppeld, en dat een net ook uit meerdere GOS'en kan worden gevoed. Een pseudo-GOS-gebied is het voedingsgebied van zo'n gekoppeld netwerk.

In een GOS wordt het drukniveau van 67 of 40 naar 8 bar verlaagd. Een GOS is via hogedrukleidingen (8 bar) aangesloten op district- en afleverstations waar de druk verder verlaagd wordt van 8 tot 1 bar, en uiteindelijk naar 100 tot 30 mbar; het lagedruknetwerk.

### Opbouw gasnetten: van hoge druk naar aansluitleiding

Er is ingezoomd op de casus van de industrie. Een korte beschrijving van het gasnet is noodzakelijk om de keuzes in deze casus te begrijpen. Gas stroomt vanuit de netten van de landelijke netbeheerder, Gasunie Transport Services (GTS), naar de gasnetten van de regionale netwerkbeheerder, in Gelderland vrijwel overal Liander. De eindafnemers zijn meestal aangesloten op het regionale net; enkele industriële klanten en de grote elektriciteitscentrales hebben een GTS aansluiting. Gasunie Transport Services beheert een regionaal transportleidingennet (RTL) en hoofdtransportleidingen netwerk (HTL).

Een gasontvangststation (GOS) is het overdrachtpunt tussen de LNB en de RNB's. Achter ieder GOS zit een distributienet.

De distributienetten zijn grotendeels aangelegd in een vermaasde structuur, net als overigens het regionaal transportleidingennet van Gasunie. Dat houdt in dat er veel netten onderling zijn gekoppeld, en dat een net ook uit meerdere GOS'en kan worden gevoed. Een pseudo-GOS-gebied is het voedingsgebied van zo'n gekoppeld netwerk.

In een GOS wordt het drukniveau van 67 of 40 naar 8 bar verlaagd. Een GOS is via hogedrukleidingen (8 bar) aangesloten op district- en afleverstations waar de druk verder verlaagd wordt van 8 tot 1 bar, en uiteindelijk naar 100 tot 30 mbar; het lagedruknetwerk.

### Gebied van de case study: Betuwe

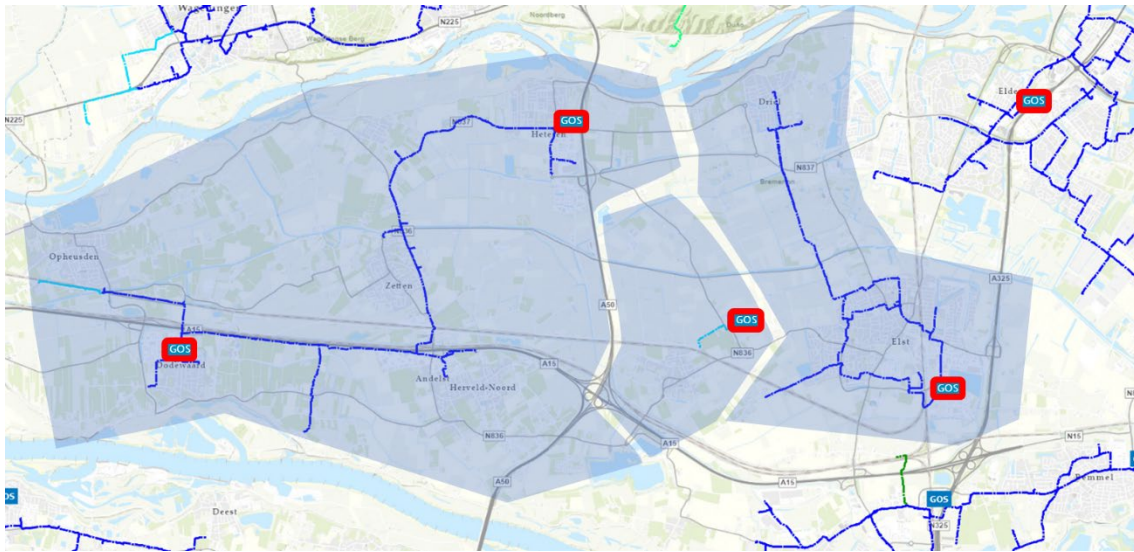
De volgende afbeeldingen tonen, voor het in de casus beschouwde gebied, een stuk van de gemeenten Neder-Betuwe en Overbetuwe, achtereenvolgens de infrastructuur van GTS, het 8 bar net van Liander, en de distributienetten van Liander.

