

Systeemstudie Fryslân

Rapport

65077 – Openbaar

11 februari 2022

Berenschot

ekwadraat
ARCHITECTS OF THE SUSTAINABLE CHAIN

Systeemstudie Fryslân

Berenschot: Klara Schure en Max Coenen
Ekwadraat: Rob Goes en Jelger van Zaane

In opdracht van RES Fryslân en in samenwerking met provincie Fryslân, gemeente Leeuwarden, gemeente Heerenveen, Liander, TenneT en Gasunie.

11 februari 2022

Berenschot ekwadraat ARCHITECTS OF THE SUSTAINABLE CHAIN

Inhoudsopgave

Samenvatting 4

1. Inleiding 8
   - 1.1 Aanleiding 8
   - 1.2 Doel 8
   - 1.3 Leeswijzer 9
2. Methode 10
   - 2.1 Maken van scenario's 10
   - 2.2 Verdelen van de energievraag over de regio's 11
   - 2.3 Toepassen flexibiliteit en het doorrekenen van de elektriciteitsnetten 11
   - 2.4 Analyseren van doorrekening en duiden knelpunten in de energie-infrastructuren 11
   - 2.5 Uitwerken oplossingsrichtingen 12
3. Scenario's 13
   - 3.1 Scenario's 2050 14
4. Scenario's voor energievraag en aanbod 17
   - 4.1 Ontwikkeling van de energievraag 17
   - 4.2 Biomassa 31
   - 4.3 Methaan 31
   - 4.4 Waterstof 32
   - 4.5 Warmte 32
5. Energie-infrastructuur ontwikkelingen 34
   - 5.1 Het elektriciteitsnet 34
   - 5.2 De gasnetten 39
   - 5.3 De warmtenetten 42
6. De scenario's en de regionale distributienetten 44
   - 6.1 Knelpunten in de netten 44
   - 6.2 Oplossen van knelpunten in het regionale distributienet 49
   - 6.3 Verminderen van knelpunten door het verlaten van redundantie en toepassen van systeemflex 56
   - 6.4 Netverzwaring en andere oplossingen voor knelpunten in het elektriciteitsnet 58
   - 6.5 Waddeneilanden 59
7. De scenario's en het landelijke hoogspanningsnet 61
   - 7.1 Knelpunten in het hoogspanningsnet 61
   - 7.2 Oplossingsrichtingen voor het hoogspanningsnet 65
8. De scenario's en de gasnetten 68
   - 8.1 Samenvatting inzichten gasnetten 68
   - 8.2 Knelpunten in de gasnetten 68
   - 8.3 Overzicht oplossingsrichtingen 73
9. Kosten, ruimtebeslag en uitvoerbaarheid 80
   - 9.1 (Maatschappelijke) kosten 80

9.2 Ruimtebeslag 80
9.3 Uitvoerbaarheid 82
10. Duiding en context van de resultaten 83
10.1 Impact op de Friese samenleving 83
10.2 Relatie met andere provincies en nationale ontwikkelingen 85
10.3 Transitiepaden en no-regret-systeemkeuzes 87
10.4 Ontwerpprincipes voor een toekomstbestendig energiesysteem 90
10.5 Vormgeving samenwerking tussen betrokken partijen 91
11. Conclusies en aanbevelingen 93
11.1 Conclusies 93
11.2 Aanbevelingen 96
a. Appendices 100
Bijlage 1. Scenario's in het Energietransitiemodel 100
Bijlage 2. Gebouwde omgeving 101
B.2.1 Regionalisering 102
Bijlage 3. Mobiliteit 103
B.3.1 Regionalisering 103
Bijlage 4. Industrie 104
B.4.1 Regionalisering 105
Bijlage 5. Land- en glastuinbouw 106
B.5.1 Regionalisering 106
Bijlage 6. Energieproductie 107
B.6.1 Zon en wind 107
B.6.2 Regionalisering 107
B.6.3 Centrales 108
B.6.4 Afvalverbrandinginstallaties (AVI's) 109
B.6.5 WKK's 109
B.6.6 Biomassa 109
B.6.7 Geo- en zonthermie 110
Bijlage 7. Oplossingsrichtingen 111
Bijlage 8. Betrokken stakeholders 120
Bijlage 9. Bronnenlijst 122

Samenvatting

Doel van studie

Net als in andere provincies wordt in Fryslân gewerkt aan de energietransitie om invulling te geven aan de doelstelling om in Nederland 49% $CO_{2\text{-eq}}$ emissiereductie in 2030 en 95% in 2050 te realiseren, ten opzichte van 1990. Met deze studie worden verschillende mogelijkheden geschetst om invulling te geven aan doelstellingen omtrent energie en klimaat, en maakt daarvan de impact op de energie-infrastructuur inzichtelijk. De systeemstudie is verkennend en visievormend van aard; de uitkomsten van de energie-infrastructuuranalyses zijn input voor beeld- en strategievorming, maar niet voor investeringsplannen. Het doel van deze studie is dan ook om te bepalen binnen welke uitersten de energietransitie zich in Fryslân zal plaatsvinden.

Opzet van de studie

In deze systeemstudie zijn energiescenario's voor de provincie Fryslân gemaakt en de impact daarvan op de energie-infrastructuur verkend. Er is één scenario gemaakt voor 2030 en vier scenario's voor 2050. In deze scenario's zijn verhaallijnen in combinatie met trends en ontwikkelingen gebruikt om de toekomstige vraag naar en het aanbod van energie in kaart te brengen. Voorbeelden van ontwikkelingen zijn onder andere technologie, economische groei, samenstelling van de bevolking, doelstellingen vanuit het Rijk en de provincie en plannen van de industrie.

Voor 2030 wordt uitgegaan van de RES Fryslân en de ontwikkelingen in andere sectoren zoals die op dit moment in beeld zijn. Het RES 1.0-bod van Fryslân van 3 TWh zit wat betreft energieopwekking aan de onderkant van de bandbreedte, zoals netbeheerder Liander verwachte en zoals hij toepast in zijn eigen investeringsplannen. Ook is in de RES uitgegaan van 49% reductie en is nog niet aangesloten bij de ambities van het nieuwe regeerakkoord (55% - 60%).

De energievraag neemt richting 2030 duidelijk af. Dit komt voornamelijk door elektrificatie binnen de industrie en mobiliteitssector, waardoor de vraag naar fossiele energiedragers daalt, meer dan de vraag naar elektriciteit toeneemt.

De verhaallijnen voor de 2050-scenario's gaan over het niveau waarop sturing en initiatief plaatsvindt inzake de energietransitie, variërend van regionale sturing, via nationaal en Europees, tot internationale sturing. De ontwikkelingen en verhaallijnen die gebruikt zijn, komen overeen met de landelijke klimaatneutrale energiescenario's 2050, en zijn specifiek gemaakt voor de provincie Fryslân. Deze scenario's voor 2050 vormen de zogenoemde hoekpunten en zijn bedoeld om de onzekerheden die momenteel nog bestaan over de energiesysteem-ontwikkelingen in Fryslân weer te geven. De scenario's zijn niet bedoeld voor investeringsplannen van netbeheerders.

Om de scenario's zo specifiek mogelijk te maken, is gewerkt met informatie uit de RES Fryslân, de CBS-database, informatie van netbeheerders, gemeentelijke en provinciale plannen, onderzoeken die de provincie eerder heeft laten uitvoeren, interviews met branchevereningen en industrie en door middel van twee klankbordgroepbijeenkomsten. In deze klankbordgroep (zie Bijlage 8) zaten vertegenwoordigers van belangrijke Friese spelers op het vlak van de energietransitie. De resultaten en duiding zijn vervolgens nog eens met de klankbordgroep getoetst en de inzichten daaruit zijn meegenomen in deze rapportage.

De scenario's

De scenario's laten zowel in 2030 als in 2050 een daling van de finale energievraag zien. De mate van de daling richting 2050 verschilt per scenario en wordt voor een groot deel bepaald door de aangenomen economische groei. Voor de hoogte van de economische groei van de industrie wordt uitgegaan van de aannames uit de landelijke scenario's. Er zijn specifieke kenmerken voor de provincie Fryslân aan toegevoegd. In de scenario's zijn variaties in aannames gemaakt om een zo breed mogelijk beeld te schetsen. Er is bijvoorbeeld gevarieerd in het al dan niet meenemen van de Lelylijn. De Lelylijn veroorzaakt verschillen in de groei van de mobiliteitsvraag, het aantal woningen en het aantal inwoners.

De daling in de finale energievraag wordt met name tot stand gebracht door een reductie van fossiele energiedragers. De vraag naar elektriciteit groeit echter in alle scenario's. Daarnaast is energiemix verschillend tussen de scenario's. Het scenario Regionale sturing leunt zwaarder op energie uit warmte, zoals uit aquathermie en zonthermie met meer warmtenetten, en bovendien wordt er veel opgewekt met zon-PV. In het scenario Nationale sturing staat naast veel zon-PV ook meer opwek van windenergie centraal. Daarnaast gaat het scenario uit van een back-upcentrale op waterstof. Doordat de warmte in woningen voor een groter aandeel all-electric middels warmtepompen wordt ingevuld, is ook de isolatiegraad van de gebouwde omgeving noodzakelijkerwijs het hoogst in dit scenario. In deze twee scenario's kiest de industrie en de mobiliteit waar mogelijk voor elektrificatie. Het scenario Europese CO_2-sturing daarentegen legt meer focus op groen gas, met ook een back-upenergiecentrale die op groen gas draait. Ook de industrie blijft nog in grotere mate gebruik maken van groen gas, en de mobiliteit maakt meer gebruik van biobrandstoffen. Het isoleren van de woningvoorraad is nog steeds nodig, maar gemiddeld tot een lager niveau. In het scenario Internationale sturing wordt de energievraag meer met gas ingevuld, maar dan in de vorm van waterstof. Om grote verschillen tussen scenario's te verkennen, is in dit scenario geen back-upcentrale voorzien.

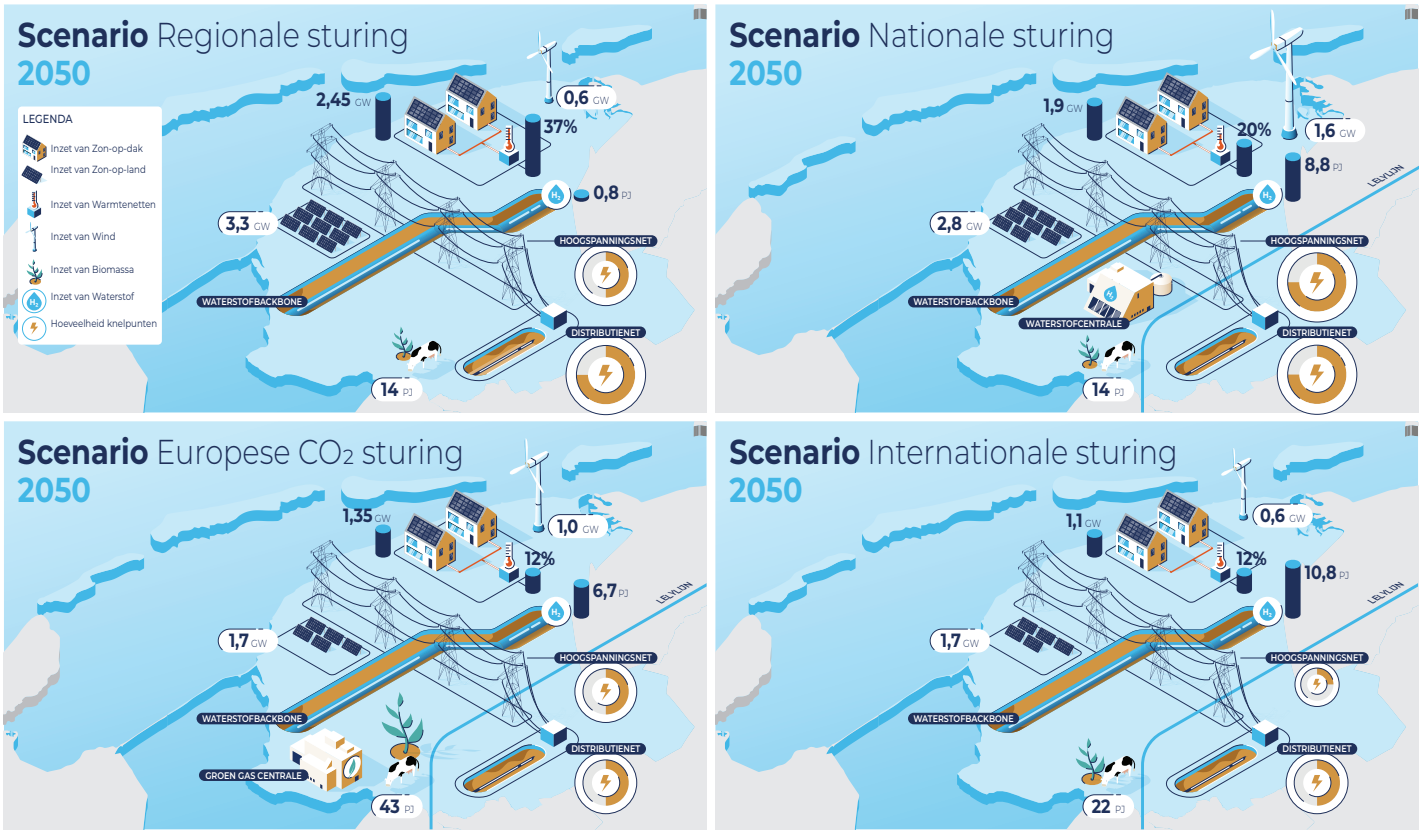
Impact van de scenario's op de energie-infrastructuren

Ondanks de daling in de totale energievraag stijgt het verbruik van elektriciteit naar verwachting in de toekomst. Deze elektriciteit zal voor een groot deel worden opgewekt met zonnepanelen en windmolens. Opwek van zon vindt vooral plaats in de zomer, terwijl de warmtevraag piekt in de winter. Hoewel minder extreem geldt dit ook voor windenergie. Dit leidt tot sterke pieken in opwek vanuit zon en wind. Het aanbod van elektriciteit volgt in de toekomst niet langer de elektriciteitsvraag en dit zorgt voor een grotere onbalans en daarmee belasting van de elektriciteitsinfrastructuur. In deze systeemstudies is doorgerekend hoe die belasting zich verhoudt tot de huidige infrastructuur.

Op het moment treden er al knelpunten op in het elektriciteitsnet, bij het hoogspanningsnet met name door opwek van elektriciteit, en bij het distributienet zowel door opwek als door vraag van elektriciteit. Naar verwachting worden die knelpunten fors groter richting 2030. Naast het gebrek aan capaciteit treden er ook kwaliteitsproblemen op in het elektriciteitsnet. Op het laagspanningsnet wordt spanningsproblematiek voorzien en zijn aanvullende investeringen nodig, die niet alleen toegerust zijn op acute problemen, maar ook op de vraag in de verdere toekomst. In 2050 ontstaan er knelpunten, zowel door opwek van elektriciteit als door de vraag naar elektriciteit. In het scenario Regionale sturing is zon-PV de dominante veroorzaker van knelpunten, bij het scenario Nationale sturing is dat wind, terwijl bij het scenario Europese CO_2-sturing en scenario Nationale sturing de vraag juist voor knelpunten zorgt, met name veroorzaakt door landbouw, hybride warmtepompen en industrie, vanwege grotere economische groei in die scenario's.

De gasnetten kampen met name met problematiek rondom de invoeding van groengas, en met een mogelijk verdeelvraagstuk indien een deel van de maatschappij overgaat op waterstof, terwijl een ander deel met groen gas beleverd wordt.

Figuur 1. **Schematische weergave van de kenmerken, uitdagingen, en de hoeveelheid knelpunten in de verschillende scenario's.**



Oplossingsrichtingen

Om de capaciteitsproblemen het hoofd te bieden zijn er verschillende mogelijkheden. Curtailment (het aftoppen van elektriciteitspieken), batterijen en power-to-gas, zijn oplossingen om knelpunten op koppelstationniveau te verlichten. Dit lijkt vooral te werken voor het verminderen van pieken door opwek van elektriciteit, en in het geval van het scenario Europese CO_2-sturing en scenario Nationale sturing werkt dit ook voor het verlichten van de vraagpieken. Een andere belangrijke oplossing is het vergroten van de flexibiliteit in het systeem, genaamd systeemflex. Ondanks toegevoegde systeemflex zijn er desondanks in 2050 nog steeds knelpunten in vrijwel alle scenario's bij Dokkum, Gorredijk, Heerenveen, Lemmer, Marnezijl, Rauwerd, Sneek, en in sommige scenario's ook bij Schenkenschans. Het blijft dus nodig om het elektriciteitsnet ook fysiek uit te breiden ten opzichte van de huidige situatie. Er zijn al uitbreidingen gepland, en hoe die in verhouding staan tot wat nodig in 2050 is, zal afhankelijk zijn van het scenario dat zich zal ontwikkelen.

Het huidige provinciale beleid om wind op land niet veel extra ruimte te bieden bemoeilijkt de provinciale ambitie om energieneutraal te worden. Door wind op land te vermijden en uitsluitend in te zetten op zon-pv ontstaan relatief veel knelpunten ten opzichte van de totale hoeveelheid opgewekte energie. In alle scenario's voor 2050 is de huidige infrastructuur van het elektriciteitsnet niet toereikend om te voorzien in de verwachte vraag- en aanbodstructuur. Door een combinatie van zon en wind kan een veel grotere hoeveelheid hernieuwbare opwek worden gerealiseerd gegeven een vergelijkbare opgave voor de infrastructuur. Vanuit andere studies wordt een verhouding van 4:1 in elektriciteitsproductie uit wind versus zon aanbevolen voor een optimale mix. Verzwaringen en flexibiliteit kunnen dan effectiever worden ingezet, en een hogere mate van energieneutraliteit kan worden bereikt.

Warmtenetten gevoed met restwarmte en power-to-heat in combinatie met seizoensopslag verminderen de behoefte aan all-electric warmte-oplossingen, waardoor een minder grote piekbelasting op het elektriciteitsnet ontstaat. In de warmtetransitie zijn duidelijke keuzes vanuit de provincie en gemeenten nodig, bijvoorbeeld over welke techniek waar wordt ingezet en de mogelijkheden om deelname aan een warmtenet te verplichten. Nu is het voor gemeenten nog moeilijk om die keuzes te maken omdat landelijke kaders ontbreken.

Ten opzichte van andere provincies kan Fryslân relatief eenvoudig energieneutraal worden. De vraag naar energie is relatief klein en het potentieel van hernieuwbare opwek is groot. Desondanks is de opgave voor de infrastructuur om te voorzien in de verwachte vraag- en aanbodstructuur aanzienlijk in álle klimaatneutrale scenario's, zoals in deze systeemstudie zijn verkend.

Het landschap is een belangrijke factor in de besluitvorming en is belangrijk voor het draagvlak in de provincie Fryslân. Onafhankelijk van welk scenario zich zal ontvouwen, zal er behoorlijk veel van de fysieke ruimte worden gevraagd om de energietransitie gestalte te geven. Dat geldt niet alleen voor de ruimte voor zonnepanelen en/of windmolens, maar ook voor netverzwaring en systeemflex, wat geen verwaarloosbare factor is. Het is zaak daar bij de ruimtelijke ordening rekening mee te houden. Een decentrale energievoorziening wordt daarmee merkbaarder in de samenleving. Burgers zullen zich meer bewust zijn van de energieproductie en daarom daar meer betrokken bij moeten worden. Het biedt ook kansen voor eigenaarschap. Dit is waar de rol van lokale energiecoöperaties zichtbaar wordt. Bottom-up zorgen ze voor initiatieven en is het aan gemeenten, provincies en netbeheerders om dit soort projecten mogelijk te maken. Projecten die mogelijk een bijdrage leveren aan het Friese energiesysteem kunnen verder gaan dan enkel opwek door zon-PV, en ook invulling geven aan opwek door wind, duurzame warmte, duurzaam gas én flexibiliteit.

Om de uitvoering van deze projecten mogelijk te maken, is het nodig dat ook geïnvesteerd wordt in samenwerkings- en organisatiestructuren. Het bepalen van rollen, taken en verantwoordelijkheden is daarbij van belang.

Aanbevelingen

Er zijn flink wat acties die voortvarender kunnen worden opgepakt door de provincie, gemeenten, netbeheerders en marktpartijen. Afhankelijk van hoe de energietransitie concreet tot stand komt zal er zich een scenario ontvouwen dat en mogelijk meer of minder op de één van de gehanteerde scenario's of een combinatie ervan gaan lijken. Belangrijke acties die ondernomen moeten worden zijn:

- het realiseren van voldoende hernieuwbare energie (elektriciteit en groen gas of waterstof)
- het realiseren van warmtenetten
- het realiseren van (systeem)flex
- het tijdig realiseren van voldoende netverzwaring.

Er zijn concrete acties geformuleerd waarmee verschillende partijen aan de slag kunnen om verdere stappen te zetten in de energietransitie. Het is wenselijk:

- dat de provincie, gesteund door andere overheden, een sturende rol aanneemt met daarin een duidelijke visie op de Friese energietransitie en zodoende richting kiest. Hiermee wordt houvast geboden bij het oppakken van acties en het innemen van de rollen door andere stakeholders, die een meer uitvoerend taakpakket hebben
- dat de provincie haar beleid voor hernieuwbare energie en energieneutraliteit beter op elkaar laat aansluiten
- dat de gemeenten een sturende/beslissende rol aanneemt, waarmee meer zekerheid geboden wordt aan burgers en energiecoöperaties door concreet te worden en te communiceren over onder andere warmteplannen en de tijdslijn
- dat de netbeheerders samen met overheden en marktpartijen werken aan een gedeeld beeld over de energietransitie, zodat investeringsplannen aangepast kunnen worden als de situatie daarom vraagt
- dat de gemeenten inspelen op de fysieke inpassing die wordt gevraagd van de energietransitie, onder andere door planvorming in samenwerking met andere partijen, en vergunningverlening te stroomlijnen
- dat het Rijk regelgeving inricht zodat bij aanwezigheid van een warmtenet woningen er op aangesloten kunnen worden en dit een minder vrijblijvend karakter kent
- dat het Rijk ten aanzien van het realiseren van systeemflex kaders schept voor eigenaarschap en totstandkoming.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Net als in andere provincies wordt in Fryslân gewerkt aan de energietransitie om invulling te geven aan de doelstelling om in Nederland 49% $CO_{2\text{-eq}}$ emissiereductie in 2030 te realiseren ten opzichte van 1990 en 95% in 2050. Deze doelen worden door Europees beleid af en toe bijgesteld, waarbij gestreefd wordt naar 55% $CO_{2\text{-eq}}$ in 2030. De nieuwe regering is voornemens de ambitie bij te stellen naar 60% reductie in 2030. De provincie Fryslân kenmerkt zich door de onderscheidende ambitie om in 2050 onafhankelijk van fossiele brandstoffen en/of zelfvoorzienend te zijn.

De energietransitie die nodig is voor het behalen van deze doelstelling gaat gepaard met structurele wijzigingen in het energiesysteem. Denk aan veranderingen die nodig zijn in de vraag, het aanbod, de energie-infrastructuur en mogelijke omzetting en opslag van energie. Die veranderingen zijn natuurlijk ook al gaande. Dat is te zien aan de sterke opkomst van hernieuwbare elektriciteit. Er zijn veel lokale initiatieven en energiecoöperaties, die zich met name inzetten voor de realisering van zonne-energie. Dat draagt bij aan de doelstellingen voor hernieuwbare energie en CO_2-reductie, maar kan tegelijkertijd op locaties ook knelpunten opleveren.

De elektriciteitsnetten in Fryslân zijn op veel locaties lang en dun, en niet toereikend om grote hoeveelheden hernieuwbare energie te transporteren naar het hoogspanningsnet. In sommige gemeenten in Fryslân is er al geen capaciteit meer voor nieuwe aansluitingen, terwijl daar wel behoefte aan is. Investeringen in uitbreiding van het net kunnen, mede door wet- en regelgeving, pas gedaan worden op het moment dat er een concrete vraag is. Daardoor is de infrastructuur niet tijdig gereed, en moeten mensen en bedrijven wachten op aansluitingen.

Een belangrijke ontwikkeling voor de gasnetten is de komst van een waterstof-'backbone', die ook door Fryslân zal lopen. Groen gas kan een rol gaan spelen. Onderzoek van de New Energy Coalition toont aan dat de potentie van groen gas in Fryslân relatief groot is. Daarnaast is er rekening te houden met het Friese landschap, met zijn kenmerkende open en weidse karakter met veel water.

Om de energietransitie in Fryslân tot een succes te maken, is een robuust en adaptief energiesysteem een belangrijke randvoorwaarde. Om grip te krijgen op het huidige energiesysteem en deze ontwikkeling hebben de Friese overheden, in navolging van andere regio's, deze systeemstudie uitgevoerd. Met behulp van deze systeemstudie kan eerder geanticipeerd worden op de ontwikkelingen in vraag en aanbod van energie, en gestuurd worden op een betere balans, zodat knelpunten voorkomen kunnen worden.

1.2 Doel

In verschillende toekomstbeelden (één voor 2030 en vier voor 2050) schetst deze studie verschillende mogelijkheden om invulling te geven aan doelstellingen omtrent energie en klimaat, en maakt daarvan de impact op de infrastructuur inzichtelijk. De systeemstudie is verkennend en visievormend van aard; de uitkomsten van de energie-infrastructuuranalyses zijn input voor beeld- en strategievorming, maar niet voor investeringsplannen. Er is aandacht voor de huidige uitgangspunten, infrastructuur, en initiatieven, en er worden aanbevelingen aangereikt over wat er nog meer nodig is om een klimaatneutrale energievoorziening te realiseren.

Daarbij is er aandacht voor de volgende onderliggende zaken

- Infrastructuur en knelpunten: De systeemstudie geeft inzicht in de energievraag en het energieaanbod en benodigde energie-infrastructuur voor de lange termijn, rekening houdend met de Friese situatie. Mogelijke knelpunten worden geadresseerd en mogelijke oplossingsrichtingen opgesteld.
- Impact op de Friese samenleving: Er wordt voortgebouwd op de Voorstudie Systeemstudie Fryslân met heldere lijnen: een provincie Fryslân die geheel fossielvrij is, het integraal oplossen van koppelkansen, zuinig ruimtegebruik waarbij omgevingskwaliteit en het behoud van het Friese karakter van het landschap vooropstaan, procesmatig zo veel mogelijk decentraal.
- Transitiepaden en vormgeving samenwerking: Er wordt een beeld geschetst van wat er nodig is om de verschillende transitiepaden te realiseren en vorm te geven. De afwegingen en no-regret maatregelen die uit de scenario's naar voren komen, worden vertaald naar verschillende handelingsperspectieven. De initiatieven die al lopen, krijgen daarin een plek, naast aanvullende handvatten omtrent regie en samenwerking.
- Kosten en context: Kosten die gepaard gaan met infrastructuur, en de relatie ten aanzien van energie-import en export worden belicht. Er wordt een beeld geschetst van de consequenties van keuzes die worden gemaakt: ruimtelijk, financieel en voor de positie van Fryslân in het grotere plaatje.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de gehanteerde werkwijze volgens de chronologisch doorlopen stappen. Hierin 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 Fryslân. 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 gaan 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 geeft hoofdstuk 10 de resultaten in de context van de Friese energietransitie weer en wordt duiding gegeven aan de betekenis ervan. Tot slot geeft hoofdstuk 11 de conclusies en aanbevelingen weer die naar aanleiding van inzichten in deze systeemstudie zijn bereikt. 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

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

1) Maken van scenario's.
2) Verdelen van energievraag over de regio's.
3) Toepassen flexibiliteit en het doorrekenen van de elektriciteitsnetten.
4) Analyseren van doorrekening en duiden knelpunten in de energie-infrastructuren.
5) Uitwerken oplossingsrichtingen.

2.1 Maken van scenario's

In de eerste stap in deze systeemstudie zijn energiescenario's voor Fryslân gemaakt. Er is één scenario gemaakt voor 2030 en vier scenario's voor 2050. De energiescenario's zijn nodig om de toekomstbeelden van de vraag naar en het aanbod van energiedragers te schetsen. 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 in kaart te brengen. In deze systeemstudie zijn 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 schatting van de vraag en het aanbod is gedaan op sectoraal niveau, waarbij de volgende sectoren bekeken zijn: gebouwde omgeving (huishoudens en utiliteiten), mobiliteit, industrie en landbouw/glastuinbouw. Hoe deze scenario's tot stand zijn gekomen wordt besproken in Hoofdstuk 3.

Er zijn scenario's voor 2030 en 2050 gemaakt. Op basis van deze scenario's is bepaald wat op provinciaal niveau de toekomstige vraag en het toekomstige aanbod van energiedragers kan zijn. De scenario's die zich richten op 2050 moeten niet als een te realiseren toekomstbeeld gezien worden. Waar 2030 al dichtbij is, en er door onder andere de RES-plannen al concrete doelen en maatregelen op tafel liggen die worden gebruikt om het scenario voor 2030 invulling te geven, is 2050 nog te ver weg. Dit brengt grotere onzekerheid in het verloop van de energietransitie met zich mee. Daarom is gebruik gemaakt van scenario's die de vier uitersten van de energietransitie beschrijven. Deze uitersten worden hoekpunten genoemd, en de toekomstige situatie zal ergens tussen deze hoekpunten liggen.

Alle scenario's zijn doorgerekend in termen van vraag en aanbod 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. Hiermee verkrijgt men een beeld van de mogelijke energievraag van de provincie Fryslân, alsook van systeemveranderingen waarbij dwarsverbanden tussen energiedragers en functionaliteiten (zoals mobiliteit en ruimteverwarming) automatisch worden meegenomen.

Het ETM kwantificeert voor de energiedragers (elektriciteit, methaan en waterstof) op uurbasis hoe de vraag en het aanbod gebalanceerd worden. Het ETM is 'open source' en openbaar beschikbaar. Hierdoor is de uitwerking van de scenario's in deze studie voor iedereen beschikbaar en herleidbaar.

De scenario's zijn vergeleken met eerdere ETM-scenario's die zijn gemaakt voor de RES 1.0 en de Routekaart Fryslân 2030 en het Energiesysteem Actieplan ESAP van Liander voor Fryslân. Alle scenario's zijn tweemaal besproken in een klankbordgroep met betrokken partijen vanuit de provincie. De eerste maal is opgehaald welke kennis moet worden meegenomen, en de tweede maal zijn de scenario's getoetst en is feedback opgehaald en verwerkt in de uiteindelijke scenario's

2.2 Verdelen van de energievraag over de regio's

De uitkomsten van de scenario's geven op provinciaal niveau de vraag en het aanbod van energie weer. Om de impact van de scenario's op de huidige energie-infrastructuren te bepalen moet hier een geografische component worden toegevoegd. Als vraag en aanbod van energie immers niet op dezelfde locatie plaatsvinden is transport noodzakelijk. Voldoende transportcapaciteit is daarvoor een randvoorwaarde. Daarom wordt de energievraag op provincieniveau verdeeld naar de verschillende regio's, dat wordt 'regionalisering' genoemd.

Door regionalisering wordt de energievraag verdeeld naar de juiste geografische locatie. In de systeemstudie Fryslân vindt regionalisering plaats op CBS-buurtniveau. Per sector en per scenario kan de verdeling naar buurtniveau verschillen. De methode en aannames bij de regionalisering wordt per sector toegelicht in Bijlage 2 tot en met Bijlage 6.

Regionalisering (zoals in deze studie) is noodzakelijk om om te berekenen wat de gevolgen zijn van deze scenario's voor het energienet. Er moet immers bepaald worden waar de toekomstige vraag en het aanbod van energie plaatsvindt. In de praktijk wordt het aanbod en de vraag naar energie bepaald door klanten. Dit zijn overheden, bedrijven, burgers die bepalen wat zij doen, waarin zij investeren. Bijvoorbeeld investeren in elektrificatie van processen, zonneparken of het laden van EV's.

2.3 Toepassen flexibiliteit en het doorrekenen van de elektriciteitsnetten

De betrokken netbeheerders (TenneT, Liander en Gasunie) hebben de informatie van de energievraag en het energieaanbod op buurtniveau gebruikt om te bepalen wat de gevolgen zijn voor hun netwerken. De energievraag en het aanbod zijn vanaf de buurten toegewezen aan de koppelpunten tussen het middenspanningsnet en het hoogspanningsnet. Op die koppelpunten is de residuele vraag (de vraag minus het aanbod) bepaald om de eisen aan de energie-infrastructuur te kunnen bepalen.

Voor de 2050 scenario's is er een mate van flexibiliteit op die koppelpunten toegepast. Dit dient om excessieve pieken in verbruik of opwek van elektriciteit af te vangen, te kunnen bufferen, te converteren naar een andere energiedrager (gas of warmte) of te kunnen verspreiden. Meer detail over de toepassing van deze zogenoemde 'systeemflex' component is beschreven in Hoofdstuk 8.3.

De scenario's, die van 2030 zonder systeemflex, en die van 2050 mét systeemflex, zijn vervolgens doorgerekend door de netbeheerders om de eisen aan de benodigde energie-infrastructuur te bepalen. Liander en TenneT hebben de doorrekening uitgevoerd voor het elektriciteitsnet in Fryslân. Er is geen doorrekening uitgevoerd voor de gasnetten, omdat er door de afnemende gasvraag geen grote capaciteitsknelpunten worden verwacht. Wel is er aandacht voor de verdeling van groen gas en waterstof in de bestaande netten.

2.4 Analyseren van doorrekening en duiden knelpunten in de energie-infrastructuren

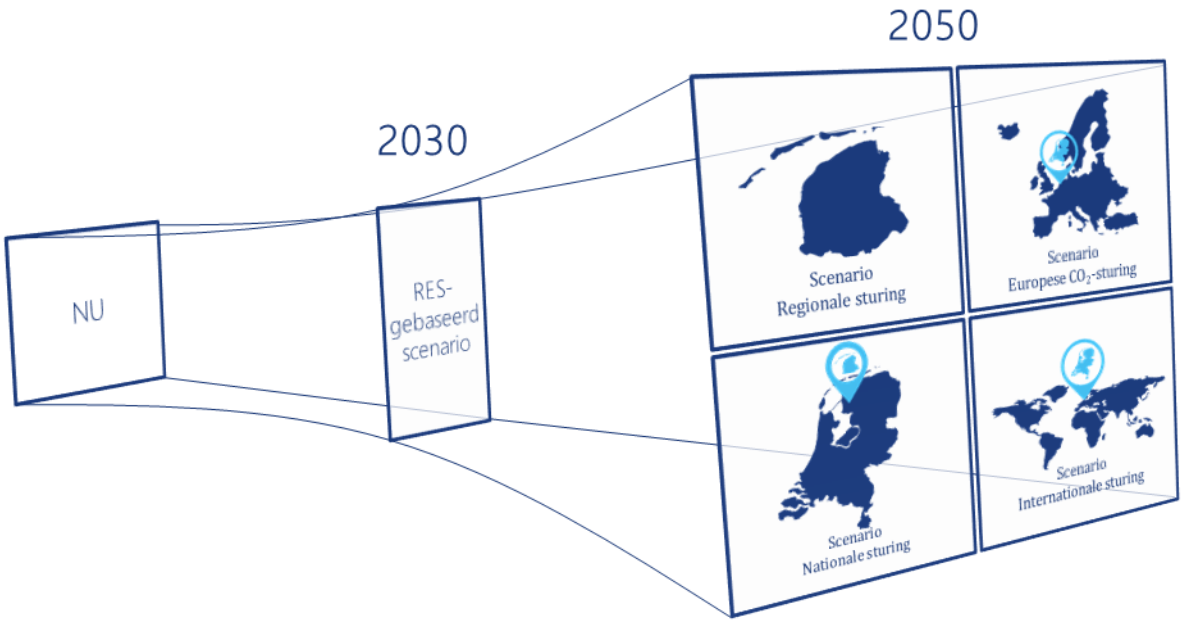
De uitkomsten van de doorrekeningen van de netwerken zijn vervolgens door de netbeheerders opgeleverd aan Berenschot en Ekwadraat. Een eerste analyse door de netbeheerders heeft aangegeven waar volgens hen knelpunten zitten en in welk scenario deze optreden. Daaropvolgend heeft verdere analyse plaatsgevonden door Berenschot en Ekwadraat. Deze analyse heeft 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 worden ter illustratie verder beschreven. Voor de gasnetten zijn de landelijke resultaten gebruikt om de knelpunten te identificeren en is er een case uitgewerkt door Liander waarin het distributievraagstuk van waterstof centraal staat.

2.5 Uitwerken oplossingsrichtingen

De doorrekeningen en bijbehorende analyse laten per scenario zien waar knelpunten in de energie-infrastructuur binnen de provincie Fryslân verwacht worden. De knelpunten en oplossingsrichtingen zijn apart bekeken voor het regionale elektriciteitsnet, het hoogspanningsnet, en voor de gasnetten. In de analyse en duiding van de resultaten is bekeken wat dit betekent voor de energietransitie in Fryslân en de samenleving.

3. Scenario's

Om een beeld te schetsen van het toekomstig energiesysteem zijn in totaal vijf energiescenario's uitgewerkt voor Fryslân. Eén scenario's met zichtjaar 2030 en vier scenario's met zichtjaar 2050. Het scenario voor 2030 is gebaseerd op een bestaand scenario dat is gemaakt door adviesbureau Over Morgen en is aangepast op basis van de meest actuele en waar mogelijk specifiekere informatie die in het kader van de systeemstudie is vergaard. In het 2030-scenario is onder andere het RES-bod en het klimaatakkoord als basis gebruikt. De 2050-scenario's zijn gebaseerd op de vier landelijke klimaatneutrale energiescenario's[1], waarbij de scenario's in de Friese context zijn geplaatst, zie Tabel 1. Alle scenario's dienen als hoekpunten van de ontwikkeling van het energiesysteem van FryslânFryslân, zoals schematisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2. Visualisatie van de scenario's. Het RES-scenario voor 2030 en vier scenario's die de hoekpunten in 2050 aangeven.

De opbouw van de scenario's wordt hiernavolgend kort toegelicht.

2030

De scenario's van Over Morgen voor zichtjaar 2030, die zijn gemaakt in opdracht van de provincie, zijn gebruikt als basis voor het 2030-scenario. Daarnaast zijn het RES-bod d.d. 16 april 2021 inclusief de ambitie (totaal 3 TWh) en het klimaatakkoord gebruikt als uitgangspunt. Het RES-bod is gericht op een reductie van 49%. Hierin zijn de aangescherpte ambities van het nieuwe regeerakkoord nog niet meegenomen (55% - 60%). Tevens is er intensief contact geweest met Liander over de ESAP Fryslân die gelijktijdig is uitgevoerd.[2]

[1] Klimaatneutrale energiescenario´s 2050 (2020). Berenschot
[2] Liander houdt in de ESAP Fryslân rekening met initiatieven die nog niet in de RES zijn meegenomen en baseert zijn investeringsplan mede op die hogere realisering van hernieuwbare opwek. Dat wil zeggen dat de opgave in Fryslân in 2030 al duidelijk boven de 3 TWh ligt.

De landelijke Klimaatneutrale Energiescenario's 2050 dienen als basis en zijn Fryslân-specifiek gemaakt. Andere informatie die als input voor de scenario's heeft gediend, is onder andere afkomstig van de RES-Fryslân, de CBS-database, informatie van netbeheerders, gemeentelijke en provinciale plannen, onderzoeken die de provincie eerder heeft laten uitvoeren, interviews met brancheverenigingen en industrie en door middel van twee sessies met een klankbordgroep. In deze klankbordgroep zaten vertegenwoordigers van de belangrijkste Friese spelers op het vlak van de energietransitie. Deze klankbordgroep van circa vijftig personen gaf de informatie die nodig is om de scenario's vorm te geven en gaf feedback op de gekozen uitgangspunten, wat heeft geleid tot herkenbaarheid en gedragenheid van dit eindrapport. In Bijlage 8 is een lijst opgenomen van betrokkenen bij deze systeemstudie.

3.1 Scenario's 2050

Het jaar 2050 wordt in deze systeemstudie als richtjaar beschouwd waarin 100% CO_2-reductie moet zijn behaald. Er zijn vier uiteenlopende scenario's gemaakt voor 2050 die zijn gebaseerd op de vier landelijke klimaatneutrale energiescenario's: regionale sturing, nationale sturing, Europese CO_2-sturing en internationale sturing. Op deze manier zijn er vier verschillende richtingen waarop gestuurd wordt, waarin onzekerheden omtrent het verloop van de transitie een plek krijgen. Ieder scenario leidt tot een ander energiesysteem, en daarmee een andere energie-infrastructuur. Het doel van de scenario's is niet om de toekomst te voorspellen. Daarmee is het ook niet de bedoeling om te kiezen tussen de scenario's. Het doel is om verschillen in 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 opgesteld in de II3050-studie en in deze studie nader gespecificeerd voor de Friese context. Hierbij is bijvoorbeeld een beeld geschetst van het energieverbruik van de gebouwde omgeving, grootte van het personen- en vrachtvervoer en de aard en het verbruik van de huidige industrie in Fryslân. Vervolgens is er per sector gekeken naar specifieke ontwikkelingen tot 2050 in Fryslân. Deze zijn verder toegelicht in Hoofdstuk 4.

Hiernavolgend wordt een kort beeld geschetst voor de vier **landelijke** 2050-scenario's, welke naar de Friese context zijn vertaald.

2050: scenario Regionale sturing

In dit scenario ligt de regie voor de energietransitie voornamelijk bij de regionale bestuurslagen. Nederland haalt CO_2-doelen door regionale ontwikkelingen. Nederland is grotendeels zelfvoorzienend en importeren wordt 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 zon op daken wordt gerealiseerd. Tevens zijn er veel zonneweides en windturbines op land. 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 warmte-oplossingen gekozen; zo wordt het potentieel aan warmtenetten volledig ingevuld.

2050: scenario Nationale sturing

In het scenario Nationale sturing heeft het Rijk de regie in handen. 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 van 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 (welke overigens in de systeemstudie niet in Fryslân wordt aangeland). Nationaal worden aanvullende regelingen aangeboden voor het isoleren naar hoge isolatielabels, waarmee *all-electric*-oplossingen in grote delen van de gebouwde omgeving mogelijk worden.

2050: scenario Europese CO_2-sturing

In dit scenario haalt Europa de CO_2-doelen en is daarin koploper in de wereld. In Europa wordt gebruik gemaakt van een algemene CO_2-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_2-heffing is er een mix van verschillende technieken. Er wordt niet impliciet gekozen voor een bepaalde techniek, waardoor in iedere sector de op dat moment goedkopere technologieën gekozen worden. Hierdoor wordt er in dit scenario ook gebruik gemaakt van Carbon Capture and storage (CCS). Er wordt niet gestuurd op collectieve oplossingen waardoor deze beperkt benut worden.

2050: scenario Internationale sturing

In het scenario Internationale sturing streeft de hele wereld naar het behalen van de CO_2-doelen. Net als de andere scenario's reduceert Nederland zijn CO_2-uitstoot met 100%. Mondiaal wordt er nadruk gelegd op het stimuleren van vrije handel. 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 energie-infrastructuur. Echter, hierdoor moet er een grote hoeveelheid duurzame gassen, zowel waterstof als groen gas, geïmporteerd worden. Tabel 1 geeft de gebruikte inputs per scenario weer.

Tabel 1. Inputs scenario's Fryslân en de maximum belasting van het elektriciteitsnet als gevolg van de scenario inputs. *Bron: CBS statline op basis van 1 MW zon-PV per hectare. **De maximum belasting/teruglevering is bepaald per sector voor heel Fryslân in plaatsgebonden flexibiliteit (onder andere curtailment). Er is geen rekening gehouden met gelijktijdigheid tussen sectoren.

	2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO_2 -sturing 2050	Internationale sturing 2050
Gebouwde omgeving	Focus op isolatie, ingroei hybridewarmtepompen en aardgasvrije technologieën **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 400 MW	Focus op warmtenetten (~35%) onder andere gevoed door TEO en geothermie. Overige deel is een mix van all-electric en hybridewarmtepompen **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 575 MW	Focus op all-electric warmtebronnen (~60%). Overige deel is een mix van warmtenetten en hybridewarmtepompen **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 700 MW	Focus op hybride warmtevoorzieningen (~60%). Gassen (waterstof en methaan) blijven belangrijk. Overige deel is all-electric en warmtenetten **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 725 MW	Focus op hybridewarmtepompen op waterstof als warmtebron (~60%). Overige deel is all-electric en warmtenetten **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 725 MW
Mobiliteit	- Elektrificatie personenvervoer (25%). - Bussen grotendeels elektrisch (90%). - Wegtransport grotendeels fossiel, klein deels elektrisch, waterstof en biobrandstoffen	- Elektrificatie van personenvervoer en OV (100%). - Wegtransport voornamelijk elektrisch (75%), waterstof (15%) en bio-LNG (10%). - Veerdiensten elektrisch (50%), waterstof (50%).	- Personenvervoer grotendeels elektrisch (95%), klein aandeel waterstof (5%). Bussen groter aandeel waterstof - Wegtransport elektrisch (33%) en waterstof (67%) - Veerdiensten elektrisch (50%), waterstof (50%).	- Personenvervoer en OV grotendeels elektrisch (70%), waterstof (30%) - Wegtransport elektrisch (34%) en waterstof (33%) en fossiel (33%) - Veerdiensten elektrisch (50%), waterstof (50%).	- Personenvervoer en OV grotendeels elektrisch (50%) en waterstof (40%), Biobrandstoffen (10%) - Wegtransport elektrisch (50%) en waterstof (50%) - Veerdiensten elektrisch (50%), waterstof (50%).

