Samenvatting en samenhang Kennisdocument en achtergronddocumenten

De komende tijd werken we in gezamenlijkheid toe naar de Friese Energievisie. Met deze visie maken we keuzes over de te hanteren leidende principes in het Friese energiesysteem in relatie tot andere ruimtelijke ontwikkelingen.

Om deze keuzes te kunnen maken zijn eerst de (on)mogelijkheden van het Friese energiesysteem in kaart gebracht. Alle verzamelde inzichten zijn te vinden in dit Kennisdocument of in één van de achtergronddocumenten.

Hieronder volgt een overzicht van de inhoud per (achtergrond)document:

Het Kennisdocument: In dit document staan de belangrijkste inzichten in het huidige en verwachte Friese energiesysteem samengevat. Het stuk is slechts bedoeld om inzicht en inspiratie te bieden voor het vervolg. Het is geen stuk waar een bestuurlijk besluit over wordt verwacht. Hoofdzakelijk gaat het document in op drie inzichten:

- Inzicht 1: Fryslân kan aan zes belangrijke knoppen draaien in het energiesysteem. Deze zes knoppen zijn van grote invloed op de (efficiënte) inrichting van het Friese energiesysteem. We leggen in dit document uit hoe deze knoppen werken.
- Inzicht 2: Regionaal zijn er verschillende type gebieden waar energievraag, -aanbod en –infrastructuur variëren. Sommige knoppen zijn daarom effectiever in het ene gebied dan in het andere. De verschillende gebieden worden toegelicht in dit document.
- Inzicht 3: Er is niet één manier om het energiesysteem in 2050 in te richten. Er zijn verschillende scenario's en perspectieven beschikbaar. Deze perspectieven zijn bekeken en geanalyseerd voor Fryslân. We geven per perspectief inzicht aan de hand van acht beantwoorde vragen.

Achtergronddocument 1) Inzicht in ontwikkelingen vraag en aanbod van elektriciteit: Dit achtergronddocument biedt inzicht in de verwachte ontwikkelingen aan de vraag- en aanbodzijde van elektriciteit tot 2050. Op basis van omvang (vraag of aanbod elektriciteit), spreiding (centraal of juist decentraal), gelijktijdigheid (aanbod gelijk met opwek) bepalen we welke ontwikkelingen een grote netimpact hebben in Fryslân. Dit zijn met name zonneweides, de verduurzaming van de gebouwde omgeving, de verduurzaming van de industrie en de verduurzaming van personenvervoer.

Achtergronddocument 2) Inzicht in toekomstige belasting van het elektriciteitsnet: De ontwikkelingen uit achtergronddocument 1 hebben impact op het elektriciteitsnet. Deze impact wordt zichtbaar gemaakt in dit document. Vrijwel alle onderstations hebben een tekort aan capaciteit tot 2050. Zonopwek heeft de grootste impact op de stations.

Achtergronddocument 3) Inzicht in potentie alternatieve energiebronnen: Integraal programmeren gaat, naast elektriciteit, ook over andere energiedragers, zoals warmte, biogassen en waterstof. Inzet van andere energiedragers kan het gebruik van elektriciteit verminderen (en hierdoor de netimpact reduceren). Dit document bevat een overzicht van de potentie van alternatieve energiebronnen. De drie bronnen met de meeste potentie in Fryslân zijn aquathermie (TEO en TEA), biogas uit mest en geothermie.

Achtergronddocument 4) Inzicht in de gehanteerde methodiek: Dit document geeft een overzicht van de drie stappen die zijn doorlopen om te komen tot de inzichten in de andere documenten.

Friese Energietafel

Uw vragen over het toekomstige Friese energiesysteem beantwoord

Kennisdocument ten behoeve van de Friese Energievisie

Friese Energietafel

VERBINDEN | VERGROENEN | VERSNELLEN



Dit document biedt een gezamenlijke kennisbasis die helpt bij het komen tot de Friese Energievisie

1. Inleiding en beantwoording hoofdvraag: Wat zijn de belangrijkste 'knoppen' waar Fryslân aan kan draaien in het energiesysteem?
2. Wat zijn de belangrijkste 'knoppen' waar Fryslân aan kan draaien in het energiesysteem?
    1. Hoe groot is de opgave naar een energieneutraal Fryslân?
    2. Wat zijn de belangrijkste 'knoppen' voor heel Fryslân?
    3. Wat zijn de belangrijkste regionale 'knoppen'?
3. Uw vragen over het Friese energiesysteem beantwoord
    1. Wat als het huidige beleid het uitgangspunt is tot 2050?
    2. Wat als we wind op land of water wel gaan toelaten?
    3. Wat als we volledig op kernenergie overstappen?
    4. Wat als we waterstof in de gebouwde omgeving gaan inzetten?
    5. Wat als we de volledige warmtevraag willen invullen met duurzame warmtebronnen?
    6. Wat als elke gemeente zelf energieneutraal wordt?
    7. Wat als we het energiesysteem vanuit de Mienskip opbouwen?
    8. Wat als we het energiesysteem inrichten vanuit systeemperspectief?