Figuur 69 toont gasontvangststations (GOS) en hoe deze vanuit het regionaal transportleidingennet (RTL) en hoofdtransportleidingen netwerk (HTL) worden beleverd.



Figuur 69. Gasontvangststations (GOS) en hoe deze vanuit het regionaal transportleidingennet (RTL) en hoofdtransportleidingen netwerk (HTL) worden beleverd.

Figuur 70 laat zien hoe de 8 bar netten van Liander verbonden zijn aan de GOS, en toont de GOS-gebieden. Te zien is dat sommige GOS-gebieden meerdere GOS hebben, die onderling zijn verbonden.



Figuur 70. Huidige Liander hogedruk netten (~8 bar), gevoed vanuit gasontvangststations (GOS), en GOS-gebieden.

Figuur 71 toont de distributienetten achter de GOS-en. Binnen de GOS gebieden zijn er vele distributiestationen (DS) en vele honderden kilometers lagedrukleiding, onderling sterk verbonden (vermaasd).



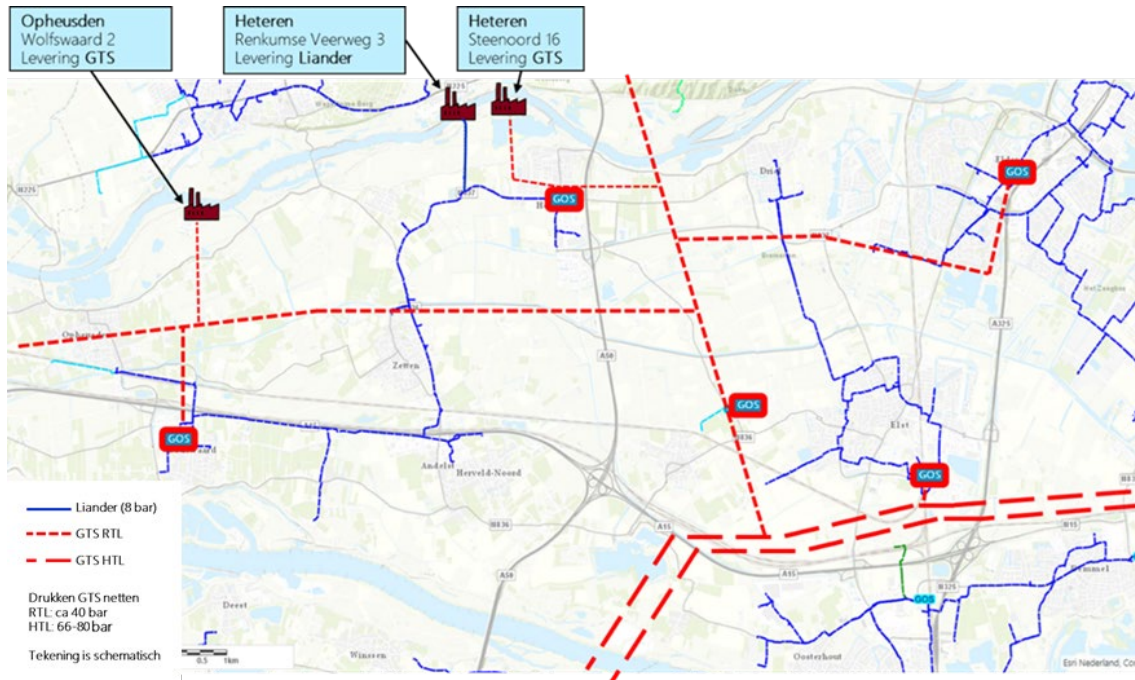
Figuur 71. De Liander distributienetten in de GOS-gebieden.

Door de vermazing kan er in een GOS gebied één soort gas geleverd worden. De consequentie van de vermazing is dat een enkele leiding niet zomaar ingezet kan worden voor de levering van waterstof terwijl andere leidingen op aardgas blijven leveren. Er moeten dus slimme aanpassingen aan de infrastructuur gedaan worden om dit toch mogelijk te maken voor bijvoorbeeld de industrie.

Aardgas wordt in Nederland onder andere gebruikt voor de warmtevoorziening. Hierdoor is het verbruik en de piekvraag in de winter vele malen hoger dan in de zomer. De regionale gasinfrastructuur is afgestemd op gaslevering voor een warmtevraag bij -12 °C en windkracht 5.

