



Deel A: Beknopte rapportage

Systemstudie Gelderland

Opdrachtgever: provincie Gelderland, in samenwerking met Liander, Gasunie, TenneT en GEA

VOORWOORD

Onderzoek naar energie infrastructuur in Gelderland

Onderzoek naar de toekomst van de energie infrastructuur in Gelderland voorspelt knelpunten. Er ontstaan knelpunten door hoge pieken en dalen in energievraag en -aanbod. Door aanpassingen zoals een flexibele elektriciteitsvraag of uitbreiding van de infrastructuur kan dit worden verminderd.

Een onderzoek naar de energie infrastructuur

In 2050 gebruiken we in Gelderland alleen duurzame energie. Dat is afgesproken in het klimaatakkoord. De invulling van de energietransitie in Gelderland wordt steeds duidelijker. In de Regionale Energiestrategieën (RES) worden plannen gemaakt voor opwek van wind- en zonne-energie. Gemeenten leggen in de transitievisie warmte vast hoe ze dat gaan doen en in het bedrijfsleven worden allerlei plannen gemaakt. Voor een succesvolle energietransitie moeten de vraag en het aanbod van energie op het energienetwerk goed op elkaar aansluiten. In opdracht van provincie Gelderland, Liander, Gasunie en TenneT is een onderzoek uitgevoerd om in beeld te brengen welke energie infrastructuur in Gelderland in de toekomst nodig is. Zodat we genoeg tijd hebben om de energie infrastructuur hierop aan te passen. Het onderzoek is uitgevoerd door Berenschot en Witteveen+Bos en een grote groep Gelderse stakeholders werkte mee.

Verschillende scenario's

We weten nog niet precies wat er in de toekomst gaat gebeuren met de energievraag en het -aanbod. In het onderzoek is daarom een aantal scenario's uitgewerkt. Per scenario zijn mogelijke ontwikkelingen in de energievraag en het -aanbod verkend. Er is gekeken naar de RES-plannen, de warmtevisies, de plannen van diverse bedrijven, woningbouw, mobiliteit en landbouw. Aan de hand van alle informatie is bepaald wat er in 2030 en 2050 mogelijk nodig is aan energie infrastructuur en ook waar knelpunten optreden als de infrastructuur blijft zoals die nu is.

Te hoge pieken en dalen

Uit het onderzoek blijkt dat in alle scenario's met name knelpunten worden verwacht doordat er meer pieken en dalen optreden in de vraag en aanbod van elektriciteit. We gebruiken namelijk steeds meer elektriciteit en vaak op hetzelfde moment. Denk aan het verwarmen van je huis met een warmtepomp, elektrisch koken of het opladen van je elektrische auto. Ook op momenten dat de zon niet schijnt en het windstil is. Op andere momenten is er juist elektriciteit van wind en zon, maar niet op de plek waar het nodig is. Het is dan teveel om door het bestaande elektriciteitsnet getransporteerd te worden naar een plek waar het wel gebruikt kan worden.

Flexibele infrastructuur

De verwachte knelpunten kunnen worden verminderd door de bestaande infrastructuur uit te breiden. Maar nog belangrijker is de vraag en aanbod van elektriciteit beter op elkaar af te stemmen door in te zetten op een meer flexibele vraag en passende infrastructuur. Denk bijvoorbeeld aan het tijdelijk omzetten van elektriciteit in gas (bijvoorbeeld waterstof) en andersom, het niet allemaal tegelijk opladen van auto's, en het gebruik van batterijen om de energie die opgewekt is met zonnepanelen tijdelijk op te slaan. We maken dan effectiever gebruik van het de bestaande infrastructuur waardoor deze minder uitgebreid hoeft te worden.

Aanbevelingen

In de studie wordt een aantal aanbevelingen gedaan waarmee we samen met onze partners aan de slag gaan. In het kort gaat het om:

- de energie te gebruiken waar deze opgewekt wordt
- een goed evenwicht te vinden tussen de hoeveelheid opgewekte zonne- en windenergie
- zon en wind zoveel mogelijk gebruik te laten maken van één aansluiting op het netwerk
- zoveel mogelijk oost/west opstellingen voor zonnepanelen te gebruiken
- gebruik het reserve elektriciteitsnetwerk dat voor noodgevallen aanwezig is, voor zonne- en windenergie
- maak meer gebruik van flexibiliteit op de energie infrastructuur
- breidt de energie infrastructuur uit waar dat nodig is.