	2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO_2 -sturing 2050	Internationale sturing 2050
Industrie	- Lichte groei van productie - Elektrificatie tussen 20-25%, afhankelijk van sector. Overig methaan **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 175 MW	- Krimp van productie. - Veel elektrificatie (tot 85-90% in voeding en papierindustrie. Bij overige industrie elektrificatie tot ~80%) en rest gassen. **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 150 MW	- Kleine groei productie. - Veel elektrificatie, (tot 85-90% in voeding en papierindustrie. Bij overige industrie elektrificatie tot ~80%) en rest gassen. **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 175 MW	- Flinke productiegroei. - Focus op gassen, met name waterstof bij de overige industrie. Bij papier- en voedingsindustrie nog 20% gas, rest elektrisch. **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 225 MW	- Flinke productiegroei. - Focus op gassen, met name waterstof bij de overige industrie. Bij papier- en voedingsindustrie nog 20% gas, rest elektrisch. **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 225 MW
Elektriciteitsproductie	**Wind:** 0,6 GW Wind op Land Wind op Land (incl. windpark IJsselmeer) **Zon-PV:** 0,7 GW op land 0,45 GW op gebouwen 0,45 GW op woningen **Bergumcentrale operationeel:** 0,15 GW Circa 0,3% agrarische grondgebied wordt gebruikt voor zon-PV* Circa 22% geschikt dakoppervlak wordt benut* **Maximum teruglevering elektriciteitsnet:** 1450 MW	**Wind:** 0,6 GW Wind op Land (incl. windpark IJsselmeer) **Zon-PV:** 3,3 GW op land 1,1 GW op gebouwen 1,35 GW op woningen **Bergumcentrale buiten gebruik** Circa 1,4% agrarische grondgebied wordt gebruikt voor zon-PV* Circa 30% geschikt dakoppervlak wordt benut voor zon-PV **Maximum teruglevering elektriciteitsnet:** 2725 MW	**Wind:** 1,6 GW Wind op Land (incl. windpark IJsselmeer) **Zon-PV:** 2,8 GW op land 0,55 GW op gebouwen 1,35 GW op woningen **Bergumcentrale operationeel** 2 GW Circa 1,2% agrarische grondgebied wordt gebruikt voor zon-PV* Circa 42% geschikt dakoppervlak wordt benut* **Maximum teruglevering elektriciteitsnet:** 3975 MW	**Wind:** 1,0 GW Wind op Land (incl. windpark IJsselmeer) **Zon-PV:** 1,7 GW op land 0,45 GW op gebouwen 0,9 GW op woningen **Bergumcentrale operationeel** 1 GW Circa 0,7% agrarische grondgebied wordt gebruikt voor zon-PV* Circa 26% geschikt dakoppervlak wordt benut* **Maximum teruglevering elektriciteitsnet:** 2575 MW	**Wind:** 0,6 GW Wind op Land (incl. windpark IJsselmeer) **Zon-PV:** 1,7 GW op land 0,4 GW op gebouwen 0,7 GW op woningen **Bergumcentrale buiten gebruik** Circa 0,7% agrarische grondgebied wordt gebruikt voor zon-PV* Circa 23% geschikt dakoppervlak wordt benut* **Maximum teruglevering elektriciteitsnet:** 2275 MW
Landbouw	- 25% duurzaam (biomassaketels, warmtepompen) - 75% WKK's **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 125 MW	Focus op geothermie **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 250 MW	Focus op geothermie en warmtepompen **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 250 MW	Mix geothermie, warmtepompen en WKK's **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 250 MW	Mix geothermie, warmtepompen en WKK's **Maximum belasting elektriciteitsnet:** 250 MW

4. Scenario's voor energievraag en aanbod

De scenario's beschreven in Hoofdstuk 3 leiden elk tot een andere ontwikkeling van de energietransitie in Fryslân. Dit geldt zowel voor de energievraag als de lokale productie van energie in 2030 en 2050. In Paragraaf 4.1 wordt de toekomstige energievraag gegeven, inclusief een korte toelichting per sector. Het aanbod van energie wordt beschreven in Paragraaf **Error! Reference source not found.**. In Bijlage 2 tot en met Bijlage 6 wordt dieper ingegaan op elke specifieke sector en worden de onderliggende aannames per sector verklaard.

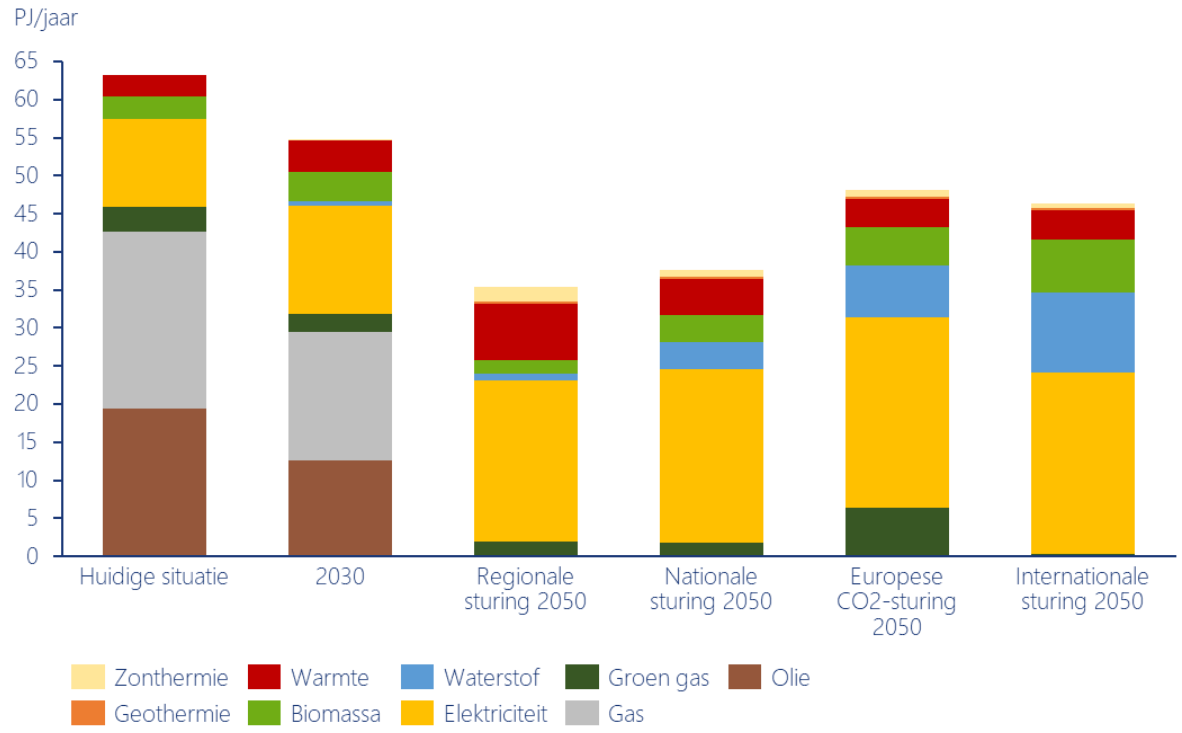
De energievraag wordt in de grafieken uitgedrukt als 'finale energievraag'. De finale energievraag is gedefinieerd als de primaire energievraag minus omzettingsverliezen voor de productie van deze energiedragers. Dit is een manier om aan te duiden dat het gaat om de energievraag in de uiteindelijk benutte vorm. Als voorbeeld: bij het verbruik van elektriciteit die door een gascentrale is opgewekt, is de finale energievraag bij de verbruiker een hoeveelheid elektriciteit, terwijl de primaire energievraag een hoeveelheid gas is bij de gascentrale. De primaire energievraag is altijd groter dan de finale energievraag, omdat er conversieverlies en energieverlies bij transport van elektriciteit optreedt. De vraag naar gassen voor de Bergumcentrale en WKK's is daarom niet zichtbaar in Figuur 3. Dit geldt tevens voor warmte dat geleverd wordt via een warmtenet. Alleen de warmte die geleverd wordt staat weergegeven in Figuur 3. De warmtebron is niet opgenomen in de figuur.

Toelichting bij figuren

In alle figuren is voor de huidige situatie uitgegaan van de meest recente cijfers in het ETM, welke vastgesteld zijn in 2018. Het is mogelijk dat bepaalde sectoren daarom afwijken van de situatie in 2021. Een voorbeeld hiervan is de hoeveelheid zon-PV die zich zeer sterk ontwikkeld. De huidige situatie is toegevoegd aan de grafieken ter referentie en heeft daardoor geen impact op de scenario's voor 2030 en 2050.

4.1 Ontwikkeling van de energievraag

In Figuur 3 wordt de finale energievraag per scenario weergegeven. De energievraag neemt richting 2030 duidelijk af. Dit komt voornamelijk door elektrificatie binnen de industrie en mobiliteitssector en de efficiëntieslag die daarmee gepaard gaat. Deze trend zet zich door in de periode 2030-2050 waarin gestreefd wordt naar een klimaatneutraal energiesysteem in Fryslân. De verschillen in de finale energievraag tussen de vier 2050-scenario's wordt voornamelijk veroorzaakt door de onderliggende aannames over economische groei. Ten aanzien daarvan wordt voor de industrie aangesloten bij de aannames uit de landelijke scenario's, en zijn er daarbovenop specifiek voor Fryslân differentiaties tussen de scenario's in het al dan niet meenemen van de Lelylijn, wat verschillen met zich meebrengt voor de groei van mobiliteitsvraag, aantal woningen, en het aantal inwoners. De verschillen in energiemix volgen uit de verhaallijnen. Ook zijn er differentiaties door verschillen in isolatiegraad van de gebouwde omgeving. Dit wordt nader besproken in Subparagraaf 4.1.2 .



Figuur 3. Finale energievraag per energiedrager voor 2030 en 2050 scenario's

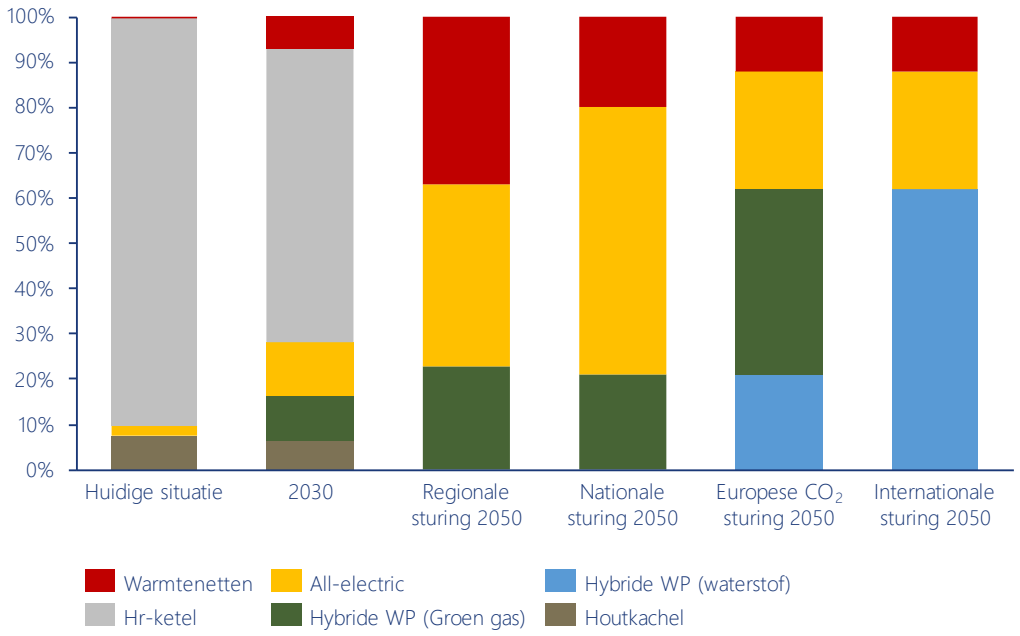
4.1.1 Gebouwde omgeving

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[3] en informatie over zachte en harde woningbouwplannen van de provincie Fryslân. Voor de scenario's waarin de Lelylijn is opgenomen (Nationaal, Europees en Internationaal), is uitgegaan van 35.000 extra woningen verspreid over de omliggende gemeenten. In het scenario Regionale sturing is de Lelylijn niet opgenomen omdat binnen dit scenario's voornamelijk lokale ontwikkelingen plaatsvinden. Daarnaast wordt er in alle 2050-scenario's van energiereductie van huishoudelijke apparaten en ledverlichting uitgegaan. In deze sectie zijn de belangrijkste aannames en resultaten voor de gebouwde omgeving besproken. Eerst is ingegaan op de toegepaste warmtetechnieken en de isolatiegraad van de woningen en utiliteit in Fryslân. Vervolgens wordt getoond tot welke warmtevraag deze scenario's resulteren.

Warmtetechnieken

In Figuur 4 worden de warmtetechnieken in de huidige situatie afgezet tegen de vijf scenario's waarin verschillenden aannames over de warmtebronnen in huishoudens zijn gedaan. In Fryslân wordt, net zoals in de rest van Nederland, nog het grootste gedeelte van de huishoudens verwarmd met hr-ketels (op aardgas). In het scenario voor 2030 is aangenomen dat een groot deel van de hr-ketels al vervangen is doordat invulling is gegeven aan de doelstellingen in het Klimaatakkoord. In 2050 wordt er vanuit gegaan dat er geen aardgas meer gebruikt wordt voor de verwarming van de gebouwde omgeving. Wel kan er in 2050 gebruikt worden gemaakt van groen gas. De volledige vraag wordt ingevuld met andere technieken dan de hr-ketel om zodoende efficiënter om te gaan met energiedragers. Afhankelijk van het scenariokarakter worden technieken zoals (hybride)-warmtepompen en collectieve warmtebronnen, gedistribueerd door een warmtenet, ingezet. Nadere toelichting over de ingroei van de verschillende warmtetechnieken is te vinden in Bijlage 2.

[3] https://primos.abfresearch.nl/jive



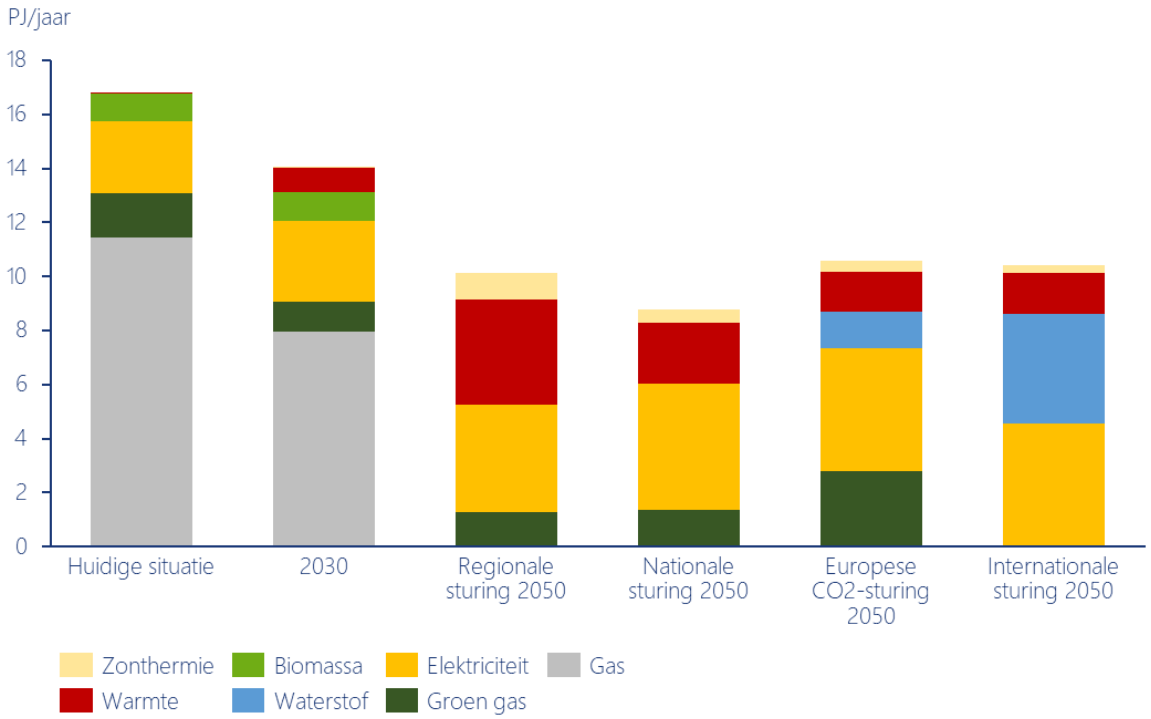
Figuur 4. percentage woningen per warmtetechniek

4.1.2 Isolatie

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 gemiddelde isolatiegraad verbeterd, zodat in een deel van de bestaande Friese woningvoorraad all-electric en hybride warmtebronnen kunnen worden toegepast. 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 scenario Regionale sturing, waar ook 40% van de woningen van warmte voorzien wordt door *all-electric*-oplossing. Het gemiddelde isolatielabel valt tussen A en B. In de scenario's Europese CO2-sturing en Internationale sturing ligt de isolatiegraad in 2050 het laagst. Er wordt hier gemiddeld uitgegaan van label B. Dit zal een flinke uitdaging betekenen voor de woningvoorraad in Fryslân, die gemiddeld ouder is dan in de rest van Nederland en gemiddeld een groter oppervlak heeft[4]. Wat dit betekent voor de energievraag hangt samen met de toegepaste warmtetechnologie en de efficiëntie daarvan in combinatie met de isolatiegraad en wordt in de volgende paragraaf toegelicht.

[4] CBS. Voorraad woningen; gemiddeld oppervlak; woningtype, bouwjaarklasse, regio. Data van 27 oktober 2021 op opendata.cbs.nl.

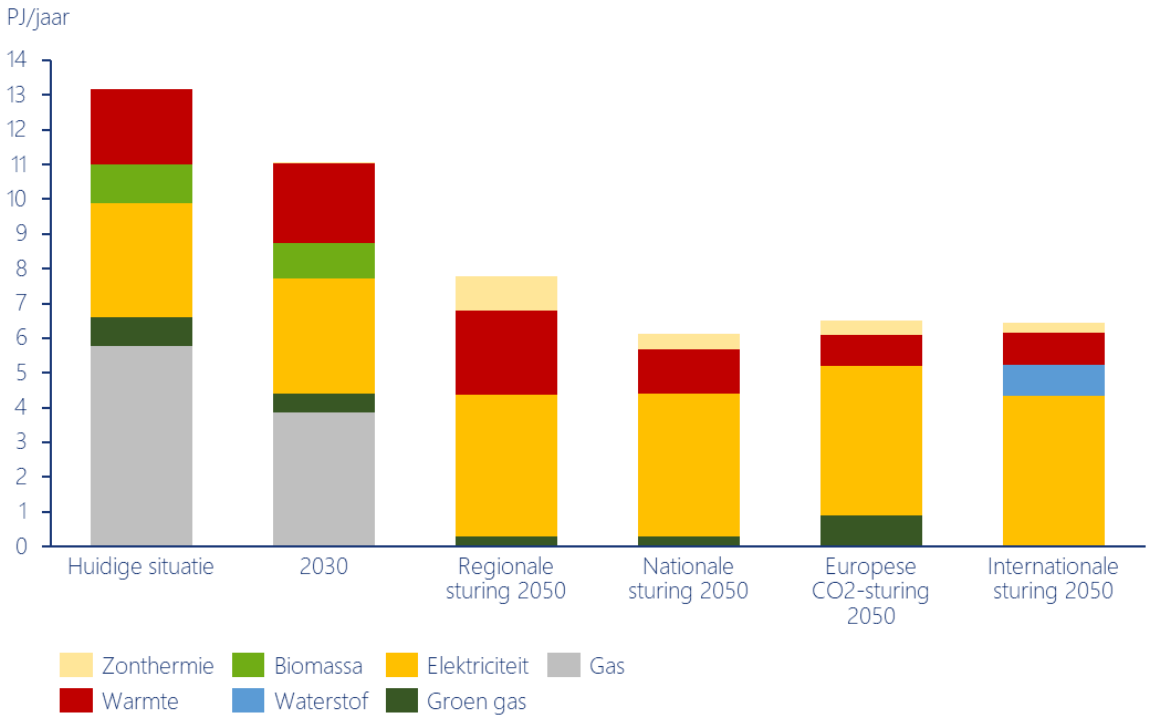
4.1.3 Energievraag gebouwde omgeving



Figuur 5: Finale energievraag huishoudens per energiedrager

In Figuur 5 en Figuur 6 is de finale energievraag weergegeven voor respectievelijk de huishoudens en de utiliteiten. In deze figuren is de energievraag voor de verschillende energiedragers opgesplitst. Meer achtergrond en toelichting is te vinden in Bijlage 2.

In 2050 zijn alle fossiele energiedragers vervangen door duurzame energiedragers. In het scenario Regionale sturing 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, groen gas of biomassa en grootschalige warmtepompen. In het scenario Nationale sturing is elektriciteit de meest gebruikte energiedrager in de gebouwde omgeving. In het scenario Europese CO_2-sturing wordt vooral elektriciteit en groen gas gebruikt en in het scenario Internationale sturing is dit vooral elektriciteit en waterstof.



Figuur 6: Finale energievraag utiliteiten per energiedrager

In de utiliteitsbouw (Figuur 6) wordt een deel van de gebouwen al geïsoleerd en voorzien van een andere warmtebron in de 2030-scenario's. In tegenstelling tot de huishoudens wordt er door de utiliteiten relatief gezien niet veel meer elektriciteit gebruikt dan nu het geval is. De voornaamste reden is dat de elektriciteitsvraag in utiliteiten voor een groot gedeelte bestaat uit de vraag van elektrische apparatuur. Dit onderdeel is vele malen groter dan bij huishoudens. Ook is de huidige elektriciteitsvraag door elektrische apparatuur relatief groot. In de toekomst worden deze apparaten efficiënter. De verwachting is echter dat het aantal apparaten richting 2030 in ieder geval toe zal nemen, wat de besparing weer opheft.

Bij de utiliteiten is in 2050 een vergelijkbare situatie zichtbaar als bij de huishoudens. In het scenario Regionale sturing is meer warmtevraag dan in het scenario Nationale sturing, terwijl er minder huishoudens in het scenario Regionale sturing zijn verondersteld. De oorzaak is een lagere warmtevraag in het scenario Nationale sturing door verregaande isolatiemaatregelen. Daarnaast zijn warmtenetten (niet gevoed door (hybride)warmtepompen) minder efficiënt dan (hybride)warmtepompen. Er wordt immers geen omgevingswarmte gewonnen. Dit verklaart ook waarom de energievraag in het scenario Europese CO_2-sturing en het scenario Internationale sturing lager is dan in het scenario Regionale sturing.

4.1.4 Mobiliteit

In Fryslân wordt voor passagiersvervoer relatief veel gebruik gemaakt van auto's (79%) en bussen (8%). Personen maken minder gebruik van de trein dan elders in Nederland, omdat de treininfrastructuur hier in mindere mate aanwezig is (3%). Om te bepalen welke brandstoffen tot 2030 gebruikt worden, zijn de prognoses van ElaadNL gebruikt. Hierbij zijn de scenario's voor de provincie Fryslân overgenomen. Het aandeel fossiele brandstoffen in 2030 is hierin nog 13 PJ. In het 2030 scenario is uitgegaan van 23,8% elektrisch voor auto's, 80% voor treinen en 90% voor bussen.

Voor 2050 zal de energievraag voor mobiliteit veranderen doordat andere brandstoffen worden ingezet én doordat de modaliteiten iets gaan verschuiven. In het scenario Regionale sturing houden de modaliteitsverdeling zoals eerder genoemd aan, in de overige scenario's waarin de Lelylijn is opgenomen, is het percentage treinvervoer naar 5% verhoogd. Dit zal ten koste gaan van autovervoer. De verwachte technieken van de modaliteiten verschillen per scenario. In het scenario Regionale sturing is uitgegaan van een volledige transitie naar elektriciteit. Naarmate de scenario's globaler worden neemt voor auto's en bussen het percentage waterstof toe tot 40% in het scenario Internationale sturing. Meer toelichting ten aanzien van de veerdiensten en vrachtvervoer is te vinden in Bijlage 3.

Tabel 2: Verdeling brandstoffen personenvervoer (auto en busvervoer)

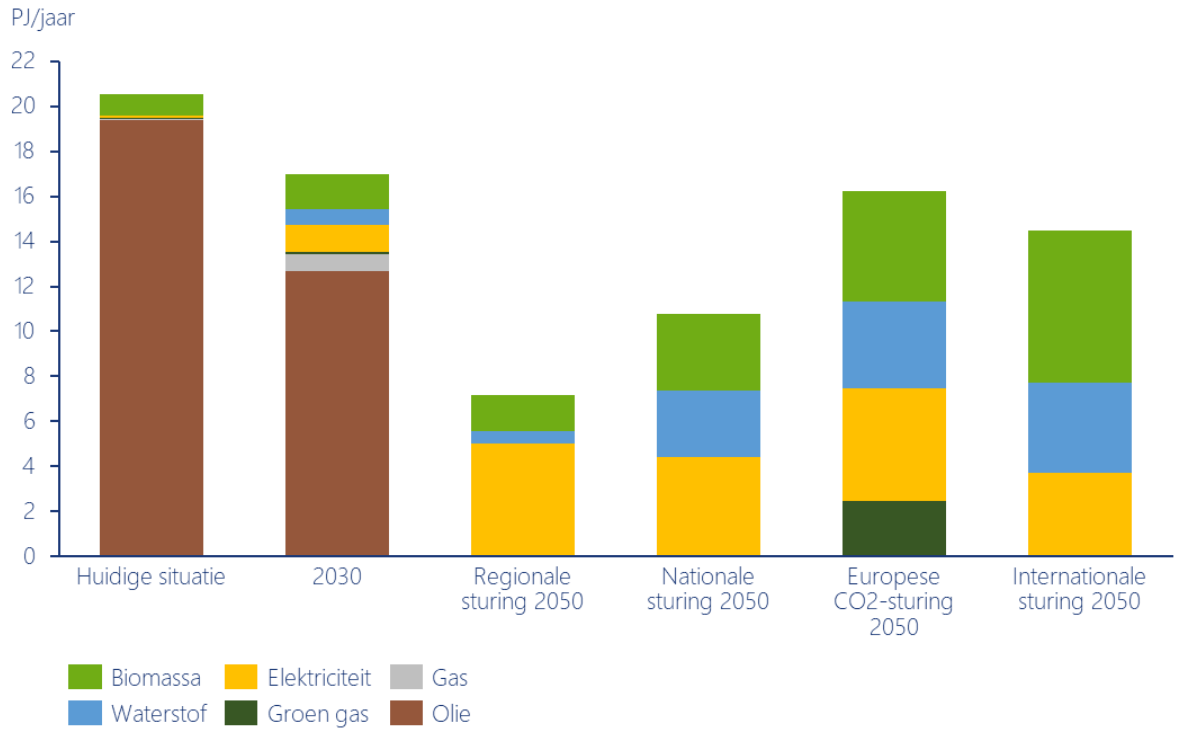
	Regionaal	Nationaal	Europees	Globaal
Elektrisch	100%	Auto 95%, Bus 75%	70%	50%
Waterstof		Auto 5%, Bus 25%	30%	40%
Benzine				10%

Tabel 3: Verdeling brandstoffen vrachtwagenvervoer

	Regionaal	Nationaal	Europees	Globaal
Elektrisch	100%	25%	25%	25%
Waterstof	15%	50%	25%	25%
Benzine		25%	25%	50%
CNG			25%	

Figuur 7 toont de huidige en verwachte energievraag van mobiliteit in 2030 en 2050, uitgesplitst naar de scenario's. Het verschil in energieverbruik is te verklaren door verschillen in groei en krimp van inwoneraantallen, economische activiteit en het hieruit volgende mobiliteitsgebruik. Daarnaast zorgt het toenemende aandeel elektrische voertuigen voor hogere efficiëntie. Het rendement van elektrisch aangedreven voertuigen is bijna driemaal zo hoog als dat van verbrandingsmotoren[5].

[5] Bij elektrisch aangedreven voertuigen kan vrijwel alle elektrochemische omgezet worden in kinetische industrie. Bij een verbrandingsmotor ontstaat zeer veel warmte die moet worden afgevoerd i.e. het koelen van de motor.



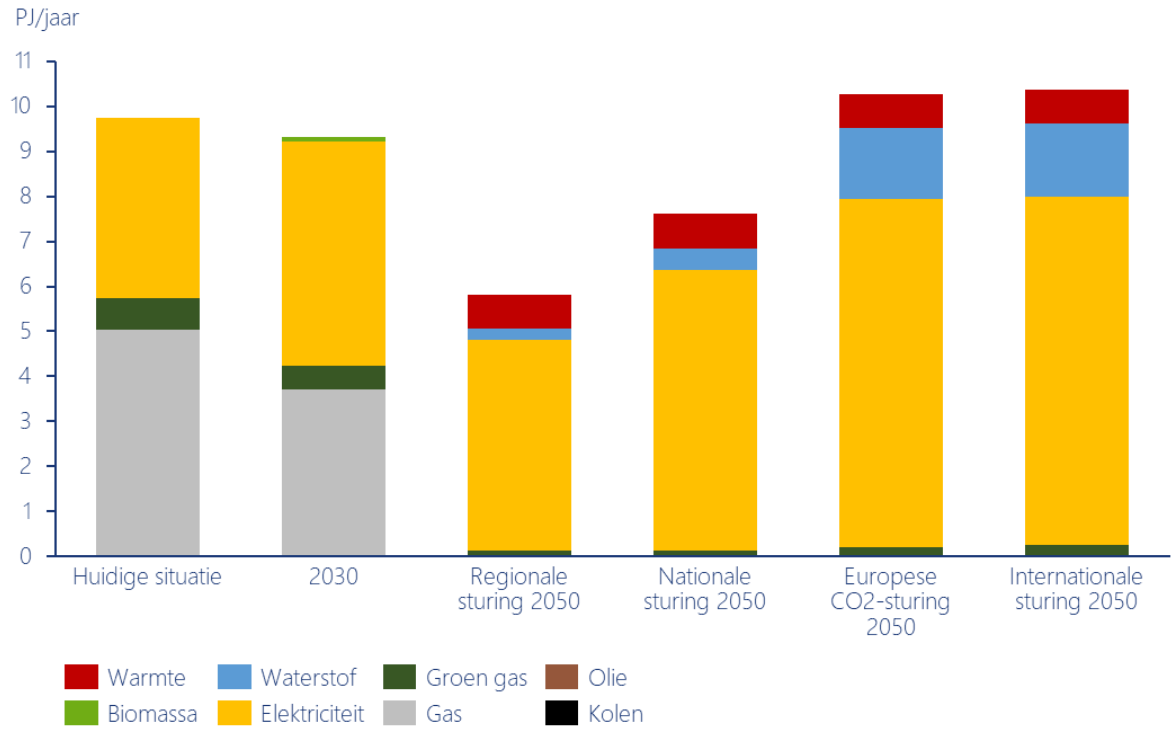
Figuur 7. Finale energievraag mobiliteit per energiedrager

4.1.5 Industrie

De industrie in Fryslân is goed voor een energievraag van ongeveer 10 PJ op jaarbasis. Dat is slechts een klein aandeel van het nationaal energieverbruik van de industrie, wat rond de 550 PJ ligt[6] (in 2019) voor de nijverheid (industrie minus industriële activiteiten in de energiesector zoals raffinaderijen). De meeste industrie in Fryslân valt onder de voedingsindustrie. Buiten de voedingsindustrie zijn er bedrijven aanwezig die vallen onder de categorie 'overig', zoals bijvoorbeeld de zoutindustrie, en is er een klein aandeel papierindustrie vertegenwoordigd. Meer specifieke informatie over de industrie en veranderingen in energieverbruik richting de toekomst is te vinden in Bijlage 4.

De finale energievraag voor de verschillende scenario's is te zien in Figuur 8. De voedingssector kenmerkt zich door een warmtevraag die veelal onder de 200°C is, en een groot deel op nog lagere temperaturen. Daardoor zijn er naar verwachting relatief goede mogelijkheden (in de toekomstbeelden in 2050) om de warmtevraag in te vullen via elektriciteit, middels (industriële) warmtepompen. Momenteel is een verschuiving naar minder gasverbruik en meer elektriciteitsverbruik zichtbaar, welke doorzet richting 2030. In 2050 is het aandeel elektriciteit dominant in de energiemix. In 2050 wordt een klein deel van de energiemix ingevuld door middel van warmte uit geothermie en waterstof. Waar waterstof benut wordt kan in de regel ook groen gas verbruikt worden.

[6] Klimaat- en Energieverkenning 2020, PBL.

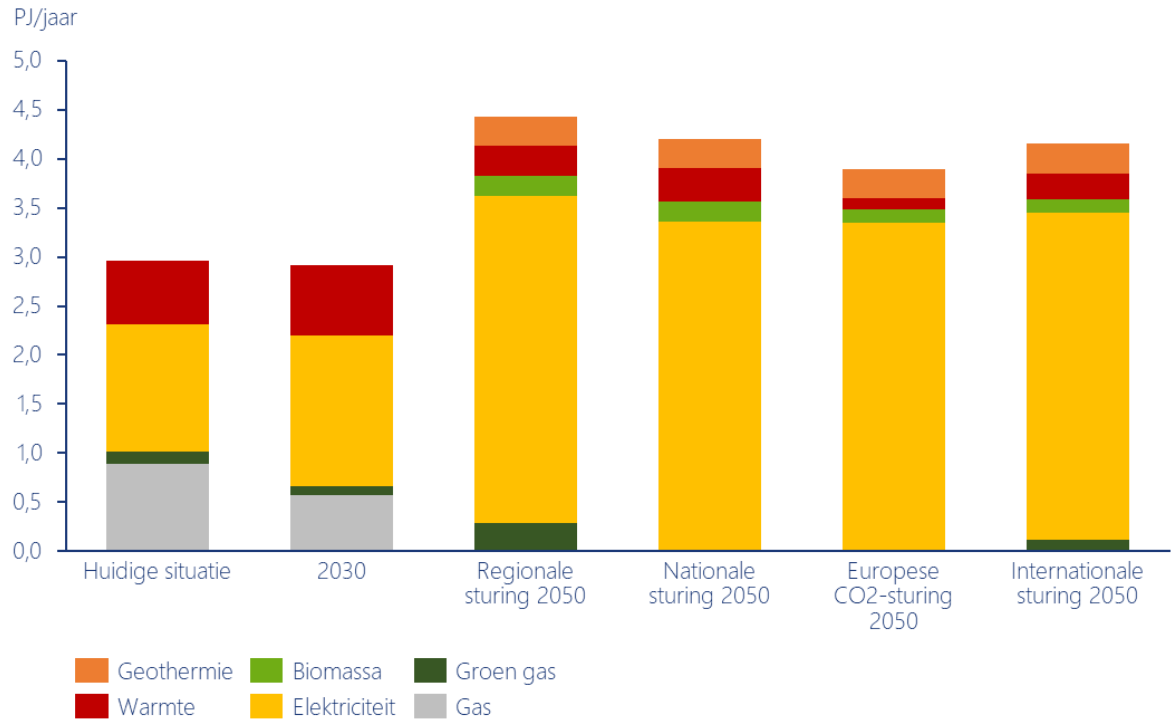


Figuur 8. Finale (energetische) energievraag industrie per energiedrager

4.1.6 Landbouw

De landbouw wordt in Fryslân vooral gekenmerkt door melkveebedrijven en voor mindere mate door akkerbouw en glastuinbouw. Het grootste gedeelde van de energievraag komt echter voor rekening van de glastuinbouw. Doel van deze sector is om in 2040 energieneutraal te zijn. De energievoorziening voor glastuinders zal tot 2030 veelal nog gebaseerd zijn op WKK's. Glastuinders gebruiken deze WKK's voor hun energievoorziening en de CO_2 die hierbij vrijkomt, gebruiken ze in hun productieproces. Het uitblijven van (goedkope) externe CO_2, verhoogde ODE-tarieven en de waarde van regelbaar vermogen als gevolg van meer duurzame opwek zijn de fundamenten onder deze verwachting.

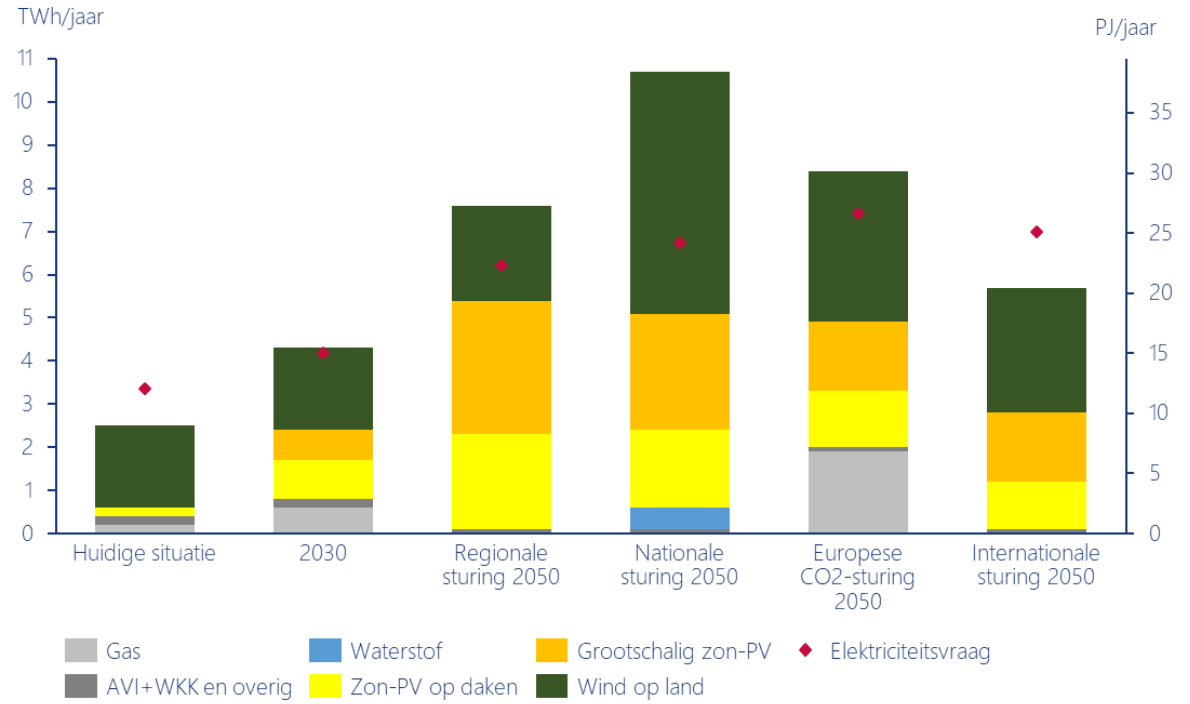
Na 2030 liggen keuzes open. Om de transitie naar fossielvrije tuinbouw te maken, is het voorwaardelijk voor de sector dat externe CO_2 (in de regio) beschikbaar komt. Wanneer dit beschikbaar komt, zijn zowel waterstof als externe warmte en elektrificatie reële scenario's, welke in de 2050-scenario's ook op verschillende manieren worden meegenomen, in lijn met de verhaallijn van de scenario's. Veel boerenbedrijven gebruiken hun daken voor het opwekken van elektriciteit met zon-PV. In het hoofdstuk over zonne-energie (**Error! Reference source not found.**wordt deze ontwikkeling meegenomen. Meer specifieke informatie over de vraag en het aanbod van energie vanuit de glastuinbouw in Fryslân is te vinden in Bijlage 5.



Figuur 9: Finale energievraag landbouw per energiedrager

4.1.7 Elektriciteit

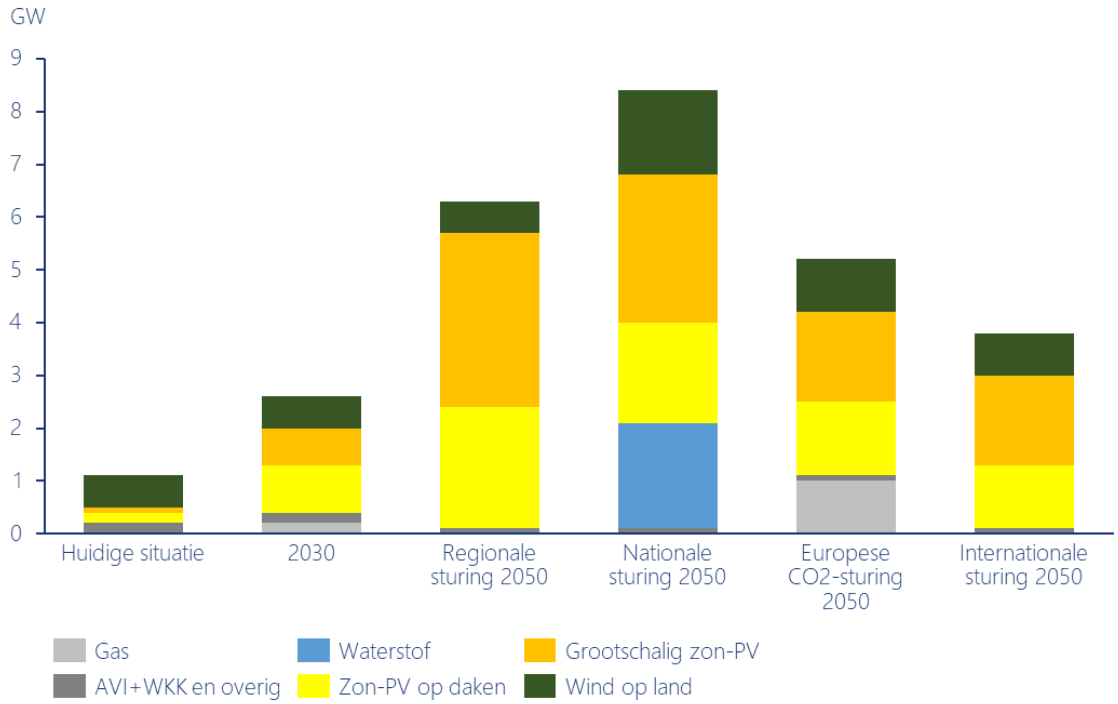
Figuur 10 geeft de elektriciteitsproductie in alle scenario's weer. De huidige vraag naar elektriciteit in Fryslân is circa 12 PJ, ofwel iets meer dan 3 TWh. Het grootste gedeelte daarvan wordt geproduceerd door het Windpark Fryslân dat recent in bedrijf is genomen. Het resterende gedeelte wordt geïmporteerd, omdat in Fryslân weinig centraal productievermogen is opgesteld.



Figuur 10. Elektriciteitsproductie en -vraag in Fryslân

Richting 2030 verschuift de opwek van centraal naar decentraal en groeit het duurzame productievermogen dusdanig dat er voldoende elektriciteit geproduceerd wordt om op een duurzame manier te voorzien in de vraag naar elektriciteit. Hierbij dient wel de kanttekening gemaakt te worden dat de piekcentrale in Bergum veel meer in bedrijf zal zijn dan momenteel het geval is. Dit is eveneens te zien in Figuur 10 waarbij een groter gedeelte van de elektriciteit wordt opgewekt door gascentrales. De vraag naar elektriciteit groeit richting 2030 naar circa 4 TWh.

In 2030 zal een groot deel van de elektriciteit afkomstig zijn van Windpark Fryslân, maar zal naast wind op land ook het aanbod zon-PV toenemen. Doordat windenergie veel meer vollasturen (het aantal uren dat de installatie daadwerkelijk elektriciteit produceert) kent dan zonne-energie, ontstaat het verschil tussen Figuur 10 en Figuur 11.



Figuur 11. Productievermogen in Fryslân. *Windpark Fryslân is gemodelleerd als wind op land

Het heeft de voorkeur om zoveel mogelijk zon-PV op dak te realiseren om de impact op het landschap te minimaliseren[7]. Fryslân is relatief dunbevolkt waardoor er naar verhouding weinig zon op dak (kleinere beschikbaarheid dakoppervlak) en veel zon op land (veel land beschikbaar) gerealiseerd kan worden. Desondanks laten de scenario's zien dat de verhouding zon op land en zon op daken ongeveer gelijk is. Hierbij dient opgemerkt te worden dat innovaties op het gebied van zon-PV waarmee de opbrengt van een zonnepaneel verhoogd wordt zijn meegenomen. Door een hogere opbrengst per zonnepaneel wordt het ruimtelijk beslag kleiner.

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) heeft bij een aantal gemeenten en de provincie de voorkeur. Echter, de hoeveelheid is onvoldoende voor de totale opgave. In dit Regionale scenario wordt er geen groei van wind op land verwacht richting 2050.

In het scenario Nationale sturing wordt in iets kleinere mate ingezet op zon-PV dan in het scenario Regionale sturing. De regie ligt echter bij de overheid, waardoor van bovenaf wordt bepaald welke projecten waar gerealiseerd worden. Het vermogen wind op land zal daarom na 2030 fors toenemen omdat Fryslân relatief veel ruimte kent. Er is de aanname gedaan dat vanuit landelijke beleid wordt bepaald dat de Bergumcentrale wordt gemoderniseerd en dat de capaciteit wordt vergroot naar 2 GW. De centrale fungeert in dat scenario als piekcentrale gebruikt waterstof als brandstof.

[7] Systeemefficiëntie, netwerkkosten, impact op de netwerkbeheerder zijn andere overwegingen. In deze studie is de landschappelijke impact één van de sturende factor geweest in het maken van de scenario's.