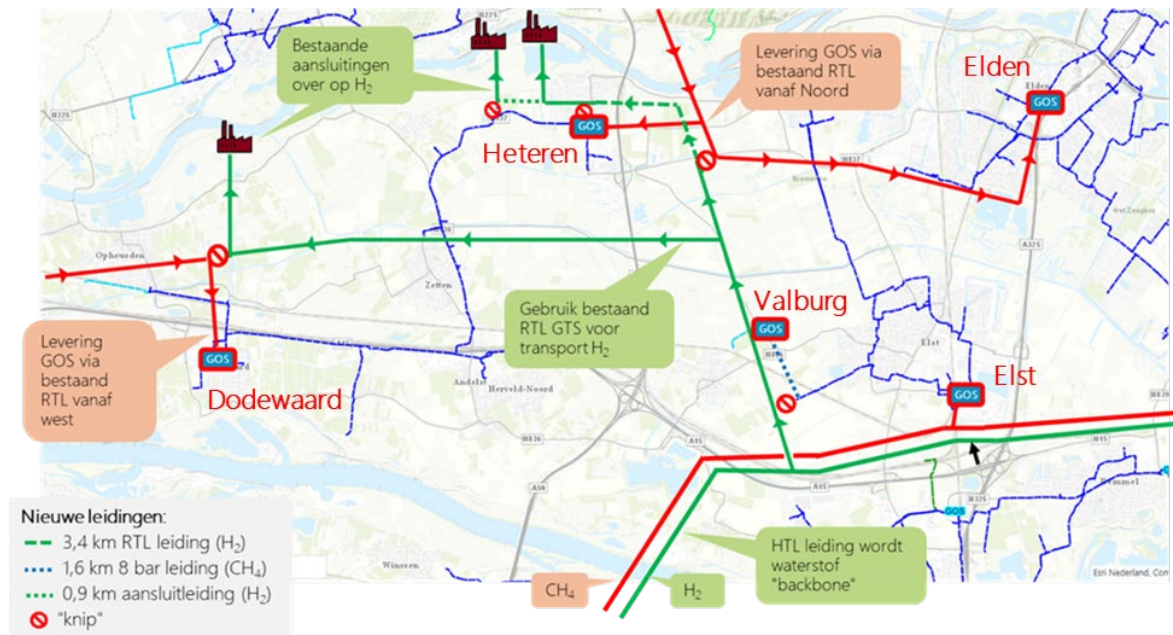
## Uitwerking Case Study: ‘industrie als eerste afnemer van waterstof in de Betuwe’

Wat als de industrie de ‘launching customer’ is voor waterstoflevering in de Betuwe? Figuur 72 laat zien dat GTS en Liander beide klanten van de keramische industrie in Heteren en Opheusden beleveren. In de case is aangenomen dat de industrie als eerste de transitie naar waterstof maakt als gevolg van toenemende druk om broeikasgasemissies te reduceren. Waterstof lijkt daarbij een van de meest kansrijke alternatieven voor volledige verduurzaming<sup>1</sup>.



Figuur 72. De locaties van drie industriebedrijven in Opheusden en Heteren, en hoe deze beleverd worden (schematisch)

Figuur 73 toont de uitwerking van de casus, welke tevens door Liander en GTS is doorgerekend. Het geschetste ontwerp lijkt robuust omdat er voldoende capaciteit is voor betrouwbare gaslevering bij koude condities. Beschrijving van de casus vindt plaats aan de hand van Figuur 73 van hoge naar lage druk (van onder naar boven):



Figuur 73. Aanpassingen van de gasnetten om de industrie vanuit de backbone met waterstof te kunnen beleveren, schets voor 2030.

De waterstofbackbone loopt onder Elst door. Als de RTL leiding van GTS vanuit de backbone naar de GOS Valburg, GOS Heteren en de industriebedrijven wordt overgezet op waterstof, dan resulteert dat voor GOS Valburg in drie keuzes:

- Liander legt een nieuwe 8 bar leiding aan van 1,6 km. Deze is opgenomen in de uitwerking omdat dit de goedkoopste optie is, zowel qua afstand als de prijs per meter. Uit de doorrekening blijkt dat Valburg ook in de winter te voeden is via het Liander netwerk uit GOS Elst.
- GTS legt een nieuwe aardgas RTL aan van drie kilometer.
- Een derde optie zou het overzetten zijn van het hele distributienet achter GOS Valburg naar waterstof (CV ketels op waterstof zullen in 2027 commercieel verkrijgbaar zijn is de verwachting).