Lees het hele onderzoek

Ben je benieuwd naar het hele onderzoek? Je kunt de resultaten bekijken op de website van *Berenschot* of hier de samenvatting lezen.



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 in (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 verzaamd 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-infrastructuur 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-infrastructuur 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, gemeenten 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 randvoorwaardes 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 randvoorwaardes 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

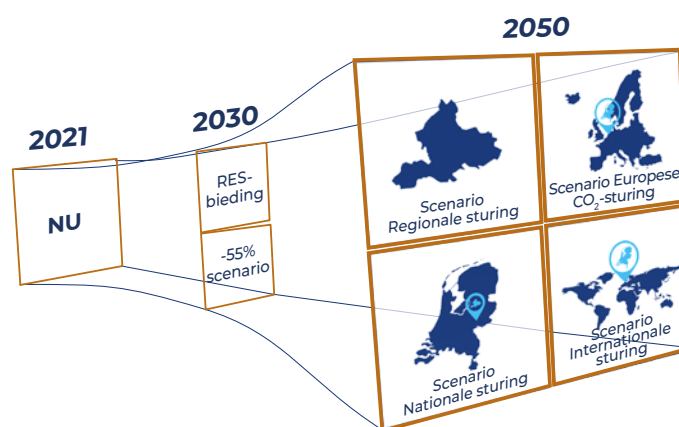
Voor het tot stand komen van de systeemstudie is een aantal stappen doorlopen:

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% CO₂ reductie¹ (2030 hoog). 55% CO₂ reductie komt overeen met de Gelderse klimaatambitie. De 2050-scenario's zijn gebaseerd op de vier landelijke Klimaatneutrale energie-scenario's², 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.**

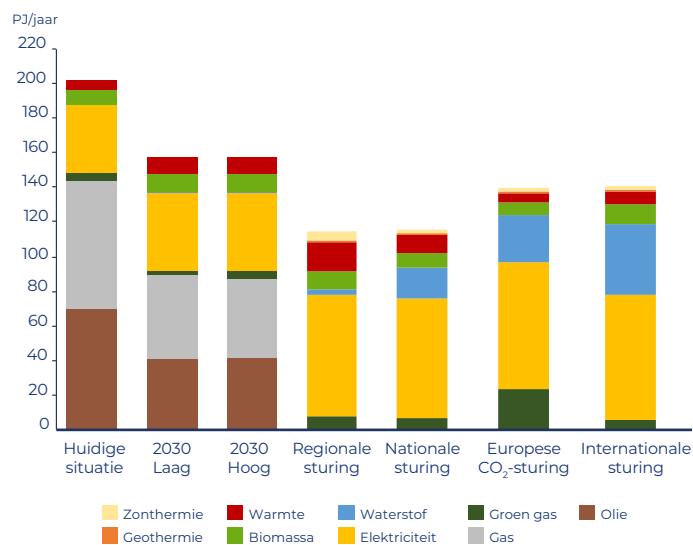
¹ Als we navolgend over CO₂-reductie spreken, bedoelen we reductie van alle broeikasgassen inclusief CO₂, uitgedrukt in CO₂-equivalenten en ten opzichte van het referentiejaar 1990.

² Klimaatneutrale energiescenario's 2050 (2020). Berenschot

Energievraag en -aanbod in de scenario's

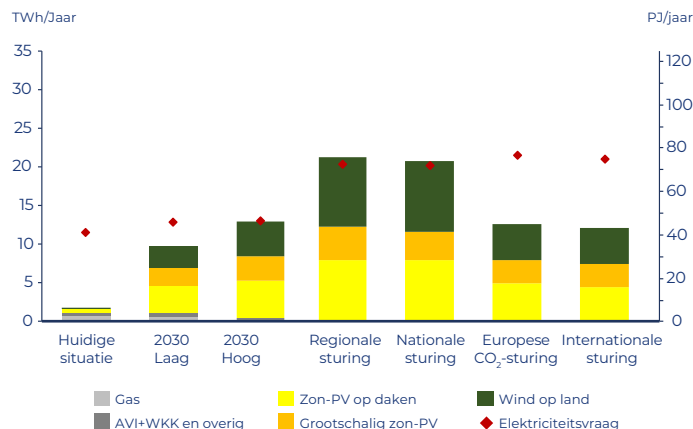
De energievraag die ontstaat door de verschillende de scenario's is weergegeven in figuur 2. In de 2030-scenario's is de energievraag lager dan in de huidige situatie. In beide scenario's is een duidelijke verschuiving zichtbaar van fossiele energiedragers naar hernieuwbare energiedragers.