Het aanbod van elektriciteit binnen Fryslân is in de scenario's Europese CO_2-sturing en Internationale sturing kleiner dan in het Regionale en Nationale scenario. In het Europese scenario worden alleen kosteneffectieve projecten gerealiseerd en zal elektriciteitsimport plaatsvinden indien nodig. Zonne- en windenergie is minder sterk aanwezig in dit scenario omdat import van energiedragers tot de mogelijkheden behoord. Ook in dit scenario wordt de Bergumcentrale gemoderniseerd. Het vermogen van de centrale groeit naar 1 GW. In tegenstelling tot het scenario Nationale sturing gebruikt de centrale in dit scenario methaan als energiedrager. Dit kan zowel groen gas zijn als aardgas. Wanneer er gekozen wordt voor aardgas betekent dit dat er tevens CCS toegepast zal moeten worden, omdat dit de enige manier is om uitstoot van CO_2 tegen te gaan. Meer toelichting over elektriciteitsproductie door zon en wind, energiecentrale, AVI en WKK's is te vinden in Bijlage 6.

4.1.7.1 Waddeneilanden

Figuur 12 geeft de elektriciteitsproductie en de vraag naar elektriciteit per Waddeneiland op jaarbasis. Terschelling is het grootste eiland en heeft tevens de grootste vraag naar elektriciteit. Voor alle Waddeneilanden geldt dat ze voor de energievoorziening volledig afhankelijk zijn van de vaste wal. Dit wil zeggen dat alle eilanden een eigen kabelverbinding en gasleiding naar de vaste wal hebben. Vlieland heeft een centrale diesel back-upgenerator in geval van storing. De andere Waddeneilanden zijn redundant[8] aangesloten op het hoofdnet. Dat wil zeggen twee of meer kabels naar de vaste wal. De Waddeneilanden (inclusief Texel) hebben daarnaast voldoende grote toevoermogelijkheid van gas vanuit de vaste wal van Fryslân.

Op de eilanden zal in alle scenario's zon op dak en waar mogelijk op veld inzet worden om de elektriciteitsvraag op het eiland te compenseren. De variatie in de scenario's is vooral te vinden bij de inzet van windenergie. Het scenario Regionale sturing gebruikt in alle scenario's geen windenergie maar dit zal dan ook niet leiden tot elektriciteitsneutraliteit en vooral geen energieneutraliteit op de eilanden, een uitgesproken wens/ambitie van alle Friese Waddeneilanden.

Bij het scenario Nationale sturing zal gebruik gemaakt worden van de gunstige ligging van de Waddeneilanden voor het gebruik van windmolens. De eilanden zullen dan alleen netto exporteur van energie kunnen worden. Het overschot aan elektriciteit zou dan ook omgezet of opgeslagen kunnen worden, zodat zelfs naar zelfvoorziening toegewerkt kan worden. De scenario's Europese CO_2-sturing en Internationale sturing laten een kleinere afhankelijkheid van wind zien. Alle scenario's (waarvan het scenario Nationale sturing de voornaamste is) zijn extreme scenario's en kunnen daardoor niet gezien worden als een absolute waarheid.

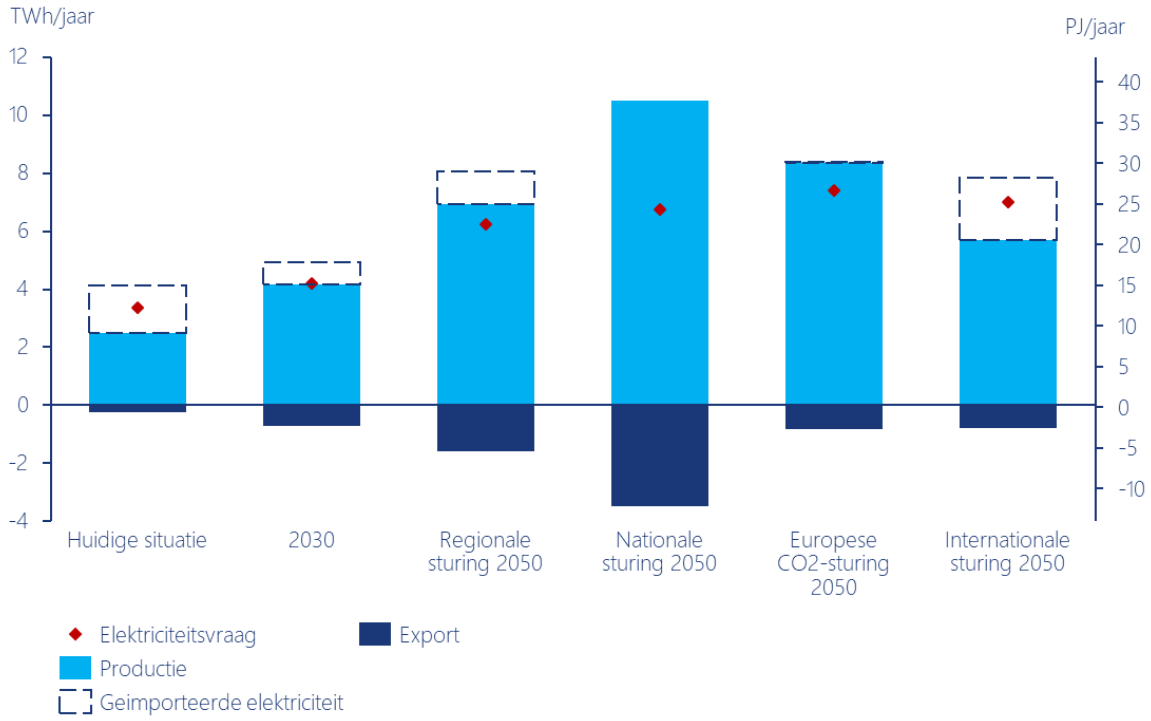
[8] Redundant of redundantie betekent dat de energie-infrastructuur (drie)dubbel is aangelegd. In gevallen van storing of onderhoud kan het reservenet benut worden. Hierdoor wordt leveringszekerheid gewaarborgd.



Figuur 12. Elektriciteitsproductie- en vraag op de Waddeneilanden

4.1.7.2 Import

Er zal elektriciteit geïmporteerd worden op momenten dat de vraag naar elektriciteit groter is dan het aanbod. De geïmporteerde elektriciteit zal echter wel ergens vandaan moet komen. Centrales spelen hierin een belangrijke rol. Als deze centrales buiten Fryslân staan wordt de elektriciteit geïmporteerd. Als de centrales in Fryslân staan wordt de geproduceerde elektriciteit gezien als productie. Dit verschil is zichtbaar in Figuur 13. Doordat er gevarieerd is in het centrale productievermogen is in een aantal scenario's geen import van elektriciteit nodig. Er is immers voldoende productievermogen aanwezig om deze behoefte door de aanwezige centrale in te laten vullen. Dit is het geval in het scenario Nationale sturing. In het scenario Europese CO_2-sturing wordt een zeer kleine hoeveelheid elektriciteit geïmporteerd. In de scenario's 2030, Regionaal en Internationaal is geen of te weinig productievermogen aanwezig om te voorzien in de vraag naar elektriciteit, waardoor import noodzakelijk is.



Figuur 13. Elektriciteitsbalans. De elektriciteitsvraag ligt hoger omdat verliezen en conversie door flexibiliteitsoplossingen zijn meegenomen.

Doordat de manier waarop elektriciteit wordt opgewekt steeds weerafhankelijker wordt, is de productie van elektriciteit grotendeels aanbodgestuurd, en niet – zoals het geval is bij huidige (fossiele) elektriciteitscentrales – vraaggestuurd. Hierdoor is de totale productie inclusief import groter dan de vraag naar elektriciteit. De achterliggende reden is dat de productie van hernieuwbare elektriciteit soms op momenten met onvoldoende elektriciteitsvraag plaatsvindt. Op deze momenten is de geproduceerde elektriciteit overbodig en deze zal geëxporteerd of opgevangen moeten worden door flexibiliteitsoplossingen. Daarmee zit er ongelijktijdigheid tussen vraag en aanbod. Flexibiliteitsoplossingen bieden hiervoor uitkomst, maar zullen niet altijd kunnen voorkomen dat im- en export noodzakelijk is.

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 waarop de lokale productie de elektriciteitsvraag overschrijdt. In het scenario Regionale sturing wordt op jaarbasis 2 TWh geëxporteerd, terwijl er ook 1 TWh geïmporteerd wordt.

In het jaar 2030 is de productie van elektriciteit (inclusief de Bergumcentrale) ongeveer even groot als de vraag naar elektriciteit op jaarbasis. Dit betekent dat de im-/exportbalans in 2030 ongeveer nul zou bedragen. Vanwege ongelijktijdigheid wordt er echter wel elektriciteit geïmporteerd en geëxporteerd. Import vindt met name plaats in de winter en 's nachts wanneer er nauwelijks elektriciteitopwek door zon-PV plaatsvindt, terwijl gedurende de zomer juist elektriciteit wordt geëxporteerd vanwege een te groot aanbod van elektriciteit afkomstig uit zon-PV.

Een deel van de momenten dat Fryslân elektriciteit zal exporteren, gaat waarschijnlijk gepaard met gelijktijdige overschotten in andere regio's. Het is aannemelijk dat het zonnig weer is of er juist harde wind waait in Groningen of Overijssel als dat in Fryslân ook het geval is. Export van elektriciteit is dus niet zonder meer een oplossing voor elektriciteitsoverschotten.

4.2 Biomassa

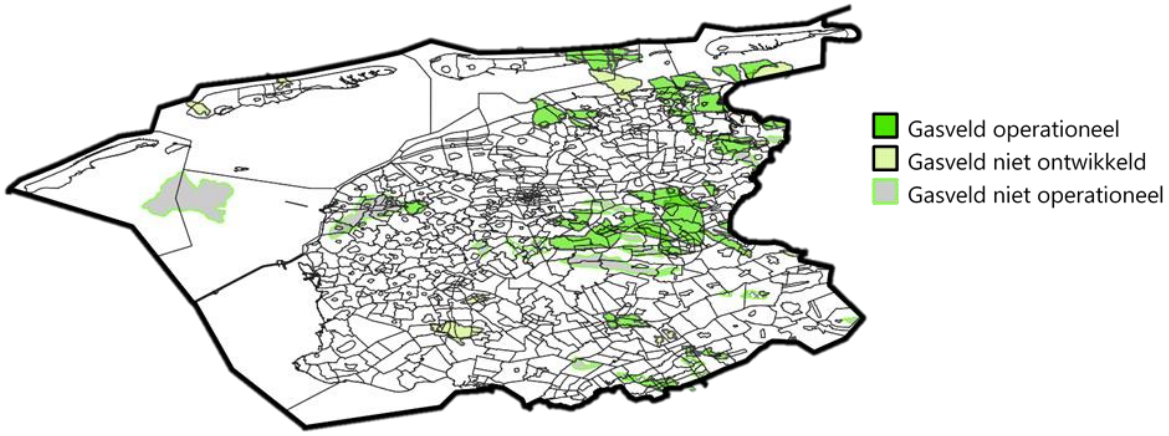
Voor de beschikbaarheid van energie uit biomassa is uitgegaan van het onderzoek dat New Energy Coalition[9] in opdracht van de provincie heeft laten uitvoeren. Hieruit blijkt dat ongeveer 17 PJ biomassa beschikbaar is in de provincie om in te zetten voor de productie van hernieuwbare gassen. Niet al deze reststromen zijn echter beschikbaar voor energietoepassingen. Indien gecorrigeerd wordt voor hoogwaardiger toepassingen, zoals bijvoorbeeld grondstof, biobrandstof of veevoer, blijft een hoeveelheid over die ingezet zou kunnen worden in de gebouwde omgeving. Wanneer uitsluitend gebruik gemaakt wordt van de in Fryslân beschikbare mest kan daar maximaal 4,3 PJ energie (= 122 MNm³ groen gas) uit gewonnen worden. Voldoende om 26% van de warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2030 in te vullen.

In Fryslân vindt veel veeteelt plaats. Hierdoor is er een grote (natte) biomassapotentie, welke ingezet zou kunnen worden voor de productie van groene methaan. De verwachting is dat de omvang van de Friese veeteeltsector ongeveer gelijk blijft in 2030 en 2050 ten opzichte van nu. Hierdoor zal de biomassapotentie niet significant krimpen of groeien. Wel zal de productie van groene methaan naar verwachting groeien, omdat niet alle biomassa momenteel omgezet wordt naar groene methaan. In Bijlage 6 wordt dieper op de biomassavraag en -aanbod per scenario ingegaan.

4.3 Methaan

In Fryslân vindt momenteel aardgaswinning plaats op diverse locaties. Figuur 14 geeft weer waar de kleine gasvelden zich bevinden. De meeste operationele gasvelden liggen in het noordoosten van Fryslân en gedeeltelijk in Waddenzee (en deels in de Noordzee) bij Ameland.

Gasvelden in Fryslân



Figuur 14. Gasvelden in Fryslân

Naast aardgas wordt er binnen Fryslân ook groene methaan geproduceerd. Enerzijds wordt er lokaal biogas geproduceerd. Anderzijds wordt er groen gas geproduceerd door biogas op te waarderen. Op veel locaties wordt biogas direct ingezet, waardoor er geen methaan ingevoed wordt in de gasinfrastructuur. Een voorbeeld hiervan is de inzet van bio-WKK's bij glastuinbouwlocaties.

[9] Groen gas en zijn bijdrage aan de Friese energietransitie d.d. 25-03-2021

4.3.1 Waddeneilanden

De NAM wint gas uit het Waddengebied. De NAM wint sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw gas onder het Nederlandse wad bij Ameland en Blija. De gaswinning onder het Waddengebied is onderdeel van het kleine-veldenbeleid van de overheid. De gaswinning gebeurt vanaf land: zowel op Ameland (een locatie op oostelijk Ameland) als vanuit Blija sinds halverwege de jaren tachtig en sinds 2006 ook vanuit Moddergat. Vanaf deze locaties, in combinatie met de locaties Lauwersoog en Vierhuizen in Groningen, wordt in een periode van waarschijnlijk twintig jaar een volume van totaal circa 20 miljard m^3 aardgas gewonnen.

4.4 Waterstof

Waterstof kan op verschillende manieren geproduceerd worden. In Fryslân zal dit hoofdzakelijk door middel van elektrolyse plaatsvinden. Bij voorkeur gebeurt dit op momenten van elektriciteitsoverschotten, zodat het teveel aan elektriciteit nuttig ingezet kan worden. Productie van waterstof door elektrolyse zal pas op grote schaal plaatsvinden na 2030. Deze technologie is daarom geen onderdeel van het 2030 scenario.

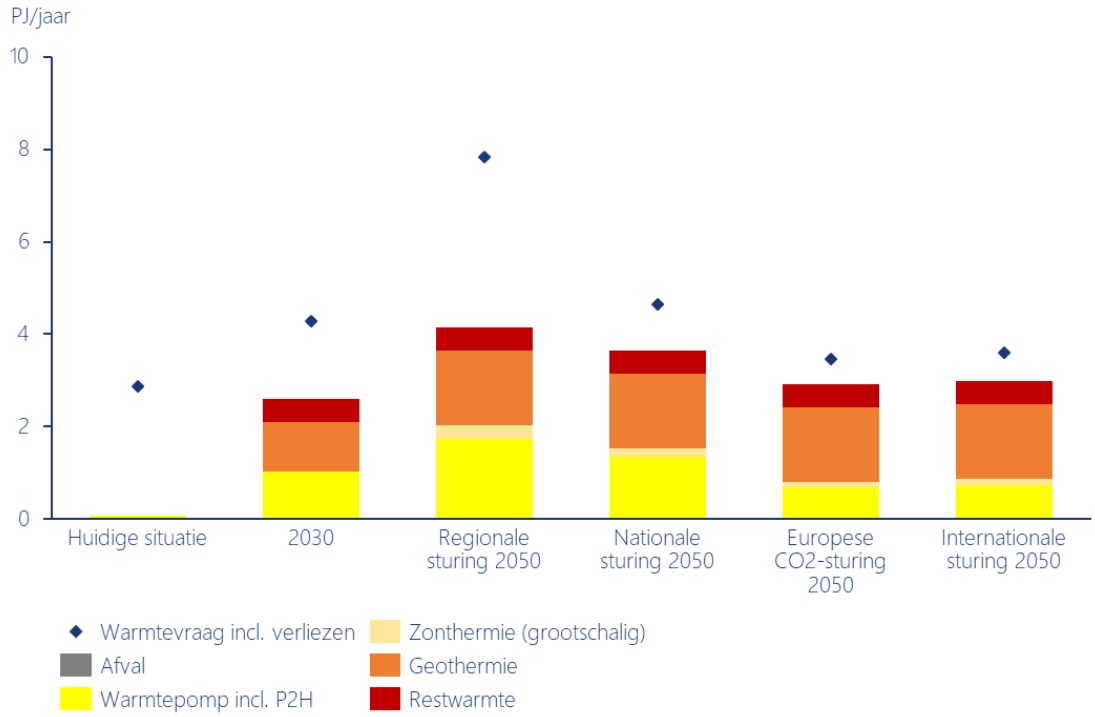
In 2050 zal groene waterstofproductie plaatsvinden door middel van elektrolysers. Hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 6.2. Daarnaast zal er waterstof geïmporteerd worden door middel van de waterstofbackbone. De backbone voor waterstof is naar verwachting al operationeel in 2030. Mits voldoende waterstof voorhanden is om de waterstofbackbone te vullen, biedt dit kansen voor de provincie Fryslân. De waterstofbackbone loopt immers van oost naar west door Fryslân heen. Koppelingen met deze waterstofbackbone maken het mogelijk om waterstof te gebruiken. Afhankelijk van het scenario wordt de waterstof naar verwachting gevuld met groene of blauwe waterstof of een combinatie van beide.

4.5 Warmte

Fryslân beschikt over één afvalverbrandingsinstallatie (REC) waarmee warmte wordt geleverd aan de nabij gelegen zoutfabriek van Frisia, zie paragraaf **Error! Reference source not found.**Omdat dit proces een gesloten systeem betreft, wordt deze warmte-uitkoppeling niet meegenomen in de systeemstudie. De verwachting is dat de uitkoppeling van warmte naar de zoutfabriek in toekomst zal blijven, zolang de REC operationeel blijft.

Warmtenetten worden daarom gevoed door andere bronnen. Vanuit de Friese industrie kan circa 1 PJ worden uitgekoppeld naar de gebouwde omgeving of landbouw.[10] Naast restwarmte kunnen warmtepompen (aquathermie) en geothermie een warmtebron zijn voor warmtenetten. Het maximale potentieel wordt geschat op 2,1 PJ en het realistische potentieel wordt geschat op circa 1,1 PJ. Vanwege technologische ontwikkelingen is 1,6 PJ geothermie in alle scenario's opgenomen.[11] Voor het 2030 scenario is dit wellicht wat hoog, maar op de langere termijn kan geothermie een belangrijke rol spelen in de warmtevoorziening van zowel de gebouwde omgeving als de glastuinbouw. Het potentieel van geothermie in de glastuinbouw wordt geschat op 0,3 PJ.

[10] CE Delft (2018). Warmtekaart provincie Fryslân
[11] Berenschot en Panterra (2020). WARM in Fryslân.



Figuur 15. Warmtevraag en beschikbare warmte exclusief (groen)gas en biomassa.

Figuur 15 geeft de warmtevraag en de beschikbare hoeveelheid warmte aan. In elk scenario is er een tekort aan warmte dat ingevuld wordt met biomassa en back-upketels op (groen) gas. Qua efficiëntie heeft het de voorkeur om eerste alle warmte te gebruiken waarvan de warmteproductie een vlak profiel kent. Voorbeelden hiervan zijn geothermie en restwarmte, waar gedurende het gehele jaar warmte wordt geproduceerd met een constante hoeveelheid. Het is lastig of zelfs onmogelijk om deze warmtebronnen uit te zetten.

De vraag naar warmte varieert sterk gedurende het jaar. In de winter is de vraag naar warmte vanuit de gebouwde omgeving vele malen groter dan in de zomer. In de winter zullen er daarop momenten zijn waarop de warmtebronnen met een vlak profiel onvoldoende warmte kunnen leveren om in de vraag te voorzien. Andere warmtebronnen, zoals biomassa en (groen) gasketels zijn dan benodigd om additionele warmte te produceren. De vraag naar biomassa en (groen) gas voor warmteproductie is op deze manier relatief beperkt omdat het aantal momenten waarop additionele warmte benodigd is maar tijdens een bepaalde periode in het jaar voorkomen.

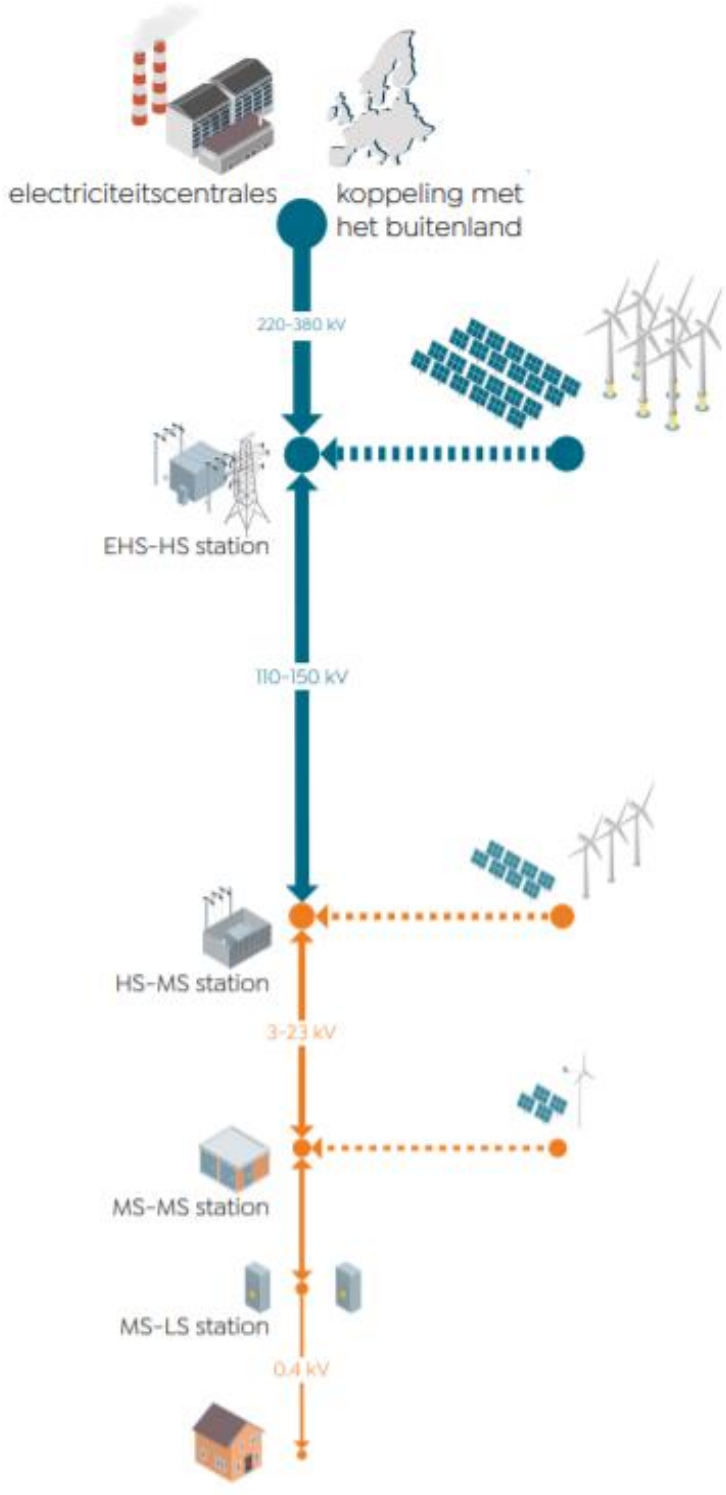
5. Energie-infrastructuur ontwikkelingen

In de systeemstudie wordt de impact van de energievraag op de energie-infrastructuur doorgerekend en geanalyseerd. De energie-infrastructuur kan grofweg worden opgedeeld in drie infrastructuren: het elektriciteitsnet, de gasnetten, en warmtenetten. In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de impact van de scenario's op de huidige energie-infrastructuren in de provincie Fryslân.

5.1 Het elektriciteitsnet

Het elektriciteitsnet kent onderscheid tussen hoog-, midden- en laagspanning. Het hoogspanningsnet met spanningsniveaus in Fryslân van 220 en 110 kV is voornamelijk bedoeld voor elektriciteitstransport. Op dit net zijn voornamelijk 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. Een tussenspanningsnet is in Fryslân niet meer aanwezig. Het tussenspanningsnet van 60 kV dat er was, is eind jaren zeventig verwijderd, zie Figuur 16. Onder het hoogspanningsnet bevindt zich in Fryslân dus direct het middenspanningsnet met een spanning van 1 tot 23 kV. Op dit spanningsniveaus worden kleinere windparken, reguliere zonneparken en diverse industriële sectoren aangesloten. Ook snellaadstations voor mobiliteitsdoeleinden worden op het middenspanningsnet aangesloten vanwege de grote vermogensvraag die de laatste uitvoeringen van snellaadstations kennen. 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.



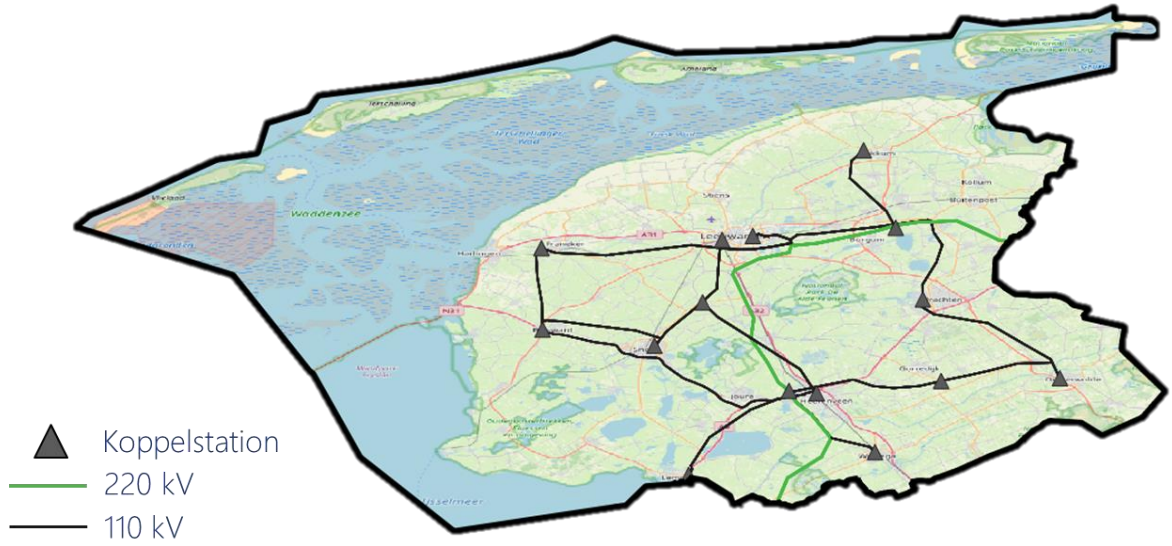
Figuur 16. Spanningsniveaus in het elektriciteitsnet in Fryslân. Bron: Netbeheer Nederland

Het hoogspanningsnet

Het hoogspanningsnet wordt beheerd door TenneT. Het hoogspanningsnet in Fryslân is ontworpen voor 110 kV zoals in geheel Noord-Nederland. Het Friese 110 kV-net is middels het 220 kV-net gekoppeld met de rest van Nederland. Deze koppelpunten zijn Bergumcentrale, Louwsmeer en Oudehaske. De 110 kV koppeling met de Noordoostpolder staat in de normale situatie open.

Het 220 kV-net is alleen aanwezig in Noord-Nederland (Groningen, Fryslân, Drenthe en Overijssel). Dit net heeft een ringstructuur, waardoor een wenselijke configuratie aanwezig is in het 220 kV-net. Elektriciteit kan door de ringstructuur via twee routes geleverd worden. Als één van beide routes uitvalt (bijvoorbeeld onderlangs of bovenlangs) kan elektriciteit nog geleverd wordt door de andere route.

Het 110 kV-net is eveneens alleen aanwezig in Noord-Nederland (Groningen, Fryslân, Drenthe en Overijssel). In de overige delen van Nederland wordt 150 kV gehanteerd met als voordeel dat 150 kV een grotere transportcapaciteit heeft dan 110 kV.



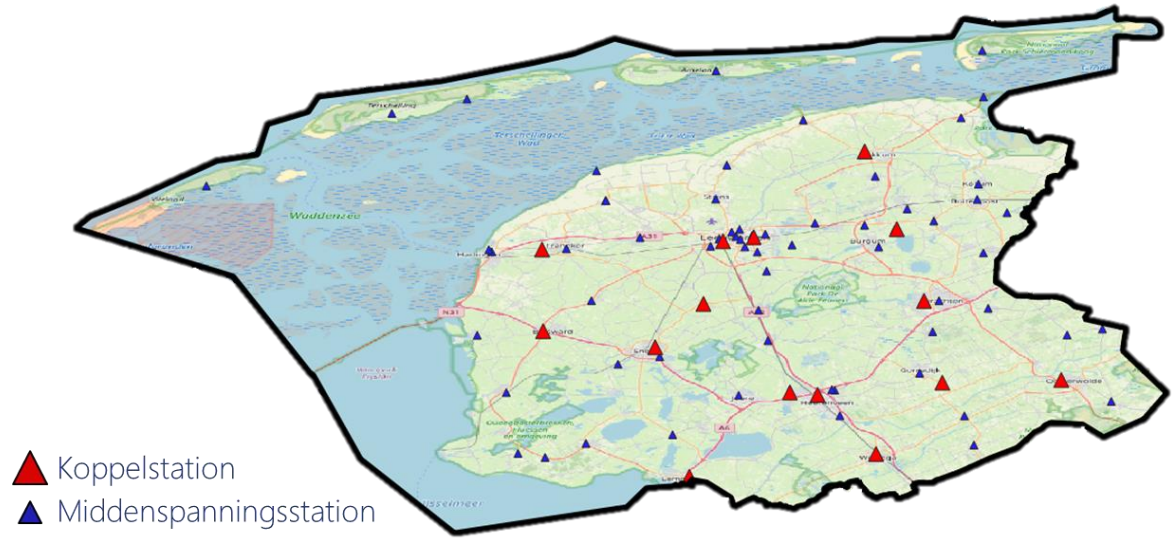
Figuur 17. Hoogspanningsinfrastructuur in Fryslân

De distributienetten

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

In deze systeemstudie wordt specifiek aandacht besteed aan het 110 kV hoogspanningsnet en de koppelstations in het distributienet. In Fryslân zijn momenteel vijftien koppelstations aanwezig waar het transportnet van TenneT aan het distributienet van Liander is gekoppeld. In de toekomst wordt hier station Bolsward 110 kV aan toegevoegd. Liander en TenneT zijn momenteel bezig met een haalbaarheidsstudie voor een nieuw 110 kV station genaamd Leeuwarden Zuidwest. Daarnaast is de verwachting dat er nog een aantal stations bijkomt, zoals in Sneek en Drachten[12]. Daarnaast is er een 110 kV station in Louwsmeer waar geen transformatoren van Liander staan. Er wordt nader ingegaan op deze koppeling omdat dit één van de belangrijkste componenten in het elektriciteitsnet is.

Fryslân heeft geen tussenspanningsstations. Wel zijn er middenspanningstations, evenals regel- en schakelstations aanwezig op het middenspanningsniveau. Ook de impact van de scenario's op deze netvlakken komt aan bod.



Figuur 18. Het distributienet voor elektriciteit in Fryslân

De aansluitingen op de Waddeneilanden

De Friese Waddeneilanden zijn allen verbonden met middenspanningskabels die door het wad lopen, zogenoemde wadkabels. De verbinding met Vlieland is enkelvoudig uitgevoerd, met als back-up een lokale generator. De overige eilanden hebben een redundante verbinding vanaf de wal. De capaciteit van deze kabels verschilt per eiland, de mate van congestie verschilt daarom ook.

De gemeente Vlieland heeft recent een onderzoek naar de capaciteit van de wadkabel uit laten voeren. Uit deze studie bleek dat de warmtetransitie, elektrische veerdiensten en de toename van duurzame opwek voor een grotere belasting van de wadkabel zorgen. Of de huidige infrastructuur voldoende is om aan de elektriciteitsvraag te kunnen voldoen, is afhankelijk van de ontwikkelingen op deze drie onderdelen.

[12] Benoemd in de netvisies van TenneT en Liander

De wadverbinding naar Ameland wordt momenteel verzwaard om de toename van opwek op het eiland en elektrificatie van het nabij gelegen NAM-gasplatform mogelijk te maken. Of de huidige energie-infrastructuur naar Terschelling en Schiermonnikoog voldoende is voor de verwachte ontwikkelingen op het energienet van de eilanden, wordt in een apart traject tussen de gemeenten en Liander in kaart gebracht.

De ontwikkelingen in het elektriciteitsnet

Het elektriciteitsnet in Fryslân wordt op verschillende onderdelen verbeterd. De belangrijkste ontwikkelingen die nu spelen zijn vooral gericht op het versterken van de bestaande capaciteit alsmede het vervangen van verouderde installaties.

Het Friese 110 kV-net wordt verzwaard en aangepast om de grote hoeveelheid windenergie aan de westkust van Fryslân aan te sluiten. In het project 'Netversterking Westelijk Fryslân' is een dubbelcircuit van ondergrondse 110 kV-kabels aangelegd van 110 kV-station Oudehaske tot aan Bolsward. Windpark Fryslân is tijdelijk op deze kabels aangesloten. Nadat het 110 kV-station Bolsward gebouwd is, zullen de kabels van Windpark Fryslân, de kabels richting Oudehaske en de lijncircuits richting Sneek, Rauwerd, Marnezijl en Herbayum op dit station aangesloten worden. Daarnaast wordt er op de stations Oudehaske en Louwsmeer een extra 220/110 kV-transformator geplaatst. Het effect van dit project is meegenomen in de berekeningen van de systeemstudie.

Vanuit het investeringsplan 2020 voorziet TenneT in de behoefte voor additionele projecten. Het project 'netversterking oostelijk Fryslân' voorziet in het verzwaren en aanpassen van de 110 kV-infrastructuur aan de oostkant van de provincie. Daarnaast zijn extra 220/110 kV-transformatoren op Bergum en Oudehaske voorzien. Dit lost ook de actuele opwekproblemen in het 110 kV-net van Fryslân op.

Voor de verbinding van Groningen met Flevoland (hoogspanningsstation Ens) en de Randstad onderzoeken het ministerie van EZK en TenneT, samen met regionale partijen, de mogelijkheden voor nieuwe stroomsnelwegen (380 kV-verbindingen). Een verbinding door Fryslân is een mogelijkheid. Indien de 380 kV-verbinding door Fryslân wordt aangelegd, bestaat de mogelijkheid om delen van het Friese net hierop aan te sluiten, maar hiervoor zijn nog geen concrete plannen. De aanleg van een 380 kV-verbinding door Fryslân heeft niet of nauwelijks invloed op het Friese elektriciteitsnet als er geen koppeling wordt gemaakt door middel van een station. Indien er wel een koppeling wordt gemaakt is er meer elektriciteitsimport en -export mogelijk. Het Friese elektriciteitsnet zal hier naar verwachting wel voor moeten worden aangepast, want de transportcapaciteit van het Friese elektriciteitsnet verandert niet door de aanleg van een nieuwe 380 kV-verbinding. Additioneel onderzoek (inclusief loadflow-berekening) is benodigd om hier concrete uitspraken over te doen.

Een belangrijk knelpunt is opgetreden rond Leeuwarden, TenneT en Liander onderzoeken de bouw van een nieuw 110 kV-station ten zuiden van Leeuwarden om de groei van de stad te faciliteren. In Drachten, Herbayum en Sneek speelt de problematiek rond het terugleveren van elektriciteit op het Tennet netvlak. Er worden gesprekken gevoerd met de omgeving om inzicht te krijgen in de plannen om daarmee passende oplossingen voor de stations te ontwikkelen.

In het Liander-programma Netuitbreiding Lelie (afgekort als NuLelie) worden meerdere middenspanningsverbindingen gerealiseerd en waar nodig compacte stations vervangen of nieuw geplaatst. Het programma heeft een omvang van circa 37 projecten met ruim 2.100 km kabels en circa 300 compacte stations en is eind 2025 afgerond.

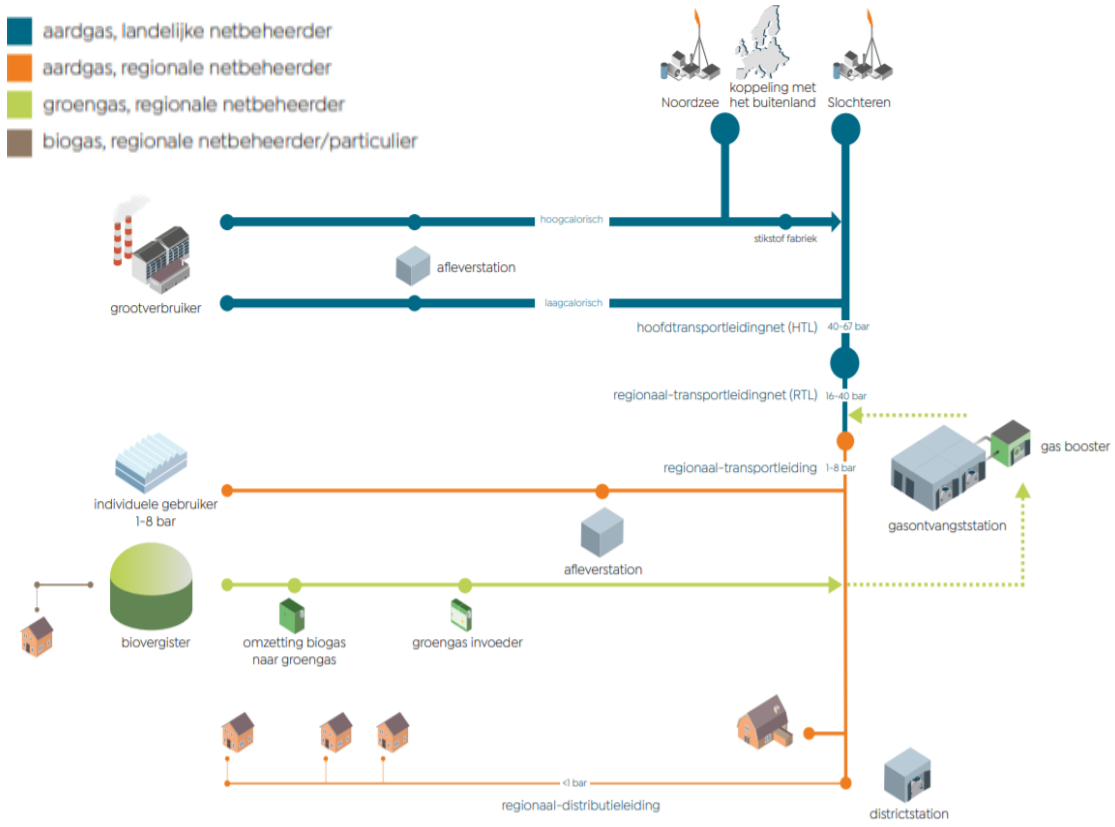
5.2 De gasnetten

Het Nederlandse gastransportnet wordt beheerd door Gasunie Transport Services (GTS). Het gedeelte van het landelijke transport aanwezig in de provincie Fryslân is weergegeven in Figuur 19. Onder hoge druk wordt aardgas getransporteerd door heel Nederland via het hoofdtransportleidingennet (HTL). Vanwege verschillende calorische waarden van aardgas bestaat het hoofdtransportleidingennet uit meerdere leidingen die elk een bepaald type gas transporteren. In Fryslân zijn drie verschillende typen aardgas aanwezig. Dit zijn: hoog calorisch gas (H-gas), NGT-gas (aardgas niet afkomstig uit het Groningenveld maar met een iets lagere kwaliteit dan het meeste H-gas) en Groningen-gas (G-gas). Vanuit het HTL wordt G-gas verder getransporteerd binnen Fryslân door het RTL (het regionale transportleidingennet) dat eveneens in beheer is van GTS.

De verdere distributie van gassen wordt verricht door de regionale netbeheerders. In de provincie Fryslân zijn dit Liander en Stedin. De gehele opbouw van de gasnetten wordt weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19. Het hoofdtransportleidingennet en regionaaltransportleidingennet voor gas in Fryslân



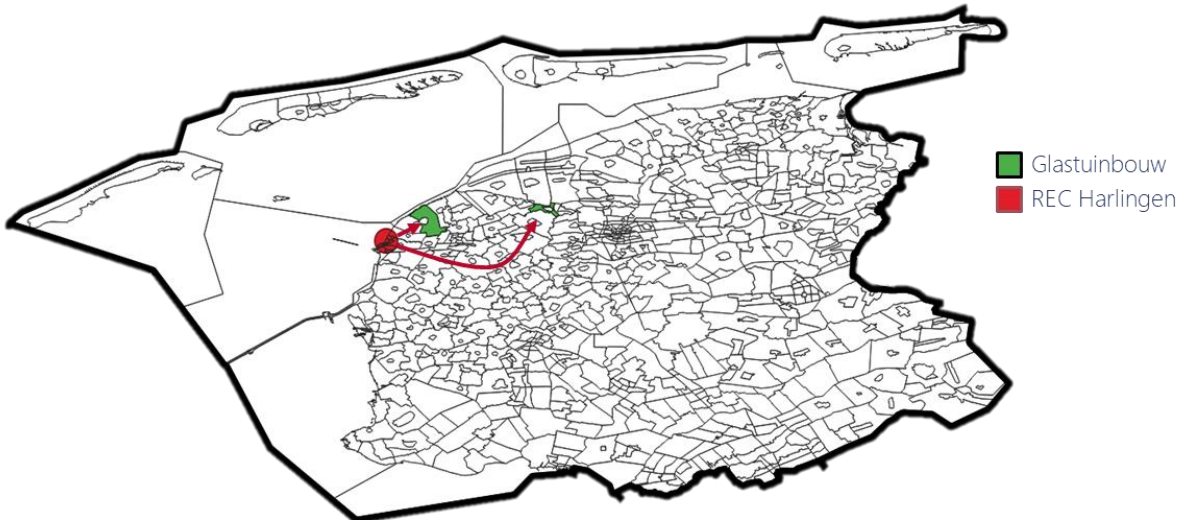
Figuur 20. Verschillende typen gasnetten in Nederland

Ontwikkelingen in de gasnetten

De energietransitie heeft zijn weerslag op de gasnetten. Allereerst neemt de vraag naar methaan af. Daarnaast wordt er meer gebruik gemaakt van groen gas. De invoeding van gas verandert het karakter van het gasnet naar een meer decentraal systeem.

Naast de gasnetten voor het toevoeren van energie, zijn nieuwe netten voor CO_2 te verwachten. De Port of Harlingen heeft een grote uitstoot van CO_2 door de afvalverbranding van de REC. Afvang van de CO_2 uit de rookgassen van de REC (en bij toekomstige bronnen) betekent een significante reductie van de uitstoot van CO_2 indien het afgevangen CO_2 nuttig kan worden gebruikt of voorkomen kan worden dat het in de atmosfeer terecht komt. Momenteel lijkt het mogelijke aanbod aan gezuiverd CO_2 te groot zijn voor de vraag in de regio. Tevens kost CO_2-afvang veel elektriciteit wat bij mogelijke schaarste van (duurzame) elektriciteit kan betekenen dat er keuzes gemaakt moeten worden tussen de verschillende verduurzamingsmogelijkheden.

Er is vraag naar zuiver CO_2 in de glastuinbouw in het nabijgelegen Sexbierum. Afgevangen en gezuiverd CO_2 kan mogelijk ook (permanent) ondergronds worden opgeslagen in aquifers, gedepleteerde gasvelden of zoutcavernes. Hier is al veel onderzoek naar gedaan in Nederland, bijvoorbeeld in het nationale CATO programma, maar grootschalige toepassing is vooralsnog niet gerealiseerd in Nederland.



Figuur 21. Mogelijke uitkoppeling van CO_2.

Er is momenteel nog geen waterstofnetwerk aanwezig in Fryslân. Wel wordt er gewerkt aan de landelijke waterstofbackbone die naar verwachting in 2027 operationeel zal zijn. Binnen de provincie zal de waterstofbackbone naar verwachting van Grijpskerk (Groningen) via Kootstertille en Oldeboorn naar Workum lopen (zie Figuur 22). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de huidige grote leidingenbundel die in Fryslân aanwezig is tussen Grijpskerk en Workum. De grote leidingenbundel bestaat uit drie grote parallelle leidingen waarvan één leiding zal worden omgezet naar waterstof. De capaciteit van de waterstofbackbone zal circa 10 GW bedragen. Dit betekent dat er zeer grote volumes waterstof getransporteerd kunnen worden door Fryslân.