Volgt men de leiding, dan is de steenfabriek in Opheusden door een knip te plaatsen in de RTL bij Opheusden te voeden zonder de aanleg van nieuwe infra. De GOS van Opheusden wordt dan vanuit het westen beleverd. Echter doordat Heteren en Opheusden gekoppeld zijn via het 8 bar netwerk van Liander is er toch een mate van zekerstelling bij storingen van de aardgas voorziening van Heteren en Opheusden.

Door een tweede knip ten zuidoosten van Heteren kunnen de GOSsen Heteren en Elden vanuit het noorden voorzien worden van aardgas. Dan is er daarna 3,4 km nieuwe leiding nodig om de twee andere steenfabrieken van waterstof te voorzien. Hier is weer een keuze.

- Dit kan met een RTL leiding van 3,4 km op 30 of 40 bar.
  - Echter omdat de GOSsen van de RTL gehaald zijn is het waarschijnlijk mogelijk om deze twee klanten te voeden met 8 bar. De 3,4 km nieuwe leiding zou dan op 8 bar kunnen worden aangelegd wat veel goedkoper is. Hiervoor is een waterstof GOS nodig ten zuidoosten van Heteren.

Een volgende stap kan zijn om te kijken of de industrie op het Liander netwerk in het zuidwesten van Heteren ook over te zetten is op waterstof. Dit is nog niet doorgerekend.

## Bevindingen en aanbevelingen

Over deze casus kan het volgende geconstateerd worden.

- Het blijkt dat de drie keramische fabrieken met een aantal stappen nog redelijk gescheiden over te zetten zijn op waterstof, gebruikmakend van voornamelijk bestaand net (circa 15% nieuw net nodig als we de lengtes tot aan de backbone beschouwen).
- Transitieproof: deze aanpak is compatibel met eventuele verdere uitrol van waterstof naar kleinere bedrijven en de gebouwde omgeving in de periode na 2030 tot en met 2050. In bijvoorbeeld Valburg en op termijn misschien op meer plaatsen binnen een corridor van de backbone kan het logisch zijn om alle aansluitingen in een GOS-gebied om te zetten. In de netwerken van de regionale netbeheerders zitten diverse klanten op een netwerk.
- De case voldoet aan de beschreven randvoorwaarden van het borgen van continuïteit aardgaslevering aan andere klanten, kostenbewust en uitvoerbaar, en transitieproof.

Waar op de hoofdnetten van GTS met parallelle leidingen mogelijk is om de industrie separaat over te zetten is dit in de meer vermaasde netwerken van de regionale netbeheerders niet mogelijk. Dit kan als een beperking of als een kans gezien worden. De backbone en de keramiekindustrie kan de opmaat zijn om dichtbij gelegen utiliteiten, kleine industrie, MKB en gebouwde omgeving in een corridor te verduurzamen mits er voldoende groene waterstof geproduceerd wordt.

Als er doorgedacht wordt wat er voor nodig is om deze case te realiseren en dit transitiepad in te slaan, dan leidt dit tot een set aan generieke aanbevelingen:

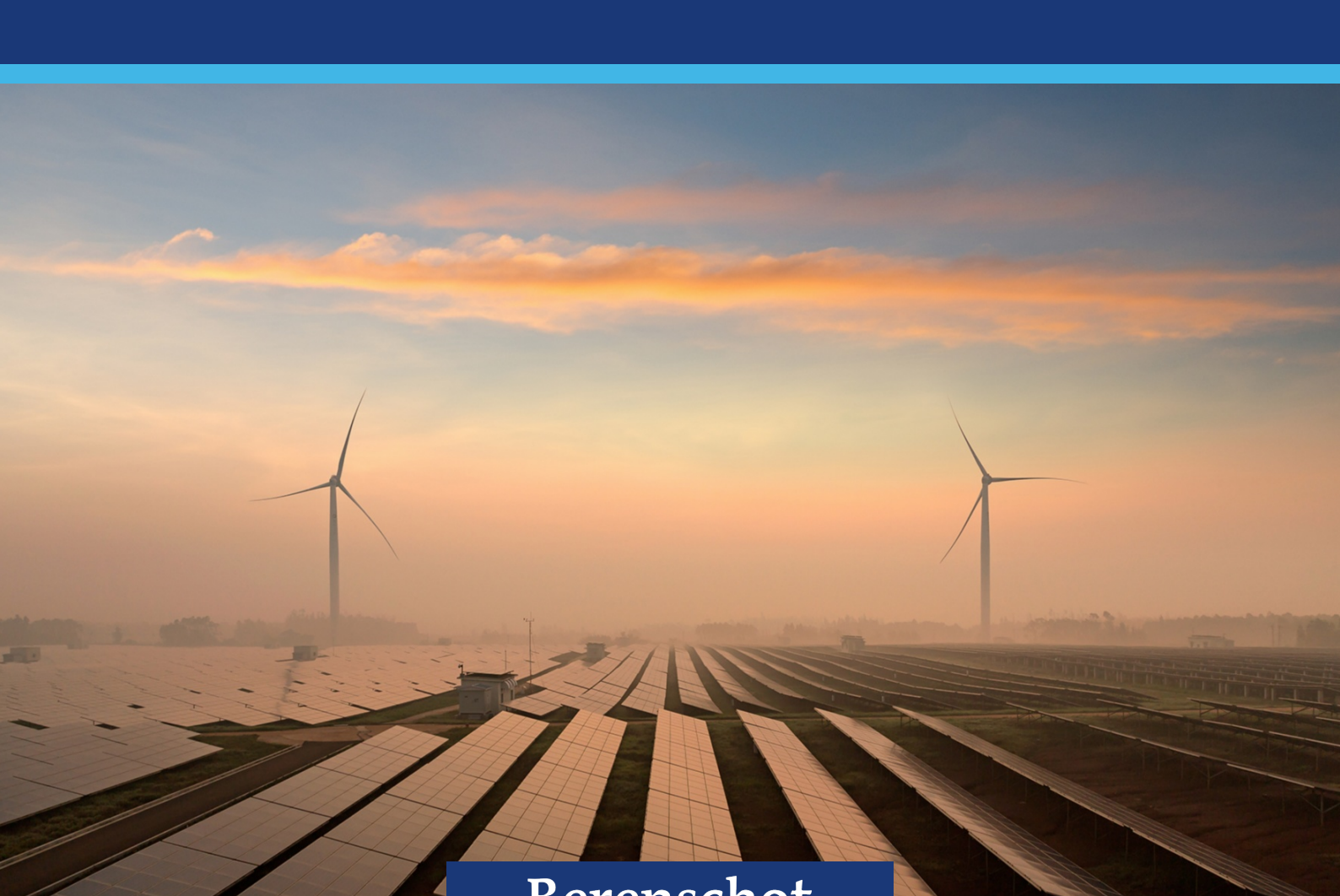
- Industrie: neem kennis van de verschillende mogelijkheden, denk hierover na, laat je adviseren, maak tijdig de denkrichtingen, plannen en alternatieven kenbaar, zoek contact met de regionale netbeheerder om de verschillende mogelijkheden door te spreken;
- Regionale en landelijke netbeheerders: werk samen om te komen tot slimme infrastructuur ontwikkelpaden: maatschappelijk verantwoord, transitiebestendig, leveringszeker;
- Provincie en bevoegd gezag: neem initiatief, met de kennis uit de systeemstudie, om (als partner) dit proces te versnellen. Help bedrijven om te komen tot de procesverduurzaming, werk in de vergunningverlening mee om de vereiste inpassing van de nieuwe stukken net, procesaanpassingen, etc. mogelijk maken.
- Gemeenten: neem in de uitwerking van plannen voor de wijkaanpak, de mogelijkheden en onmogelijkheden van de levering van waterstof en ander duurzaam gas mee; zoek daarbij de samenwerking met de regionale netbeheerder.
- Overheden, netbeheerders, en industrie/bedrijfsleven: trek gezamenlijk op om de 'verdelingspuzzel' (waar komt welk gas) op te lossen.