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) gasen, 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 opwek-capaciteit 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 gevoed 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
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 leverings-zekerheid risico.					Opwek
Curtaillment	Aftoppen van pieken in opwek. Bij voorkeur inzetbaar voor hoge pieken en kleine volumes.					Opwek
Grootschalige batterij	Oplossing bij plaatsing tussen net-knelpunt en oorzaak. Geschikt voor met name korte tijdsschaal en relatief prijzig.					Afname en opwek
Kleinschalige batterij	V2G, thuis- of buurtbatterij, met name voor korte tijdsschaal (dagbalans) een interessante oplossing.					Afname en opwek
Power to gas	Geschikt voor ODN knelpunten en voor tijdsschaal 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 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.

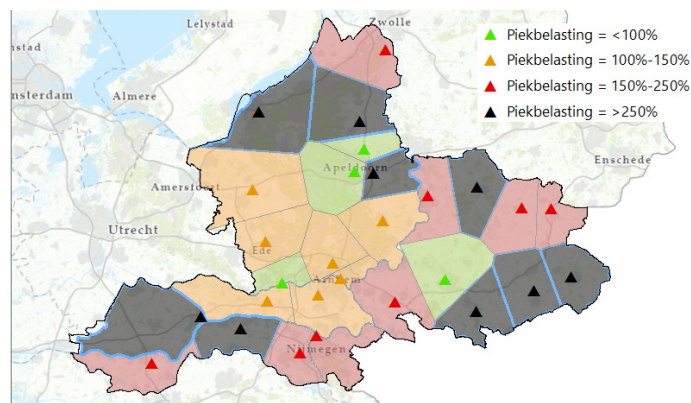
Bij het loslaten van redundantie wordt de 'vluchtstrook' van het net ingezet om meer hernieuwbare opwek aan te sluiten. Het net is zo ontworpen dat bij storing of onderhoud aan één van de elementen van de infrastructuur (bijvoorbeeld een transformator) de leveringszekerheid nog steeds wordt gegarandeerd, 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.

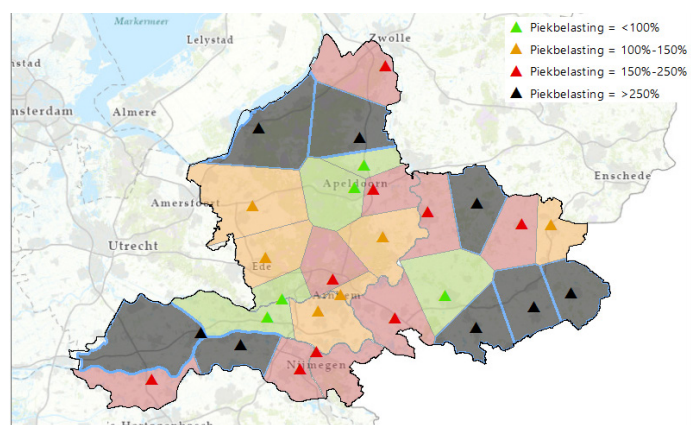
Er moet opgemerkt worden dat de manier waarop systeemflex in deze studie is gemodelleerd niet per definitie overeenkomt met hoe deze flexibele vermogens in de praktijk zullen worden ingezet.

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.

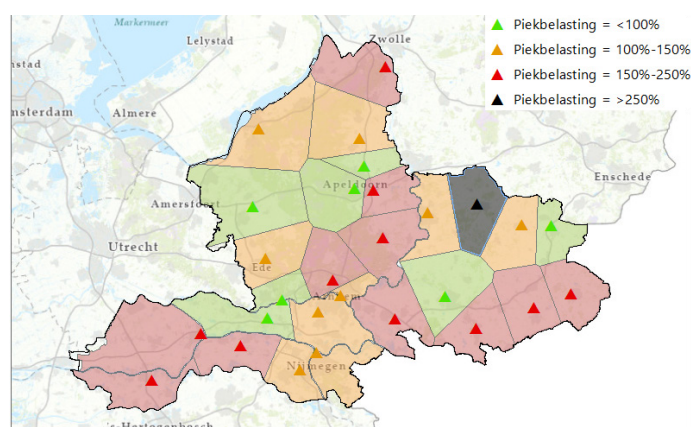
Figuur 5 en figuur 6 tonen de impact op de piekbelasting van de koppelstations door het modelleren van systeemflex op deze locaties in het distributienet.