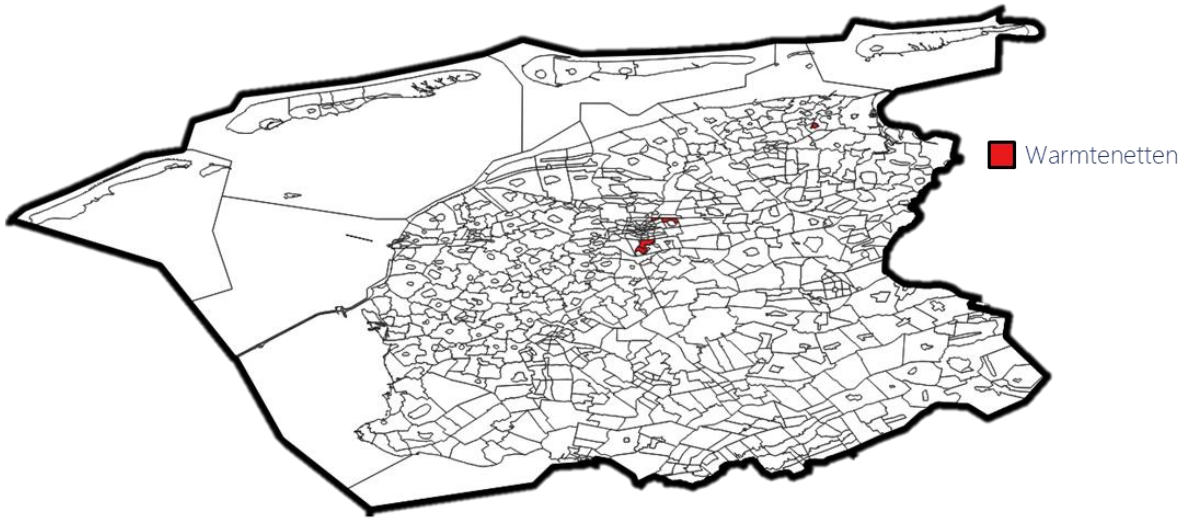


Figuur 22. Verwachtte verbinding waterstofbackbone

Naast de aanleg van de waterstofbackbone is er een kleine vraag naar waterstof vanuit de mobiliteitssector. Momenteel wordt er een waterstoftrein tussen Leeuwarden en Groningen getest. Op den duur zou deze waterstoftrein de huidige dieseltrein kunnen vervangen. Hierdoor ontstaat een grotere vraag naar waterstof. Deze waterstof zal door Engie via tankwagens geleverd worden.[13] Op de lange termijn zal dit wellicht aangeleverd kunnen worden via waterstofleidingen.

5.3 De warmtenetten

Figuur 23 geeft de huidige warmtenetten in Fryslân weer. Rondom Leeuwarden zijn twee warmtenetten in bedrijf en op Vlieland een kleinschalig warmtenet. Fryslân is een dunbevolkte provincie, waardoor er van oudsher minder aandacht was voor collectieve warmtebronnen. De bestaande warmtenetten in Leeuwarden worden gevoed door verschillende bronnen. De warmtekrachtkoppeling (WKK) op aardgas in Camminghaburen voedt het lokale warmtenet. Het warmtenet in Zuidlanden wordt gevoed door een ketel op biogas[14]. Op Vlieland wordt het warmetnet verwarmd met een gasketel, maar zal in 2022 gevoed worden door zonthermie.

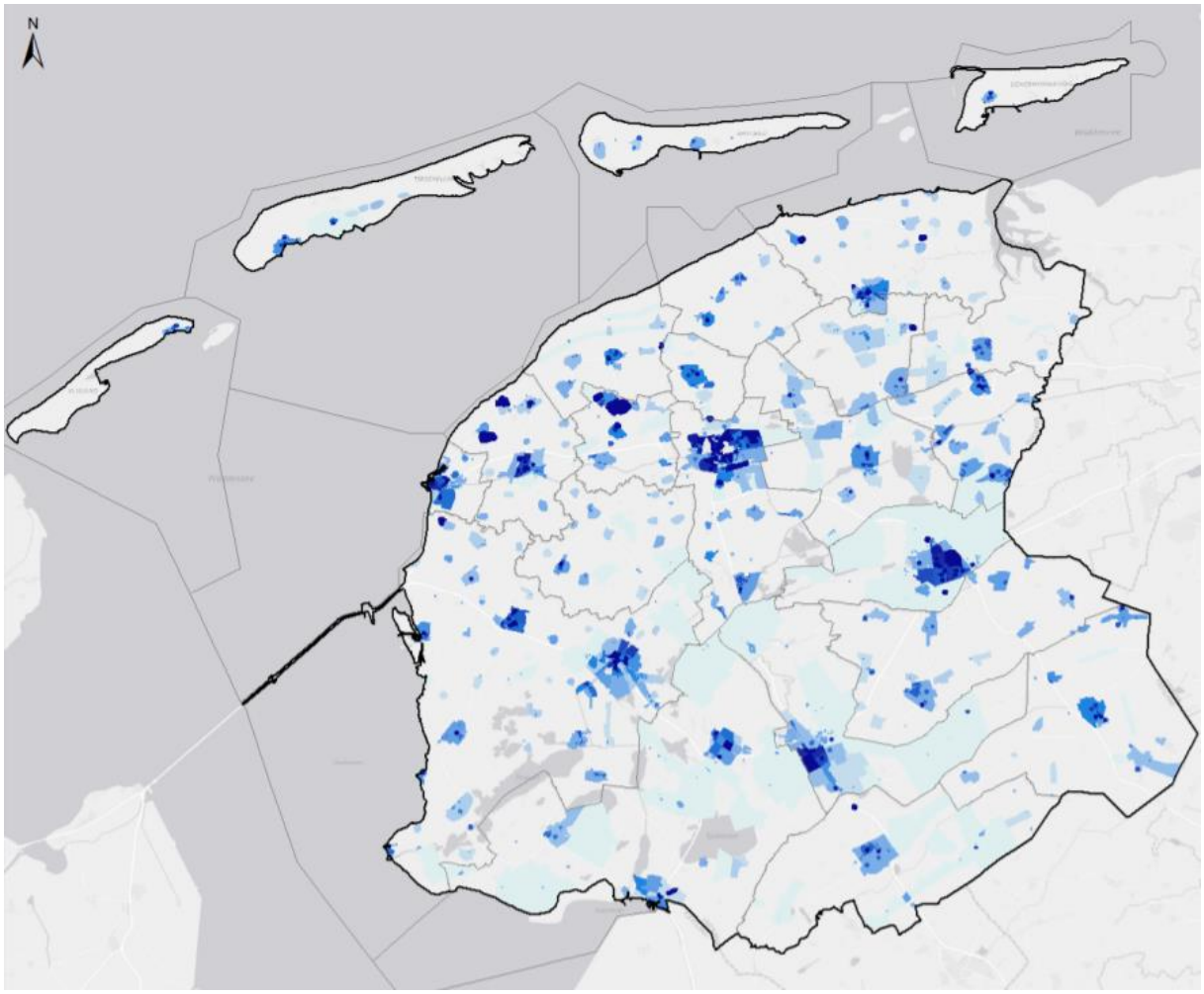


Figuur 23. Warmtenetten in Fryslân

In het kader van de energietransitie krijgen warmtenetten meer aandacht. Onderzoeken van CE Delft[15] en Royal Haskoning DHV[16] hebben aangetoond dat warmtenetten in combinatie met geothermie, lokale restwarmte en aquathermie wel degelijk potentieel hebben in dorps- en stadskernen. Vooral geothermie heeft grote potentie in Fryslân.

De belangrijkste voorwaarde is dat de dichtheid van warmtevragers hoog is zodat het rendabel blijft om een warmtenet aan te leggen. Deze dichtheid wordt weergegeven in Figuur 24.

[13] https://www.ovpro.nl/trein/2020/09/30/groningen-gaat-dieseltrein-vervangen-door-waterstoftrein/?gdpr=accept
[14] https://ennatuurlijk.nl/warmtenetten/leeuwarden
[15] CE Delft (2018). Warmtekaart provincie Fryslân
[16] Royal Haskoning DHV (2017). Warmte-inventarisatie Fryslân



Figuur 24: Dichtheid warmtevraag op een relatieve schaal. (lichtblauw, bijna geen warmtevraag) tot 100 (donkerblauw, hoge concentratie warmtevraag). Bron: Royal Haskoning DHV

Ontwikkelingen in de warmtenetten

In Leeuwarden zijn de eerste proefboringen uitgevoerd om de potentie van geothermie te onderzoeken. Mochten de proefboringen een positieve uitkomst hebben, dan zal gestart worden met de aanleg van een warmtenet waarmee 6000 tot 8000 woningen duurzaam van warmte voorzien kunnen worden.[17]

Ook in andere gemeenten worden voorbereidingen getroffen voor de aanleg van warmtenetten. In onder andere Bolsward, Heeg, Vlieland, Terschelling, Sneek, Drachten, Heerenveen en Balk is dit het geval. De warmtebronnen zijn divers en zijn nog niet zeker. Heerenveen onderzoekt de potentie van een warmtenet op basis van restwarmte en geothermie. Drachten overweegt een warmtenet op basis van restwarmte. Voor de overige projecten lijkt aquathermie de meest waarschijnlijke bron.

[17] https://warmtevanleeuwarden.nl/tijdpad/

6. De scenario's en de regionale distributienetten

In dit hoofdstuk wordt de koppeling gemaakt tussen de opgestelde scenario's en de impact hiervan op het energiesysteem. Er wordt een beschrijving gegeven van de knelpunten en de effecten die optreden in de verschillende scenario's.

6.1 Knelpunten in de netten

Een knelpunt in het elektriciteitsnet wordt officieel gedefinieerd als station of verbinding waarbij de netbeheerder op enig moment niet aan de vraag naar transportcapaciteit kan voldoen. Dit kan in de praktijk bijvoorbeeld voorkomen door het overschrijden van de maximale capaciteit van een station, een te groot spanningsverval, of geen aansluitmogelijkheden. In deze studie is er puur naar de stationscapaciteiten gekeken, en daarmee worden mogelijke spanningsproblemen potentieel over het hoofd gezien die voor de lange dunne netten van Friesland voorzien worden. Er wordt daarnaast 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 duurzame opwek.

Uit de doorrekening van Liander is per station (koppel- en MS stations), voor elk uur van het jaar, de gevraagde en aangeboden hoeveelheid elektriciteit bepaald. Door deze hoeveelheden te vergelijken met de capaciteit van de stations zijn de knelpunten ten aanzien van de capaciteit 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. Bij grote projecten met aansluitingen groter dan 80 MW wordt 90% direct naar het hoogspanningsnet geleid, en wordt maar 10% voorzien op het distributienet te 'landen'.

Het distributienet is op HS- en MS-niveau doorgerekend waarbij de knelpunten zijn geïdentificeerd. Hierbij is gefocust op de stations en niet op de verbindingen (kabels) tussen de stations. Voor het LS-net is een kwalitatieve analyse gedaan. Hierna wordt dieper ingegaan op de knelpunten, die per spanningsniveau worden behandeld.

Toelichting bij de doorrekening van de scenario's door Liander

- Voor de doorrekening van Liander is uitgegaan van de huidige netsituatie zonder geplande investeringen.
- In het Nationale en Europese scenario is een modernisering van de Bergumcentrale verondersteld. Het effect van de Bergumcentrale is meegenomen in de scenario's, maar het effect is buiten de doorrekeningen van de netbeheerders gelaten, omdat het als een zogenaamde 'systeemflex'-component er apart in wordt gezet (Gas-to-Power).
- Er is een limiet gebruikt van 80 MW voor grote projecten in de segmenten zonneweides, wind op land, industrie en energiecentrales. Alle projecten boven 80 MW zijn in de berekeningen voor 90% aangesloten op het net van TenneT en 10% op het distributienet van Liander.
- Grootschalige opwek is aangesloten op koppelstations (HS-stations). In de praktijk is dit niet altijd realistisch omdat de afstand tot een koppelstation te groot kan zijn voor een rendabele businesscase vanwege een te dure kabel.

Voordat de resultaten van de systeemstudiescenario's worden doorlopen, is het goed om de huidige staat van het elektriciteitsnet te schetsen. Het huidige elektriciteitsnet in Friesland kent grote uitdagingen. Er is op verschillende locaties transportschaarste afgekondigd door Liander (zowel afnemen als terugleveren) en TenneT (terugleveren). Nieuwe grootzakelijke klanten kunnen in die gebieden geen aansluitingen op het net krijgen. Wegens de relatief dunne netten met lange kabels is het daarnaast moeilijk om de spanning te reguleren binnen de gewenste bandbreedte. Deze spanningsproblematiek vindt ook plaats op laagspanningsnetten. Dit kan betekenen dat omvormers afschakelen.

Liander investeert daarom nu al in verschillende netversterkingen op koppelstations en het MS-net en LS-net. Zie voor een lijst van geplande stationsverzwaringen het ontwerp-IP 2022 van Liander.[18] Voor het MS-net is een intensief programma opgezet ('NuLelie') waarmee het net niet alleen verzwaard, maar ook opnieuw geconfigureerd wordt, om zo goed mogelijke op de toekomst uitgerust te zijn.

Deze maatregelen zijn naar het oordeel van de netverantwoordelijken van Liander voldoende om het 2030-scenario van deze systeemstudie te faciliteren. Of dit ook alle afgekondigde transportschaarste opheft, hangt onder andere af van de infrastructurele aanpassingen die TenneT verwacht te plaatsen. De geplande netverzwaringen van Liander vangen ook een deel van de extra belasting in 2050 op, maar zijn niet altijd voldoende. Op het hoogste stationsniveau (110 kV-installaties) zijn er mogelijk verschillende stationsuitbreidingen nodig en of enkele nieuwe stations. Voor het MS-net verschilt de toekomstvastheid na 2035 tussen de geschetste scenario's, en is er een grote kans dat er opnieuw netverzwaringen nodig zijn om 2050 te faciliteren.

6.1.1 Koppelstations

Koppelstations verbinden het distributienet van Liander met het transportnet van TenneT. Liander ziet op dit moment al transportschaarste. Doordat Liander al eerder forse knelpunten verwacht op koppelstationniveau wordt er nu al fors geïnvesteerd in het verzwaren en uitbreiden van de assets in Fryslân. Dat is mede nodig om geplande investeringen in het middenspanningsnet voldoende aansluitcapaciteit te bieden. Vanwege capaciteitsproblemen door zowel levering als opwek zijn er al plannen om uit te breiden of te vernieuwen bij de koppelstations: Oudehaske, Marnezijl (Bolsward), Lemmer, en Drachten; vanwege levering daarbovenop bij Dokkum; en vanwege opwek daarbovenop bij Herbayum, Bergum, Heerenveen, Leeuwarden, Sneek, Rauwerd, Schenkenschans, en Gorredijk. Er zijn dus bij maar liefst dertien van de vijftien koppelstations investeringen gepland. Dit is onderdeel van de huidige en toekomstige investeringsplannen van Liander.

In alle 2050-scenario's ontstaan veel knelpunten, gegeven de huidige capaciteit van de koppelstations. De geplande uitbreidingen zijn dus niet meegenomen in de doorrekeningen. Tabel 4 geeft een overzicht van het aantal vraag- en aanbodknelpunten op de koppelstations in de 2050-scenario's. In het scenario Regionale sturing zijn veertien van de vijftien koppelstations overbelast. Dit kan enerzijds komen door een te groot aanbod van elektriciteit, te grote vraag naar elektriciteit of beide. Het enige koppelstation dat niet overbelast is in het scenario Regionale sturing heeft een maximale belasting van ruim 90% van de stationscapaciteit. Met andere woorden, op dit koppelstation is weinig capaciteit meer beschikbaar omdat het zwaar belast wordt. In het scenario Nationale sturing zijn alle vijftien koppelstations overbelast. De aanbodknelpunten worden veroorzaakt door het sterk toegenomen hernieuwbare vermogen. De scherpe pieken van zonne-energie leiden echter vaker tot knelpunten dan windenergie. Vraagknelpunten nemen vooral toe door de sterk toegenomen elektriciteitsvraag vanuit de gebouwde omgeving.

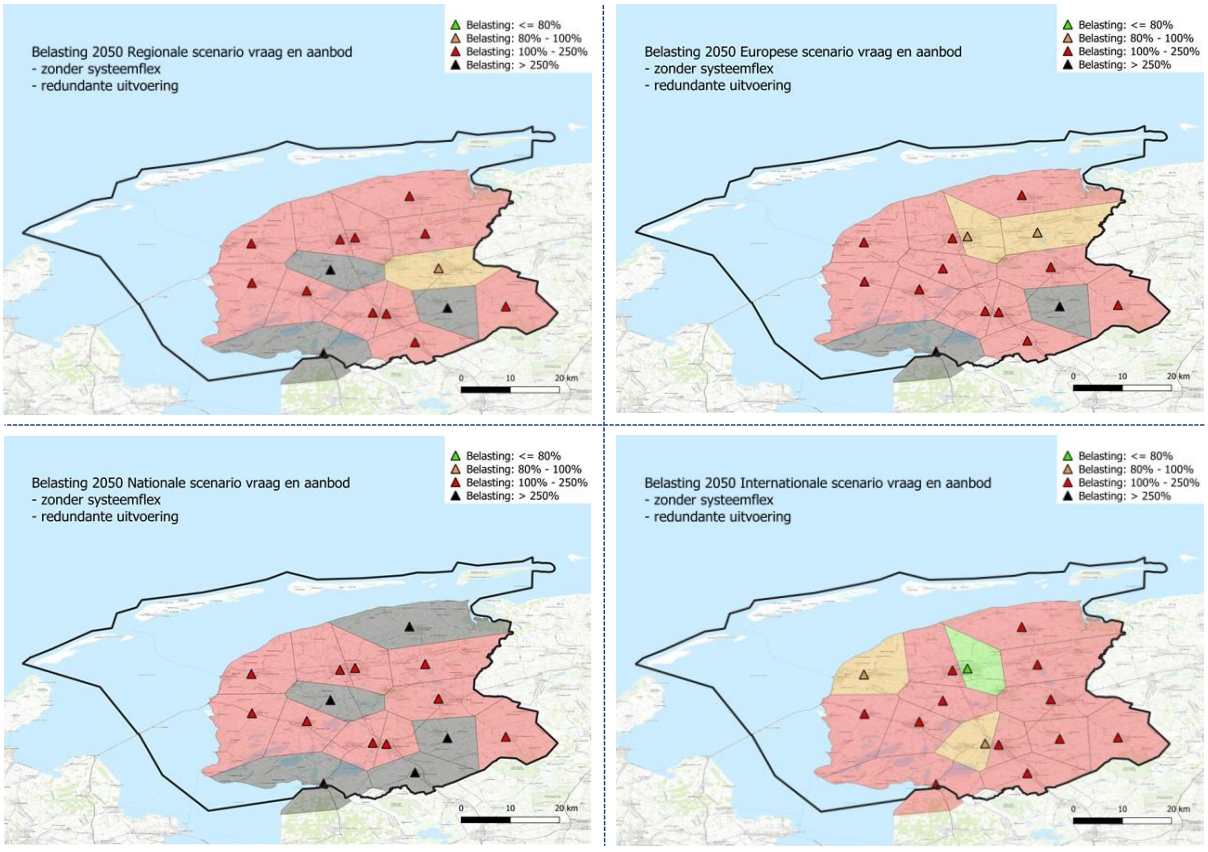
In de scenario's Europese CO_2-sturing en Internationale sturing is het aantal knelpunten op de koppelstations lager dan in de scenario's Regionale en Nationale sturing. Dit komt door een grotere vraag naar elektriciteit en een kleinere hoeveelheid hernieuwbaar opwekvermogen dat in deze scenario's is verondersteld, wat elkaar beter in balans houdt dan het de scenario's Regionale en Nationale sturing. Daarnaast is er een verschil zichtbaar in het aantal aanbod- en vraagknelpunten tussen enerzijds de scenario's Regionale en Nationale sturing en anderzijds de scenario's Europese CO_2-sturing en Internationale sturing. Dit verschil wordt eveneens veroorzaakt door een kleiner aanbod van elektriciteit en een grotere vraag naar elektriciteit in het Europese en Internationale scenario.

[18] IP Elektriciteit en Gas (liander.nl)

Tabel 4. Aantal knelpunten op koppelstations

Scenario	Aanbodknelpunten	Vraagknelpunten	Aanbod- of vraagknelpunt
2050 Regionaal	13	7	14
2050 Nationaal	15	7	15
2050 Europees	10	8	13
2050 Internationaal	8	9	12

Figuur 25 geeft de relatieve overbelasting weer ten opzichte van de stationscapaciteit voor de vier scenario's in 2050, waarbij de grootste overbelasting (door vraag of aanbod) is aangegeven. Alle gebruikte stationscapaciteiten zijn indicatief en zijn niet gecorrigeerd voor geplande uitbreidingen zoals die nu al voorzien zijn. Ook is er uitgegaan van een redundant systeem voor vraag- en aanbodknelpunten. Bijna alle stations zijn overbelast of zitten daar dicht tegenaan. Voor het Regionale en Nationale scenario geldt dat de piekbelasting voornamelijk wordt veroorzaakt door het grote aanbod van hernieuwbare energie. De scenario's Europese CO_2-sturing en Internationale sturing laten knelpunten zien die veroorzaakt worden door zowel vraag- als aanbod van elektriciteit.



Figuur 25. Aanbod- en vraagbelasting in 2050 op koppelstations. *De Waddeneilanden zijn aangesloten op koppelstations Dokkum en Herbayum maar zijn niet voorzien van een kleurcodering.

Een combinatie van vraag- en aanbodknelpunten op hetzelfde koppelstation komt ook voor in de scenario's. Dit betekent dat er op verschillende momenten in het jaar een overschrijding van de piekcapaciteit plaatsvindt die veroorzaakt wordt door aanbod of vraag. Er is in dat geval sprake van een mismatch tussen vraag en aanbod. Een vraagknelpunt ontstaat immers als het aanbod kleiner is dan de vraag en de capaciteit van het koppelstation te klein is om in het schil tussen vraag en aanbod te kunnen voorzien. Tegelijkertijd kampen dezelfde koppelstations ook met aanbodknelpunten, welke ontstaan doordat het aanbod groter is dan de vraag en de capaciteit van het koppelstation kleiner is dan de benodigde transportcapaciteit. Koppelstations Dokkum, Gorredijk, Heerenveen, Lemmer, Rauwerd en Sneek zijn hiervan een voorbeelden.

Koppelstations Lemmer en Marnezijl worden in alle scenario's relatief gezien het zwaarst overbelast. Dit komt omdat het gebied dat aangesloten wordt op beide stations zeer groot is. Koppelstation Lemmer heeft in alle 2050-scenario's voornamelijk te kampen met een overbelasting als gevolg van een grote elektriciteitsvraag uit de gebouwde omgeving. Voor koppelstation Marnezijl vormt met name teruglevering van hernieuwbare elektriciteit een groot knelpunt.

6.1.2 Middenspanning

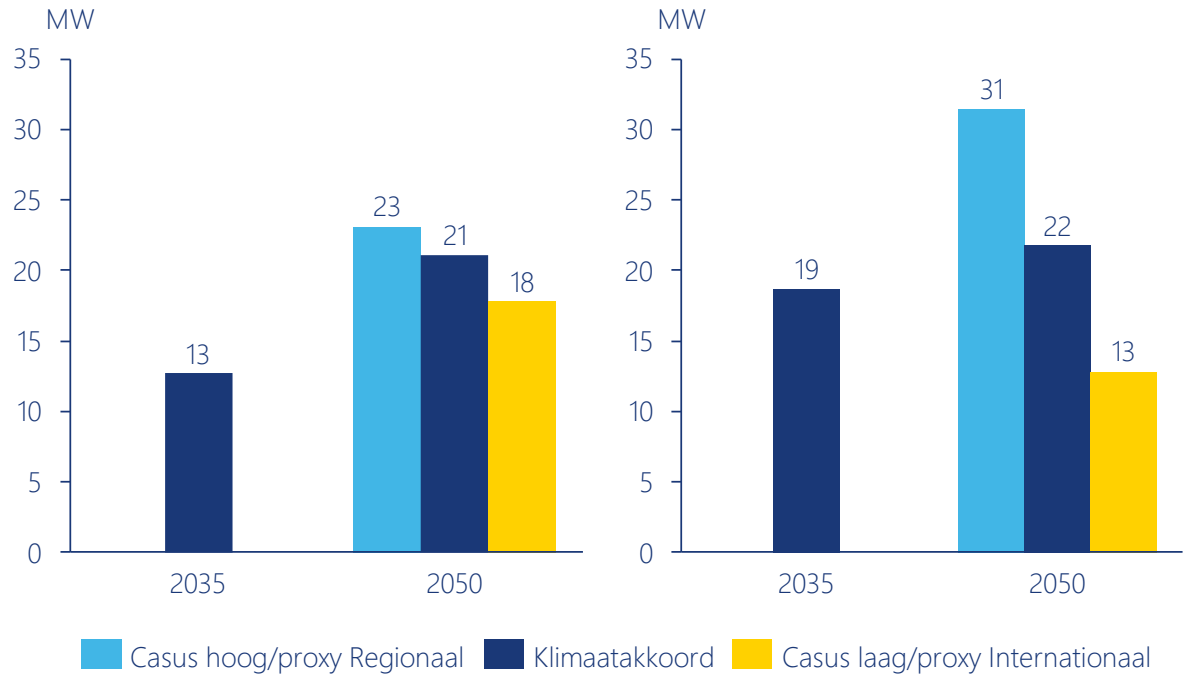
Het middenspanningsnet is zwaar belast in Fryslân. Dit vertaalt zich nu al naar vele knelpunten op middenspanningsstations en -kabels. De transportafstanden in het middenspanningsnet in Fryslân zijn lang vergeleken met andere provincies, wat betekent dat er lange middenspanningskabels aanwezig zijn. Hoe langer de kabels zijn, hoe groter de kans dat de spanning op de kabel afwijkt van de gewenste spanning. Dit wordt spanningsproblematiek genoemd.

Spanningsproblemen worden veroorzaakt door een te groot aanbod van elektriciteit of een te grote vraag naar elektriciteit in combinatie met een (te) lange kabel. Bij een te groot aanbod stijgt de spanning boven de gewenste spanning en bij een te grote vraag naar elektriciteit daalt de spanning onder de gewenste spanning.[19] De spanning kan pas weer op de gewenste spanning worden gebracht bij een station, waardoor lange kabels eerder kampen met spanningsproblematiek.

Liander is daarom reeds gestart met een nieuw netontwerp waarin de huidige topologie van regel- en schakelstations sterk gaat veranderen. Deze nieuwe ontwerpschets wordt toekomstvast richting 2035 aangelegd. Of dit ook toekomstbestendig is voor de wereldbeelden richting 2050 is moeilijk vast te stellen. Het is namelijk nog niet mogelijk om de 2050-scenario's met de nieuwe nettopologie door te rekenen. Er is daarom gekozen voor een casestudie waarin een deel van het Friese middenspanningsnet (twee 20 kV-ringen in de buurt van Waskemeer) is bekeken om de toekomstbestendigheid voor het jaar 2050 te onderzoeken. Hiervoor zijn drie casussen gehanteerd die aansluiten op het scenario van het Klimaatakkoord van Liander gecombineerd met de scenario's van de systeemstudie. De casussen hoog en laag zijn een combinatie van interne prognoses, maar met hoger en lager aanbod van elektriciteit, wat kan worden gezien als een proxy van het scenario Regionale sturing respectievelijk het scenario Internationale sturing. De drie casussen zijn:

- klimaatakkoord (midden scenario van alle ontwikkelingen)
- casus hoog (proxy voor het Regionale scenario)
- casus laag (proxy voor het Interationaal scenario).

[19] De spanningsproblematiek op het laagste spanningsniveau (220 V) kan bijvoorbeeld optreden door het terugleveren van zonnepanelen op daken van woningen. Op zonnige dagen met weinig vraag naar elektriciteit wordt er veel elektriciteit teruggeleverd waardoor de spanning op het laagste spanningsniveau hoger wordt dan 220 V. De spanning mag maximaal op lopen tot 253 V. Wanneer de spanning hoger wordt dan 253 V zal de omvormer van de zonnepanelen zichzelf uitschakelen en kan er geen elektriciteit terug worden geleverd aan het net. Ook kan het voorkomen dat er teveel vraag naar elektriciteit is. In dat geval daalt de spanning onder 220 V op het laagste spanningsniveau en mag niet verder dalen dan 207 V.



Figuur 26. De totale belasting van de twee 20 kV-ringen in Waskemeer in het scenario voor 2035 en elk van de drie door Liander gehanteerde scenario's voor 2050.

In Figuur 26 wordt de totale belasting van de twee 20 kV ringen in de buurt van Waskemeer weergegeven. Het gaat hierbij niet om de belasting op een specifiek schakel- of regelstation, maar om de som van de belasting op alle schakel- en regelstations. In het scenario van het Klimaatakkoord wordt een totale piekbelasting door elektriciteitsvraag verwacht van 13 MW op alle schakel- en regelstation op deze twee 20 kV ringen in 2035. In 2050 wordt in het scenario van het Klimaatakkoord een belasting verwacht van 21 MW. Dit wil zeggen dat er nog een forse groei te verwachten is naar de vraag naar elektriciteit in de periode 2035-2050. Het aanbod van elektriciteit zorgt voor een totale belasting van 19 MW in het scenario van het Klimaatakkoord, welke groeit naar 22 MW in 2050. De groei in het aanbod van elektriciteit in de periode 2035-2050 is daardoor kleiner dan de groei van de elektriciteitsvraag.

Ten opzichte van 2035 wordt er circa 20% meer belasting verwachting in 2050 volgens het scenario van het Klimaatakkoord. In de praktijk zullen er plaatselijk de nodige verzwaringen (distributieruimtes, en 20kV of 10kV-netverzwaringen) nodig zijn om deze extra belasting te accommoderen. Wanneer de ontwikkelingen verlopen volgens het scenario Regionale sturing, dan zal het net 2050 circa 70% meer belasting moeten faciliteren dan het net dat nu gereed wordt gemaakt voor 2035. Er zullen stevige netverzwaringen nodig zijn na 2035 om deze belasting te accommoderen in dit scenario.

Kortom, de problematiek in het middenspanningsnet is momenteel nijpend, maar wordt door het reeds geïnitieerde investeringsplan van Liander grotendeels verholpen tot 2035. Om en nabij 2035 kunnen er knelpunten op het Friese middenspanningsnet ontstaan. Voor de periode 2035-2050 zullen de mogelijke knelpunten afhankelijk zijn van de richting waarin de energietransitie zich beweegt.

6.1.3 Laagspanning

Exacte inschattingen van de overbelasting op het laagspannings (LS)-net[20] 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 ons 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 namelijk na 2025 (en waarschijnlijk echt 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 Liander lokaal ook al eerder capaciteitsproblemen tegen zal komen.

Problematiek in cijfers

Op dit moment lopen er binnen Liander de eerste studies om deze trends met cijfers te onderbouwen, en hiermee de juiste investeringen te maken. Omdat deze studies nog in de verkennende fase zitten, en er daarom nog met relatief grote onzekerheden gewerkt wordt, is het lastig om ver in de toekomst (>2030) te kijken. Toch geven de eerste schetsen een ontluisterend beeld. Voor het jaar 2030 verwacht Liander grofweg dat in 5% tot 40% van het LS-net zal moeten worden ingegrepen. Dat kan voor Fryslân iets lager uitkomen door het landelijke karakter, maar dat hoeft niet zo te zijn. Door het landelijke karakter kunnen namelijk lokaal de LS netten lang zijn, waardoor niet alleen de maximale spanning door aanbod van elektriciteit wordt overschreden, maar ook de minimale spanning door vraag naar elektriciteit van elektrische voertuigen, elektrische boilers en warmtepompen. Hierdoor kunnen spanningsklachten ontstaan. Wel is het zo dat bij overschrijdingen van de minimale spanning minder klanten daarvan melding maken (er is geen signalering die wel aanwezig is bij zon-PV). Waar deze spanningsproblematiek optreedt is gebiedsafhankelijk.

Huidige strategie

In de praktijk betekent dit dat Liander als regionale netbeheerder proactief de wijk in wil gaan. Wetende dat de uitdagingen van zowel spanningsklachten als capaciteitsproblemen in de nabije toekomst gaan spelen, is het verstandig om de LS-netten nu al toekomstbestendig te maken. Dit betekent dat Liander in de praktijk (bij reconstructie of nieuwbouw) niet simpelweg het net kan verzwaren om de spanningsproblemen van vandaag op te lossen, maar de netten moeten nu al worden uitgerust om de totale problematiek van overmorgen aan te kunnen.

6.2 Oplossen van knelpunten in het regionale distributienet

In paragraaf 6.1 is de impact van de scenario's op het distributienet van Liander beschreven. Op het middenspanningsnet is de situatie nu al nijpend. Dit geldt voor het terugleveren van elektriciteit in heel Fryslân en voor het afnemen van elektriciteit in delen van Fryslân. De knelpunten vergen daarom nu al maatregelen, waarvoor de investeringen door Liander reeds ingang zijn gezet. De scenario's voor 2050 laten daarnaast zien dat de toenemende mate van aanbod en vraag naar elektriciteit uiteindelijk ook tot grote knelpunten leiden op de koppelstations. Het is de vraag of de huidige investeringen van Liander voor voldoende capaciteit zorgen op koppelstation in 2050. Goede monitoring van de ontwikkelingen is daarom cruciaal.

[20] Bestaande uit middenspanningsruimtes en ls-kabels

Deze paragraaf bespreekt de verschillende oplossingsrichtingen van de knelpunten. Daarbij zijn twee typen oplossingsrichtingen kwantitatief geanalyseerd, te weten flexibiliteitsoplossingen en het verlaten van redundantie. Het effect van andere oplossingsrichtingen is kwalitatief 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 7.

Flexibiliteitsoplossingen voor lokale energiebalans

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 in alle scenario's groeit, en optreedt bij alle netvlakken van het elektriciteitsnet ontstaat er lokaal een sterk toegenomen transportbehoefte. Systeemflex kan een bijdrage leveren aan het beperken van de lokale transportbehoefte en tevens een bijdrage leveren aan het handhaven van de systeembalans op nationale schaal.

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 betekent in deze context: de mogelijkheid om op specifieke momenten de vraag en/of aanbod naar elektriciteit te vergroten en/of verkleinen. Flexibiliteit kan een gunstig effect hebben 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 flexibiliteit toegevoegd om de pieken van vraag en aanbod te verlagen. In deze systeemstudie is onderscheid gemaakt tussen twee type flexibiliteitoplossingen, namelijk plaatsgebonden flexibiliteit en systeemflexibiliteit.

Plaatsgebonden flex

Plaatsgebonden flexibiliteit kan de onbalans tussen vraag en aanbod verkleinen en daardoor ook zorgen voor een minder grote belasting van het elektriciteitsnet. Plaatsgebonden flexibiliteit kan zowel expliciet zijn, doormiddel van actieve aansturing, als impliciet door nieuwe type tarifering (statische/dynamische prijsprikkels), aansluitafspraken of actief beleid dat plaatsgebonden flexibiliteit stimuleert. Plaatsgebonden flexibiliteit is voornamelijk, maar niet uitsluitend, te vinden in de lager gelegen netvlakken. Binnen deze categorie vallen technologieën zoals slim laden van elektrische voertuigen en vehicle-to-grid (V2G), het gebruik van kleinschalige batterijen (wijk- en thuisbatterijen), het aftoppen van piekproductie (curtailment) van zonnepanelen en power-to-heat (P2H) in combinatie met warmtebuffers.

De verwachting is dat plaatsgebonden flexibiliteit de komende jaren steeds nadrukkelijker een rol zal krijgen, mits dit door het Rijk, de gemeente, provincie en netbeheerder voldoende wordt gestimuleerd/beloond en door marktpartijen mogelijk wordt gemaakt of dat de markt voor flexibiliteit dusdanig interessant is geworden dat stimulering niet meer nodig is. 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 flexibiliteit ook impliciet of expliciet aan te wenden. Denk aan slim laden in de publieke transportsector en logistieke sector en slimme aansturing (demand response) bij de industrie.

Systeemflex

In de 2050-scenario's is naast plaatsgebonden flex ook systeemflex meegenomen. In 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 aanbodpieken om extra elektriciteit wordt gevraagd.
2 Gas-to-power (G2P, elektriciteitscentrales**).** Gas-to-power betreft de productie van elektriciteit uit een gas, zoals methaan (bijvoorbeeld aardgas of groen gas) of waterstof, waarmee tijdens vraagpieken, extra elektriciteit wordt geleverd. Dit kan zowel een gascentrale als een brandstofcel zijn.
3 Grootschalige batterijen. Grootschalige batterijen worden ingezet om te laden tijdens aanbodpieken en te ontladen tijdens vraagpieken.
4 Curtailment. Curtailment betreft het reduceren van de opwek op piekmomenten om de piekbelasting van grote zonne- en windparken te verkleinen.

Systeemflex is in 2050 toegevoegd op het niveau van de koppelstations. 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 om de netbalans te handhaven, en uit welk van de vier systeemflextechnieken dit moet bestaan.

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 Fryslân toegevoegd. Het model is tot stand gekomen uit een samenwerking tussen alle netbeheerders in het kader van de II3050-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 Fryslân evalueert het model ook hoe het transport van elektriciteit over het gehele transportnet van TenneT (dus zowel binnen als buiten Fryslân) 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.
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.

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 bezien 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 juiste 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. De gestandaardiseerde landelijke profielen voor P2G hadden een zeer nadelige uitwerking op de koppelstations in Fryslân. Daarom is besloten om P2G niet mee te nemen in de resultaten van Liander. Bij TenneT is P2G wel meegenomen. Feitelijk komt dat neer op de aanname dat de systeemflex-installaties aan de TenneT zijde van de koppelstations zijn geplaatst. Deze beslissing is gemaakt in samenwerking met Liander en TenneT.

Disclaimer #5

Als systeemflex ingezet wordt op basis van prijsprikkels, kan dat ook op momenten de balans op het hoogspanningsnet verslechteren. Dat komt omdat de marktprikkels niet in lijn zijn met de gewenste flexibilteit. In de marktprikkels is de locatie van de elektriciteit namelijk geen factor. Hierdoor kan het gebeuren dat flexibiliteit op een andere plek geleverd wordt dan dat deze nodig is.

Disclaimer #6

Systeemflex per koppelpunt wordt gemodelleerd op basis van de input van ETM. In de praktijk worden grote aansluitingen niet volledig op het Liander net verwacht, want gaat een deel direct naar het hoogspanningsnet (typisch vanaf 80 MW piek op de segmenten zonneweides, wind op land, industrie, energiecentrales). Resultaat is dat er een mismatch is tussen de residuele vraag waarop de flexibiliteits-analyse is gebaseerd, en de residuele vraag

Redundantie verlaten

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. Bij sommige stations en verbindingen is het mogelijk om de ingebouwde redundantie los te laten.

Voor opname van opgewekte elektriciteit kunnen deze redundante onderdelen ingezet worden, mits het specifieke ontwerp van het station dit toelaat. Er wordt dan gesproken van het verlaten van de redundantie in het systeem. 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. In de praktijk is het verlaten van redundantie alleen toepasbaar voor grootschalige opwek, omdat er contractuele nuances tegenover moeten staan en er afschakelmogelijkheden moeten zijn. Redundante systemen kunnen niet worden 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. Redundantie verlaten op het 220 kV-netvlak is niet toegestaan.

Netverzwaring en uitbreiding

De traditionele manier om knelpunten te voorkomen, is door het net uit te breiden (nieuwe stations en verbindingen) en het net te verzwaren (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 deze onontbeerlijk zijn, maar om ook de andere oplossingsrichtingen slim in te zetten om te voorkomen dat de opgave te groot en de kosten te hoog worden voor de netbeheerder. 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 overstijgen.

Systeemflex wordt in de praktijk echter nog niet ingezet. Netverzwaringen zullen daarom in de hedendaagse praktijk worden uitgevoerd, ongeacht de potentie van systeemflex. Dit komt met name vanwege de onzekerheid die systeemflex momenteel kent. De aangenomen vermogens voor systeemflex zijn erg hoog, de businesscase rekent nog niet rond, en rondom de praktische inzet van systeemflex is veel onzekerheid.

Andere oplossingsrichtingen voor de provincie Fryslân

- Hybridisering: Elektrificatie van de gebouwde omgeving leidt in veel scenario's tot knelpunten. Door hybride warmtepompen toe te passen kan de er overgeschakeld worden naar gas als het elektriciteitsnet te zwaar wordt belast.
- Power-to-heat in combinatie met seizoensopslag: Door overschotten van elektriciteit in de zomer te bufferen in seizoensopslagen kan het overschot van elektriciteit lokaal worden opgevangen en is er minder behoefte aan elektrificatie van de gebouwde omgeving, waardoor de impact op het elektriciteitsnet wordt verminderd.

- Meer wind dan zon: PBL[21] 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[22] waarin wordt gesteld dat een verhouding van 1:1 (zoals ook het geval in Fryslân 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%)[23] 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.
- Geografisch vraag-aanbod bij elkaar brengen: De noodzaak om elektriciteit te transporteren kan worden beperkt door vraag en/of aanbod dichter bij elkaar te brengen. Denk bijvoorbeeld aan de 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).

Een overzicht van alle oplossingen wordt gegeven inFiguur 27. Een toelichting van alle oplossingen wordt gegeven in Bijlage 7.

[21] PBL, oktober 2020, Regionale Energiestrategieën, een tussentijdse analsye
[22] Enpuls, maart 2021, MKBA inpassing zon-en-wind-op-land
[23] Netbeheerder Nederland. https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Netcapaciteit_60_a7ae27bf52.pdf

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
Curtailment	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 aanbodknelpunten 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
Vraagsturing (op afname)	Bij veel vraag wordt er vraag afgeschakeld en verplaatst naar later tijdstip. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.	◔	◑	●	◑	Afname
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

Figuur 27. Overzicht van oplossingen om knelpunten in het elektriciteitsnet te voorkomen. De vulling van de cirkels geeft aan in hoeverre dit criterium van toepassing is (vol = in hoge mate van toepassing; leeg = niet van toepassing)

6.3 Verminderen van knelpunten door het verlaten van redundantie en toepassen van systeemflex

In deze paragraaf wordt de invloed van oplossingen die binnen het elektriciteitsnet liggen kwantitatief onderzocht.

6.3.1 Effecten van systeemflex en verlaten redundantie (N-0)

Tabel 5 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 vier de scenario's vermindert het aantal knelpunten drastisch. De impact van het verlaten van de redundantie is vooral in het scenario Regionale sturing groot. Het aantal stations waarop een knelpunt aanwezig is halveert. De impact van systeemflex is beperkt. Alleen in het Internationale scenario heeft de toepassing van systeemflex veel effect. De combinatie van systeemflex en het verlaten van redundantie heeft echter wel veel effect. Doordat er meer capaciteit beschikbaar komt voor de aanbodknelpunten op de stations als gevolg van het verlaten van redundantie en de extra curtailment die bovenop de curtailment van de plaatsgebonden flex komt -en de toepassing van grootschalige batterij waardoor de pieken van zon-PV en wind beter verspreid worden als gevolg van het toepassen van systeemflex- neemt de maximale belasting van de koppelstations af.

Tabel 5. Aantal knelpunten (koppelstations) voor/na inzet van systeemflex en het verlaten van redundantie.

Scenario	Aantal knelpunten zonder systeemflex en N-0	Aantal knelpunten met N-0	Aantal knelpunten met systeemflex	Aantal knelpunten met systeemflex en N-0
2050 Regionaal	14	7	7	7
2050 Nationaal	15	11	14	8
2050 Europees	13	8	12	8
2050 Internationaal	12	9	9	7

De mate waarop systeemflex wordt ingezet bepaalt onder andere hoeveel knelpunten verholpen kunnen worden. Tabel 6 laat zien welke systeemflexvermogens er verondersteld zijn. In de *toelichting en disclaimer systeemflex* is power-to-gas is niet meegenomen in de resultaten van doorrekening van het electriciteitsnet van Liander, omdat power-to-gas juist een negatieve uitwerking had op het aantal knelpunten. In de systeemflexmodellering wordt gestreefd naar een optimale balans op het hoogspanningsnet. Hiervoor wordt een standaardprofiel power-to-gas gehanteerd dat op koppelstationniveau niet altijd een gunstig uitwerking heeft doordat de belasting juist wordt vergroot in plaats van verminderd. Balanshandhaving op het landelijke hoogspanningsnet en lokale congestievermindering zijn namelijk twee verschillende doelen die, zoals blijkt uit deze analyse, niet hand in hand hoeven te gaan.

Tabel 6. Inzet van systeemflex in Fryslân.