Achtergronddocumenten voor verdieping (separate documenten)

1. Inzicht in ontwikkelingen vraag en aanbod van elektriciteit
2. Inzicht in toekomstige belasting van het elektriciteitsnet
3. Inzicht in potentie alternatieve energiebronnen
4. Inzicht in de gehanteerde methodiek

Friese Energietafel

Fryslân kan aan zes belangrijke 'knoppen' draaien in het energiesysteem

De energietransitie is in volle gang en het huidige energiesysteem is nog niet ingericht op het systeem van morgen. Een systeem met nieuwe manieren van energie-opwek, -productie, -gebruik en -verdeling vraagt om daarbij passende infrastructuur.

De energietransitie leidt op dit moment op veel plekken in Nederland tot congestie op het elektriciteitsnet en zo ook in Fryslân. Het is nodig dat enerzijds de energievoorziening beter aansluit bij de toekomstige behoefte. Anderzijds moeten ontwikkelingen zodanig op elkaar worden afgestemd dat de impact op het energienet zo klein mogelijk is. Integraal programmeren is een methodiek om in gezamenlijkheid in Fryslân hier stappen in te zetten. In dit traject werken we toe naar een Energievisie.

Om te komen tot een Energievisie, wordt eerst het Friese energiesysteem in kaart gebracht. Wat zijn belangrijke ontwikkelingen binnen Fryslân en hoe willen we daarop inspelen met de inrichting van het Friese energiesysteem? Wat zijn 'knoppen' waaraan we kunnen draaien? Dit Kennisdocument heeft als doel antwoord te geven op deze vragen.

Het geeft antwoord op de volgende hoofdvraag: Wat zijn de belangrijkste 'knoppen' waar Fryslân aan kan draaien in het energiesysteem?

Om de hoofdvraag in het kort te beantwoorden: er zijn hoofdzakelijk zes knoppen waaraan gedraaid kan worden in het Friese energiesysteem (zie het figuur hiernaast). In het volgende hoofdstuk lichten we deze knoppen nader toe.



Doel kennisdocument: inhoudelijke basis en géén besluitvormend document

Dit kennisdocument bevat inzichten op basis van een dataverzamelingsproces van de FET. Het stuk is slechts bedoeld om inzicht en inspiratie te bieden voor het vervolg. Het is geen stuk waar een bestuurlijk besluit over wordt verwacht. De vragen die beantwoord worden, zijn inhoudelijk van aard en vrij van politieke uitgangspunten. Met dit document onder de arm kunnen ambtenaren en bestuurders een onderbouwd gesprek voeren om te komen tot de Energievisie. Keuzes en eventuele besluiten over het Friese energiesysteem volgen in de volgende fase van het integraal programmeren bij het opstellen van de Energievisie.

Leeswijzer

Het document dat voor u ligt is een (bestuurlijk) hoofddocument met daarin de belangrijkste inzichten en conclusies. Het stuk is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 1: In dit hoofdstuk wordt het stuk ingeleid en antwoord gegeven op de hoofdvraag.
- Hoofdstuk 2: Hier gaan we nader in op de meest bepalende aspecten van het Friese energiesysteem – op provinciaal en regionaal niveau.
- Hoofdstuk 3: Vragen die u mogelijk heeft over het Friese energiesysteem worden hier in het kort beantwoord.

Aanvullend beschikken ambtenaren over een aantal inhoudelijke achtergronddocumenten. Deze documenten gaan nader in op ontwikkelingen van vraag en aanbod van elektriciteit, de netimpact van deze ontwikkelingen, de potentie van alternatieve energiebronnen en de methodiek om te komen tot dit document.

Friese Energietafel

Hoofdstuk 2: Wat zijn de belangrijkste ‘knoppen’ waar Fryslân aan kan draaien in het energiesysteem?

Friese Energietafel

Dit hoofdstuk geeft voor Fryslân als geheel de bepalende aspecten en zoomt daarna in op regionale aspecten

Dit hoofdstuk gaat nader in op de vraag: Wat zijn de belangrijkste 'knoppen' waar Fryslân aan kan draaien in het energiesysteem?

Dit doen we in drie paragrafen:

- Ten eerste wordt ingegaan op de Friese opgave om **energieneutraal** te worden. Box 2.1 hiernaast geeft een definitie van energieneutraliteit.
- Ten tweede geven we de meest belangrijkste knoppen in het Friese energiesysteem voor Fryslân **als geheel**. Dit doen we op basis van een uitgebreide analyse die verder is toegelicht in achtergronddocumenten.
- Ten derde zoomen we in op vijf (type) **regio's** waarvoor de knoppen telkens wat variëren. We geven de vragers van energie, de aanbieders van energie en kansen om die met elkaar te verbinden.