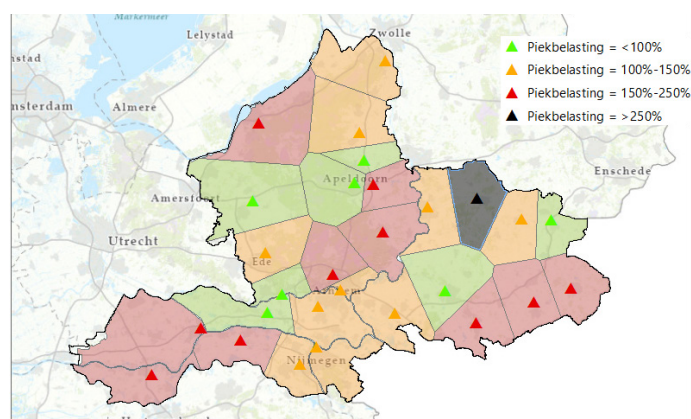
Figuur 5A. **2050 Regionaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.**



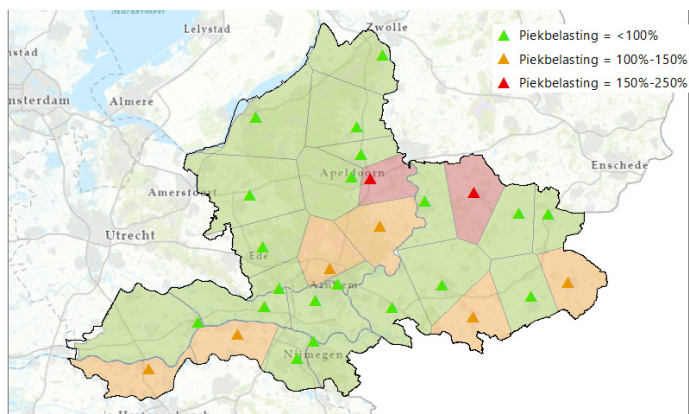
Figuur 5B. **2050 Nationaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.**



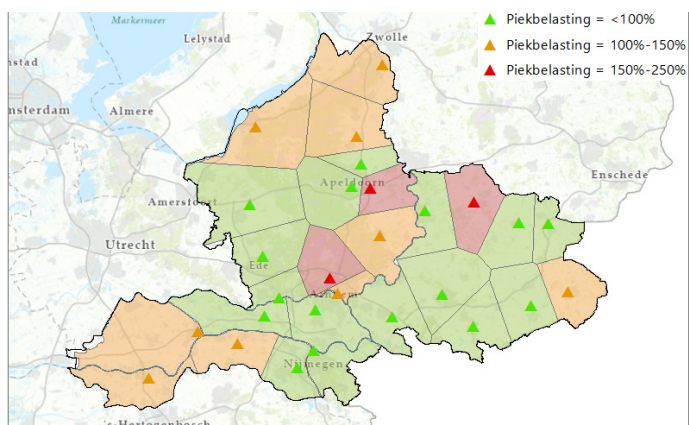
Figuur 5C. **2050 Europees: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.**



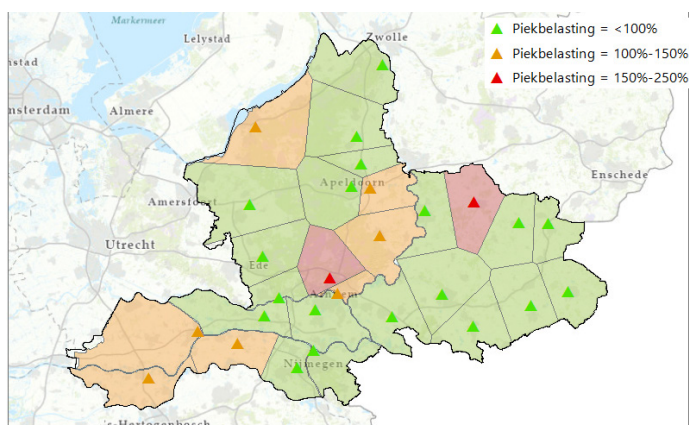
Figuur 5D. **2050 Internationaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations zonder gemodelleerde systeemflex.**