	2050 Regionaal	2050 Nationaal	2050 Europees	2050 Internationaal
Curtailment	900 MW	1.400 MW	700 MW	600 MW
Gas-to-power (G2P)	700 MW	700 MW	900 MW	600 MW
Power-to-gas (P2G)	800 MW	1.200 MW	500 MW	300 MW

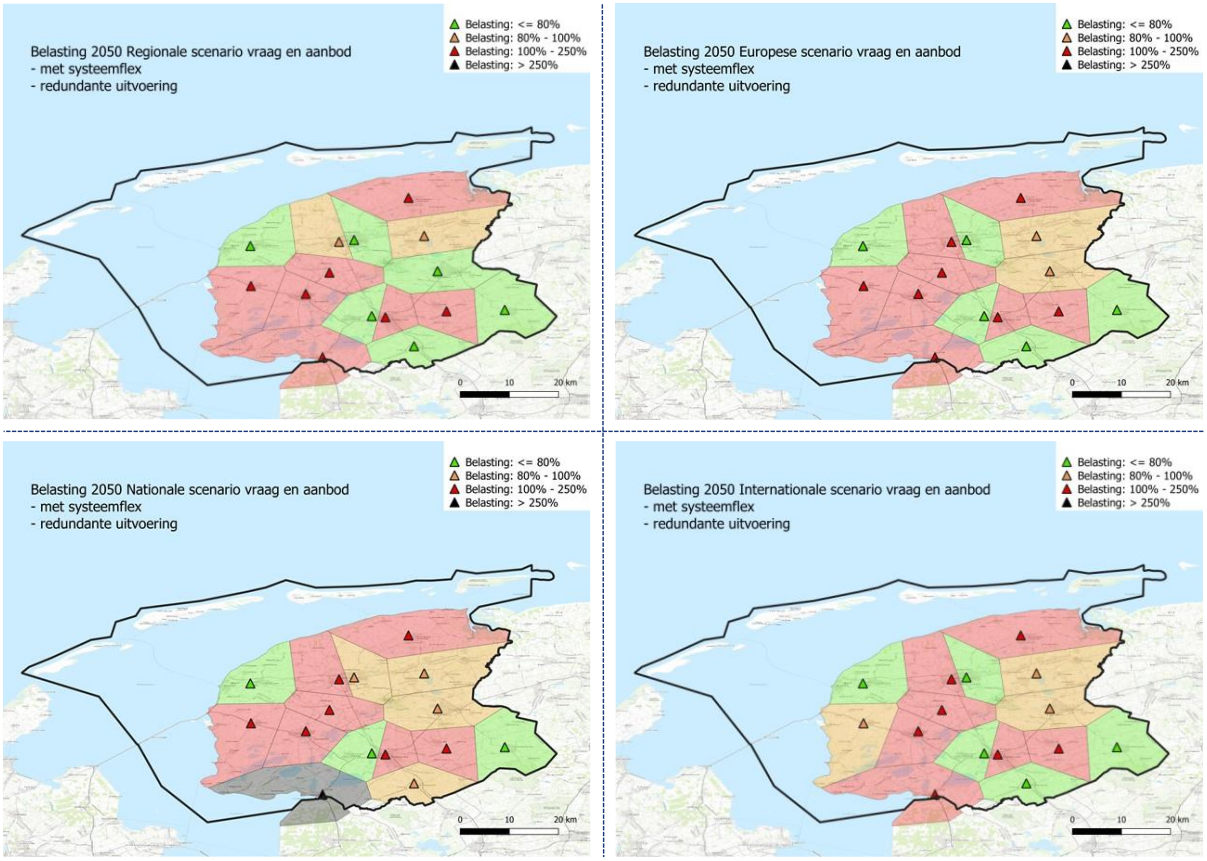
	2050 Regionaal	2050 Nationaal	2050 Europees	2050 Internationaal
Grootschalig batterijopslag	2.100 MW/ 10.700 MWh	2.700 MW/ 19.300 MWh	1.700 MW/ 15.500 MWh	1.600 MW/ 14.700 MWh
Totaal	**4.500 MW**	**6.000 MW**	**3.800 MW**	**3.100 MW**

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 plaatsvindt, hangt af van het scenario. De tabel laat zien dat bij een aantal stations zelfs met het toepassen van systeemflex en het verlaten van de redundante er overbelasting is in alle scenario's. Dit geldt voor de stations Dokkum, Gorredijk, Heerenveen, Lemmer, Rauwerd en Sneek.

Tabel 7. Overzicht koppelstations met capaciteitsoverschrijding na inzet systeemflex en verlaten redundantie (N-0) in alle 2050-scenario's.

#	110 kV-station	Piekbelasting zonder systeemflex en N-0	Piekbelasting met N-0	Piekbelasting met systeemflex	Piekbelasting met systeemflex en N-0
1	Bergum Centrale	88%-190%	83%-127%	85%-133%	85%-96%
2	Dokkum	169%-382%	152%-174%	116%-200%	116%-133%
3	Drachten	93%-132%	93%-115%	76%-97%	76%-97%
4	Gorredijk	206%-559%	137%-279%	108%-312%	104%-155%
5	Heerenveen	148%-200%	142%-160%	112%-142%	112%-142%
6	Herbayum	96%-178%	54%-100%	81%-127%	46%-71%
7	Leeuwarden	78%-147%	74%-97%	84%-152%	67%-100%
8	Lemmer	240%-458%	207%-396%	181%-395%	155%-341%
9	Marnezijl	108%-237%	60%-132%	153%-259%	98%-177%
10	Oosterwolde	107%-203%	53%-101%	81%-133%	40%-66%
11	Oudehaske	87%-196%	52%-98%	41%-127%	38%-63%
12	Rauwerd	195%-481%	149%-240%	114%-314%	114%-158%
13	Schenkenschans	101%-157%	101%-157%	84%-121%	84%-121%
14	Sneek	138%-216%	131%-148%	102%-120%	102%-109%
15	Wolvega	130%-314%	65%-157%	52%-188%	43%-94%

Figuur 28 geeft voor de vier scenario's van 2050 aan waar de knelpunten zich na inzet van systeemflex bevinden.



Figuur 28. Aanbod- en vraagbelasting in 2050 op koppelstations met toepassing van systeemflex en verlaten van redundantie bij aanbodknelpunten. *De Waddeneilanden zijn aangesloten op koppelstations Dokkum en Herbayum, maar zijn niet voorzien van een kleurcodering.

6.4 Netverzwaring en andere oplossingen voor knelpunten in het elektriciteitsnet

Netuitbreiding en netverzwaring

Op basis van Tabel 7 is duidelijk dat er, afhankelijk van het scenario, nog maximaal acht 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. Met het oplossen van de knelpunten op de koppelstations zijn niet altijd de problemen in het elektriciteitsnet verholpen. In het boven- (TenneT) en ondergelegen net (midden- en laagspanning) kunnen zich nog steeds problemen voordoen.

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.

Tabel 8. Overzicht netuitbreiding en verzwaring nadat het verlaten van de redundantie en systeemflex zijn toegepast. Er is uitsluitend gekeken naar de mogelijke verzwaring van stations waarbij de capaciteit met meer dan 110% wordt overbelast. Door stations met een belasting tussen de 100%-110% thermisch over te belasten kan mogelijk 110% van de capaciteit geaccommodeerd worden op het station. Hier wijkt Tabel 7 af van Tabel 8.

Scenario	Uitbreidingen koppelstations 80 MVA	Uitbreidingen koppelstations 240 MVA	Nieuwbouw koppelstations 80 MVA	Nieuwbouw koppelstations 160 MVA
2050 Regionaal	0	0	5	0
2050 Nationaal	0	0	5	1
2050 Europees	0	0	7	0
2050 Internationaal	0	0	6	0

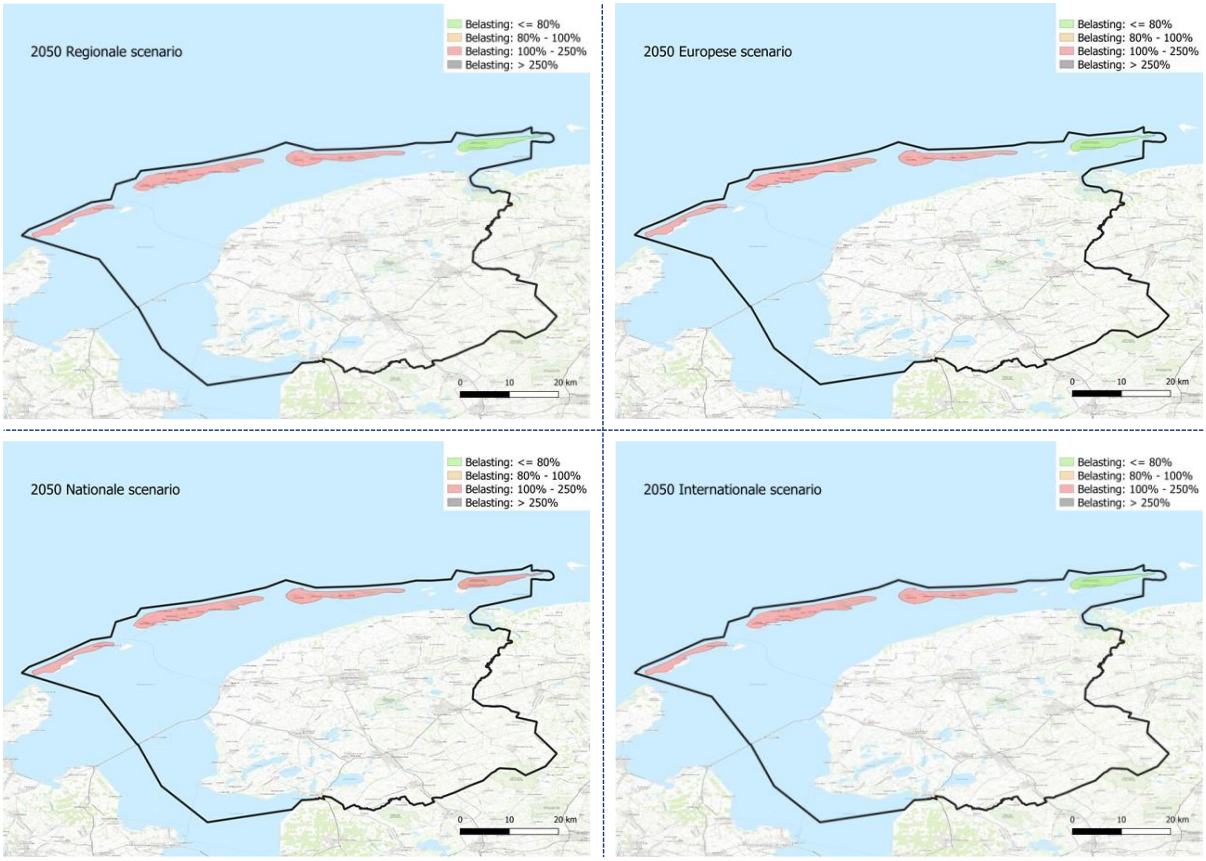
6.5 Waddeneilanden

Fryslân onderscheidt zich ten opzichte van andere provincies door de aanwezigheid van vier van de vijf Waddeneilanden. Op de Waddeneilanden zijn geen koppelstations aanwezig, maar wel schakel- en regelstations. De schakel- en regelstations maken onderdeel uit van het middenspanningsnet, maar deze maken geen deel uit van het nieuwe netontwerp op het middenspanningsnet. Daarom is voor de Waddeneilanden wel onderzocht welke impact de scenario's op deze schakel- en regelstations hebben. De regelstations op Vlieland en Terschelling zijn aangesloten op koppelstation Herbayum, het regelstation op Ameland en het schakelstation op Schiermonnikoog zijn aangesloten op koppelstation Dokkum.

Liander heeft voor de Friese Waddeneilanden een intern programma om de ontwikkelingen op de eilanden nauw in de gaten te houden en de waddengemeenten te helpen met hun verduurzaming, waarbij het doel is om te verduurzamen zonder nieuwe wadkabels te hoeven aanleggen in verband met de ecologische impact en de kosten. Dat lukt niet in alle gevallen; voor Ameland is een nieuwe wadkabel nodig door de verduurzaming van het eiland.

In 2050 is een groot deel van de schakel- en regelstations op de Waddeneilanden overbelast. De oorzaak is divers. In het scenario Nationale sturing is het aanbod van elektriciteit vaak de oorzaak. De vraag is in hoeverre realisatie van de aangenomen hoeveelheid opwek van hernieuwbare energie realistisch is, aangezien er mogelijk aanvullende restricties kunnen zijn vanwege het oppervlak dat wordt beslagen door Natura 2000 gebieden. Het Regionale, Europese en Internationale scenario laten voornamelijk knelpunten zien die veroorzaakt worden door de vraag naar elektriciteit. De grote elektriciteitsvraag komt vanuit de gebouwde omgeving als gevolg van elektrificatie om de CO_2-emissie te reduceren. Het schakelstation op Schiermonnikoog lijkt in de scenario's voldoende capaciteit te hebben om vraag en aanbod van elektriciteit te accommoderen. Alleen in het scenario Nationale sturing is het schakelstation op Schiermonnikoog overbelast in 2050. Zoals eerder genoemd zijn de aannames van de waarden voor hernieuwbare opwek in dit scenario ambitieus en is er geen onderzoek gedaan naar mogelijke spanningsproblematiek.

De knelpunten als gevolg elektriciteitsaanbod zouden verholpen kunnen worden door het redundante-systeem te verlaten. Door inzet van het reservenet komt er immers extra capaciteit vrij. Voor vraagknelpunten is dit niet mogelijk en zal de oplossing voornamelijk gezocht moeten worden in het voorkomen van piekbelasting. Dit betekent het stimuleren van een ander verwarmingsprofiel voor warmtepompen in de gebouwde omgeving en het toepassen van batterijen.



Figuur 29. Aanbod- en vraagbelasting in 2050 op de schakel- en regelstations op de Waddeneilanden. Op de schakel- en regelstations is geen systeemflex of verlaten van de redundantie toegepast.

7. De scenario's en het landelijke hoogspanningsnet

In dit hoofdstuk wordt de koppeling gemaakt tussen de opgestelde scenario's en de impact hiervan op het energiesysteem. Er wordt een beschrijving gegeven van de knelpunten en de effecten die optreden in de verschillende scenario's.

Toelichting bij de doorrekening van de scenario's door TenneT

- Voor de doorrekening van TenneT is uitgegaan van de netsituatie in 2025 inclusief geplande uitbreidingen. Deze situatie lijkt sterk op de huidige situatie, omdat grote aanpassingen aan het hoogspanningsnet in Fryslân pas na 2025 plaatsvinden.
- In de scenario's Nationale en Europese sturing is een modernisering van de Bergumcentrale verondersteld. Het effect van de Bergumcentrale is meegenomen in de scenario's, maar buiten de doorrekeningen van de netbeheerders gelaten, omdat deze als een 'systeemflex'-component in de doorrekeningen is meegenomen (als Gas-to-Power).

7.1 Knelpunten in het hoogspanningsnet

Een knelpunt in het elektriciteitsnet wordt gedefinieerd als station of verbinding 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. In de doorrekening van TenneT is per station en verbinding voor elk uur van het jaar de gevraagde en aangeboden hoeveelheid elektriciteit bepaald. Vervolgens is gekeken naar de verwachte belasting van de verbindingen en transformatoren ten tijden van een storing. Hierbij wordt gekeken naar de hoogte en het aantal uren van de overbelasting. Hierbij is uitsluitend gekeken naar het 110 kV-net inclusief de transformatoren naar het 220 kV-net.

In deze rapportage wordt gewerkt met piekvermogens en overschrijdingen: op jaarbasis wordt gekeken naar het hoogste vermogen dat het Friese hoogspanningsnet te verwerken krijgt ten opzichte van de capaciteit. Het net in Fryslân wordt de komende jaren aangepast om de energietransitie te faciliteren. Over de hoeveelheid duurzame opwek en de locatie bestaat onzekerheid. Daarom zijn in de systeemstudie alleen projecten die zich momenteel in de realisatiefase bevinden meegenomen, omdat deze een hoge mate van zekerheid hebben. Projecten in de studiefase zijn niet meegenomen, omdat doorgang van deze projecten nog niet zeker is.

Het hoogspanningsnet van TenneT moet altijd in staat zijn om elektriciteit te transporteren. Het uitvallen van een of enkele componenten van het hoogspanningsnet, zoals bijvoorbeeld een kabel, mag niet leiden tot een onderbreking bij de klanten. De stroom zal automatisch een andere route nemen om de energievoorziening van de klanten te garanderen. Bij een enkelvoudige storing mogen deze andere routes niet overbelast raken volgens de Netcode.

TenneT maakt daarom onderscheid tussen drie situaties waar in typen knelpunten kunnen optreden:

- N-0. overbelasting zonder storing. In deze situatie is het hoogspanningsnet in regulier bedrijf waarbij, ondanks dat er geen storingen zijn, toch transformatoren en verbindingen overbelast raken. Daarom wordt dit als een zeer zwaar knelpunt beschouwd. De normale transportcapaciteit kan worden benut.
- N-1: overbelasting met een enkele storing. In de situatie zonder storingen zijn er geen overbelastingen. Maar als ergens in Fryslân een storing optreedt, kunnen transformatoren en verbindingen overbelast raken. In deze situatie is de transportcapaciteit van het hoogspanningsnet verminderd, doordat er ergens in Fryslân een storing optreedt.

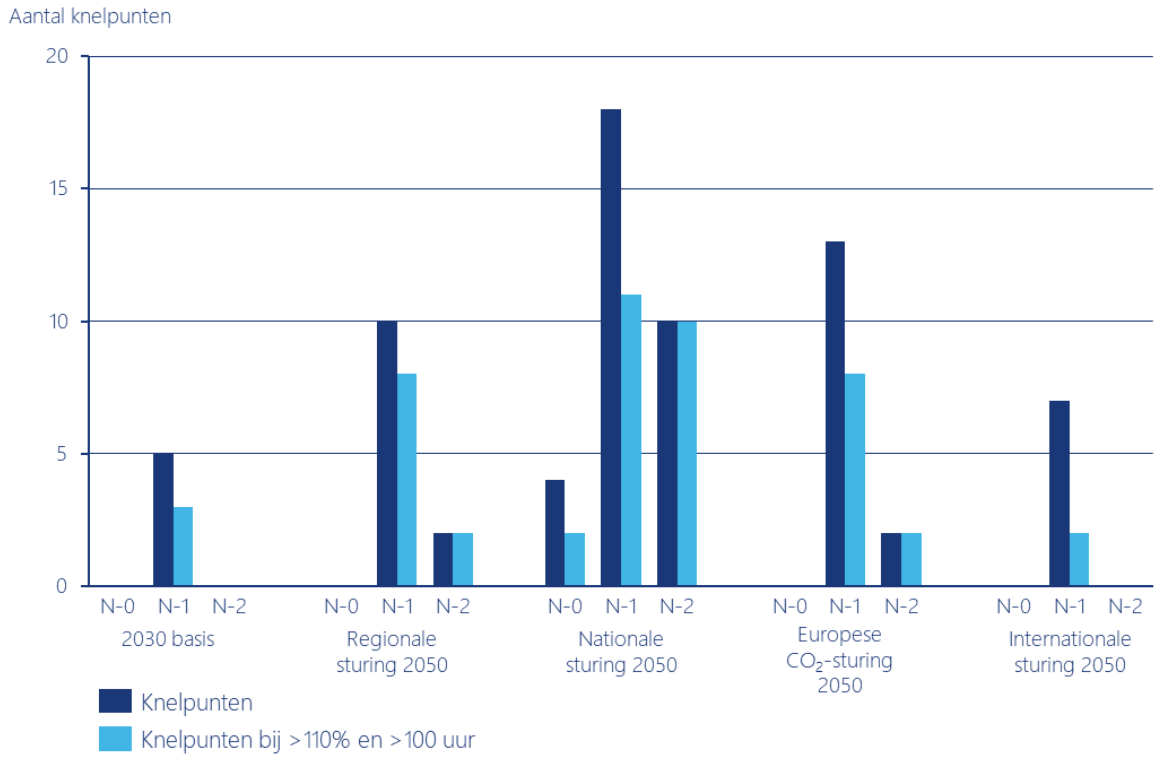
- N-2: overbelasting tijdens een storing bij gepland onderhoud. Volgens de Netcode moet het transport aan klanten ook gegarandeerd kunnen worden in geval van een storing tijdens onderhoud. Door onderhoud te plannen in periodes met weinig opwek, kan dit gegarandeerd worden. Indien er geen periodes meer zijn om onderhoud te plannen, wordt over een N-2 knelpunt gesproken. In deze situatie is de transportcapaciteit van het hoogspanningsnet verminderd, doordat er gepland onderhoud plaatsvindt. Dit onderhoud is zodanig gepland dat de impact op de transportcapaciteit minimaal is.

In Figuur 30 wordt het aantal knelpunten per situatie en scenario weergegeven. De meeste knelpunten treden op in de N-1-situatie en de minste knelpunten treden in de N-0-situatie. Ondanks dat er veel knelpunten zijn in de N-1-situatie, zijn er maar weinig knelpunten in de N-2-situatie. Dit komt omdat de knelpunten vaak veroorzaakt worden door zon-opwek. In de winter produceren zonnepanelen veel minder. Hierdoor ontstaan er mogelijkheden voor onderhoud in de winter.

Er is een aantal knelpunten dat een lichte overschrijding kent van de maximale transportcapaciteit, of slechts een klein aantal uur per jaar een overschrijding kent van de maximale capaciteit. In Figuur 30 is daarom tevens gekeken naar het aantal knelpunten waarbij de overschrijding meer dan 110% van de transportcapaciteit is en waarbij de overschrijding meer dan 100 uur per jaar optreedt. Het aantal knelpunten in de N-1 situatie daalt hierdoor sterk. In de N-0- en N-2-situatie heeft dit nauwelijks effect. Door te onderzoeken of het mogelijk is om deze niet frequente pieken te voorkomen, hoeft netverzwaring niet altijd noodzakelijk te zijn.

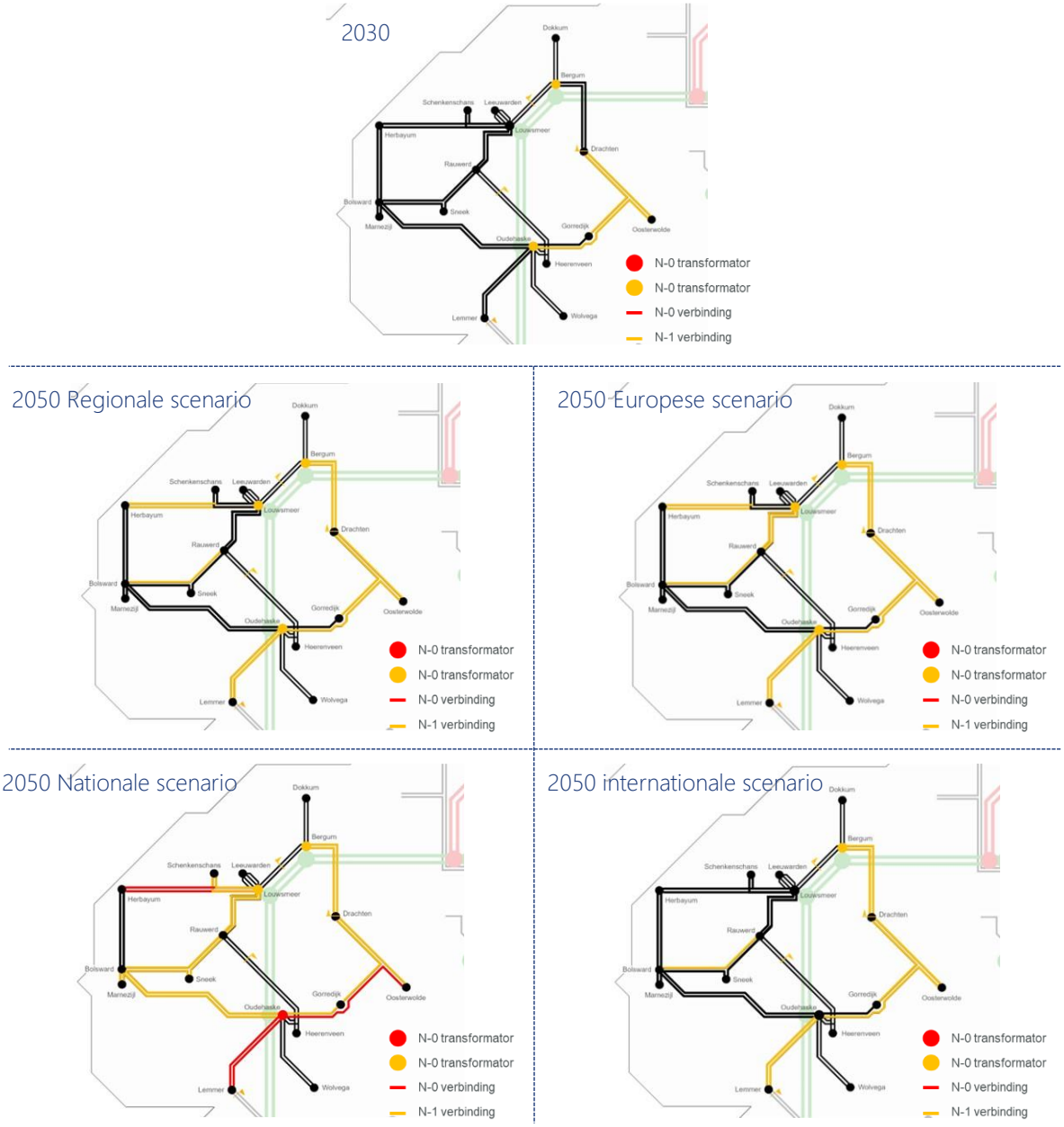
De meeste knelpunten die in het Nationale scenario naar voren komen, treden ook in de overige scenario's op. De oorzaak hiervan is het grote aanbod van elektriciteit door zon-PV en windenergie, terwijl er weinig gelijktijdige elektriciteitsvraag is. Bij de overige scenario's worden ook bijna alle knelpunten veroorzaakt door teruglevering aan het elektriciteitsnet. De knelpunten bij Bergum en Drachten worden echter veroorzaakt door een toenemende vraag. Deze stations worden zwaarder belast door elektrificatie in de gebouwde omgeving en industrie.

Het Regionale scenario bevat meer zon-opwek dan alle andere scenario's. In dit scenario komen echter niet de meeste knelpunten voor. In het Nationale en Europese scenario komen meer knelpunten voor. In beide scenario's staat meer wind op land opgesteld en is er een gunstigere verhouding tussen zonne- en windenergie voor het elektriciteitsnet. Dit lijkt tegenstrijdig maar door te toepassing van curtailment bij de zonneparken zijn de opwekpieken aanmerkelijk lager zijn in het Regionale scenario.



Figuur 30. Aanbod- en vraagbelasting in 2030 op de koppelstations van TenneT.

In Figuur 31 wordt de topologie van het Friese hoogspanningsnet schematisch weergeven en zijn knelpunten bij stations en verbindingen ingetekend. In alle 2050-scenario's neemt het aantal knelpunten toe. In alle situaties is systeemflexibiliteit meegenomen. Er treden in het 2030 knelpunten in het scenario op, op stations Bergum en Oudehaske in de N-0- of N-1-situatie. Het is zorgelijker wanneer er een knelpunt optreedt in de N-0-situatie, omdat in deze situatie gerekend wordt met de grootste transportcapaciteit in het hoogspanningsnet. Daarnaast is in alle scenario's sprake van een knelpunt op de verbinding naar Oosterwolde.

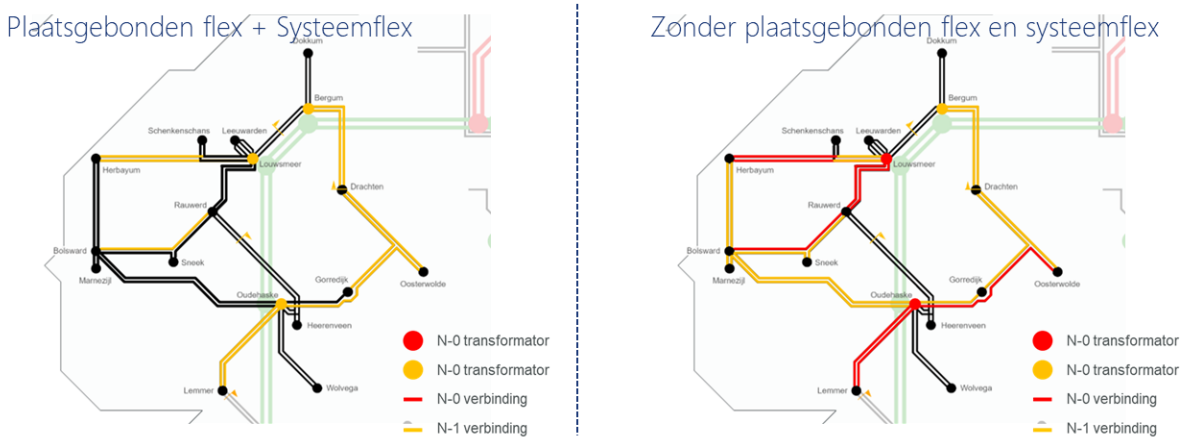


Figuur 31. Knelpunten op de stations en verbindingen van TenneT voor de scenario's met systeemflex. Bij rood gekleurde stations of verbindingen treedt een knelpunt op in de N-0-situatie. Bij geel gekleurde stations of verbindingen treedt een knelpunt op in de N-1-situatie.

7.1.1 Effect van plaatsgebonden en systeemflex

Het toevoegen van plaatsgebonden en systeemflexibiliteit leidt tot minder knelpunten op het hoogspanningsnet in Fryslân. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 32, waarin het scenario Regionale sturing zonder plaatsgebonden flex en systeemflex is vergeleken met het scenario Regionale sturing inclusief plaatsgebonden flex en systeemflex. De vergelijking is voor alle scenario's gemaakt, maar hier is alleen het scenario Regionale sturing beschreven omdat de resultaten in grote lijnen overeen komen. Op een groot aantal verbindingen en een aantal stations kunnen knelpunten verminderd of voorkomen worden. Door het toevoegen van plaatsgebonden flex en systeemflex is netverzwaring niet altijd noodzakelijk, waardoor mogelijk kostenineffiëntе investeringen kunnen worden vermeden.

Op het landelijke hoogspanningsnet leidt de toevoeging van systeemflex tot een beter gebalanceerd elektriciteitsnet. Op het regionale net kan het echter ook juist voor knelpunten zorgen. Voornamelijk door de toevoeging van power-to-gas, waarbij het landelijke profiel soms voor een grote elektriciteitsvraag zorgt, ontstaat een knelpunt. Een betere afstemming van de profielen aan de lokale behoefte van flexibiliteit, zoals wél is gemodelleerd voor batterijen, zal dit probleem deels verhelpen. Anderzijds kan de systeemflex ook op het TenneT netvlak worden ingezet, zodat het niet voor knelpunten op het regionale net zorgt.



Figuur 32. Impact van systeemflex op de hoogspanningsnet in Regionale scenario.

7.2 Oplossingsrichtingen voor het hoogspanningsnet

Voor het hoogspanningsnet zijn vier oplossingsrichtingen geïdentificeerd. Deze oplossingsrichtingen sluiten elkaar niet uit en kunnen tegelijkertijd worden ingezet. Het is waarschijnlijk dat een combinatie van de vier oplossingsrichting leidt tot een optimale aanpak om knelpunten in het Friese hoogspanningsnet te voorkomen.

- Toevoegen van (systeem)flex. Door systeemflex toe te voegen aan het energiesysteem kan de balans op het hoogspanningsnet beter worden bewaakt doordat transporten worden geminimaliseerd. Het gaat hierbij om de balans op het landelijke hoogspanningsnet. Op lokaal niveau kan systeemflex daardoor juist tot meer knelpunten leiden.
- Redispatch: Veel knelpunten ontstaan enkele uren per jaar (<100 uur) met een lage overschrijding (<110%). Door redispatch toe te passen kunnen deze knelpunten worden voorkomen zonder dat aanpassingen verricht te hoeven worden aan het elektriciteitsnet. Bij redispatch worden elektriciteitsproducten in regio A gevraagd om minder te produceren, terwijl in regio B elektriciteitsproducenten juist gevraagd worden om meer te produceren om zodoende overbelasting van de transportcapaciteit op te lossen, dan wel te voorkomen. Dit proces is kostbaar omdat elektriciteitsproducenten een vergoeding eisen voor het op- en afregelen. De afgelopen jaren zijn de kosten van redispatch fors gestegen, waardoor redispatch alleen een goede oplossing biedt voor knelpunten die niet frequent optreden[24].
- Verlaten van de redundantie. Het verlaten van de redundantie zorgt voor een hogere transportcapaciteit. Tegelijkertijd neemt de betrouwbaarheid van het hoogspanningsnet af. Het verlaten van de redundantie wordt daarom alleen toegepast bij knelpunten veroorzaakt door het aanbod van elektriciteit. Hiermee wordt de leveringszekerheid niet verlaagd. Dit mag echter niet toegepast worden op de transformatoren naar het 220 kV-net.

[24] https://energeia.nl/energeia-artikel/40092008/kosten-voor-filebestrijding-op-het-net-blijven-toenemen-voor-TenneT

- Netverzwaring. Door het net te verzwaren neemt de transportcapaciteit toe. De kosten hiervan zijn hoog en de doorlooptijd van netverzwaring is lang. Netverzwaring moet daarom alleen toegepast worden bij knelpunten die frequent optreden, zodat het verzwaren van het net doelmatig is en uitsluitend wordt uitgevoerd om enkele pieken per jaar te accommoderen. Daarnaast kunnen niet alle stations en verbindingen oneindig worden uitgebreid. In sommige gevallen zal een nieuw station gebouwd moeten worden om netverzwaring mogelijk te maken. Het kiezen van een strategische locatie van een nieuw station is belangrijk om kostenefficiëntie investeringsbeslissingen te maken. Dit kan bijvoorbeeld door nieuwe stations te bouwen op locaties met een groot aanbod van en vraag naar elektriciteit. Tabel 9 geeft een overzicht van mogelijke netverzwaringen voor de knelpunten in het hoogspanningsnet. Hierbij is aangenomen dat alle verbindingsknelpunten opgelost worden door kabels bij te leggen waarbij niet gekeken wordt naar de effecten van de nieuwe kabels op overige knelpunten. Verdere optimalisatie van de oplossingsrichtingen is dus mogelijk; er kan gekeken worden naar het opwaarderen van de bestaande hoogspanningslijnen, het beter sturen van de vermogens in het net door het plaatsen van dwarsregeltransformatoren of het verlaten van de redundantie.

Tabel 9. Specifieke netverzwaringen voor knelpunten

Scenario	Netverzwaringsoplossingen
2030	• Transformator bijplaatsen bij Bergum • Transformator bijplaatsen bij Oudehaske • Oosterwolde met vier circuits aansluiten
2050 Regionaal	• Transformator bijplaatsen bij Bergum • Transformator bijplaatsen bij Oudehaske • Transformator bijplaatsen bij Louwsmeer • Oosterwolde met vier circuits aansluiten • Spoel installeren Rauwerd-Bolsward • Kabel Bergum-Drachten • Kabel Oudehaske-Lemmer • Kabel Herbayum-Louwsmeer
2050 Nationaal	• Transformator bijplaatsen bij Bergum • Transformator bijplaatsen bij Oudehaske • Transformator bijplaatsen bij Louwsmeer • Oosterwolde met vier circuits aansluiten • Kabel Bergum-Drachten • Twee kabels Oudehaske-Lemmer • Kabel Herbayum-Louwsmeer • Kabel Louwsmeer-Rauwerd • Kabel Rauwerd-Bolsward • Kabel Oudehaske-Oosterwolde • Tweede 110 kV station Oudehaske incl. twee transformatoren
2050 Europees	• Transformator bijplaatsen bij Bergum • Transformator bijplaatsen bij Oudehaske • Transformator bijplaatsen bij Louwsmeer • Oosterwolde met vier circuits aansluiten • Spoel installeren Rauwerd-Bolsward • Kabel Bergum-Drachten • Twee kabels Oudehaske-Lemmer • Kabel Herbayum-Louwsmeer • Kabel Louwsmeer-Rauwerd

Scenario	Netverzwaringsoplossingen
2050 Internationaal	• Transformator bijplaatsen bij Bergum • Oosterwolde met vier circuits aansluiten • Spoel installeren Rauwerd-Bolsward • Kabel Bergum-Drachten • Kabel Oudehaske-Lemmer

8. De scenario's en de gasnetten

In dit hoofdstuk wordt de impact van de energietransitie op de gasnetten beschouwd.

8.1 Samenvatting inzichten gasnetten

Het gasnet is grofweg in te delen in drie typen netten: hoofdtransportleidingnet (HTL), regionale transportleidingnet (RTL) en de regionale distributienetten. In het algemeen zijn geen grote knelpunten te verwachten in de Friese gasnetten. Er kunnen wel specifieke knelpunten ontstaan als gevolg van de energietransitie op de korte en lange termijn. Dit zijn: toekomstige knelpunten door de productie van groen gas, de inzet van methaan en waterstof in regionale netten en de gaslevering aan de Bergumcentrale. Deze specifieke knelpunten zijn een andere orde van grootte dan de knelpunten in de elektriciteitsnetten en zijn daarom goed oplosbaar.

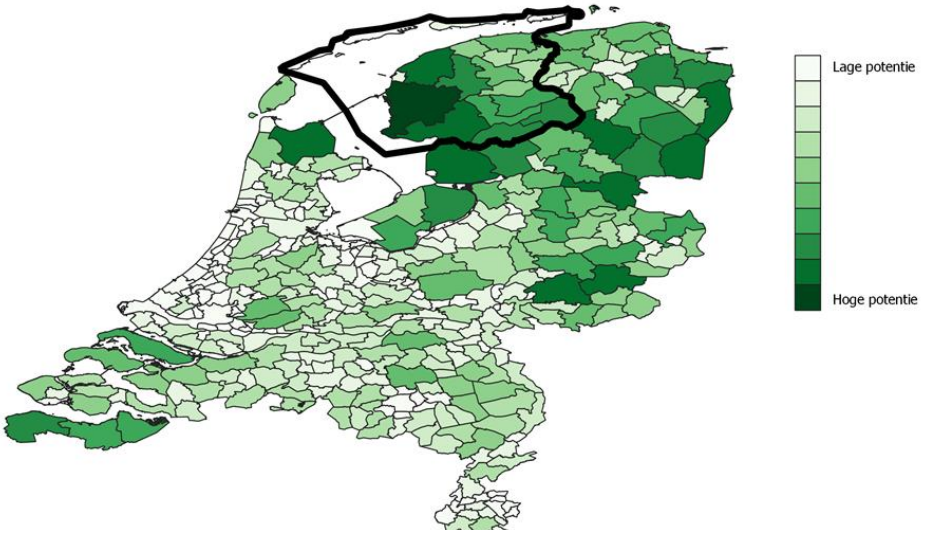
Voor de toekomstige knelpunten door de groengasproductie zijn twee oplossingsrichting bedacht. Ten eerste kunnen de huidige lokale gasnetten verknoopt worden. Hierdoor ontstaat een groter afzetgebied voor de groengasproductie en wordt de kans op een overschrijding van de capaciteit kleiner. Ten tweede kunnen er boosters geplaatst worden waarmee het geproduceerde groene gas wordt ingevoerd in een gasnet met een grote transportcapaciteit, bijvoorbeeld in het RTL. Het RTL heeft een grotere capaciteit en kan daarmee meer groen gas transporteren.

Het verdelingsvraagstuk dat ontstaat door gelijktijdige inzet van methaan en waterstof in het huidige gasnet heeft geen duidelijke oplossingsrichting. Dit komt omdat er veel onzekerheid is over in welke sector en op welke locatie een toekomstige vraag naar waterstof zal ontstaan. Bovendien houdt de nettopologie geen rekening met sectoren. Voor gasnetten moet geredeneerd worden vanuit gebieden. Als er waterstof in een bepaald gebied ingezet zal worden moet een (groot) deel van de afnemers in dat gebied overschakelen van methaan naar waterstof (ongeacht de sector). Hier zullen niet alle afnemers altijd achter staan. Een mogelijke oplossingsrichting is om de huidige gasnetten 'op te knippen'. Dat houdt in dat verbindingen op bepaalde plaatsen open worden gezet. Om tot dit soort oplossingen te komen is regie nodig. Daarom is het van belang dat overheden en netbeheerders samenwerken en dat de (landelijke) overheid regie voert.

8.2 Knelpunten in de gasnetten

Toekomstige knelpunten door groene methaan productie

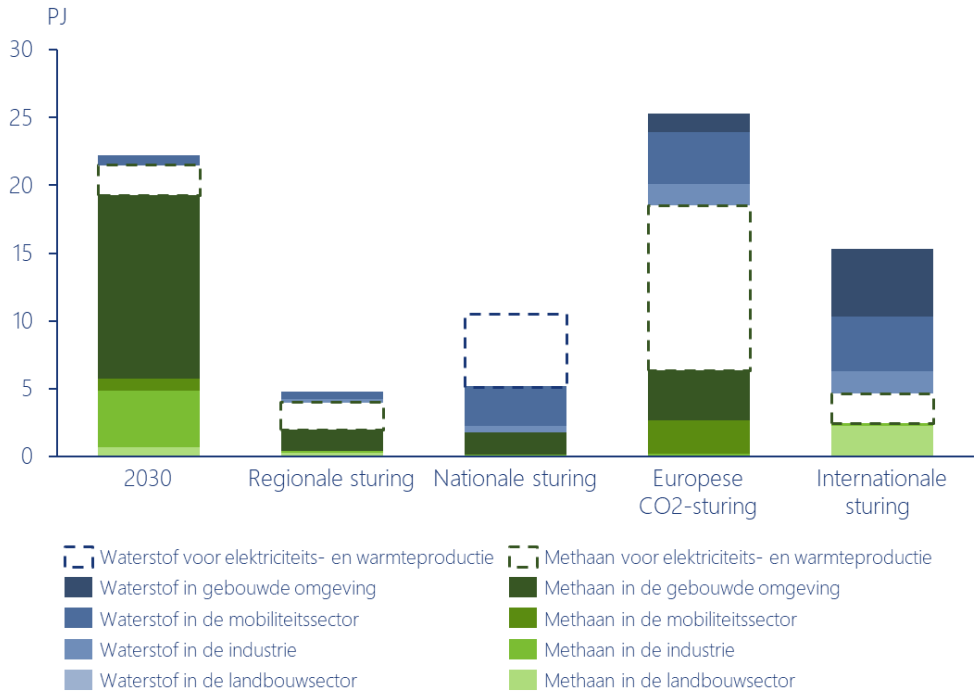
In de provincie Fryslân vindt veel veeteelt plaats. Hierdoor is er een grote (natte) biomassapotentie, welke ingezet zou kunnen worden voor de productie van groene methaan. Groengasproductie vindt het gehele jaar plaats. Dit betekent dat invoeding van groen gas in het gasnet een vlak profiel kent. De 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 groen gas overstijgt in dat geval mogelijk de vraag naar methaan, waardoor knelpunten kunnen ontstaan. Waar deze knelpunten ontstaan is afhankelijk van de locaties waar productie groene methaan zal plaatsvinden in de toekomst. In Figuur 33 wordt een overzicht gegeven van de biogaspotentie in Nederland. Door de concentratie methaan te verhogen en de concentratie koolstofdioxide te verlagen ontstaat groen gas. Dit proces wordt ook wel opwaarderen genoemd. De biogaspotentie geeft daardoor een goede indicatie van de hoeveelheid groen gas dat geproduceerd zou kunnen worden. In Figuur 33 is te zien dat de potentie erg groot is ten opzichte van andere regio's in Nederland, waardoor er mogelijk lokale knelpunten kunnen ontstaan.



Figuur 33. Biogaspotentie in Nederland.

Inzet van methaan en waterstof

De energietransitie kenmerkt zich onder andere door diversificatie in energiedragers. Momenteel bestaan er meerdere kwaliteiten methaan in de netten van GTS. In de gasnetten van de regionale netbeheerders wordt echter maar één kwaliteit gebruikt. Door opkomst van waterstof en de mogelijke inzet hiervan in verschillende sectoren ontstaat een complex vraagstuk. Hoewel het mengen van waterstof en methaan mogelijk is, is dit op de lange termijn niet wenselijk. Het heeft de voorkeur om één soort gas te transporteren door de netten; zuiver methaan en waterstof hebben voor veel gebruikers meerwaarde boven het gebruik va een mengsel van variërende samenstelling Een dubbele gasinfrastructuur zou vereist zijn om zowel waterstof als methaan op regionaal te distribueren. Aanleg van een dubbele gasinfrastructuur is, onder andere vanwege de teruglopende vraag naar methaan, niet kostenefficiënt.



Figuur 34. Finale vraag naar methaan en waterstof per sector. De vraag door elektriciteits- en warmteproductie maakt geen onderdeel uit van de finale energievraag.

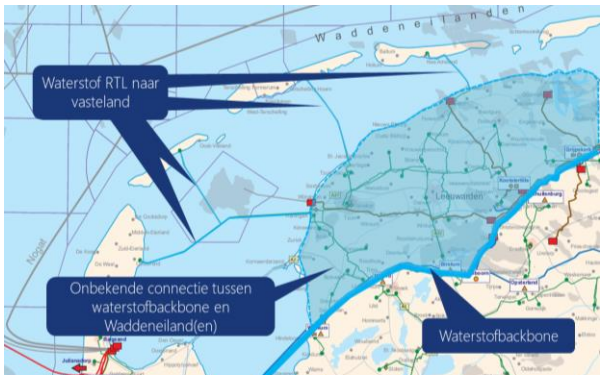
Figuur 34 geeft de vraag naar methaan en waterstof per sector weer. Momenteel is er geen vraag naar waterstof. Richting 2030 zal er een geringe waterstofvraag ontstaan in de industrie en mobiliteit. Een stijgende vraag naar waterstof is pas op de lange termijn te verwachten, als ook de distributie beter mogelijk is. In het scenario Regionale sturing is de vraag naar waterstof relatief beperkt. In met name het scenario Europese CO_2-sturing en het scenario Internationale sturing 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 en heeft vaak een grote waterstofvraag per aansluiting, waardoor een fijnmazig netwerk niet noodzakelijk is. Voor de gebouwde omgeving is dit echter wel het noodzakelijk. In de landbouwsector wordt vooralsnog in geen enkel scenario waterstof gebruikt. Dit betekent dat in gebieden met weinig woningen en utiliteiten waarschijnlijk methaan als energiedrager gebruikt zal worden naast elektriciteit en warmte. Het toepassen van WKK's in de glastuinbouw zorgt voor een vraag naar gassen. Dit kan enerzijds waterstof en anderzijds methaan betreffen. In de praktijk zal de voorkeur uitgaan naar groen gas, omdat dit duurzaam is en kort cyclische CO_2 uitstoot wat gebruikt kan worden in de kassen.