## Bijlage 12. Bronnenlijst

- Berenschot (2020), Waarde van Aardwarmte en Regionale Mogelijkheden.
- Berenschot (2020). Klimaatneutrale energiescenario's 2050
- Berenschot en Panterra (2020). Potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron.
- CBS (2021). Wegvervoer bestelauto's; vervoerd gewicht, ladington- en voertuigkilometers
- CBS Statline (2018). Kerncijfers wijken en buurten
- CE Delft (2017). Energiebesparing op het spoor.
- CE Delft (2018). Roadmap duurzaam OV en spoor.
- CPB en PBL: Verrips, A.S. & H.D. Hilbers (2020). Kansrijk mobiliteitsbeleid 2020.
- DNV-GL (2017). Verkenning waterstofinfrastructuur
- Dutch New Energy Research (2020). Nationaal Warmtenet Trendrapport 2021
- ElaadNL (2019). Naar 100% Z.E. in het OV: De ontwikkeling van elektrische bussen en hun laadlocaties in Nederland tot en met 2035.
- ElaadNL (2019). Outlook 'Volgeladen naar zero-emissie stadslogistiek.
- ElaadNL (2020). Outlook 'Tegen de stroom in varen'.
- Ennatuurlijk (2021). <https://ennatuurlijk.nl/warmtenet-apeldoorn-warmte-uit-rioolslib>
- Eurostat (2021). Annual road freight transport, by load capacity of vehicle.
- EVConsult (2020). Transitiestudie verduurzaming wegtransport.
- Gasunie (2018). Verkenning 2050
- Gasunie (2018). Verkenning 2050, geschaald naar Gelderland
- Het zesde cluster (2020). Klimaattransitie door de Nederlandse industrie
- <https://primos.abfresearch.nl/jive>
- <https://www.liander.nl/transportcapaciteit/gelderland>
- [https://www.netbeheernederland.nl/\\_upload/Files/Netcapaciteit\\_60\\_a7ae27bf52.pdf](https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Netcapaciteit_60_a7ae27bf52.pdf)
- Klimaat en Energieverkenning 2017, Planbureau voor de Leefomgeving, 2017..
- Klimaat Energie en Ruimte 2018
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019). Routeradar 2019 Straatbeeldmonitor
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020). Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit
- Nederlandse Emissieautoriteit (2018).
- NP RES (2019)
- PBL (2020). Klimaat en Energieverkenning 2020
- PBL (2020). Ontwikkeling Mobiliteit: PBL/CPB-notitie ten behoeve van de werkgroep Toekomstbestendige mobiliteit van de Brede maatschappelijke heroverwegingen 2020.
- PBL (2021). Startanalyse
- PBL MIDDEN rapport: Besier & Marsidi (2020). Decarbonisation options for the Dutch ceramic industry
- PBL MIDDEN rapport: Pierrot & Schure (2020). Decarbonisation options for the Dutch dairy processing industry
- PBL MIDDEN rapport: Rademaker & Marsidi (2019). Decarbonisation options for the Dutch paper and board industry.
- PBL MIDDEN rapport: West, de Jonge, and van Hout (2021). Decarbonisation options for the Dutch potato products industry
- Provincie Gelderland (2018). Koersdocument Duurzame Mobiliteit
- Provincie Gelderland (2018). Koersdocument Duurzame Mobiliteit.
- Provincie Gelderland (2020). Visie voor een bereikbaar Gelderland.
- Rijkswaterstaat (2019). Rapportage Routeradar Brandstofvisie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit.

- SDE viewer RVO, <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/sde/feiten-en-cijfers-sde-algemeen>
- The Economic Board (2021). <https://theeconomicboard.com/nieuws/aardgasvrije-wijken-nederland/>
- TNO (2016). Seismiciteit onshore gasvelden Nederland
- Trouw (2018). Glastuinbouwers staan in de rij voor het CO2 van de vuilverbrander
- Verkenning aanlanding NOZ -Samenvatting en tussentijdse notitie 2018



## Berenschot

Berenschot is een onafhankelijk organisatieadviesbureau met 350 medewerkers wereldwijd. Al 80 jaar verrassen wij onze opdrachtgevers in de publieke sector en het bedrijfsleven met slimme en nieuwe inzichten. We verwerven ze en maken ze toepasbaar. Dit door innovatie te koppelen aan creativiteit. Steeds opnieuw. Klanten kiezen voor Berenschot omdat onze adviezen hen op een voorsprong zetten.

Ons bureau zit vol inspirerende en eigenwijze individuen die allen dezelfde passie delen: organiseren. Ingewikkelde vraagstukken omzetten in werkbare constructies. Door ons brede werkerrein en onze brede expertise kunnen opdrachtgevers ons inschakelen voor uiteenlopende opdrachten. Daarnaast zijn we in staat om met multidisciplinaire teams alle aspecten van een vraagstuk aan te pakken.

### **Berenschot B.V.**

Van Deventerlaan 31-51, 3528 AG Utrecht

Postbus 8039, 3503 RA Utrecht

030 2 916 916

[www.berenschot.nl](http://www.berenschot.nl)

[in/berenschot](https://www.linkedin.com/company/berenschot)