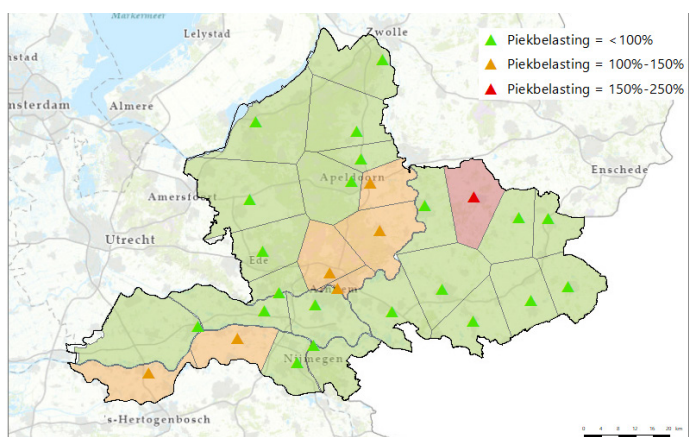
Figuur 6A. **2050 Regionaal: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations met gemodelleerde systeemflex.**



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



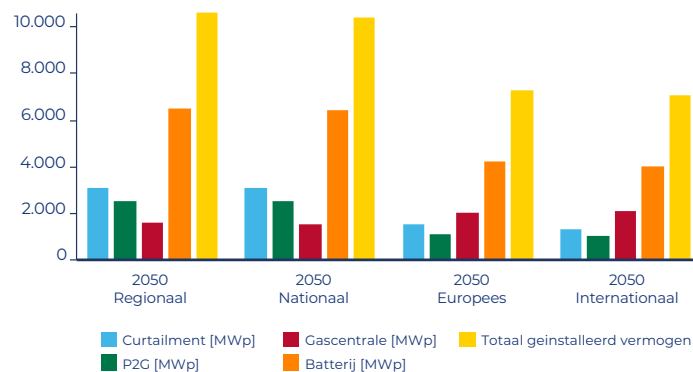
Figuur 6C. **2050 Europees: Piekbelasting vraag en aanbod op de koppelstations met gemodelleerde systeemflex.**