In de scenario's is rekening gehouden met de complexiteit. Dit is met name het geval binnen het scenario Europese CO_2-sturing, waar zowel waterstof als methaan worden ingezet in vrijwel alle sectoren en de totale vraag naar beide gassen vrijwel gelijk is. 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. In Fryslân is deze verdelingspuzzel extra complex omdat de regio een hoge groene methaanpotentie heeft. Dit betekent er methaannetten beschikbaar moeten zijn voor het transport hiervan naar regio's waarin deze de groene methaan verbruikt kan worden.

Theoretische casus: gevolg waterstof op waddeneilanden

De verduurzamingsplannen van de Waddeneilanden kunnen grote invloed hebben op de toekomstige inzet van de gas- en waterstofnetten. Momenteel zijn de Waddeneilanden via regionale transportleidingen van GTS verbonden met het vasteland. Dit betekent dat er slechts één type gas aan elk Waddeneiland geleverd kan worden als er geen nieuwe gasleidingen worden aangelegd. Het overgaan van één of meerdere Waddeneilanden op waterstof kan een grote impact hebben op inzet van de gasnetten in Fryslân. Figuur 35 laat zien dat een verbinding via bestaande RTL-leidingen met de waterstofbackbone in principe wel mogelijk is, maar het wordt ook duidelijk dat gebruikers langs de betreffende aansluitroutes dan mogelijk omgezet moeten worden naar waterstof. Daarnaast blijft de vraag naar transportcapaciteit voor methaan groot, vanwege de aanwezige glastuinbouw rondom Sexbierum en Berlikum en de grote groengaspotentie. Hierdoor ontstaat een lastig verdelingsvraagstuk, dat door netbeheerders, overheden en bedrijven gezamenlijk moet worden opgelost.



Figuur 35: De impact van een waterstofleiding tussen de één of meerdere Waddeneilanden en de waterstofbackbone op de gasnetten in Fryslân.

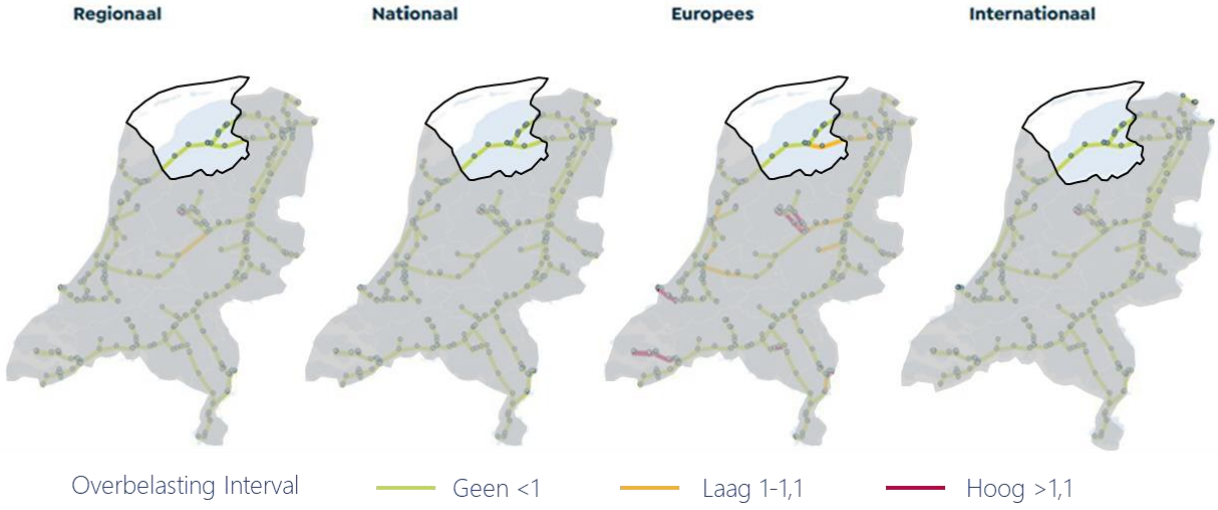
Berenschot

ekwadraat
ARCHITECTS OF THE SUSTAINABLE CHAIN

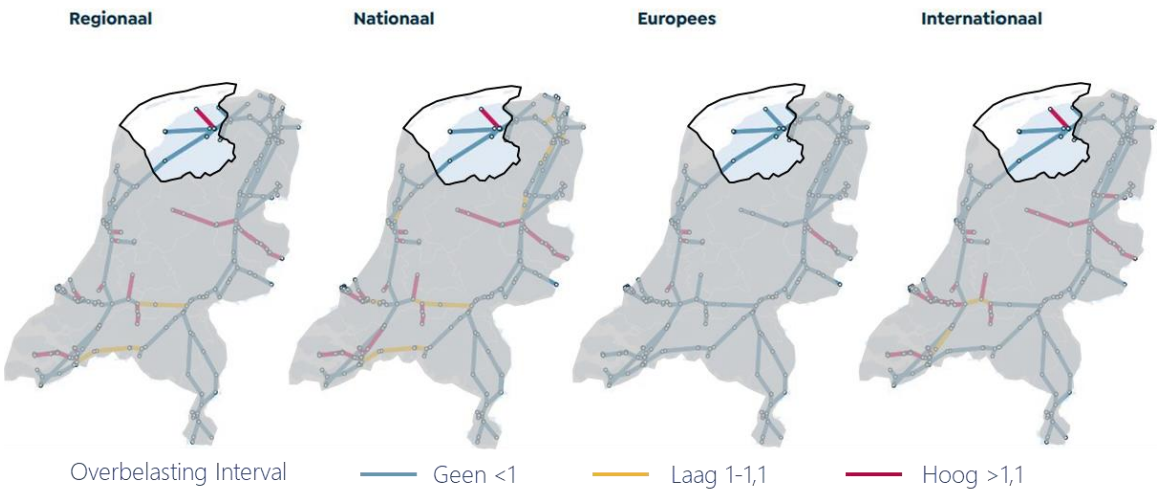
Levering aan de Bergumcentrale

Momenteel staat in Bergum een kleine operationele elektriciteitscentrale. Deze elektriciteitscentrale is relatief oud en niet meer zo efficiënt als nieuwere elektriciteitscentrales. De Bergumcentrale wordt daarom alleen ingezet als er een grote vraag naar elektriciteit is. Door de energietransitie neemt het aandeel hernieuwbare elektriciteit in de elektriciteitsmix toe. Het aanbod van elektriciteit wordt hierdoor volatieler. Een gevolg is dat de behoefte aan back-upcapaciteit toeneemt, doordat er leveringszekerheid in het energiesysteem moet worden ingebouwd. Deze behoefte zou er voor kunnen zorgen dat er op een aantal strategische locaties nieuwe en grotere elektriciteitscentrales worden gerealiseerd. De huidige locatie van de Bergumcentrale is een voorbeeld van een strategische locatie omdat er zowel een goede elektriciteits- als gasinfrastructuur aanwezig is.

In het scenario Nationale sturing en het scenario Europese CO_2-sturing zijn daarom grote elektriciteitscentrales verondersteld die een grote gasbehoefte hebben. Deze centrales zouden vanwege hun grote gasbehoefte voor knelpunten in de gasleiding naar Holwerd kunnen zorgen. Eenzelfde aanname is gedaan in alle landelijke II3050 scenario's. De impact van elektriciteitscentrales is goed zichtbaar in Figuur 36 en Figuur 37. In de landelijke II3050 scenario's is in alle scenario's een elektriciteitscentrale in Bergum verondersteld. In het Regionale, Nationale en Internationale scenario is dit een elektriciteitscentrale op waterstof, waardoor een knelpunt ontstaat in de gasleiding richting Holwerd. In het scenario Europese CO_2-sturing is dit een centrale op (groen) gas met carbon capture and storage en ontstaat er een knelpunt tussen Norg en Opsterland.



Figuur 36. Belasting methaannetten op basis van mogelijk toekomstige netconfiguratie GTS in de landelijke II3050 scenario's



Figuur 37. Belasting waterstofnetten op basis van mogelijk toekomstige netconfiguratie GTS in de landelijke II3050 scenario's

8.3 Overzicht oplossingsrichtingen

In deze paragraaf worden de oplossingen voor de verschillende typen knelpunten besproken. Dit zijn het verknopen van gasnetten en het plaatsen van boosters, die knelpunten als gevolg van decentrale groensgasproductie kunnen voorkomen, en het opknippen van gassennetten, zodat zowel waterstof als methaan getransporteerd en gedisitribueerd kunnen 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 bekent dat er driemaal zoveel waterstof in volume getransporteerd moet worden om 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.[25] Naar verwachting wordt het verhogen van de transportsnelheid de standaard bij waterstoftransport ,omdat hiermee het drukregime gelijk kan blijven aan de huidige situatie.

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 ingevoed worden in het gasnet. Hierbij mag de minimale druk niet lager worden dan de contractueel afgesproken minimale druk bij de afnemers. Drukverlaging is een tijdelijke operationele maatregel en kan niet structureel worden toegepast.

[25] DNV-GL (2017). *Verkenning waterstofinfrastructuur.*

Koppelen gasnetten – vraag- en aanbodknelpunten

De maximale capaciteit van lokale gasnetten wordt overschreden wanneer het aanbod van groen gas een langere periode de lokale vraag naar methaan overstijgt. Door gasnetten te verknopen (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.

Plaatsen boosters – aanbodknelpunten

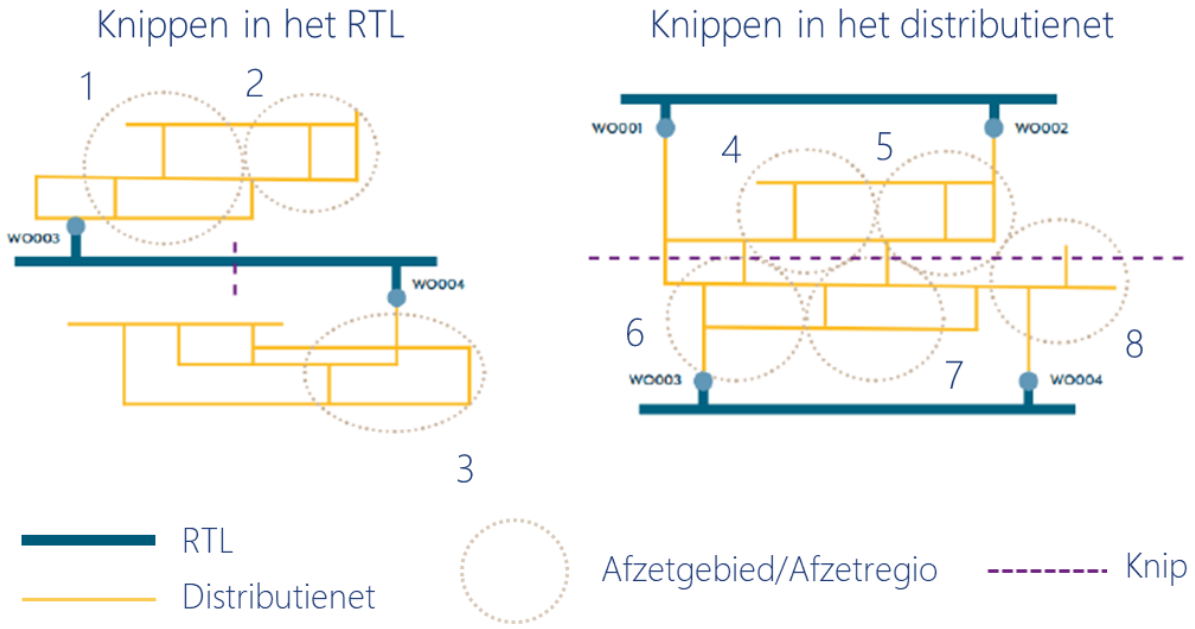
In dunbevolkte gebieden met veel landbouw kan een situatie ontstaan waarin er structureel meer groen gas wordt geproduceerd dan wordt afgenomen. In een dergelijke situatie zal het groene gas ingevoed moeten worden in een hoger gelegen netvlak. In hogere netvlakken wordt echter een hogere druk gehanteerd.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

Knippen in de gasnetten – verdelingsvraagstuk

De inzet van waterstof en methaan is mogelijk op verschillende manieren. Ten eerste kunnen beide energiedragers gemengd worden. Deze oplossing is op de lange termijn niet wenselijk en ook niet overal mogelijk omdat sommige gebruikers (met name gasmotoren) geen mengsels met hoge concentraties waterstof aankunnen. Bovendien zal het procentueel bijmengen van waterstof, door de lagere energieinhoud per volume, een relatief beperkte oplossing bieden om CO_2 te reduceren. Een tweede optie is het aanleggen van een dubbele gasinfrastructuur, maar dit is in het distributienet niet kostenefficiënt.

De laatste optie is het opknippen van de gasnetten, het verwijderen of dichtzetten van verbindingsleidingen en of koppelstukken.

Deze optie wordt gezien als meest realistisch. Door de gasnetten op te knippen, zie voorbeeld Figuur 38, ontstaan separate netten voor waterstof en methaan. Per regio/deelgebied wordt maar één gasvormige energiedrager gebruikt. De uitwerking in de praktijk is afhankelijk van de nettopologie van zowel de distributienetten als het RTL van GTS en van de manier waarop het huidige gasnet geknipt wordt.



Figuur 38: Het knippen van gasnetten

In Figuur 38 worden twee voorbeelden gegeven van het knippen in de gasnetten. In het voorbeeld aan de linkerzijde wordt geknipt in het 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 38 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 38. 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. Het RTL in Fryslân is ten opzichte van andere regio's in Nederland sterk vermaasd waardoor er verschillende mogelijkheden voor de verdelingspuzzel zijn. Bovendien kan het zuiden van Fryslân ook vanuit Overijssel beleverd worden wat de mogelijkheden in de verdelingspuzzel vergroot.

Het daadwerkelijk leggen van genoemde verdelingspuzzel zal coördinatie en overleg tussen netbeheerders bedrijven en overheden gaan vergen. Gemeenten spelen een sleutelrol in het bepalen van warmteoplossingen in de gebouwde omgeving, bedrijven stellen eisen en hebben wensen ten aanzien van hun warmtebehoefte en GTS en RNB's hebben de benodigde kennis over de mogelijkheden van hun netwerken. Gezien de complexiteit van het vraagstuk is regie op provinciaal of zelfs landelijk niveau zeer wenselijk.

Theoretische casus: transitie van het gassysteem bij aansluiten grootverbruikers op waterstof.

Door Maarten Afman, Liander.

Transitie van het gassysteem in Friesland – case analyse voor de systeemstudie Friesland door Liander

Het gassysteem staat voor een aantal opgaven. Deze brengen we in beeld aan de hand van een caseanalyse. We leren dat de technische structuur van het gasnet ervoor zorgt dat er beperkingen zijn aan de vrije keuze van het soort gas per klant of afnemer. Dit betekent dat er op gebiedsniveau een keuze gemaakt moet worden waar welk soort gas komt, gegeven de behoeften van afnemers en invoeders, de beschikbaarheid, de verschillende technische opties en de kenmerken van het gebied: een belangrijk vraagstuk.

Hoe werkt het gassysteem nu?

Het (aard-)gas stroomt van het hoofd- en regionaal transportleidingennet (HTL en RTL) van Gasunie Transport Services (GTS), naar een gasontvangstation (GOS). Daar stroomt het verder door de netten van Liander en Stedin. In een GOS wordt het drukniveau van een waarde tussen 67 en meer dan 8 bar naar 8 bar verlaagd. Vervolgens zijn er districtstations die op de hogedruknetten van de regionale netbeheerder zijn aangesloten. Daar wordt de druk (doorgaans 8 bar) verder gereduceerd naar 100 of 30 mbar. De meeste klanten in Friesland hebben een aansluiting op de netten van Liander en Stedin.

Belangrijk om te begrijpen is dat het RTL van GTS en de regionale netten van Liander en Stedin een zogenaamde vermaasde structuur kennen. Dat houdt in dat er veel netwerkdelen en -vertakkingen zijn die onderling zijn gekoppeld. Dit om een hoge leveringszekerheid te kunnen bieden en ook werkzaamheden te kunnen verrichten aan het net terwijl de gaslevering ononderbroken is. In feite kunnen hele gebieden uit meerdere GOS'en worden gevoed.

Wat gaat er veranderen in het basissysteem?

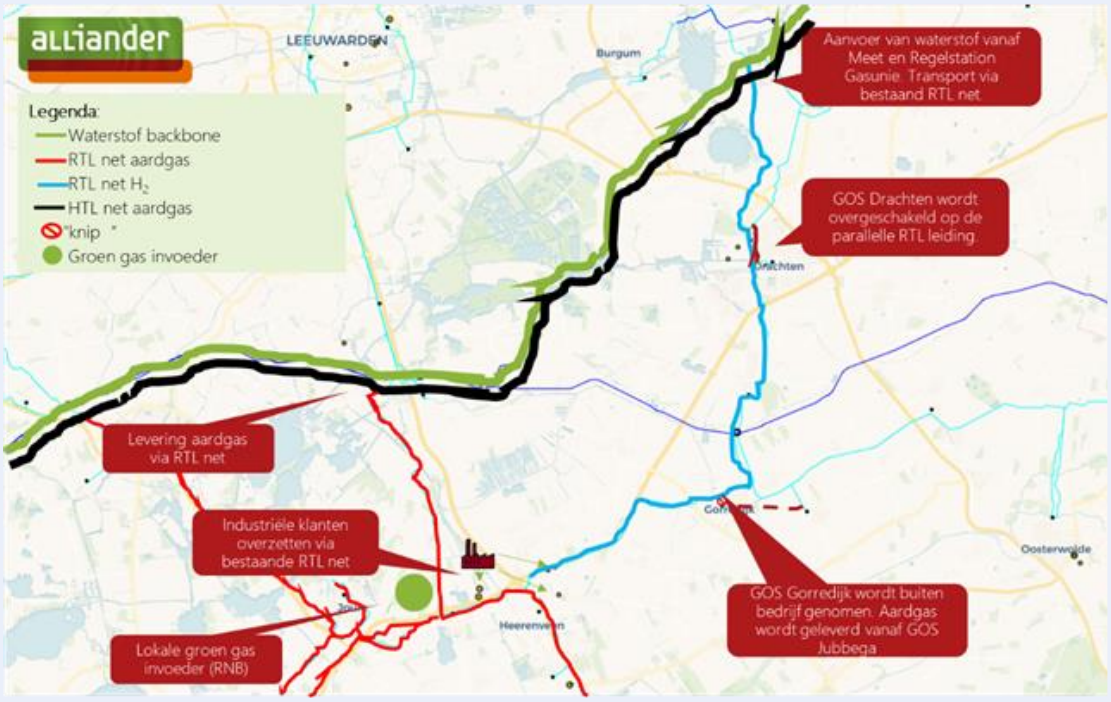
De vraag naar aardgas zal op termijn verdwijnen, en wordt overgenomen door groen gas en door waterstof.

De toenemende decentrale productie en invoeding van groen gas zorgt voor uitdagingen in transport: hoe kan het groen gas weggevoerd worden in periodes met een laag gasverbruik in het lokale net. Oplossingen zijn het verder koppelen van netten en het bouwen van compressorstations (“boosters”) om het groen gas naar hogere drukken te kunnen brengen om het weg te transporteren via het RTL net.

Een overgang naar waterstof stelt het distributienet voor heel andere uitdagingen, vanwege de bovengenoemde vermaasde opbouw van het net. Door deze vermaasde opbouw kan niet zomaar elk stuk leiding over worden gezet op waterstof. Groen gas (methaan) en waterstof zijn heel verschillende gassoorten die aanpassingen bij klanten vergen. Transporteren van twee soorten door hetzelfde stuk leiding kan niet. Als er in een gebied waterstof moet komen, dan moeten een stuk van het gasnet en de aangesloten klantinstallaties worden omgebouwd. Op gebiedsniveau moet dan ook een keuze worden gemaakt: welk gas willen we hier leveren: waterstof of groen gas.

Een case-analyse

Hoewel overheden ook een belangrijke rol kunnen spelen bij het maken van keuzes, is het in eerste instantie aan de netbeheerders om genoemde uitdagingen in de netwerken op te lossen. Om te laten zien wat er speelt heeft Liander, in samenwerking met GTS, een puur theoretische case study uitgevoerd over wat het betekent als een aantal industriële klanten in Friesland met waterstof vanuit de waterstofbackbone zouden moeten worden beleverd. De vragen zijn wat dit aan infrastructuuraanpassingen zou behelzen en hoe de relatie is met groen gas.



Berenschot

ekwadraat
ARCHITECTS OF THE SUSTAINABLE CHAIN

Case uitwerking

De vraagstelling voor de case luidt: stel dat Liander in de nabije of verdere toekomst gevraagd zou worden een aantal grotere klanten om te schakelen naar waterstof, terwijl gelijktijdig levering van (groen) gas aan de gebouwde omgeving zou moeten worden gecontinueerd. Zou daar een infrastructuuroplossing voor zijn? En wat leren we hiervan?

De case die we gekozen hebben ten behoeve van het uitwerken van dit vraagstuk is het industriepark ten noorden van Heerenveen, ten oosten van de A32. Dit gebied lijkt geschikt om het vraagstuk te onderzoeken en lessen te trekken over de complicaties van een eventuele transitie. Er is een aantal RTL leidingen die theoretisch zouden kunnen worden gebruikt. Tevens is hier een significante gasvraag, waardoor op termijn wellicht waterstofvraag denkbaar is. Een derde interessante aspect is dat er ook een groen gas invoeder is, wat zicht geeft op die uitdaging.

NB Dit is een theoretische exercitie om te laten zien wat voor zaken aandacht behoeven bij het nadenken over de transitie van het gassysteem, en wat mogelijkheden en onmogelijkheden zijn.

Uit berekeningen van de netexperts van Liander en GTS is gebleken dat het net-technisch mogelijk is om het genoemde industriegebied geïsoleerd op waterstof over te zetten. Er zijn echter wel een aantal uitdagingen. Het bedrijvenpark zou waterstof kunnen krijgen via hergebruik van vooral bestaande leidingen en aanvullend aanleggen van in totaal 9 km leiding (deels geheel nieuw en deels bestaand net verzwaren). De afbeelding schetst de theoretische infrastructuuroplossing die is uitgewerkt.

De aanpak bestaat uit:

- Gebruik maken van circa 31 km bestaande RTL-leiding (blauw gekleurd) voor waterstof. Deze RTL-leiding loopt van vanaf de waterstofbackbone nabij Kootstertille door Drachten naar Heerenveen. Tevens moet een stuk RTL-waterstofleiding langs Drachten nieuw worden gelegd van circa 4 km.
- Om de klanten achter het GOS bij Gorredijk op (aard)gas te houden is een nieuw stuk distributienet van Liander nodig. Gorredijk wordt dan door GOS Jubbega van aardgas voorzien (nieuwe leiding van 1,5 km plus verzwaren van circa 3,5 km bestaande aardgasleiding).

Het is een optie om een groter deel van het industriegebied met waterstof te beleveren, bijvoorbeeld ook ten westen van de A32, echter dan is al snel 6 km nieuwe waterstofleiding nodig, en daarnaast ontstaat dan een invoedbeperking voor de groen gas invoeder, wat ook weer maatregelen zou vragen.

Generieke inzichten over de transitie in het gassysteem

Geïsoleerd gebieden op waterstof omzetten is mogelijk maar vergt maatwerk, additionele investeringen en samenwerking tussen netbeheerders onderling en kent dus wel uitdagingen. Vaak wordt door dezelfde RTL-leiding aan meerdere GOS'en aardgas geleverd. Het overzetten van een RTL-leiding heeft daarmee dus ook direct impact op deze GOS'en. Een keuze om lokaal een bepaalde energiedrager in te gaan zetten heeft daardoor vaak ook regionale consequenties.

De vermaasde structuur van het gasnet zorgt ervoor dat er beperkingen zijn aan de vrije keuze van het soort gas per klant of afnemer. Deze keuze moet op gebiedsniveau gemaakt worden. Idealiter wordt een keuze gemaakt op het niveau van de gekoppelde verzorgingsgebieden van GOS'en.

De keuze voor het een betekent ook onmogelijkheden voor het ander. Als in een gebied een keuze gemaakt wordt voor waterstof, wordt het in dat gebied onmogelijk of moeilijk om groen gas in te voeden. En vice versa.

Samenvattend: een lokale keuze voor een energiedrager kan regionale gevolgen hebben, terwijl een regionale keuze voor een energiedrager ook lokale (on)mogelijkheden met zich mee kan brengen. Dit speelt niet alleen in de industrie, maar – in de iets verdere toekomst – mogelijk ook in andere sectoren zoals de gebouwde omgeving (Transitievisie Warmte). De vraag aan overheden (gemeenten, provincies en rijk) is daarom om – met deze kennis in het achterhoofd – regie te gaan voeren op dit vraagstuk en samen met netbeheerders, marktpartijen, invoeders en afnemers de komende jaren de "verdelingspuzzel" te gaan leggen.

De verdelingspuzzel is een belangrijke opgave in het proces van verduurzaming van Nederland. De opgave aan genoemde partijen luidt: waar komt welk soort gas, gegeven de beschikbaarheid, samenhangend met eventuele andere opties (elektrificatie, warmtenetten) en gegeven de kenmerken van het gebied, en de behoeften van afnemers en invoeders.

9. Kosten, ruimtebeslag en uitvoerbaarheid

In dit hoofdstuk wordt op hoofdlijnen ingegaan op de investeringskosten en ruimtebeslag die de mogelijke aanpassingen aan de energie-infrastructuur met zich meebrengen. De genoemde investeringskosten- en ruimtebeslag zijn indicatief en dienen niet als absolute waarheid te worden aangenomen.

9.1 (Maatschappelijke) kosten

In de vorige hoofdstukken is naar voren gekomen dat met name in de lagere netvlakken knelpunten worden voorzien in de scenario's zoals doorgerekend in deze studie. De 2050-scenario's zijn gericht op het verkennen van de waarschijnlijke toekomstige hoekpunten. Het feit dat in alle scenario's knelpunten optreden, en ook voor een groot deel op dezelfde punten, geeft aan dat er investeringen nodig zijn om dit in te kunnen passen.

In hoofdstuk 6 is berekend hoeveel uitbreidingen en nieuwe stations er nodig zijn, en in combinatie met de hoeveelheid benodigde systeemflex. Het scenario Regionale sturing is ook doorgerekend zonder systeemflex. Dat betekent niet dat er geen flexibiliteit toegevoegd moet worden, maar dat de flexibiliteit op het hoogspanningsnet wordt geregeld door TenneT, waardoor de netten verder verzwaard moeten worden.

De investeringen voor netverzwaring liggen in 2030 rond de € 40 miljoen, en in 2050 tussen de € 140 miljoen en € 430 miljoen.[26] Daar zijn kosten van de transformatorstations en de bekabeling in het hoogspanningsnet in meegenomen, maar niet in de extra bekabeling in de elektriciteitsnetten van Liander, de aankoop van grond, etc. Daarbovenop komen investeringen voor balanshandhaving en flexibiliteit. Een volledige vergelijking tussen de kosten van de verschillende scenario's is daarom in deze systeemstudie nog niet goed te maken.

De kosten van netverzwaring zijn voor rekening van de netbeheerders, en worden aan hun klanten doorberekend in de tarieven. Deze worden dus feitelijk gesocialiseerd. Op welke manier kosten voor systeemflex worden gedragen en hoe dit en onder welke verantwoordelijkheid tot stand komt is op dit moment nog niet duidelijk. De wettelijke kaders schrijven op dit moment voor dat de balanshandhaving onder de verantwoordelijkheid van TenneT valt, en netbeheerders congestieproblemen enkel kunnen oplossen door het net te verzwaren. Systeemflex op het netvlak van Liander bestaat op dit moment nog niet, en het is ook nog niet duidelijk op welke wijze en onder wiens verantwoordelijkheid dit het beste tot stand kan komen, evenals waar dan de kosten terecht zouden komen.

9.2 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. Ruimtebeslag is daarom een belangrijke factor waarmee rekening gehouden dient te worden. In deze studie is op hoofdlijnen bepaald wat de ruimtelijke impact van de energietransitie in Fryslân is.

[26] Deze kostenraming zijn niet alles omvattend, maar geven een indicatie van de investeringskosten op basis van het prijspeil in 2020 zonder indexatie en financieringskosten. De onzekerheidsmarge is groot, mede omdat uitsluitend is gekeken naar simpele oplossingen per knelpunt en niet naar een optimale integrale oplossing voor alle knelpunten.

9.2.1 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[27] en van 80 MW/hectare voor G2P[28]. 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[29].

Tabel 10. Benodigde ruimte voor nieuwe stations, uitbreidingen van bestaande stations en systeemflex (ha).

RES	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO_2-sturing 2050	Internationale sturing 2050
TenneT + Liander	14	19	19	17
Curtailment	0	0	0	0
P2G	3	5	2	1
G2P	4	4	5	4
Batterijen	76	138	111	105
Totaal	**97**	**166**	**137**	**127**

9.2.2 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 11 wordt de benodigde hoeveelheid land voor windenergie en zon-PV op land weergegeven. De ruimtelijke impact voor wind wordt weergegeven door middel van twee cijfers. Het eerste cijfer geeft de benodigde ruimte wanneer gerekend wordt met 0,15 MW/hectare zoals gebruikelijk is in de Regionale Energiestrategieën (RES'en)[30]. Wanneer met dit kengetal gerekend wordt, moet in acht genomen worden dat meervoudig grondgebruik mogelijk is. De afstand van windturbines tot agrarische grondgebied of infrastructurele werken kan aanzienlijk kleiner zijn dan de minimale afstand tot woningen en utiliteiten. Er daarom tevens gerekend met een andere kengetal. Dit kengetal (5 MW/hectare) geeft de daadwerkelijk benodigde oppervlakte voor een windturbine en de onderhoudsweg. De totale oppervlakte per RES-regio is afkomstig van CBS-statline[31]. Voor Zon-PV is er gerekend met een kengetal van 1 MW/hectare zoals gebruikelijk is in de RES'en.[32] Vanuit ruimtelijk perspectief bekeken is het aan te raden om zon-PV en wind op land te combineren.

[27] Verkenning aanlanding NOZ -Samenvatting en tussentijdse notitie 2018
[28] ETM Technische parameters en kosten waterstofcentrale
[29] Klimaat Energie en Ruimte 2018
[30] NP RES (2019)
[31] CBS Statline
[32] NP RES (2019)

Tabel 11. Benodigde ruimte voor nog realiseren wind op land vanaf 2021 (ha) en zon-PV op land. Het eerste cijfer bij wind is op basis van 0,15 MW/hectare zoals gebruikelijk is in de Regionale Energiestrategieën (RES'en). Het tweede cijfers tussen haakjes geeft de daadwerkelijk benodigde oppervlakte voor een windturbine en de onderhoudsweg en er is gerekend met 5 MW/hectare. Voor zon is 1 MW/ha gehanteerd.

	Totale oppervlakte (ha)	2030	Regionale sturing 2050	Nationale sturing 2050	Europese CO_2-sturing 2050	Internationale sturing 2050
Wind op land	574.877	4160 (125)	4160 (125)	10680 (320)	6747 (202)	5493 (165)
Zon-PV op land	574.877	717	3255	2805	1685	1685

9.3 Uitvoerbaarheid

De energietransitie vergt grote aanpassingen aan de huidige energie-infrastructuren. Realisatie van deze aanpassingen vereist naast grote investeringen en fysieke ruimte ook het doorlopen van vergunningsprocedures en participatieprocessen, creatie van maatschappelijk draagvlak, inzet van (schaarse) grondstoffen en arbeidskrachten.

Aan alle vermelde factoren moet invulling worden gegeven om een aanpassing aan de energie-infrastructuren te kunnen verrichten. Schaarste aan of vertraging van één van deze factoren zorgt ervoor dat het realiseren van een toekomstbestendig energiesysteem vertraging oploopt. Tegelijkertijd is de tijdsdruk om deze benodigde aanpassing door te voeren hoog, zodat onder andere bedrijven hun uitbreidings- of verduurzamingsplannen kunnen doorzetten, nieuwbouwwoonwijken gerealiseerd kunnen worden en meer laadpalen geplaatst kunnen worden. De energie-infrastructuren moeten daarom zo snel mogelijk toekomstbestendig worden gemaakt. Anders neemt het tempo van de energietransitie af en kan de maatschappij problemen ondervinden. Een voorbeeld hiervan is het bedrijventerrein de Zwette in Leeuwarden waar het huidige energiesysteem de groei van bedrijven niet meer kan accommoderen.

Liander ondervindt deze uitvoerbaarheidsproblematiek nu al in de praktijk. Daarbij komt dat er over de gehele breedte van alle netvlakken (koppelstations, middenspannings- en laagspanningsnet) de komende jaren enorme werkpakketten uitgevoerd moeten worden, die met huidige uitvoersnelheid lastig te realiseren zijn. Naast het opschalen van uitvoercapaciteit en het doorontwikkelen van rekenmodellen om betere investeringsbeslissingen te kunnen maken, zal er ook werk geprioriteerd moeten worden.

Het stimuleren van alternatieve oplossingen, die eenvoudiger te realiseren zijn, is cruciaal. Voorbeelden hiervan zijn sturing van klantgedrag (bijvoorbeeld tijdsafhankelijk laden van elektrische auto's) door het geven van financiële prikkels, het toepassen van systeemflex en processen in de industrie te hybridiseren. Het stimuleren van alternatieve oplossingen is aan te raden en kan op verschillende manieren, bijvoorbeeld 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.

10. Duiding en context van de resultaten

10.1 Impact op de Friese samenleving

De scenario's zoals in deze systeemstudie als kapstok zijn gehanteerd komen elk met hun eigen uitdagingen maar ook met hun eigen impact op de Friese samenleving en het landschap. Er zijn verschillen tussen de scenario's, maar er is ook een basis die vergelijkbaar is in alle de scenario's. Uiteraard zijn er ook scenario's buiten de gehanteerde hoekpunten mogelijk, maar dat vergt dan wel extremere maatregelen op een ander vlak om op klimaatneutraal uit te komen.

In alle scenario's is een mate van netverzwaring nodig, in combinatie met andere oplossingen, zoals het verlaten van de redundantie en het toepassen van systeemflex om de balans op het elektriciteitsnet te handhaven, en om congestie te voorkomen. Het gaat tenminste om het reeds geplande netontwerp van het middenspanningsnet (met toevoegingen van distributieruimtes, en 20kV of 10kV-netverzwaringen), het toevoegen van waarschijnlijk minimaal vier nieuwe koppelstations, en verzwaringen en aanpassingen van het hoogspanningsnet. De hoeveelheid systeemflex waar in dat geval van is uitgegaan varieert tussen de 600-900 MW aan backup-centrales (Gas-to-power), 400-1300 MW Power-to-gas (conversie van elektriciteit naar waterstof) en 1900-3100 MW grootschalige batterijopslag. Dit heeft zijn weerslag op direct ruimtegebruik, maar ook op de ruimtelijke inrichting. Het zijn dus niet alleen zon en wind die beslag gaan leggen op de ruimte, maar ook netverzwaring en flexibiliteit zullen ingepast moeten worden in elk reëel te verwachten scenario richting klimaatneutraliteit.

In alle scenario's worden meer woningen in Fryslân aangesloten op een warmtenet, wat met name in een dichtbebouwde omgeving een logische oplossingsrichting voor verduurzaming van de warmtevraag kan zijn, maar uiteraard ook om invulling van die warmtevraag vraagt. In de scenario's zijn voor 2030 22.000 woningen op het warmtenet aangesloten, en in 2050 tussen de 42.000-117.000. Geothermie, restwarmte, en aquathermie gaan dan ook een belangrijkere rol spelen, waarbij aquathermie ook eisen stelt aan de elektrische aansluiting. Het Regionale scenario maakt het meest gebruik van warmtenetten en het zal een hele opgave met zijn om dat te realiseren. Er is bovendien in dat scenario niet voldoende warmte beschikbaar in de vorm van geothermie, aquathermie, en restwarmte om de benodigde warmtevraag van de warmtenetten in te vullen, en wordt in het scenario aangevuld door warmte uit het verstoken van groen gas. In het scenario Regionale sturing is bovendien geen rekening gehouden met de Lelylijn. Als deze opgave daar nog bovenop komt ontstaat er een additionele warmtevraag die ingevuld zal moeten worden.

In Fryslân vindt veel veeteelt plaats. Hierdoor is er een grote (natte) biomassapotentie, welke ingezet zou kunnen worden voor de productie van groene gas. De verwachting is dat de omvang van de Friese veeteelt sector ongeveer gelijk blijft in 2030 en 2050 ten opzichte van nu. Wanneer uitsluitend gebruik gemaakt wordt van de in Fryslân beschikbare mest kan daar maximaal 4,3 PJ energie uit gewonnen worden. Voldoende om 26% van de warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2030 in te vullen. Meer biomassa is aanwezig, de potentie is ingeschat op 17 PJ, maar een deel daarvan kan ook geschikt zijn voor hoogwaardigere toepassing dan direct voor energie.

Er zijn ook flinke verschillen tussen de scenario's. Op dit moment biedt het beleid in Fryslân niet veel ruimte voor windenergie. Dat is terug te zien in het scenario Regionale sturing en het scenario Internationale sturing. De energievraag wordt in het scenario Regionale sturing aangevuld met veel zon inclusief curtailment, en het scenario kent relatief lage energievraag. Door de pieken in aanbod van zon-PV raken veertien van de vijftien koppelstations overbelast ondanks dat forse curtailment is toegepast, waardoor verzwaring en toevoeging van flexibiliteit nodig is. Bij het scenario Internationale sturing is een hogere economische groei, gepaard gaand met de Lelylijn aangenomen, en wordt er nog relatief veel energie geïmporteerd, zowel in de vorm van elektriciteit en biomassa, als in de vorm van waterstof.

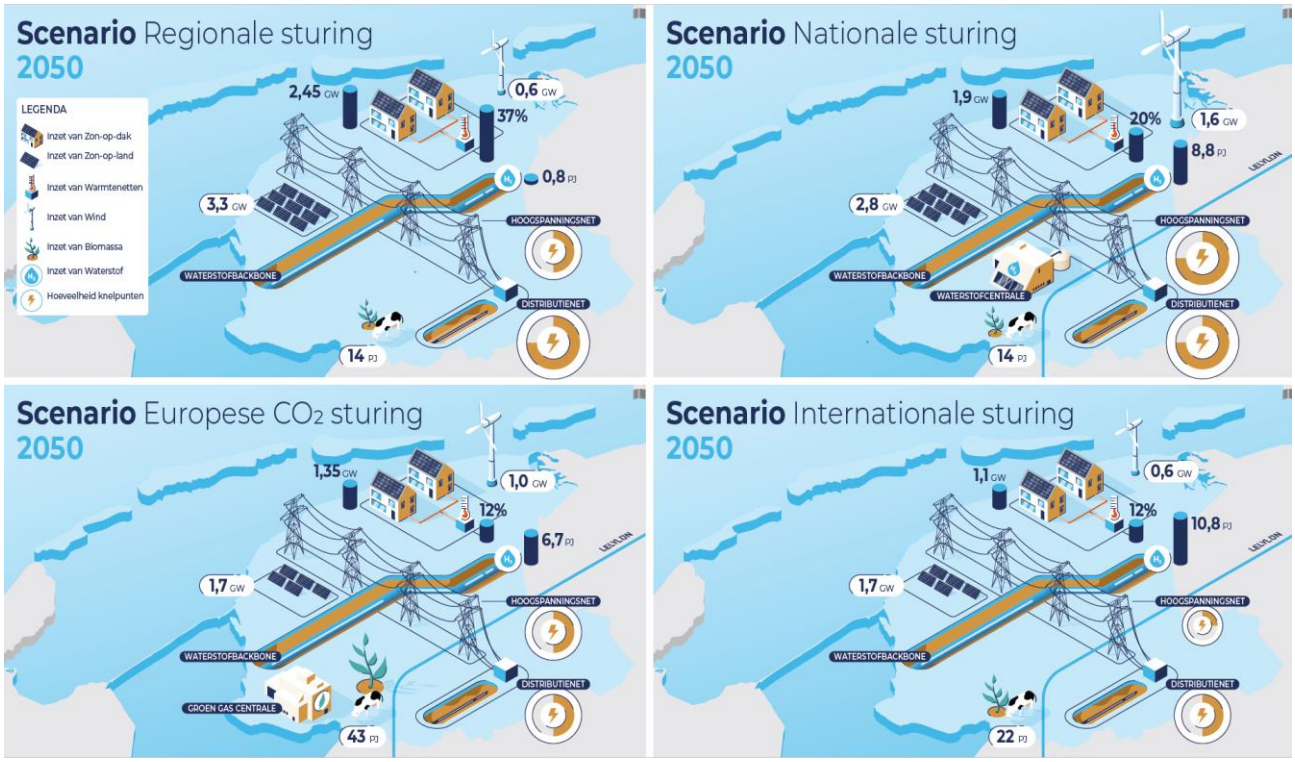
In twee van de scenario's is wél groei van windenergie verondersteld, omdat het in termen van infrastructuur en hoeveelheid vierkante meters een relatief efficiënt aanbod van elektriciteit geeft. In het scenario Nationale sturing wordt 1 GW extra wind verondersteld, dat komt neer op bijvoorbeeld 200 molens van 5 MW of 250 van 4 MW.

De toekomstscenario's laten zien dat bij sterk eenzijdige inzet van elektriciteitsopwekking richting zon-PV de impact op de energie-infrastructuur het grootst is. Dat is het sterkst te zien in het scenario Regionale sturing. Zonne-energie wordt bovendien vooral opgewekt in de zomer, terwijl de vraag naar energie piekt in de winter. Door het zwaartepunt van de opwek bij één van de energiebronnen te leggen, zullen de maximale vermogens groter moeten zijn om dezelfde hoeveelheid energie op te wekken. Deze grote vermogens leiden tot de noodzaak van veel transport, conversie, en opslag van elektriciteit, meer onbalans, spanningsproblematiek en meer congestieproblemen. De netten moeten sterk worden verzwaard, en er is ruimte nodig om de conversie, het back-upvermogen, en opslag (systeemflex en plaatsgebonden flex) te kunnen leveren. Net als windturbines hebben ook deze verzwaarde elektriciteitsnetten en flex-oplossingen een ruimtelijke impact. Een voorbeeld hiervan is de Bergumcentrale, die voorlopig en mogelijk ook op langere termijn vanwege de benodigde flexcapaciteit in bedrijf blijft.

Door een mix van zon en wind, die verschillen in de momenten van energie-opwek veroorzaken, kan de infrastructuur beter worden benut doordat ze op verschillende momenten beslag leggen op de infrastructuur en elkaar daarin aanvullen. In de scenario's Nationale sturing en het Europese sturing zie je een betere balans in zon en wind, wat resulteert in veel meer opwek van hernieuwbare energie tegen ongeveer dezelfde vraag op het gebied van netverzwaring en systeemflex.

Niet alleen windmolens, maar ook biovergisters stuiten op verzet. En ook zonneweides op landbouwgrond hebben daar mee te maken. Er ligt daarmee een opgave om de ambitie van energieneutraal te integreren met het besef van de noodzaak tot nieuwe elementen in het energiesysteem, zoals verdeelstations, kabels, windmolens, geothermietorens, biovergistingsinstallaties, en flexibiliteitsvermogen. Qua ruimtelijk beslag vormt zonne-energie een grote factor, maar bijvoorbeeld netverzwaring en systeemflex samen tellen op tot 20-30% van de ruimte benodigd voor zonnepanelen, en tot 25-60% van de ruimte benodigd voor wind. Het is dus geen verwaarloosbare factor, en geeft bovendien nog niet eens het volledige beeld van wat er nodig is aan ruimte. Bij de ruimtelijke planning dient dus rekening gehouden te worden met facetten van de energietransitie in brede zin.

In Figuur 39 worden de scenario's en hun kenmerken, uitdagingen, en hoeveelheid knelpunten schematisch weergegeven. Het scenario Regionale sturing wordt gekenmerkt door een grote hoeveelheid zon-PV en is er een groot aantal woningen (117.000) dat is aangesloten op het warmtenet.. Het scenario Nationale sturing kenmerkt zich door veel opwek door zon-PV én door wind en de aanwezigheid van een waterstofcentrale. De uitdagingen voor het elektriciteitsnet zijn in deze scenario's het grootst. Het scenario Europese CO_2-sturing kenmerkt zich door de grote hoeveelheid ingezette biomassa. Het scenario Internationale sturing kenmerkt zich door de grootste hoeveelheid ingezette waterstof, en moeten de gasnetten worden gebruikt om zowel groen gas als waterstof te transporteren. Daar speelt dus sterk het verdelingsvraagstuk, waarbij verschillende gebieden van verschillende gassoort worden voorzien, om te voorkomen dat overal dubbele gasinfrastructuur nodig is.



Figuur 39. Schematische weergave van kenmerken, uitdagingen, en hoeveelheid knelpunten van de verschillende energiescenario's.

Congestie van het elektriciteitsnet remt de economische groei in de provincie. Op dit moment kunnen aansluitingen niet altijd gerealiseerd worden. Bij een toenemende congestie van het net worden deze problemen groter. Dit geldt voor de levering van elektriciteit bijvoorbeeld bij de ontwikkeling van het bedrijventerrein De Zwette in Leeuwarden. Bedrijven kunnen hier niet meer groeien en er is hierdoor geen plaats voor nieuwe bedrijven. Doordat de netcongestie direct de bedrijfsvoering van ondernemingen schaadt, en hiermee de beschikbare arbeidsplaatsen, remt dit de economische groei.

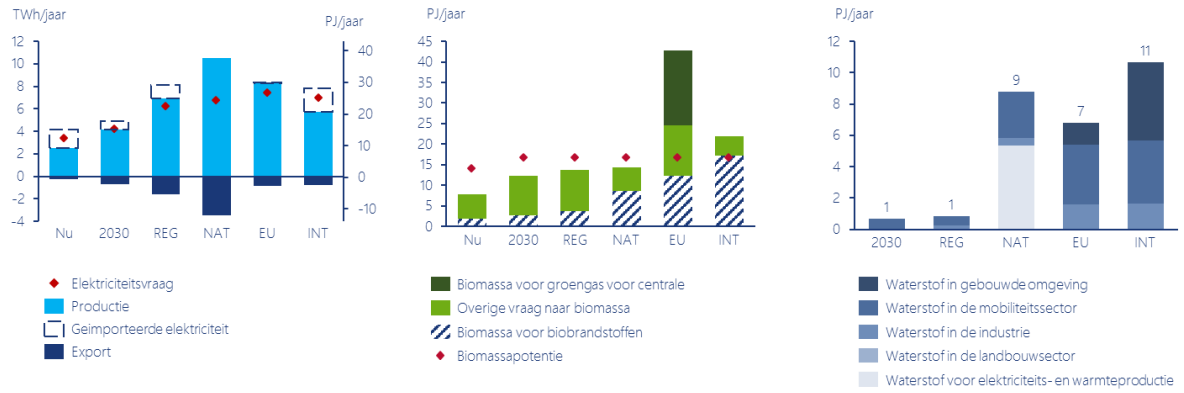
Ook aan de terugleverkant zijn in grote delen van Fryslân nu knelpunten waardoor bijvoorbeeld zon-PV-projecten van lokale energie-initiatieven niet door kunnen gaan. Juist dit type projecten kunnen het draagvlak voor de energietransitie vergroten. Doordat deze projecten niet door kunnen gaan, worden initiatieven vanuit de Mienskip niet benut voor de energietransitie. Door de Mienskip handvatten te reiken om met andere initiatieven dan zon-PV aan de slag te gaan, en waar mogelijk te faciliteren, worden inspanningen beter beloond en kunnen meer bijdragen aan de energietransitie. Doordat bewoners kunnen profiteren van de projecten, en inspraak kunnen hebben kan dit het draagvlak vergroten.

10.2 Relatie met andere provincies en nationale ontwikkelingen

Fryslân heeft de ambitie om in 2050 volledig onafhankelijk van fossiele brandstoffen en/of zelfvoorzienend te zijn. Op jaarbasis wordt daarom getracht om minimaal meer hernieuwbare energie te produceren dan wordt verbruikt in 2050. Hierin verschilt Fryslân van andere provincies met een grotere energievraag, waarvoor import noodzakelijk is om in de energievraag te kunnen voorzien. In alle scenario's wordt het energiesysteem in 2050 in ieder geval fossielvrij ingevuld. Er is echter niet één duidelijke route hoe deze ambitie precies ingevuld moet worden. In de scenario's voor 2050 zijn daarom verschillen in de gevraagde import en export van energie zichtbaar. Sommige scenario's zijn daarin afhankelijk van import van elektriciteit en/of biomassa om de vraag in te vullen, terwijl andere scenario's daarin exporteren.

De balans van elektriciteit, biomassa, en waterstof voor de verschillende scenario's wordt in Figuur 40 weergegeven, en laat zien welk scenario meer of minder afhankelijk is van import, en hoeveel er wordt geëxporteerd. Het geeft niet een heel zuiver beeld, omdat er verschil kan zijn tussen energie in de energiedrager, en energie die nodig is om de energiedrager te produceren. Zo zou er bijvoorbeeld meer energie in elektriciteit nodig zijn om eenzelfde hoeveelheid energie in de vorm van waterstof te produceren. De hoeveelheid energie die nodig is om energiedragers te produceren, is primaire energie, terwijl wij in het figuur de uiteindelijke, ofwel 'finale energievraag' weergeven.

Alleen de scenario's Regionale sturing en Nationale sturing komen in termen van finale energie netto ongeveer op energieneutraal uit. Het scenario Nationale sturing heeft zodanig veel elektriciteit over dat het de energie van waterstof compenseert. Dat betekent echter nog niet dat het voldoende zou zijn met die hoeveelheid elektriciteit ook waterstof te produceren, en zal in termen van primaire energie niet geheel energieneutraal zijn. In de Europese en Internationale scenario's wordt meer aangesloten op de huidige filosofie dat import van energie ook een goede mogelijkheid is voor energievoorziening (denk aan de huidige import van olie/benzine en gas). Bij het scenario Europese sturing wordt er netto ongeveer 30 PJ geïmporteerd, en bij het scenario Internationale sturing is dat ongeveer 23 PJ.



Figuur 40. Vraag en aanbod van elektriciteit, biomassa, en waterstof (per jaar).

Alleen in het scenario Internationale sturing is er netto import van elektriciteit nodig. In het Nationale scenario wordt niet geïmporteerd maar juist 10 PJ geëxporteerd naar buiten de provincie. Wat biomassa betreft is er in het Regionale en Nationale scenario meer potentie dan vraag. In het Europese en Internationale scenario is de vraag naar biomassa groter dan de potentie en zal er dus geïmporteerd moeten worden. Daarnaast moet de potentie zich uiteraard nog vertalen in daadwerkelijke productie. Inzet op fossielvrij zou betekenen dat waterstof die wordt ingezet ook een fossielvrije variant is, en dit kan zijn groene waterstof uit Nederlandse of buitenlandse productie. In geen van de scenario's wordt eigen productie van groene waterstof voorzien, maar dat zou natuurlijk kunnen plaatsvinden, zeker wanneer er relatief veel elektriciteitsoverschotten zijn.

In alle scenario's komt een duidelijk beeld terug dat Fryslân grotendeels of volledig kan voorzien in de eigen elektriciteitsbehoefte. Het is echter niet wenselijk om te functioneren als een eiland. Uitwisseling van energiedragers met andere provincies leidt tot een robuuster energiesysteem in Fryslân en Nederland. Doordat er verschillende routes naar een fossielvrij energiesysteem zijn met ieder een andere uitwisseling van energiedragers met omliggende provincies is er voor ieder route een andere behoefte aan energie-infrastructuur.

Wel kan er gesteld worden dat Fryslân en aangrenzende provincies (Flevoland, Drenthe, Overijssel en Groningen) een relatief kleine energievraag en een groot potentieel voor hernieuwbare opwek hebben. Netto export van elektriciteit naar dichtbevolkte provincies is daarom niet ondenkbaar. Het Friese elektriciteitsnet is momenteel niet ingericht op veel export naar aangrenzende provincies. Er is immers geen 380 kV-net aanwezig, zoals in Groningen, Drenthe en Flevoland. Daarnaast is het distributienet van Liander in Fryslân van oudsher niet berekend op grote teruglevering door hernieuwbare opwek, omdat de capaciteit van het elektriciteitsnet bepaald werd op basis van de vraag naar elektriciteit, welke in Fryslân kleiner is dan in dichtbevolkte provincies. De energie-infrastructuren zijn als gevolg hiervan ook beperkter dan in dichtbevolkte provincies met grote industriële clusters. Een sterke groei van het hernieuwbare energieaanbod zorgt daardoor sneller voor knelpunten in het huidige distributienet.

Voor gastranssport (doorvoer vanuit Groningen naar Noord-Holland) is voldoende capaciteit aanwezig in de huidige infrastructuur. Met de komst van de waterstofbackbone is zowel transport van verschillende kwaliteiten aardgas als waterstof mogelijk. Het Friese net is minder vermaasd dan in andere provincies.

De Friese gemeenschap is hecht en relatief intensief bij de energietransitie betrokken. Voorbeelden hiervan zijn lokale energiecoöperaties en initiatieven om autonome energiesystemen (microgrids) te realiseren. Ook is er behoefte aan lokale afstemming over gebiedsontwikkeling. De inwoners van Fryslân zijn namelijk trots op hun gemeenschap en op hun landschap. Toch vraagt de landelijke overheid ook van de provincie Fryslân om een koers en richting aan te geven, juist bedoeld om de lokale initiatieven handvatten te geven om te doen wat nodig en wenselijk is om de Friese doelen voor de energietransitie te bereiken.

10.3 Transitiepaden en no-regret-systeemkeuzes

De doelstelling om in 2050 volledig onafhankelijk en/of zelfvoorzienend te zijn, in combinatie met de tussenliggende doelen in 2030, maakt dat er actie nodig is om te komen tot deze doelstellingen. De uitkomsten van alle scenario's laten zien dat er knelpunten ontstaan, maar ook dat er nieuwe energiedragers als warmte en waterstof ontwikkeld moeten worden. Er moet een balans ontstaan tussen initiatieven, waarbij het behalen van de doelen hand in hand gaan met het wegnemen van knelpunten in het Friese energienet.

Tot 2030 zien we binnen de sectoren activiteiten ontstaan die een bijdrage moeten leveren aan de doelstellingen. We maken hierbij het onderscheid tussen cross-sectorale initiatieven en sectorale initiatieven.

Cross-sectorale initiatieven

De scenario's laten zien dat de volgende twee opgaven in meerdere sectoren van belang zijn, namelijk 1. het ontwikkelen van collectieve warmtenetten en 2. het ontwikkelen van flexibiliteit in het energiesysteem.

Warmtenetten hebben hun waarde bij het verduurzamen van de gebouwde omgeving, de industrie en de landbouw. In alle scenario's is warmte een belangrijke onderdeel van de energiemix, variërend van 37% in het scenario Regionale sturing tot 12% in de scenario's Europese CO_2 sturing en Internationale sturing. Het ontwikkelen van warmtenetten is een intensief en langdurig traject. De ontwikkeling van het warmtenet in Leeuwarden duurt al bijna tien jaar en in de zomer van 2021 heeft de eerste proefboring voor de warmtebron plaatsgevonden. Deze ontwikkelduur is ook te zien in ander gemeenten en provincies. Geothermie en aquathermie zijn in Fryslân belangrijke bronnen van warmte. Locatiespecifiek biedt restwarmte uit de industrie beperkte mogelijkheden. Om de ontwikkeling van warmtenetten te stimuleren, moet gewerkt worden aan de volgende knelpunten:

- Financieringen van de risico's; het volloop- en ontwikkelrisico moeten worden verkleind om projecten sneller te ontwikkelen.
- De provincie en gemeenten moeten de vergunningverlening van trajecten versnellen, zodat tijdwinst geboekt kan worden.

- Gemeenten moeten duidelijkere regie voeren op de stedelijke ontwikkelopgaves. Dit betekent concretisering van de transitievisies voor warmte en vervolgens een versnelde uitvoering daarvan.
- Regievoering op de beschikbaarheid van externe warmtelevering voor de industrie, zodat industriële bedrijven met zekerheid investeringen en toekomstplannen kunnen maken.
- Opzetten van een organisatiestructuur voor de ontwikkeling én exploitatie van gemeentelijke warmtenetten.

Naast collectieve warmte is flexibiliteit van groot belang om knelpunten in het energiesysteem niet op te laten treden of beheersbaar te houden. Hierin maken we het onderscheid tussen plaatsgebonden flexibiliteit, zoals thuisbatterijen en slim-laden, en systeemflexibiliteit, zoals power-to-gas en grootschalige batterijen. Plaatsgebonden flexibiliteit gebeurt in de gebouwde omgeving veelal 'achter de voordeur'. Daarom is het van belang dat tijdens de nieuwbouw van woningen ook flexibiliteit qua energie wordt meegenomen in het ontwerp en dat bij grootschalige woningrenovaties partijen (kunnen) komen met een aanbod om flexibiliteit achter de voordeur een plaats te geven. Een vergelijkbare oplossing op een iets grotere schaal is het lokaal oplossen van vraag en aanbod, waardoor de belasting van het elektriciteitsnet beperkt blijft. In de mobiliteit sector doet de markt zijn werk als het gaat om het aandeel EV's. De volgende stap kan gezet worden om bi-directioneel laden de standaard te maken en marktmodellen voor vraag en aanbod op elkaar af te stemmen.

In de industrie kan ook flexibiliteit worden ingezet om een bijdrage te leveren aan systeembalans. Denk daarbij aan HT-warmtepompen, gas-to-power en power-to-gas. Ook moet systeemflexibiliteit toegevoegd worden in de elektriciteitsproductiesector. Zon en wind hebben daarin een belangrijk aandeel en zijn tegelijk een onderdeel van het probleem. Het ontwikkelen van meer wind zou helpen bij het verkleinen van het aanbodprofiel en daarmee de piekbelasting op het net. Ook is te zien dat flexibiliteit bij opwek in alle scenario's van waarde is. Het is daarom van belang om de ontwikkeling van (coöperatieve) zonneparken hand in hand te laten gaan met het ontwikkelen van batterijen en andere flexibiliteitsoplossingen. Om de ontwikkeling van flexibiliteit te stimuleren moet gewerkt worden aan de volgende punten:

- Vergroot de bewustwording van het probleem bij gemeenten, het bedrijfsleven en energiecoöperaties. Maak hierbij duidelijk:
  - dat uitbreidingsplannen niet kunnen worden doorgezet omdat een netaansluiting niet meer vanzelfsprekend is
  - de Friese samenleving hinder daarvan gaat ondervinden, onder andere door geremde economische groei.
- Creëer financiële prikkels en zoek synergiën op om tot een sluitende businesscase van oplossingen voor knelpunten op het elektriciteitsnet, bijvoorbeeld door:
  - alleen laadpleinen te realiseren in de buurt van locaties waar veel elektriciteit geproduceerd wordt, en dit bij voorkeur te combineren met batterijopslag.
- De gemeenten en de provincie moeten regie hebben op het uitvoeren van plaatsgebonden flexibiliteit, bijvoorbeeld door:
  - het plaatsen van een thuis- of wijkbatterij bij de ontwikkeling van nieuwbouwwoningen en -wijken te verplichten
  - het plaatsen van bi-directionele laadpalen bij tenders voor openbare laadpalen en -pleinen te verplichten
  - het aanbrengen van flexibiliteit bij hernieuwbare opwek te verplichten. Denk hierbij aan extra curtailment, power-to-gas en/of het plaatsen van een grootschalige batterij voor uitgestelde levering.
- De gemeenten en de provincie moeten regie hebben op de exploitatie van systeemflexibiliteit zodat nadelig effecten voorkomen kunnen worden.
- De gemeenten en de provincie moeten systeemflexibiliteit stimuleren door bijvoorbeeld:
  - ruimte te reserveren
  - vergunningstrajecten te verkorten.

  - marktpartijen in contact te brengen met Liander en TenneT zodat gezamenlijke planvorming plaats kan vinden.
- Het inzichtelijk maken door de netbeheerder van de knelpunten in het elektriciteitsnet en het aanwijzen van de locaties die gebaat zijn bij toepassing van systeemflexibiliteit. Een voorbeeld hiervan is het bijhouden van een knelpuntenkaart of een register met knelpunten en oplossingen

Sector specifieke initiatieven

Naast de cross-sectorale activiteiten zijn er een aantal sectorspecifieke initiatieven die opgestart kunnen gaan worden. Het gaat daarbij om:

Isolatie van de gebouwde omgeving

Alle warmte die niet gebruikt wordt, hoeft niet opgewekt, opgeslagen en getransporteerd te worden. Het isoleren van de bestaande woningvoorraad tot minimaal energielabel B en bij voorkeur energielabel A, heeft daarmee direct invloed op het verkleinen of voorkomen van knelpunten in het energienet. De transitievisies warmte van alle gemeenten laten zien dat de meerderheid de komende jaren inzet op het isoleren van woningen en pas daarna een keuze gaat maken voor de warmtebron. Daarnaast moet gedachten worden aan warmteterugwinning uit ventilatielucht en afvalwater, het kiezen voor een duurzaam warmtebron en -afgiftesysteem met hoge efficiëntie zoals (hybride)warmtepompen. Zet bovendien bij renovatie van woningen en gebouwen in op energieneutraliteit, zoals dat momenteel verplicht is bij nieuwbouw. Door deze activiteiten te bundelen en een provinciebrede aanpak te maken, kan hierin aan efficiëntie gewonnen worden.

Ontwikkeling zon én wind

Een belangrijk vraagstuk dient zich aan rondom de opwek van duurzame elektriciteit. Omdat er naar verwachting veel energie zal worden opgewekt via zon-PV zal dit voor grote terugleveringspieken zorgen. Dit probleem speelt nu al, en wordt in de toekomst groter. Er zijn enkele maatregelen mogelijk die helpen de piekbelasting te verminderen. Door naast zon-PV ook meer in te zetten op andere duurzame opwek, zoals wind, kan het benodigde vermogen van zon-PV naar beneden bijgesteld worden. Het opwekprofiel van wind bevat minder pieken, die bovendien vrijwel niet samenvallen met het opwekprofiel van de zon.

Op dit moment zijn energie-initiatieven vanuit het bedrijfsleven of energiecoöperaties voornamelijk gericht op de opwek van zon-PV. Initiatieven die minder piekbelasting op het elektriciteitsnet veroorzaken, hebben de voorkeur. Hierbij kan gedacht worden aan curtailment, het isoleren van gebouwen, het slim laden van elektrische auto's, het toevoegen van de flexibele vraag en het opslaan van energie.

Op lokaal niveau kunnen samenwerkingsinitiatieven voor het koppelen van vraag en aanbod van elektriciteit de congestie verminderen. Door overschotten van duurzame elektriciteit dicht bij de bron in te zetten, zijn investeringen door de netbeheerder te vermijden.

Productie van groen gas

Productie van groen gas moet worden opgeschaald om de druk op de elektriciteitsnetten te verlagen. In de provincie Fryslân is een goed aanbod aanwezig van biomassastromen die gebruikt kunnen worden voor de productie van groen gas. Er is regie nodig voor het krijgen van een goede balans tussen het leveren van groen gas aan de gebouwde omgeving, de industrie en de mobiliteit. Op dit moment zijn subsidie- en marktprikkels dusdanig dat het leveren van groen gas aan de mobiliteitssector nu prioriteit krijgt. Dit gaat ten koste van de beschikbaarheid van groen gas voor de gebouwde omgeving. Dit kan leiden tot het niet voldoende beschikbaar zijn van groen gas voor de gebouwde omgeving. Een eerste stap is gezet door het Rijk door een bijmengverplichting van 20% groen gas op te leggen voor het bestaande gasnet.

Ook is er vaak door omwonenden van de potentiële productielocaties van groen gas weerstrand tegen de komst ervan. De laatste type groengasproductie-installaties hebben laten zien dat ze dusdanig ontworpen kunnen worden dat de invloed op de omgeving door geur en andere hinder tot een minimum beperkt wordt. Het is een opgave voor de sector om hierin met innovatieve oplossingen te komen en het draagvlak hiervoor te vergroten.

Beschikbaarheid externe CO2

Om de glastuinbouw over te kunnen laten schakelen naar aardgasvrije verwarming is de beschikbaarheid van externe CO_2 voorwaardelijk wanneer men niet langer op eigen locatie CO_2 wil produceren. Het vinden van voldoende betrouwbare CO_2-bronnen én het ontwikkelen van CO_2-netten, door het benutten van bestaande aardgasleidingen die vrijkomen of het aanleggen van nieuwe gasleidingen, is een belangrijk aandachtspunt. Hiervoor is het nodig dat producenten van CO_2 en afnemers met elkaar in contact worden gebracht en dat de gemeente of provincie hierin een stimulerende rol speelt. Dit wil zeggen dat de gemeente of de provincie optreedt als procesregisseur en toewerkt naar samenwerking tussen de partijen. Ook moet er een ontwikkelaar en exploitant/beheerder voor CO_2-leidingen gevonden worden. Wie hier de verantwoordelijkheid voor heeft of krijgt dient op rijksniveau te worden bepaald.

10.4 Ontwerpprincipes voor een toekomstbestendig energiesysteem

De transitiepaden en no-regret-keuzes leiden tot een aantal ontwerpprincipes die in het achterhoofd gehouden moeten worden bij planvorming:

- Zet in op energie-efficiëntie en besparingen om de totale energievraag te verminderd en de noodzaak van hernieuwbare opwek te verkleinen.
- Breng vraag en aanbod bij elkaar, zodat er minder transportbehoefte ontstaat. Bij voorkeur door een directe relatie te zoeken, dus zon-PV nabij of op daken van grote elektriciteitsafnemers.
- Zet in op wind en zon in een gebied om de infrastructuur efficiënter te gebruiken.
- Zet in op oost/west opstellingen voor zon-PV.
- Combineer warmtepompen met windenergie. Warmtepompen hebben een grote elektriciteitsvraag in de winter, terwijl zon-PV voornamelijk elektriciteit opwekt in gedurende de zomer.
- Combineer (volatiele) warmtebronnen met warmteopslagen.
- Verbruik het lokaal geproduceerde groen gas of biogas ook lokaal. Hierdoor is invoeding van groen gas niet noodzakelijk.
- Verbruik lokaal geproduceerde waterstof zo veel mogelijk lokaal. Hierdoor is invoeding van waterstof in de waterstofbackbone en de mogelijk aanleg van extra gasleidingen minder noodzakelijk.
- Breng flexibiliteit aan bij zowel aanbod als vraag naar energie.

Onverstandige ontwerpkeuzes zijn:

- Veel omzettingen van energiedragers vanwege grote verliezen. Bijvoorbeeld de omzetting van elektriciteit naar waterstof en van waterstof terug naar elektriciteit.
- Inzetten op zon-PV in combinatie met warmtepompen (all-electric). Warmtepompen hebben een grote elektriciteitsvraag in de winter, terwijl zon-PV voornamelijk elektriciteit opwekt gedurende de zomer.
- Inzetten op waterstof terwijl het lastig is om waterstof te beleveren van de centrale waterstofbackbone.
- Sterk inzetten op waterstofverbranding en stikstofemissiereductie.
- Uitsluitend een zuidoriëntatie van zonnepanelen hanteren.

10.5 Vormgeving samenwerking tussen betrokken partijen

Om uitvoering te kunnen geven aan de geschetste activiteiten is samenwerking voorwaardelijk. Fryslân wordt gekenmerkt door een zeer sterke 'bottom-up'-beweging, die onder andere tot uiting komt in de hoge dichtheid van energiecoöperaties en de vele samenwerkingsverbanden die er zijn op het vlak van duurzaamheid en de energietransitie. De Freonen van Fossielfry Fryslân, Vereniging Circulair Fryslân en De Friese Energie Alliantie zijn hier mooie voorbeelden van.

Wat deze samenwerkingen gemeen hebben, is dat ze zowel maatschappelijke organisaties, als inwoners en het bedrijfsleven goed vertegenwoordigen Ze zetten zich in voor de maatregelen die vandaag genomen kunnen worden, maar houden zich minder sterk bezig met een langetermijnvisie en perspectief, waarin bijvoorbeeld het voorkomen of oplossen van netcongestievraagstukken een rol spelen. Eigenaarschap van dit probleem wordt nu primair gezocht/belegd bij de netbeheerders. Door eigenaarschap van de netproblematiek breder te trekken dan nu, kunnen prikkels op verschillende niveaus geïntroduceerd worden.

Energiecoöperaties spelen in Fryslân een belangrijke rol in de energietransitie. Veel coöperatieve initiatieven zijn nu nog gericht op het opwekken van duurzame elektriciteit met zon-PV. Momenteel speelt het probleem van toenemende netcongestie, waarvoor nog weinig aandacht is vanuit de energiecoöperaties. De gestelde opgave is echter veel breder dan het elektriciteitsnet. Het gaat om het gehele energiesysteem. Er is veel behoefte aan samenwerking om de transitie in alle sectoren vorm te geven. Dit betekent een transitie naar andere technologieën, waardoor de vraag naar energiedragers verandert en de energiemix verduurzaamd. Voorbeelden hiervan zijn elektrisch vrachtvervoer, hybride/flexibele systemen in de industrie, toepassing van warmtepompen en warmtenetten in de gebouwde omgeving. De provincie en gemeenten moeten voorwaarden creëren, zoals een soepel vergunningsproces of subsidies, waardoor de energiecoöperaties op alle thema's binnen de energietransitie een relevante bijdragen kunnen leveren.

Bovenstaande initiatieven vragen andere vormen van regulering, organisatie en financiële structuren. Binnen de huidige kaders komen deze ontwikkelingen niet tot volledige ontwikkeling omdat er barrières zijn. De beste manier om deze barrières te doorbreken is door pilots te organiseren, te evalueren en op te schalen indien voorgaande fases tot gewenste resultaten hebben geleid. Een goede manier is om proeftuinen te ontwikkelen en te leren van al bestaande proeftuinen in bijvoorbeeld Wijnjewoude en Garyp en op Vlieland. Tijdens dit proces moeten de juiste kaders ontwikkeld worden die in grootschalige vervolgprojecten toepast worden. Door de geïsoleerde ligging en concrete netopogaves kunnen de Waddeneilanden als energieproeftuin ingezet worden. Hierbij moet het ontwikkelen van juridische, financiële en organisatorische kaders en het opdoen van kennis centraal staan.

Voor het gasnetwerk zijn systeemkeuzes noodzakelijk zodra waterstofleidingen gebruikt zullen gaan worden. De inzet van waterstof vereist het opknippen van de gasnetten, waarbij een deel van het huidige gasnet overgaat op waterstof, of via het aanleggen van een dubbele gasinfrastructuur. De belangrijkste aandachtspunten hierbij zijn:

- e inzet van waterstof in gebieden met een grote groene methaanpotentie is niet wenselijk. Lokaal geproduceerde groene methaan moet getransporteerd en gedistribueerd kunnen worden om onnodig transport te voorkomen
- Het opknippen en verknopen van gasnetten is tegenstrijdig. Door het opknippen van gasnetten wordt een duidelijke keuze gemaakt voor een bepaalde energiedrager per gebied. Het verknopen van gasnetten zorgt juist voor een groter afzetgebied van een bepaalde energiedrager. Een duidelijke strategie is daarom gewenst voor het uitrollen van zowel groene methaan als waterstof in de provincie Fryslân. Hiervoor is samenwerking van netbeheerders, overheden en bedrijven nodig. Regie vanuit de provinciale of landelijke overheid is hierbij van belang.

Samenwerkingen in Fryslân

In de provincie Fryslan zijn er al een enkele voorbeelden te vinden waarbij sectoren samenwerken of flexibiliteit onderdeel is van de oplossing.

Systeemintegratie op bedrijventerrein de Zwette in Leeuwarden

Op bedrijventerrein de Zwette aan de westelijke kant van Leeuwarden is de netcapaciteit, op het moment van schrijven, zowel voor de energie-afname als -levering beperkt. Tegelijkertijd zijn er in het gebied tal van bedrijven, bedrijfsprocessen en opwekinstalaties van duurzame energie, die door slimme integratie flexibiliteit kunnen leveren. De verschillende netbeheerders, de gemeente, de provincie en een ontwikkelaar onderzoeken samen de mogelijkheid om lokaal warmte, duurzaam gas en opslag van elektriciteit te integreren. De maatschappelijke businesscase is positief ontvangen, de afzonderlijke cases zijn dat nog niet. Ook op het vlak van regulering zijn er obstakels die vooral de netbeheerder treft.

Waterstof bij zonnepark Oosterwolde

In Oosterwolde wordt 'sinnewetterstof' geproduceerd. Netbeheerder en ontwikkelaar/exploitant van een zonnepark werken samen om te onderzoeken hoe het produceren van waterstof beide partijen kan helpen. Door inzicht in beider kennisagenda's is samenwerking ontstaan en wordt samen geleerd hoe dit in de rest van de provincie, en daarbuiten, van waarde is.

Wadkabel Vlieland

In 2007 werd op Vlieland het eerste convenant getekend waarin de Friese Waddeneilanden afspraken om in 2020 energieneutraal te zijn. Vlieland is nog niet energieneutraal, maar heeft al wel veel stappen gezet. Niet enkel op het vlak van techniek, maar vooral ook op het vlak van bewustwording en probleemacceptatie. De sterke sociale cohesie op het eiland maakt dat een ieder eigenaarschap wil nemen voor dit onderwerp. Dit komt samen in het initiatief dat de gemeente gestart heeft om te onderzoeken wat de belasting is van de wadkabel in de verschillende scenario's. Tegelijkertijd wilde de Energie Coöperatie Vlieland (ECV) meedenken over het creëren van flexibiliteit op het eiland door op piekmomenten het zwembad te kunnen verwarmen. Dit heeft geleid tot een samenwerking waarin de gemeente, de ECV en de netbeheerder samen zijn opgetrokken om een technisch plan op te stellen om stapsgewijs toe te werken naar een situatie waarin de risico's op het aanleggen van een tweede wadkabel zo klein mogelijk worden gehouden

11. Conclusies en aanbevelingen

11.1 Conclusies

Als eerste worden de conclusies over de technische kant van de doorrekeningen besproken en vervolgens wordt ingegaan op de conclusies over dezelfde onderwerpen als waarmee in Hoofdstuk 10 duiding gegeven is aan de resultaten.

De doorrekening van de netten

Met deze systeemstudie is de mogelijke impact die de energietransitie heeft op de Friese energie-infrastructuur verkend door middel van het doorrekenen van scenario's. Overkoepelend kan geconcludeerd worden dat de energietransitie, zoals die volgens de huidige ambities en plannen wordt vormgegeven, ingrijpende consequenties heeft voor de energie-infrastructuren in de provincie Fryslân en in het bijzonder voor de elektriciteitsnetten. Hiernavolgend wordt ingegaan op de belangrijkste conclusies betreffende de verschillende infrastructuren:

Betreffende het regionale distributienet (beheerd door Liander):

- Op het laag- en middenspanningsnet treedt nu al spanningsproblematiek op. De verwachting is dat de spanningsproblematiek alleen maar groter wordt door de toenemende mismatch in vraag en aanbod van elektriciteit.
- Er zijn al investeringsplannen van Liander die flinke investeringen in koppelstations en in het middenspanningsnet omvatten. Vanwege modelmatige beperkingen kan de systeemstudie deze nieuwe nettopologie helaas nog niet meenemen in de doorrekening.
- Op het laagspanningsnet wordt spanningsproblematiek voorzien en zijn op korte termijn investeringen nodig, die niet alleen toegerust worden op acute problemen, maar ook om de vraag van de verdere toekomst als gevolg van elektrificatie binnen de gebouwde omgeving en mobiliteitssector te accommoderen.
- In alle 2050-scenario's ontstaan knelpunten. De oorzaak van de knelpunten zijn zowel opwek van elektriciteit als vraag naar elektriciteit. In het scenario Regionale sturing is zon-PV de dominante veroorzaker van knelpunten, bij het scenario Nationale sturing is dat wind, terwijl bij de scenario's Europese CO_2-sturing en Nationale sturing een combinatie van vraag en aanbod juist voor knelpunten zorgt. De grotere belasting van het elektriciteitsnet wordt met name veroorzaakt door (hybride)warmtepompen en industrie, als gevolg van grotere economische groei in die scenario's.
- Het verlaten van de redundantie (het inzetten van de 'vluchtstrook') bij aanbodknelpunten verlaagt het aantal knelpunten op de koppelstationniveau drastisch.
- Toevoeging van systeemflex zorgt voor een betere balans op het landelijke hoogspanningsnet, maar zorgt slechts voor een beperkte vermindering van het aantal knelpunten op koppelstationniveau. Op een aantal koppelstations heeft systeemflex door de toepassing van power-to-gas een ongunstige uitwerking doordat de belasting juist vergroot wordt waardoor er meer vraagknelpunten ontstaan.

Betreffende het nationale transportnet (beheerd door TenneT):

- De voornaamste oorzaak van knelpunten in het hoogspanningsnet is het grote aanbod van elektriciteit door zon-PV en windenergie, terwijl er weinig gelijktijdige elektriciteitsvraag is. Dit geldt met name voor het Regionale en Nationale scenario. Bij de overige scenario's worden ook bijna alle knelpunten veroorzaakt door teruglevering aan het elektriciteitsnet.
- De toevoeging van plaatsgebonden flex en systeemflex leidt tot aanzienlijke reductie van het aantal knelpunten.

- Netverzwaring is niet altijd wenselijk vanuit het oogpunt van kostenefficiëntie, omdat een groot aantal knelpunten maar een beperkt aantal uur per jaar optreedt. Andere oplossingen zoals het verlaten van de redundantie en redispatch moeten daarom ook onderzocht worden alvorens overgegaan wordt tot netverzwaring.

Betreffende de gasnetten (beheerd door Gasunie en Liander):

- De gasnetten kampen met name met problematiek rondom de invoeding van groen gas, en met een mogelijk verdeelvraagstuk indien een deel van de maatschappij overgaat op waterstof, terwijl een ander deel met groen gas beleverd wordt.
- De waterstofbackbone die door de provincie Fryslân gaat lopen, biedt kansen voor het gebruik van waterstof in de provincie. Locaties die dichtbij de waterstofbackbone liggen, zullen waterstof kunnen afnemen of leveren aan de waterstofbackbone. Voor overige locaties zal een lokale afnemer voor het geproduceerde waterstof gevonden moeten worden, tenzij het lokale gasnet omgezet wordt naar waterstof.

Aan te bevelen en nog te onderzoeken infrastructurele aanpassingen:

- Versterk het middenspanningsnet volgens het NuLelie-investeringsplan. Het middenspanningsnet is momenteel al zwaar overbelast waardoor aansluiting voor zowel vraag als aanbod van elektriciteit niet gerealiseerd worden.
- Versterk het 110-kV-net zodanig dat de investeringen in het distributienet ook zinvol zijn. Als de capaciteit van het distributienet vergroot wordt dan moet het Friese hoogspanningsnet deze extra capaciteit wel kunnen accommoderen.
- Onderzoek de mogelijkheden voor waterstofgebruik in de nabijheid van de waterstofbackbone. De waterbackbone komt waarschijnlijk op relatief korte termijn (vanaf 2027) gereed. De inzet van waterstof is dan mogelijk.
- Onderzoek de opschaling van biogas/groen gas. In alle 2050-scenario's wordt veel gebruik gemaakt van groen gas. Lokaal kan de groengasproductie een grote impact hebben op de distributienetten en in sommige situaties ook op het regionale net van Gasunie.

De scenario's ten opzichte van de Friese samenleving

Het huidige provinciale beleid om wind op land niet veel extra ruimte te bieden, bemoeilijkt de provinciale ambitie om energieneutraal te worden. Door wind op land te vermijden en uitsluitend in te zetten op zon-PV ontstaan relatief veel knelpunten ten opzichte van de totale hoeveelheid opgewekte energie. In alle scenario's voor 2050 is de huidige infrastructuur van het elektriciteitsnet niet toereikend om te voorzien in de verwachte vraag- en aanbodstructuur. Door een combinatie van zon en wind kan een veel grotere hoeveelheid hernieuwbare opwek worden gerealiseerd gegeven een vergelijkbare opgave voor de infrastructuur. Vanuit andere studies wordt een verhouding van 4:1 in elektriciteitsproductie uit wind versus zon aanbevolen voor een optimale mix, dat is ongeveer een verhouding van 1:1 van opgesteld vermogen. Verzwaringen en flexibiliteit kunnen dan effectiever worden ingezet, en een hogere mate van energieneutraliteit kan worden bereikt.

Ambities vanuit de provincie om groen gas te ontwikkelen en in te zetten sluiten goed aan bij de no-regret-keuzes die voortkomen uit de scenario's. Ontwikkeling ervan is echter niet zonder slag of stoot, want ook biovergistingscentrales kunnen op lokale weerstand stuiten. Het is van essentieel belang om barrières uit de weg te nemen zodat het volle potentieel ontwikkeld kan worden.

Inzet van aquathermie is een belangrijke ambitie in Fryslân, en draagt op een efficiënte manier bij om te voorzien in de groeiende vraag naar hernieuwbare warmte. Houd daarbij rekening met de elektriciteitsvraag die aquathermie met zich meebrengt. Aquathermie is daarom maar in beperkte mate een ontlastende factor voor de infrastructuur.

Het landschap is op dit moment een zeer belangrijke factor in de besluitvorming en het draagvlak in Fryslân. Onafhankelijk van welk scenario zich zal ontvouwen, zal er ontegenzeglijk ruimte worden gevraagd om de energietransitie gestalte te geven. Dat geldt niet alleen voor de ruimte voor zonnepanelen en/of windmolens, maar ook voor netverzwaring en systeemflex, wat geen verwaarloosbare factor is. Het is zaak daar bij de ruimtelijke ordening rekening mee te houden. Een decentrale energievoorziening wordt daarmee merkbaarder in de samenleving. Het is daarom wenselijk dat ook burgers zich bewuster worden van de energietransitie en dienen ook meer betrokken te worden bij de energietransitie. Dit biedt ook kansen voor eigenaarschap.

Positionering ten opzichte van Nederland

Ten opzichte van andere provincies kan Fryslân relatief eenvoudig energieneutraal worden. De vraag naar energie is relatief klein en het potentieel van hernieuwbare opwek is groot. Desondanks is de opgave ten aanzien van de infrastructuur aanzienlijk in álle klimaatneutrale scenario's zoals in deze systeemstudie zijn verkend, terwijl energieneutraliteit slechts wordt bereikt in de scenario's Regionale sturing en Nationale sturing waarin weinig tot geen economische groei is aangenomen. Met name in de scenario's waarin Fryslân vrijwel volledig in de eigen energiebehoefte voorziet, is de impact op de infrastructuur het grootst. In de zelfvoorzienende scenario's wordt het meest geleund op elektrificatie en hernieuwbare elektriciteit. Bij grotere inzet van gassen overstijgt de vraag naar groen gas al snel het potentieel dat binnen de provincie wordt opgewekt, en van waterstof wordt al gauw meer geïmporteerd dan kan worden opgewekt met eventueel niet-binnen-de-provincie-gebruikte elektriciteit. In het Europese en Internationale scenario is de provincie niet energieneutraal, en wordt er 20 tot 30 PJ aan energie geïmporteerd.

Het invullen van elektriciteitsbehoefte door voornamelijk zon-PV zorgt voor een grotere afhankelijkheid van andere provincies indien er geen back-upvoorzieningen worden gerealiseerd. Er is dan met name in de winter meer import nodig vanuit andere provincies of buitenland.

Transitiepaden en no-regret systeemkeuzes

Alle scenario's hebben overeenkomstige uitgangspunten en resultaten. De onderwerpen welke wederkerend zijn in alle scenario's en waarmee spijtvrij gestart kan worden zijn de volgende:

- *Het ontwikkelen van warmtenetten.* Warmtenetten gevoed met door restwarmte, power-to-heat in combinatie met seizoensopslag verminderen de behoefte voor all-electric warmte-oplossingen, waardoor een minder grote piekbelasting op het elektriciteitsnet ontstaat. De provincie en gemeenten moeten binnen de warmtetransitie duidelijke keuzes maken. Bijvoorbeeld over welke techniek waar wordt ingezet, en mogelijkheden om deelname aan een warmtenet te verplichten. Voor dat laatste moet ook op landelijk niveau kaders worden geschept.
- *Het ontwikkelen van plaatsgebonden flex en systeemflex.* Het ontbreekt momenteel aan duidelijke kaders, voorschriften en verdienmodellen om flex door de markt te laten ontwikkelen. Het is nodig om dit te stimuleren en dat netbeheerders, gemeenten en provincie hier een gezamenlijke aanpak voor ontwikkelen. Wettelijke belemmering moeten weggehaald worden om de opschaling van flexibiliteit, opslag en conversie in het energiesysteem te faciliteren. Overheden kunnen bijvoorbeeld alleen invloed uitoefenen op tenders van publieke laadpalen. Voor private laadpalen hebben zij geen instrumenten tot hun beschikking. Netbeheerders mogen niet investeren in batterij-opslag. Wettelijke nettarieven zouden aangepast moeten worden zodat afnemers van elektriciteit een prijsprikkel krijgen om op bepaalde momenten meer of minder elektriciteit te verbruiken.
- *Het treffen van voorbereidingen om de energietransitie ruimtelijk mogelijk te maken.* Gemeenten en de provincie moeten vooruit denken hoe hiermee omgegaan moeten worden. Ook moeten besluiten vastgelegd worden in de provinciale omgevingsvisie (POVI) en gemeentelijke omgevingsvisie (GOVI). Ook is het nodig

om na te gaan op welke wijze de omwonenden en anderen betrokken geïnformeerd worden. Dit vraagt om een duidelijke visie op participatie, waarbij passend communicatiebeleid nodig is.

Samenwerking

Bij veel marktpartijen ontbreekt het nog aan kennis en ervaring om flexibiliteit in het kernproces in te bouwen. Pilots zijn cruciaal om het kennisniveau te verhogen en de benodigde ervaring op te doen. In de praktijk stranden veel projecten echter na de pilotfase vanwege een onrendabele top en onvoldoende kennis, waardoor een te groot risico ontstaat. Samenwerking tussen marktpartijen met als doel kennisdeling en het spreiden van risico kunnen een bijdrage leveren om flexibiliteit bij grote afnemers van elektriciteit op te schalen. Het is wenselijk dat de provincie een trekkende rol inneemt bij het organiseren van grootschalige pilots waarin meerdere marktpartijen betrokken zijn.

De hechte Friese samenleving kan op lokaal niveau samenwerkingsverbanden opzetten met als doel de gevolgen van klimaatneutraal worden en de afhankelijkheid van het centrale energiesysteem te verminderen. Op dit moment vinden dat soort initiatieven vooral plaats rondom het realiseren van zon-PV. Door vanuit de provincie en d gemeente duidelijk een koers uit te zetten over wat er nodig is naast de opwek van hernieuwbare energie, kunnen initiatieven vanuit de samenleving ook gerichter daaraan gestalte geven.

Adequate wetgeving op flexibiliteit is noodzakelijk om de gewenste uitwerking op het energiesysteem te hebben. Batterijen en elektrolysers kunnen op verschillenden manieren worden geoperationaliseerd. Eigenaarschap van (systeem)flex is onvoldoende belegd en/of bekend en moet tijdig worden vastgesteld om zodoende (systeem)flex in het energiesysteem aan te brengen wanneer dat een goed alternatief blijkt voor netverzwaring. Er moet worden gewaakt dat toevoeging van flexibiliteit geen negatief effect heeft op de belasting van het energiesysteem, iets dat moeilijker te bewerkstelligen is als operationalisering puur op prijs geactiveerd wordt. Wetgeving moet zodanig ingericht worden dat flexibiliteit het energiesysteem en in het bijzonder de elektriciteitsnetten ontlast. Samenwerking tussen overheden en netbeheerders zal nodig zijn om hier tot een goede, maatschappelijk effectieve, oplossing te komen.

De businesscase van (systeem)flex, opslag en conversietechnieken heeft in veel gevallen nog een onrendabele top. Goede samenwerking, een betere informatiedeling, het afdekken van risico's en voorfinanciering, vragen om actie van het Rijk en de provincie, in combinatie met de gemeentes. Een concrete eerste stap hierin is een lobbytraject richting het Rijk om de situatie rondom de onrendabele top kenbaar te maken. Ook bij de warmtetransitie is dit van belang, bijvoorbeeld om warmtenetten aan te leggen, en manieren te hebben om gebouweigenaren mee te krijgen in het aansluiten op een warmtenet.

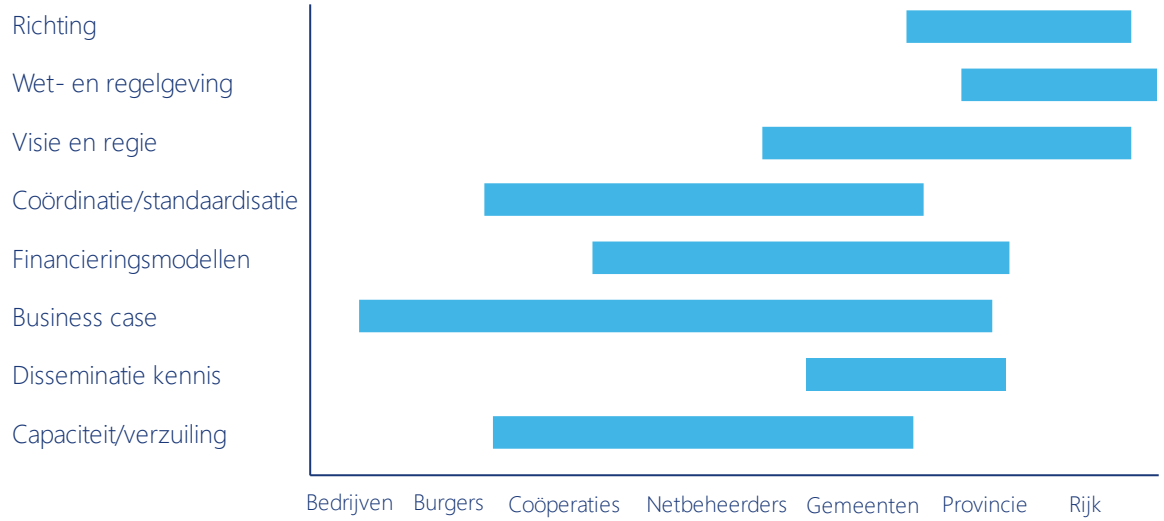
11.2 Aanbevelingen

In bovenstaande conclusies schemeren al aanbevelingen door, die hiernavolgend overzichtelijk op een rij worden gezet, gericht op de provincie en andere stakeholders. Inzichten en geluiden van stakeholders betrokken bij deze studie zijn hierin meegenomen.