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

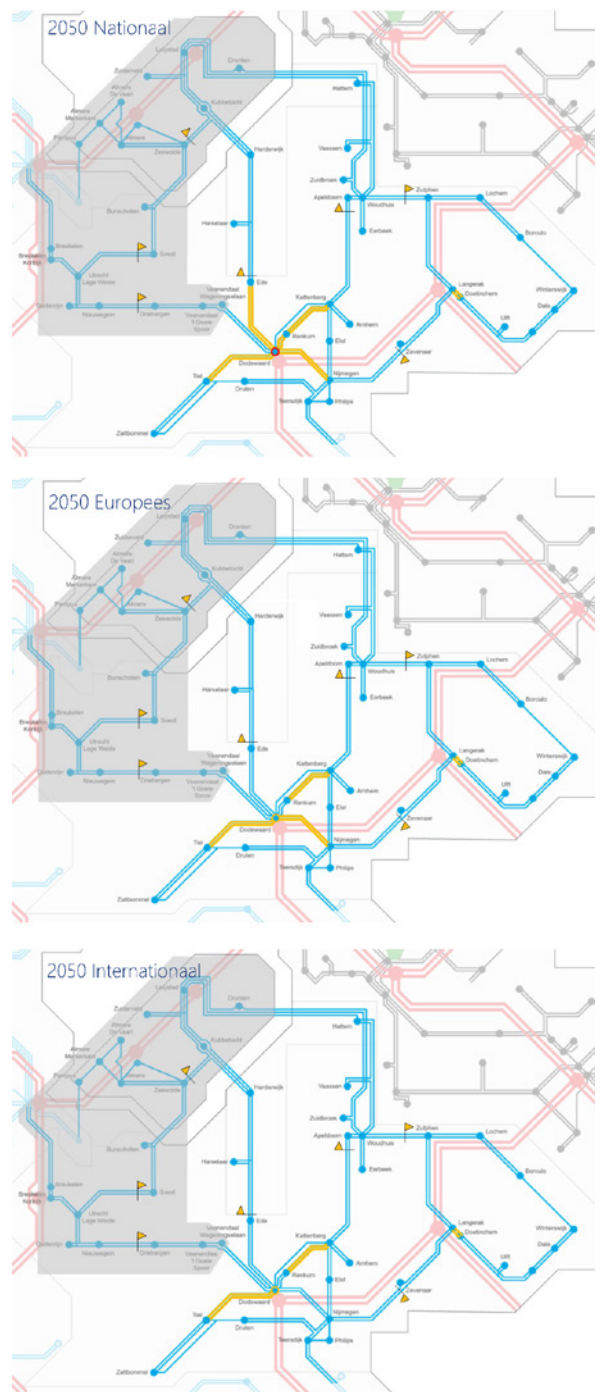
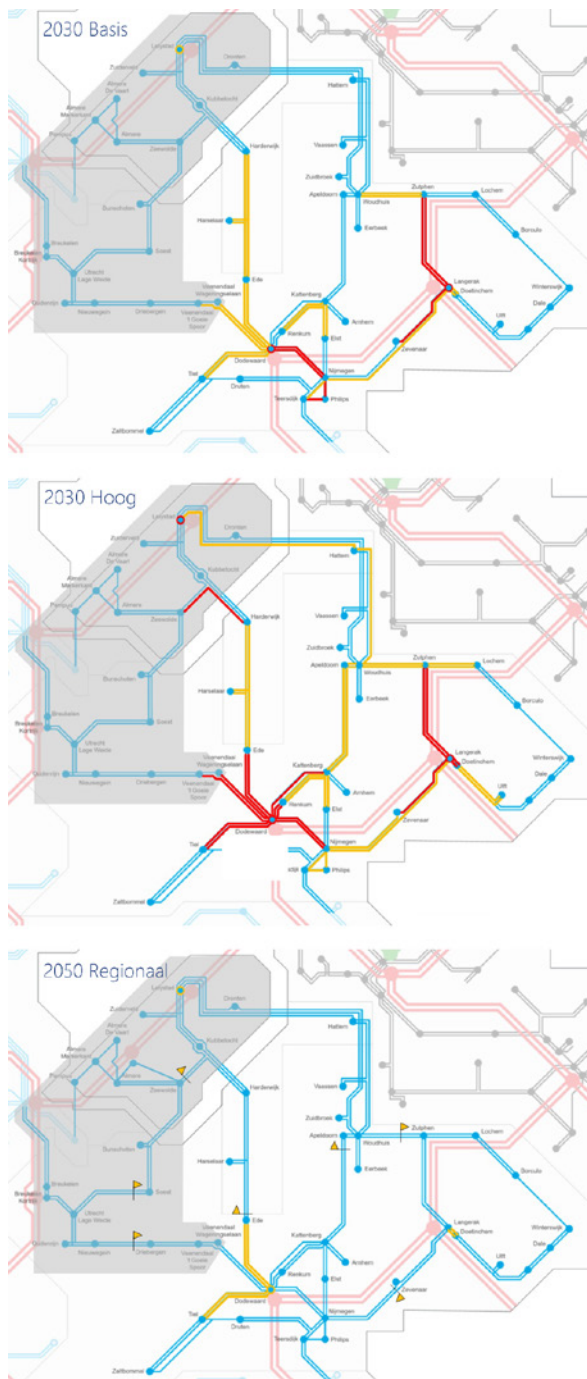
Liander verwacht na 2025 (en voornamelijk in de periode 2030-2035) groeiende capaciteitsproblemen als gevolg van elektrisch laden, elektrisch koken en de warmtetransitie (warmtepompen). Bovendien zullen woningcorporaties in sommige straten de verduurzaming van hun panden grootschalig uitrollen, waardoor 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 knelpunten 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 CO₂. 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.



‘WIJ ZIJN BERENSCHOT, GRONDLEGGER VAN VOORUITGANG’

Wij zien een Nederland dat altijd in ontwikkeling is. Zowel sociaal als organisatorisch verandert er veel. Al meer dan 80 jaar volgen wij deze ontwikkelingen op de voet en werken we aan een vooruitstrevende samenleving. Daarbij staan we voor duurzaam advies en de implementatie hiervan. Altijd gericht op vooruitgang én echt iets kunnen betekenen voor mensen, organisaties en de maatschappij.

Alles wat we doen, is onderzocht, onderbouwd en vanuit meerdere invalshoeken bekeken. In ons advies zijn we hard op de inhoud, maar houden rekening met de menselijke maat. Onze adviseurs doen er alles aan om complexe vraagstukken om te zetten naar praktische oplossingen waar u iets mee kan. Wij geven advies en bieden digitale oplossingen waarbij we ons focussen op:

- Toekomst van werk en organisatie
- Energietransitie
- Transformatie van zorg
- Transformatie van openbaar bestuur

Berenschot Groep B.V.

Van Deventerlaan 31-51, 3528 AG Utrecht
Postbus 8039, 3503 RA Utrecht
030 2 916 916