Er zijn flink wat acties die voortvarender kunnen worden opgepakt door de provincie, gemeenten, netbeheerders en marktpartijen. Afhankelijk van hoe de energietransitie concreet tot stand komt, zal er zich een scenario gaan ontvouwen dat mogelijk meer of minder op één van de gehanteerde scenario's of een combinatie ervan gaat lijken. Belangrijke acties die ondernomen moeten worden zijn:

- het realiseren van voldoende hernieuwbare energie (elektriciteit en groen gas of waterstof)
- het realiseren van warmtenetten
- het realiseren van (systeem)flex
- het tijdig realiseren van voldoende netverzwaring.

In al deze categorieën is de problematiek genoemd die wordt ervaren bij het uitvoeren van acties, en is ook aangegeven bij welke actor of stakeholder er mogelijk een rol ligt om de problematiek aan te pakken. De businesscase daarvan is belangrijk voor alle actoren, en voor richting, wet- en regelgeving, en visie wordt vooral een actieve houding van het Rijk en de provincie verwacht. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 41 en dient voor het krijgen van een globaal beeld. Bedrijven en burgers waren in mindere mate direct betrokken bij de systeemstudie waardoor in onderstaand schema hun rol onderbelicht is.



Figuur 41. Schematisch overzicht van problematiek en actoren die worden gezien als relevant in de uitvoering van de facetten in de energietransitie, zoals verzwaring van netten, totstandkoming van warmtenetten, en realisatie van systeemflex.

Deze problematiek aangegeven door de stakeholders, in combinatie met de conclusies uit deze studie, leiden tot aanbevelingen richting een aantal belangrijke actoren.

De provincie

Het aan laten sluiten van beleid bij ambities is essentieel bij het geven van richting en nemen van de regie en daarmee het laten slagen van de transitie die het Friese energiesysteem doormaakt. Het is wenselijk dat de provincie, gesteund door andere overheden, een duidelijke visie op het Friese energietransitie formuleert en zodoende richting kiest. Hiermee wordt houvast geboden bij het oppakken van acties en het innemen van de rollen voor andere stakeholders die een meer uitvoerend taakpakket hebben. Denk aan:

- het voorsorteren op plannen in de RES betreffende hernieuwbare energie op uitvoerbaarheid en het aan laten sluiten van beleid op de ambities richting energieneutraliteit. Bij de keuze voor voornamelijk zonne-energie zal zwaar moeten worden ingezet op het vergroten van flexibiliteit in het energiesysteem. Ook zullen locaties voor zon-PV strategisch gekozen moeten worden om de impact op het elektriciteitsnet enigszins te beperken en de invloed van netverzwaringen en flexibiliteit op de inrichting van het landschap en de leefomgeving te minimaliseren. De provincie dient hiermee rekening te houden in onder andere de provinciale omgevingsvisie (POVI) door kenbaar te maken op welke locaties additionele hernieuwbare opwek en energie-infrastructuur mogelijk is;
- de ontwikkeling van warmtenetten waarin de provincie en regierol moet oppakken op het gebied van kennisdeling tussen gemeenten, zodat deze van elkaar kunnen leren en voortvarender aan de slag kunnen;
- het oppakken van een verbindende rol voor de provincie bij vergunningverlening, wat onder de verantwoordelijkheid van de gemeenten valt, door bijvoorbeeld met gemeenten de vergunningen meer te standaardiseren om doorlooptijden van vergunningstrajecten te kunnen verkorten.

- het ontwikkelen van stimuleringsregelingen in de vorm van ontwikkelsubsidies om grootschalige pilots mogelijk te gaan maken met als hoofddoel kennisdeling tussen marktpartijen en overheden.

De gemeenten

Vanuit de overheidsstructuren bezien zijn gemeenten het meest intensief betrokken bij de daadwerkelijke uitvoering van de energietransitie. Op lokaal niveau dienen belangrijke keuzes gemaakt te worden zodat houvast wordt geboden aan burgers, bedrijven en andere partijen. Dit vertaalt zich naar een stukje zekerheid waarop burgers, bedrijven en andere partijen investeringsbeslissingen en verduurzamingskeuzes kunnen baseren. Daarnaast moeten formele procedures worden verkort om vertraging te voorkomen en de energietransitie te versnellen. Het is daarom:

- wenselijk dat de gemeenten meer zekerheid bieden aan burgers en energiecoöperaties door concreet te worden en te communiceren over onder andere warmteplannen en tijdslijn. Hierdoor kunnen netbeheerders de netten op een juiste manier dimensioneren als een gebied over gaat op all-electric warmteoplossingen, kunnen energiecoöperaties en woningcorporaties investeren omdat zij weten welke warmteoplossingen in welke gebied worden gerold. Eveneens moet er duidelijkheid komen over in welke gebieden een gasvraag blijft bestaan, en moet in het verdelingsvraagstuk worden meegenomen waar waterstof en waar groen gas mogelijk kan worden toegepast
- belangrijk dat gemeenten de doorlooptijd rondom vergunningen verkorten. De problematiek op het middenspanningsnet in Fryslân is nijpend. Investeringsplannen moeten uitgevoerd kunnen worden wanneer de situatie daarom vraagt om te voorkomen dat de energietransitie geremd wordt. Hiervoor is het noodzakelijk dat de vergunningverlening voor de netaanpassingen gestroomlijnd wordt.

De netbeheerders

Netbeheerders moeten samen met overheden en marktpartijen (blijven) werken aan een gedeeld beeld over de energietransitie en wat daarvoor nodig is op het vlak van infrastructuur, ruimte en evtentueel beleid. Om proactief te kunnen handelen is het cruciaal om te beschikken over de meest actuele informatie, zodat investeringsplannen aangepast kunnen worden als de situatie daarom vraagt. Het is tevens van de belang dat de informatiestroom twee richtingen op loopt, zodat marktpartijen ook bij kunnen dragen aan het energiesysteem van de toekomst. Het is daarom aan te bevelen dat netbeheerders:

- naast informatie over de huidige problematiek bij de energie-infrastructuren (wat is niet mogelijk) ook informatie delen over hoe marktpartijen de problematiek op de energie-infrastructuren kunnen verminderen (hoe kunnen marktpartijen helpen?). Denk hierbij onder andere aan het faciliteren van (systeem)flexibiliteit als marktpartijen daarvoor de kaders krijgen vanuit wet- en regelgeving
- gemeenten en marktpartijen stimuleren om plannen die veel zullen vragen van de energie-infrastructuren te concretiseren en te delen met hun, zodat tijdig de (on)mogelijkheden van de plannen in kaart worden gebracht.

Het Rijk.

Het Rijk kan ondersteuning bieden met landelijke kaders en wet- en regelgeving om:

- regelgeving in te richten zodat bij aanwezigheid van een warmtenet woningen hierop aangesloten kunnen worden en dit een minder vrijblijvend karakter kent.
- marktpartijen te stimuleren om te investeren in flexibiliteit (bijvoorbeeld geen dubbele nettarieven voor hybridesystemen in de industrie, nieuwe type tarifering (statische/dynamische prijsprikkels)).
- netbeheerders een rol te geven in de totstandkoming van en/of het stellen van eisen aan systeemflex en daar duidelijke kaders voor neer te zetten.

In de samenwerking

De synergie tussen provincie, gemeenten, energiecoöperaties en netbeheerders biedt veel potentie om de energietransitie te versnellen. Het vaststellen van duidelijk rollen leidt er toe dat elke partij zich focust op concrete acties die alle dezelfde kant op wijzen. Door een gezamenlijk uitgangspunt en informatiepositie neer te zetten tussen deze partijen en ook meer gezamenlijke uitgangspunten en ambities te formuleren wordt meer eigenaarschap belegd bij partijen die al actief zijn en veel willen, maar niet per se al de kennis en handvatten hebben om een breder pallet aan activiteiten op te pakken. Voorgaande dient ondersteund te worden met een duidelijke koers, waarbij ambitie en realiteitszin samenkomen. Een voorbeeld van hoe programmatische samenwerking tussen overheden, netbeheerders -met betrokkenheid van marktpartijen- vorm kan krijgen, is het sturingsconcept dat wordt ontwikkeld in de Werkgroep Integraal Programmeren, en dat nu getest wordt in pilots. Bij voorkeur neemt de provincie daar, ondersteund door gemeenten, de leidende rol in, en neemt zij ook het initiatief tot een gesprek hierover met het Rijk en andere provincies.

Daarnaast is het trekken van lessen uit succesvolle samenwerkingen tussen partijen, die de urgentie en de problemen van de energietransitie gezamenlijk onder ogen hebben gezien en tot maatschappelijk gewenste oplossingen zijn gekomen, aan te raden, zodat voortgebouwd kan worden op deze ‘best practices’ door andere partijen. Hierdoor ontstaat breed gedeelde kennis die bijdraagt aan de transitie van het Friese energiesysteem.

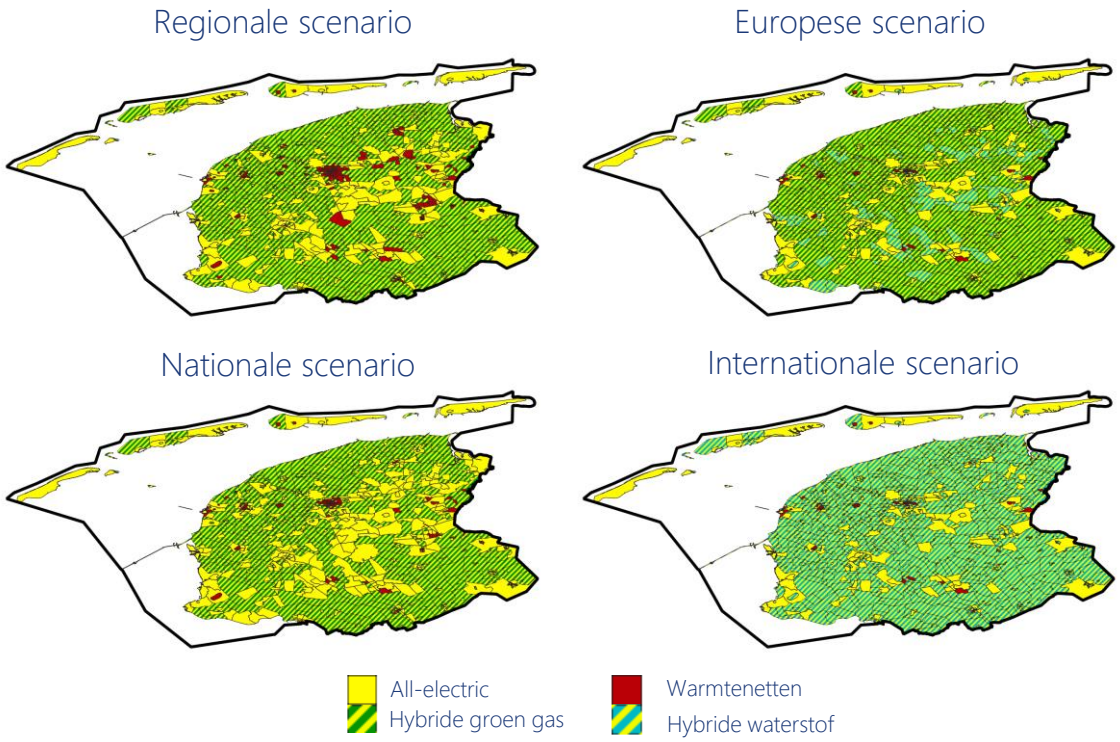
a. Appendices

Bijlage 1. Scenario's in het Energietransitiemodel

Scenario	Link
2030	https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/839183
2050 Regionale sturing	https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/839188
2050 Nationale sturing	https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/839189
2050 Europese CO_2-sturing	https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/839190
2050 Internationale sturing	https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/839191

Bijlage 2. Gebouwde omgeving

Gekozen warmtetechnieken per buurt in de 2050 scenario's worden weergegeven in Figuur 42.



Figuur 42. Warmtetechnieken per buurt in de 2050 scenario's.

Warmtenetten verwarmen op dit moment ongeveer slechts 0,3% van de huishoudens in Fryslân. De verwachting is dat dit percentage groeit tot circa 7% in 2030. Het percentage warmtenetten in de 2050 scenario's loopt uiteen tussen 12% en 37%. In het scenario Regionale sturing wordt de volledige potentie aan aanwezige warmte benut in Fryslân[33], hiermee kan 37% van de huishoudens verwarmd worden. In het scenario Europese CO_2-sturing en het scenario Internationale sturing wordt er 12% van de huishoudens verwarmd met een warmtenet. Het is aannemelijk dat utiliteiten dezelfde warmtebron zullen hanteren als huishoudens wanneer een collectieve warmtebron wordt ingezet. Een warmtenet wordt pas kosteneffectief als het aantal aansluitingen en warmtevraag per buurt hoog is.[34]

In de huidige situatie wordt een klein deel van de gebouwde omgeving verwarmd met *all-electric* warmtetechnieken. Dat is nu een combinatie van warmtepompen en elektrische kachels. In 2030 zal dit ook nog het geval zijn, maar in 2050 is de verwachting dat *all-electric* alleen warmtepompen zijn omdat elektrische kachels niet efficiënt zijn vergeleken met warmtepompen. Er is namelijk veel energie benodigd om warmte te genereren. Bovendien zorgen elektrische kachels voor piekbelasting op het elektriciteitsnet wat onwenselijk is. Dit wil overigens niet zeggen dat er geen piekbelasting op het elektriciteitsnet kan ontstaan. De vraag naar warm tapwater kan nog steeds zorgen voor grote vraag naar elektriciteit.

[33] Potentie is berekend aan de hand van aanwezige warmtebronnen in de Startanalyse van PBL (2021)
[34] Dit geldt tevens voor het gasnet. Als voor slechts 15% van de woningen in een buurt het gasnet in stand gehouden moet worden is nog steeds 70% van het gasnet benodigd. De kosten per aansluiting worden daarom aanzienlijk hoger.

In 2030 groeit het aandeel *all*-electric tot 17% van de huishoudens. In alle 2050 scenario's groeit dit percentage verder door. In het Nationale sturingsscenario wordt 59% van de woningen verwarmd door een *all-electric* warmtebron. In dit scenario is er een grote hoeveelheid beschikbare duurzame elektriciteit aangenomen, wat het grote aandeel *all-electric* in dit scenario verklaard. In het scenario Europese CO_2-sturing en het Internationale scenario 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.

De totale energievraag in de huishoudens is nu ongeveer 17 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 in alle scenario's geïsoleerd, de overstap gemaakt op ledlampen en worden er warmtepompen ingezet waarmee een hoger rendement wordt behaald in vergelijking tot hr-ketels. 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 A/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 warmtepomp oplossing zorgt voor een lage energiebehoefte. In de scenario's Europese CO_2-sturing en Internationale sturing wordt er veel gebruik gemaakt van hybride warmtepompen, hier wordt minder geïsoleerd dan in het scenario Nationale sturing.

B.2.1 Regionalisering

Verdeling is gedaan op basis van huidig verbruik (NP RES data voor landbouw) aangevuld met data uit modellen (die beschikbaar zijn gesteld door Liander) voor nieuwe glastuinbouwlocaties en de verdeling van de huidige glastuinbouw.

Bijlage 3. Mobiliteit

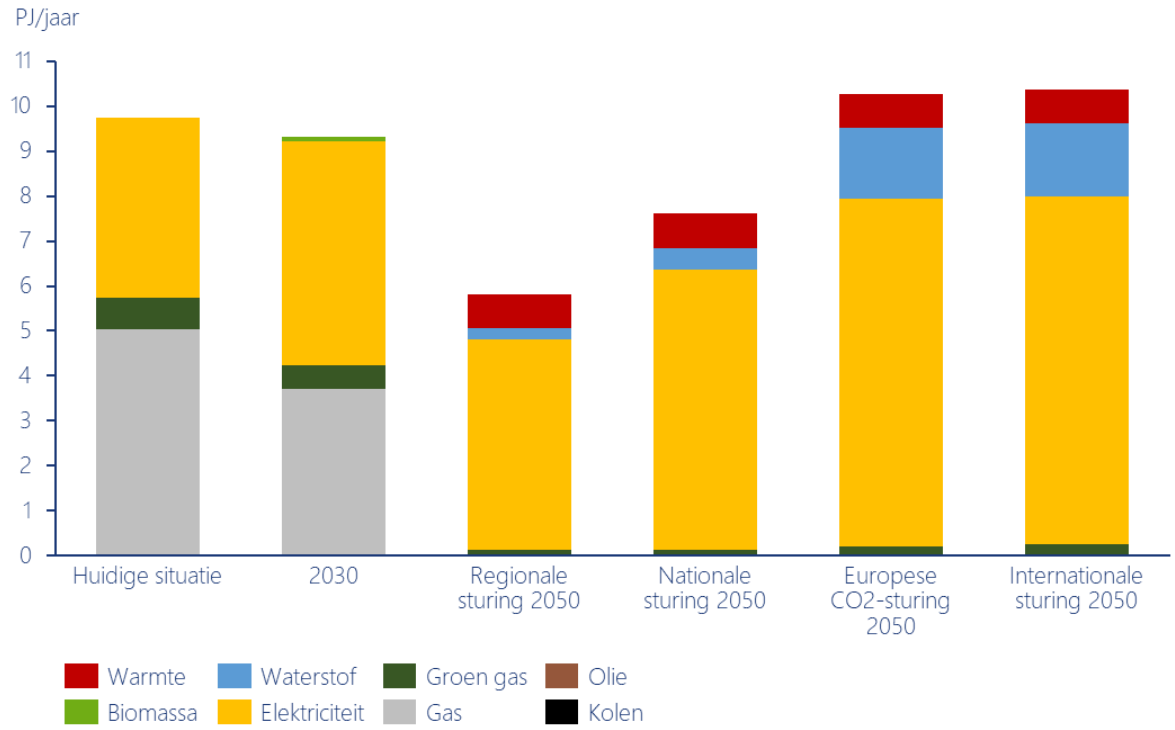
Ook de veerdiensten naar de Waddeneilanden zullen veranderen van brandstoffen. In 2030 nemen we aan dat 25% van de veerdiensten geëlektrificeerd is. Elektrificatie van deze veerdiensten zal vermogens van circa 10 MW in de havens vragen voor het opladen van de schepen. Gesprekken met rederij Doeksen en rederij Wagenborg laten zien dat deze techniek mogelijk al snel haar intrede kan doen. Voornamelijk Doeksen ziet hier goede kansen. De veerdiensten naar de Waddeneilanden zullen in de 2050-scenario's geen gebruik meer maken van diesel. De veerdiensten naar Vlieland en Terschelling gebruiken in deze scenario's elektriciteit, omdat Doeksen goede kansen voor elektrisch varen ziet. Ameland en Schiermonnikoog zullen gebruik maken van synthetische brandstoffen, omdat Wagenborg verwacht hiervan gebruik te maken. Welke brandstoffen dat zijn, wordt buiten beschouwing gelaten in deze studie omdat hier nog geen zicht op is.

Voor het vrachtvervoer volgen we de aannames uit de II3050-studie, waarbij de modaliteiten in Fryslân niet veranderen ten opzichte van de huidige situatie. De vraag naar vrachtvervoer neemt in het Regionale scenario jaarlijks met 1% af en in het Europese en globale scenario groeit deze jaarlijks met 1%. Van het vrachtvervoer wordt 51% door scheepvaart verzorgd, 48% door vrachtwagens en de resterende 1% door treinen. Vrachtwagens zullen in het Regionale scenario voornamelijk gebruik maken van elektriciteit en in de overige scenario's zal het aandeel brandstoffen hoger zijn.

B.3.1 Regionalisering

Voor de regionalisering van mobiliteit is onderscheid gemaakt in drie categorieën. Dit zijn personenauto's, wegtransport en veerdiensten. Het aantal personenauto's per buurt vanuit de CBS-kerncijfers 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 (midden scenario). 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. Veerdiensten zijn geregionaliseerd op van basis van gesprekken met de rederijen Wagenborg en Doeksen. Hierbij is aangenomen dat rederij Doeksen sterk gaat elektrificeren. De elektriciteitsvraag afkomstig van veerdiensten is daarom verdeeld over de havens waar rederij Doeksen opereert.

Bijlage 4. Industrie



Figuur 43. Finale energievraag industrie per energiedrager

Voedingsindustrie

Vanuit de emissieregistratie database zijn er gegevens over twaalf bedrijven die onder de voedingsmiddelenindustrie vallen en een uitstoot hebben van ~1,7 Mton (in 2018). De vijf grootste daarvan zijn zuivel- en aardappelverwerkingsbedrijven die verantwoordelijk zijn voor ~75% van de CO_2 emissie van deze sector in Fryslân. Wat verduurzamingsopties betreft focussen we dus op deze sectoren. Twee kenmerken van de sector zijn bijzonder van belang bij de energietransitie: enerzijds het type energieverbruik, dat voor een groot deel om warmte onder de 200C, en koeling gaat, en anderzijds de relatieve nabijheid van biomassastromen die worden ingezet voor energie vanwege bijvoorbeeld restproduct, zoals aardappelschillen, en biogas vanuit de veehouderijen waar ook de melk wordt geproduceerd.

In de huidige situatie zijn er bedrijven in de Nederlandse voedingsindustrie die biogas gebruiken om voor een deel van het energieverbruik te voorzien. We gaan ervanuit dat dit ook in Fryslân het geval is. De verwachting is dat dit kan toenemen richting 2030. Elektrificatie is een andere trend waarvan veel wordt verwacht binnen deze sector. In 2050 zelfs tot 100%, maar richting 2030 kan het ook al een rol spelen. Innovaties zoals het vervangen van het indampen door filtratie, evenals een verschuiving van gas naar elektriciteitsverbruik, scheelt daarnaast ook een factor 4-5 in energieverbruik. Ook het vervangen van thermische door mechanische damprecompressie zorgt voor een efficiëntieslag. Bij de aardappelverwerkingsindustrie betreft het grootste aandeel van het energiegebruik het frituren van de aardappelen tot het product. Restwarmte van het bakproces kan worden ingezet bij andere processen, of zelfs in de omgeving. Na het frituren wordt het product ingevroren. Dit is een ander energie-intensief proces, dat elektriciteit verbruikt.

Biogas, elektrificatie, en geothermie, zijn mogelijkheden voor verduurzaming van deze sector, 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 voor de hand liggend.[35,36].

B.4.1 Regionalisering

Voor de locaties van de subsectoren papier, voeding, en overige industrie is voor de bedrijven die onder het EU-ETS vallen een verdeling van het energieverbruik gemaakt op subsectoraal 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_2-emissies van het jaar 2018). Op basis van de energiemix van die subsector en het aandeel van een bedrijf in de grootte van de subsector wordt vervolgens de toewijzing van het elektriciteitsverbruik naar de locatie van die bedrijven gemaakt. 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, wordt de verdeling op basis van de huidige gasvraag gedaan. Voor elektriciteit wordt de verdeling volgens de huidige elektriciteitsvraag gedaan naar buurtniveau.

[35] MIDDEN rapport: Pierrot & Schure (2020). *Decarbonisation options for the Dutch dairy processing industry*, PBL.
[36] MIDDEN rapport: West, de Jonge, and van Hout (2021). *Decarbonisation options for the Dutch potato products industry*, PBL.

Bijlage 5. Land- en glastuinbouw

In Fryslân zijn twee grote glastuinbouwcluster aan te wijzen, Sexbierum en Berlikum. In Sexbierum is nu circa 35 ha aan areaal in gebruik door glastuinders. In de scenario's is aangenomen dat dit gebied nog kan groeien tot circa 50 ha in 2050. Het totaal opgesteld WKK vermogen in het gebied bedraagt nu 10 MWe en zal ligt groeien. Voor alle gebieden ziet de sector dat het elektriciteitsgebruik jaar op jaar licht toeneemt, de warmtevraag daalt echter.

In Berlikum is nu circa 75 ha in gebruik door glastuinders. Dit gebied zal minder groeien, er is nog een kleine groei tot circa 80 ha te verwachten in 2050. Het totaal opgesteld WKK vermogen in Berlikum bedraagt nu 25 MWe en zal ook licht stijgen.

De huidige energievoorziening van de land- en glastuinbouwsector 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 een klimaatneutrale invulling van de energiebehoefte.

B.5.1 Regionalisering

Verdeling naar buurtcode is toepast op basis van huidig verbruik (NP RES-data voor landbouw) aangevuld met data uit modellen (die beschikbaar zijn gesteld door Liander) betreffende nieuwe glastuinbouwlocaties en de verdeling van de huidige glastuinbouw.

Bijlage 6. Energieproductie

Energieproductie vindt in Fryslân plaats in meerdere vormen. Elektriciteitsproductie door zon en wind is de voornaamste energiebron.

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 Fryslân. Wind op zee is daarom niet meegenomen in deze systeemstudie. Import van elektriciteit opgewekt door productievermogen op zee is echter zeer aannemelijk.

Het huidige aanbod van zonne- en windenergie is klein in vergelijking met de geprognosticeerde waarde voor de 2030 en 2050 scenario's. Het huidige vermogen zon-PV bedraagt circa 0,8 GW[37]. In 2030 groeit dit vermogen door naar 1,6 GW. Energiecoöperaties laten hier al een actieve rol in zien. Bij voorkeur wordt het grootste deel van het zon-PV vermogen gerealiseerd op dak om zo de landschappelijke impact te minimaliseren. Deze keuze is tevens terug te zien in Figuur 11, waarbij het aandeel zon-PV op daken iets groter is dan het aandeel zon-PV op land. 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 langzamer ten opzichte van het scenario 2030.

Het vermogen wind op land groeit nauwelijks richting 2030. Dit komt omdat recent Windpark Fryslân is opgeleverd, waarmee een groot deel van de Friese windenergiedoelstelling wordt gerealiseerd. Het is niet uitgesloten dat het windvermogen niet meer groeit richting 2030. Concrete plannen hiervoor ontbreken echter momenteel. Voor de 2050-scenario's is sterk gevarieerd in het vermogen wind op land. Dit komt enerzijds vanwege de provinciale doelstelling om voornamelijk in te zetten op zonne-energie en anderzijds door het grote windenergiepotentieel dat Fryslân kent. In het Regionale scenario wordt daarom geen additioneel wind op land-vermogen gerealiseerd, terwijl in het Nationale scenario meer dan 1 GW wind op land vermogen wordt bijgeplaatst.

B.6.2 Regionalisering

2030

Voor kleinschalige zon-PV op daken zijn we uitgegaan van het vermogen genoemd in het meeste recente scenario voor Fryslân in 2030 gemaakt door Over Morgen). Het totale vermogen is vervolgens verdeeld over alle Friese 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 zijn we aangesloten bij de NP RES-prognoses per RES-regio. Iedere RES-regio heeft drie scenario's gemaakt, waarin mogelijke toekomstbeelden zijn geschetst, te weten:

a) het meest realistische scenario
b) een scenario waarin alle zoekgebieden worden gerealiseerd
c) een scenario's waarin alleen de projecten die momenteel al in de pijpleiding zitten worden gerealiseerd. '

Voor het 2030 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.

[37] https://2020.jaarverslag.alliander.com/actuele-prestaties/ontwikkelinenergietran/a2059_Zonne-energie, o.b.v. Q3 2021

2050

Voor 2050 is aangesloten bij II3050 voor wat betreft de nationale totalen voor zon en wind op land. Vanuit de nationale totalen is een uitsnede gemaakt voor de provincie Fryslân zodat de totalen voor Fryslân bepaald konden worden. De gehanteerde geografische verdeling is vergelijkbaar met de methode gebruikt voor de 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 dat geprognotiseerd in het scenario van het RES-proces waarin alle zoekgebieden worden gerealiseerd, en wordt het aanvullende vermogen verdeeld volgens de onderstaande 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 de 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. De harde restricties zijn conform de regionalisering van II3050 en zijn gebaseerd op de analysekaarten van NP RES.
- Wind op land: het aanvullende vermogen is verdeeld over alle buurten op basis van het beschikbare oppervlak aan grond zonder harde restricties. De harde restricties zijn conform de regionalisering van II3050 en gebaseerd op de analysekaarten van NP RES

Voor kleinschalige zon-PV op daken (<15 kWp) is het totale vermogen verdeeld over alle Friese buurten op basis van de potentie voor kleinschalige zon op daken per buurt uit analyseresultaten van zonatlas. Er is geen wind op zee gealloceerd aan Fryslân, omdat is aangenomen dat er geen wind op zee aanlandt in Fryslân.

B.6.3 Centrales

In Fryslân staat de Bergumcentrale. De Bergumcentrale bestaat uit vier gasturbines van elk 36 MWe. Hiermee komt het totale vermogen van de centrale op 0,15 GW[38]. De centrale wordt momenteel ingezet als piekcentrale, wat betekent dat alleen bij een zeer grote vraag naar elektriciteit de centrale elektriciteit zal produceren. Twee eenheden van 300 MW zijn op dit moment geheel buiten gebruik. De centrale werd in het verleden dus met groter vermogen bedreven, en heeft een directe dubbele aansluiting op het 220 kV-net.

De verwachting is dat de centrale tot in 2030 operationeel zal blijven. Het is nog onduidelijk wat de plannen voor de centrale zijn na 2030, omdat de centrale relatief oud is en gemoderniseerd moet worden. Door het groeiende vermogen van wind- en zonne-energie neemt de behoefte aan back-upcentrales toe. Het is daarom logisch dat de centrale na 2030 nog operationeel zal blijven. Daarnaast is de locatie van de huidige centrale een logische keuze wanneer er een nieuwe centrale gerealiseerd dient te worden, want zowel de gas- als elektriciteitsinfrastructuur is reeds aanwezig. Er is voor gekozen om in het Regionale en Internationale scenario de centrale te sluiten omdat de centrale te oud wordt en een nieuwe centrale niet op dezelfde locatie wordt gerealiseerd. In het Nationale scenario wordt een nieuwe waterstofcentrale met een vermogen van 2 GWe gebouwd ter vervanging van de huidige centrale. In het Europese scenario wordt de huidige centrale vervangen door een nieuwe gascentrale met een capaciteit van 1 GWe.

Bij de doorrekeningen van II3050 wordt regelbare elektriciteitsproductie meegenomen als systeemflexibiliteit. Voor deze studie sluiten we aan bij deze methode.

[38] Het werkelijke vermogen is circa 0,650 GWe. De stoomturbines van de STEG eenheid worden niet gebruikt, waardoor het huidige vermogen 0,15 GWe bedraagt.

B.6.4 Afvalverbrandinginstallaties (AVI's)

Fryslân kent één afvalverbrandingsinstallatie (AVI): In Harlingen staat de Reststoffen Energie Centrale (REC). Deze centrale produceert zowel warmte als elektriciteit. De warmte (jaarlijks circa 250 GJ) wordt momenteel geleverd aan de nabij gelegen Frisia zoutfabriek. Dit is de volledige capaciteit van de installatie. De REC in Harlingen is juridisch gekoppeld met Frisia Zout. Dit houdt concreet in dat er langetermijncontracten zijn aangaande de levering van warmte uit de REC aan Frisia. Onlangs is het contract voor levering van warmte aan Frisia verlengd tot 2035. Dit betekent dat tot die periode de huidige installatie in bedrijf blijft en dat alle geproduceerde warmte geleverd wordt aan Frisia. Er is dan ook geen mogelijkheid tot het leveren van warmte aan derde partijen. De REC heeft momenteel een vermogen van 16 MWe, maar er is nog ruimte om dit te verhogen naar 20 MWe. De opwekte elektriciteit wordt binnen de REC en Frisia Zout gebruikt en de resterende elektriciteit wordt op het net gebracht bij station Herbayum 10 kV dat ligt tussen Harlingen en Franeker.

De verwachting is dat de REC in 2030 nog steeds operationeel zal zijn, waarbij de elektriciteit nog steeds op het net wordt gebracht en de warmte uitgekoppeld wordt naar de Frisia zoutfabriek, Dit heeft een hoge mate van zekerheid doordat onlangs de contracten voor levering van energie verlengt zijn. Richting 2050 zal de circulaire trend naar verwachting sterk merkbaar zijn. De hoeveelheid afval zal hierdoor reduceren. Het is niet rendabel om de AVI op een kleinere capaciteit te laten draaien. De REC Harlingen zal daarom in bedrijf blijven of sluiten richting 2050. Om deze binaire keuze in deze scenario's mee te nemen, is ervoor gekozen om in het Regionale en Europese scenario de REC te sluiten. In het Nationale en Internationale scenario blijft de REC operationeel.

In de scenario's waarbij de REC operationeel blijft zou CO_2 uitgekoppeld kunnen worden naar de glastuinbouw kernen van Berlikum en Sexbierum.

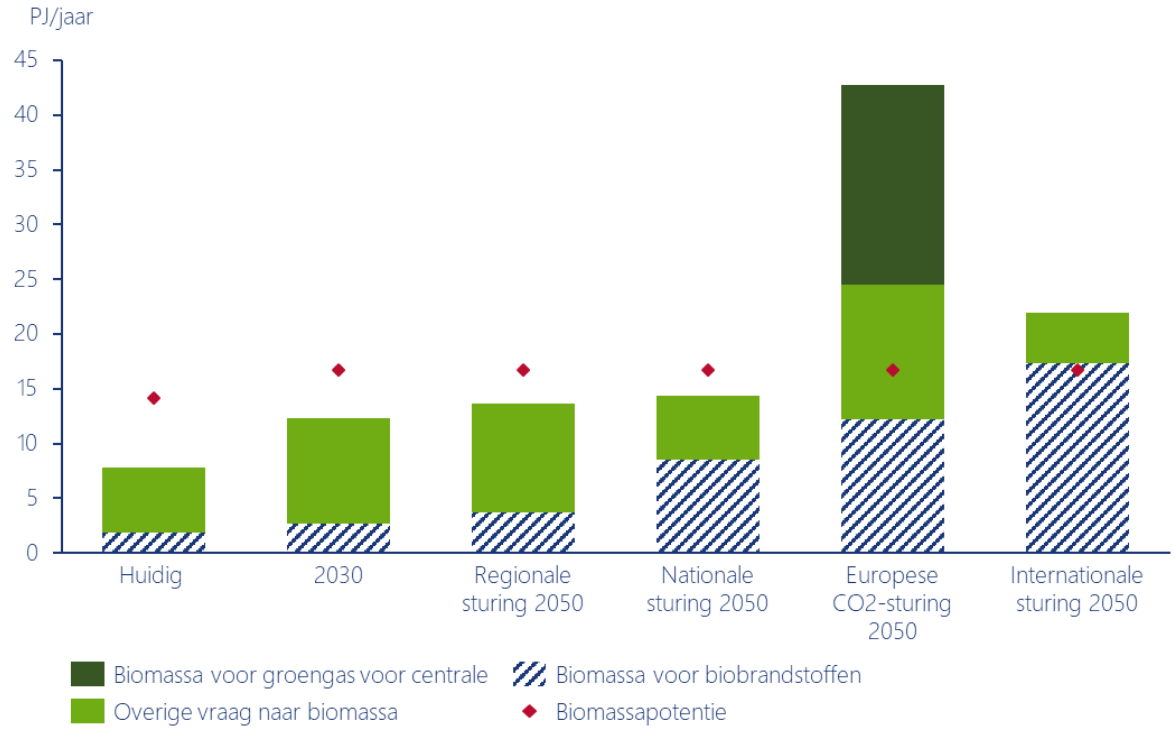
B.6.5 WKK's

WKK's vormen een belangrijke techniek om elektriciteit, warmte en CO_2 op te wekken voor de glastuinbouw. Binnen deze systeemstudie is er rekening mee gehouden dat (bio)WKK's beperkt blijven bestaan in de 2050 scenario's. De voornaamste reden is de productie van CO_2 die in de glastuinbouw benodigd is. Afschalen van WKK's is voor deze sector niet haalbaar totdat de benodigde CO_2 op andere wijzen beschikbaar is. In alle scenario's is daarom een kleine hoeveelheid bio-WKK's verondersteld. In de 2050-scenario's waarin de REC zal sluiten, is nog 10 MW additioneel bio-WKK vermogen verondersteld om te compenseren voor het gebrek van CO_2. In het geval dat bio-WKK's worden ingezet, heeft dit geen impact op het gasnet, omdat lokaal geproduceerd biogas wordt ingezet.

B.6.6 Biomassa

Fryslân kent een grote biomassapotentie, welke voor verschillende doeleinden ingezet kan worden. Figuur 44 maakt onderscheid in drie verschillende typen vraag naar biomassa: biomassa voor biobrandstoffen, biomassa voor groen gas voor centrale en overige vraag naar biomassa. Alle binnenvaart, exclusief een gedeelte van de veerdiensten, maakt gebruik van biobrandstoffen. Hierdoor ontstaat een grote vraag naar biomassa. Het is aannemelijk dat een gedeelte van de binnenvaart op de lange termijn gebruik zal maken van een elektrische aandrijflijn of synthetische brandstoffen, waardoor de vraag naar biomassa minder groot is dan wordt aangegeven door Figuur 44.

In het Europese centrale is een grote elektriciteitscentrale op gas verondersteld. Figuur 44 laat zien wat de vraag naar groen gas is als de centrale gevoed wordt door groen gas. Op de elektriciteitscentrale zou ook carbon capture and storage (CCS) toegepast kunnen worden zodat de centrale gevoed kan worden met aardgas.



Figuur 44. Biomassavraag en potentie

B.6.7 Geo- en zonthermie

In Fryslân is de verwachting dat in 2050 gebruikt wordt gemaakt van geo- en zonthermie. Geothermie is met name terug te 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.

Bijlage 7. Oplossingsrichtingen

In Figuur 45 wordt een overzicht gegeven van de meest voor de hand liggende oplossingsrichtingen, met een korte beschrijving en kwalitatieve score van de aspecten Impact, Betaalbaarheid, Ruimtelijke inpasbaarheid, en Realisatiesnelheid. Het aspect “Impact” geeft een score over hoe direct en voorspelbaar de genoemde oplossingsrichting voor een structurele oplossing zorgt. Het aspect “Betaalbaarheid” scoort hoog wanneer de kosten laag zijn. Het aspect “Ruimtelijke inpasbaarheid” is een weergave van het benodigde ruimtebeslag. 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, 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 leverings-zekerheid risico..	◑	●	●	●	Opwek
Curtailment	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 aanbodknelpunten 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
Vraagsturing (op afname)	Bij veel vraag wordt er vraag afgeschakeld en verplaatst naar later tijdstip. Dit is goedkoop maar niet altijd beschikbaar.	◔	◑	●	◑	Afname
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

Figuur 45. Overzicht oplossingsrichtingen met kwalitatieve waardering voor impact, betaalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid en realisatiesnelheid. De vulling van de cirkels geeft aan in hoeverre dit criterium van toepassing is (vol = in hoge mate van toepassing; leeg = niet van toepassing)

Oplossingen binnen het elektriciteitsnet

Betreffende de oplossingen binnen het elektriciteitsnet zijn naast netverzwaring drie anderen oplossingen gedefinieerd: het aansluiten op een ander netvlak, N-0 aansluitingen en curtailment.

Netverzwaring – vraag- en aanbodknelpunten

De huidige standaardoplossing voor knelpunten is netverzwaring. Hierbij worden stations en verbindingen 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 verbinding 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, kan de elektriciteit over dit andere netvlak getransporteerd 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 als er 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, zodat 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 langs de bestaande infrastructuur. De capaciteit wordt immers vergroot zonder dat het net verzwaard hoeft te worden. Hierdoor loopt echter de leveringszekerheid gevaar, 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 Fryslân 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.

Curtailment (aansluiten met een lagere capaciteit) – aanbodknelpunten

Bij curtailment wordt een grens gesteld aan het maximale vermogen dat mag worden ingevoed 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 verzwaard hoeft te worden tot het piekvermogen van een elektriciteitsproducent. Curtailment is daarom een eenvoudige oplossing om flexibiliteit te realiseren in het energiesysteem. Echter, curtailment kan alleen worden toegepast wanneer het een aanbodknelpunt betreft.

Curtailment 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 de 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 dag 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 businesscase 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 produceren dan ze verbruiken, 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 word 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 nadrukkelijkere rol zullen gaan spelen. In de landelijke Klimaatneutrale energiescenario'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 elektrolysers vaak modulair worden opgeleverd. De capaciteit is dus wel afhankelijk van hoeveel waterstof die opgeslagen of getransporteerd kan worden. Waterstof kan bijvoorbeeld via de waterstofbackbone over grote afstanden vervoerd worden en in bijvoorbeeld zoutcavernes voor lange tijd worden opgeslagen.

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

Er is echter ook een aantal andere belangrijke overwegingen bij de inzet van P2G. Ten eerste heeft P2G een grotere impact op knelpunten als het dichter bij 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. Ten slotte 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 businesscase 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 opwekte elektriciteit dichtbij de productielocatie om te zetten in warmte wordt het elektriciteitsnetwerk 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 vol-continue 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.

Om knelpunten in het elektriciteitsnet te voorkomen kan PH2 in Fryslân 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 hybridering 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 bij 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 bezien. 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 verbruiker. 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

Samenbrengen vraag en aanbod en 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.

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.

Bijlage 8. Betrokken stakeholders

Kerngroep

- Hester Verbeek, Provincie Friesland
- Jack van der Wal, Provincie Friesland
- Jolien Wilbrink, Provincie Friesland
- Rik Heijman, Gemeente Heerenveen
- Gerk Jan Kuipers, Gemeente Leeuwarden
- Maarten Afman, Liander
- Jarig Steringa, Gasunie
- Laurens Wester, TenneT

Benaderde stakeholders voor specifieke input

- LTO Noord
- Glastuinbouw Nederland
- FrieslandCampina
- REC Harlingen
- Us Cooperaasje
- Gemeente Ameland

Deelnemers klankbordgroepen

- Bouwend Nederland
- Elkien
- Engie
- Ennatuurlijk
- FEA
- FMF
- Freonen fan Fossylfrij Fryslân
- Galama Sustainable Solutions
- Gasunie
- Gemeente Ameland
- Gemeente Fryske Marren
- Gemeente Heerenveen
- Gemeente Leeuwarden
- Gemeente Noardeast Fryslân
- Gemeente Ooststellingwerf
- Gemeente Opsterland
- Gemeente Schiermonninkoog
- Gemeente Sudwest Fryslan
- Gemeente Terschelling
- Gemeente Tytsjerkstradiel
- Gemeente Vlieland
- Gemeente Waadhoeke
- Gemeente Weststellingwerf
- Glastuinbouw Nederland
- JongRES

- Liander
- LTO Noord
- Middelsee
- NEC
- Netwerk duurzame dorpen
- OD Groningen
- Provincie Fryslân
- Stedin
- TenneT
- Thuswonen
- Us Kooperaasje
- Vereniging van Duurzame woningbouwcoorperaties
- vnoncw-mkbnoord
- Wetterskip
- Woonstichting Weststellingwerf

Bijlage 9. Bronnenlijst

- Berenschot en Panterra (2020). WARM in Fryslân.
- CBS Statline (2021).
- CBS. Voorraad woningen; gemiddeld oppervlak; woningtype, bouwjaarklasse, regio. Data van 27 oktober 2021 op opendata.cbs.nl.
- CE Delft (2018). Warmtekaart provincie Fryslân.
- DNV-GL (2017). Verkenning waterstofinfrastructuur.
- Enpuls (maart 2021), MKBA inpassing zon-en-wind-op-land.
- ETM. Technische parameters en kosten waterstofcentrale.
- New Energy Coalition (2021). Groen gas en haar bijdrage aan de Friese energietransitie d.d. 25-03-2021.
- Alliander (2021). Jaarverslag, o.b.v. Q3 2021. Geraadpleegd op https://2020.jaarverslag.alliander.com/actuele-prestaties/ontwikkelinenergietran/a2059_Zonne-energie.
- Energeia. Kosten voor filebestrijding op het net blijven toenemen voor TenneT. Geraadpleegd op https://energeia.nl/energeia-artikel/40092008/kosten-voor-filebestrijding-op-het-net-blijven-toenemen-voor-tennet
- Ennatuurlijk. Warmtenet Leeuwarden. Geraadplaagd op https://ennatuurlijk.nl/warmtenetten/leeuwarden
- Primos. https://primos.abfresearch.nl/jive
- Warmte van Leeuwarden. https://warmtevanleeuwarden.nl/tijdpad/
- OV Pro (2020). Groningen gaat dieseltrein vervangen door waterstoftrein. https://www.ovpro.nl/trein/2020/09/30/groningen-gaat-dieseltrein-vervangen-door-waterstoftrein/?gdpr=accept
- Posad Spatial Strategies et.al.(2018). Klimaat Energie en Ruimte.
- PBL (2020). Klimaat- en Energieverkenning.
- Berenschot (2020). Klimaatneutrale energiescenario´s 2050.
- Pierrot & Schure (2020). Decarbonisation options for the Dutch dairy processing industry, PBL.
- West, de Jonge, and van Hout (2021). Decarbonisation options for the Dutch potato products industry, PBL.
- Netbeheerder Nederland (2020). Factsheet Opschaalbare oplossingen voor transportschaarste. https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Netcapaciteit_60_a7ae27bf52.pdf
- NP RES (2019).
- PBL (oktober 2020), Regionale Energiestrategieën, een tussentijdse analyse.
- Royal Haskoning DHV (2017). Warmte-inventarisatie Fryslân.
- PBL (2021). Startanalyse.
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018). Verkenning aanlanding netten op zee 2030, Samenvatting en tussentijdse notitie.



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 werkterrein 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
/berenschot