Box 2.1 Energieneutraal, energieonafhankelijk, CO_2-neutraal en klimaatneutraal

De definities van energieneutraal, klimaatneutraal en CO_2-neutraal lopen nog wel eens door elkaar. Hieronder geven we de definities die in dit document worden gehanteerd:

- Binnen een energieneutraal systeem wordt evenveel energie gebruikt als duurzaam geproduceerd. Het energieverbruik is netto nul. Een energiepositief systeem produceert meer duurzame energie dan dat het energie gebruikt.
- Binnen een energieonafhankelijk systeem wordt uitsluitend energie gebruikt dat binnen het systeem duurzaam is geproduceerd.
- Binnen een CO_2-neutraal systeem is de CO_2-uitstoot zo ver mogelijk gereduceerd en de restuitstoot wordt gecompenseerd, bijvoorbeeld door het aanplanten van bomen. De CO_2-uitstoot is dus netto nul. Binnen een CO_2-positief systeem wordt er meer CO_2 uit de atmosfeer gehaald dan uitgestoten.
- Binnen een klimaatneutraal systeem is de uitstoot van alle broeikasgassen en fijnstofdeeltjes zo ver mogelijk gereduceerd en de restuitstoot wordt gecompenseerd. De uitstoot van alle broeikasgassen en fijnstofdeeltjes is dus netto nul. Binnen een klimaatpositief systeem worden er meer broeikasgassen en fijnstofdeeltjes uit de atmosfeer gehaald dan uitgestoten.

Friese Energietafel

Hoe groot is de opgave naar een energieneutraal Fryslân?

Dit kennisdocument geeft een overzicht van kansen en knelpunten voor een duurzaam energiesysteem in 2050. Deze kansen en knelpunten zijn afhankelijk van de opgave in Fryslân voorligt om energieneutraal te worden. Op deze pagina geven we de opgave beknopt weer (in TWh, voor vergelijking met het RES-bod).

In 2019 was de vraag naar energie in Fryslân ong. 17 TWh.

Deze vraag komt voornamelijk uit de gebouwde omgeving (ong. 7 TWh) en uit mobiliteit (ong. 6 TWh).

Door elektrificatie kan de energievraag gereduceerd worden tot ong. 12 TWh

Elektrificatie zorgt voor veel energiebesparing. Dit komt doordat er geen verbrandingswarmte verloren gaat en elektrische apparaten een hoge efficiëntie (COP) hebben. Naast elektrificatie zorgt ook isolatie en de komende energiebesparingsplicht voor bedrijven jaren voor de nodige energiebesparing.

In onderstaande figuur wordt voor 2050 de bandbreedte weergegeven tussen de scenario's uit de systeemstudie Fryslân. In de hogere scenario's wordt ook de Lelylijn meegenomen en de daarbij behorende additionele woningen.

Met bestaande en vergunde projecten in de pijplijn wekt Fryslân 2,5 TWh aan duurzame elektriciteit op

Windpark Fryslân levert hiervan het grootste deel, namelijk ong. 1,5 TWh. Als de RES-ambitie van 3 TWh in 2030 behaald wordt, is er aanvullend nog ongeveer 7 tot 11 TWh opwek nodig om in 2050 energieneutraal te worden. De precieze hoeveelheid is afhankelijk van hoeveel er bespaard kan worden.

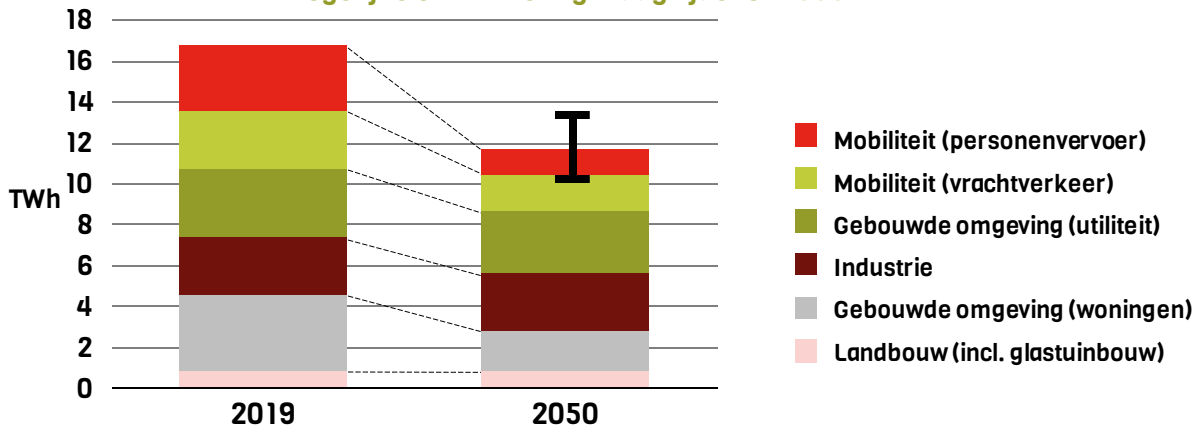
Met **maximale inzet** van biogas en duurzame warmte kan er ca. 4,6 TWh aan energie worden opgewekt

Geothermie, aquathermie en biogas uit mest hebben de grootste potenties om hieraan bij te dragen. De haalbaarheid of wenselijkheid van de inzet van deze bronnen is niet meegenomen in deze rekensom.

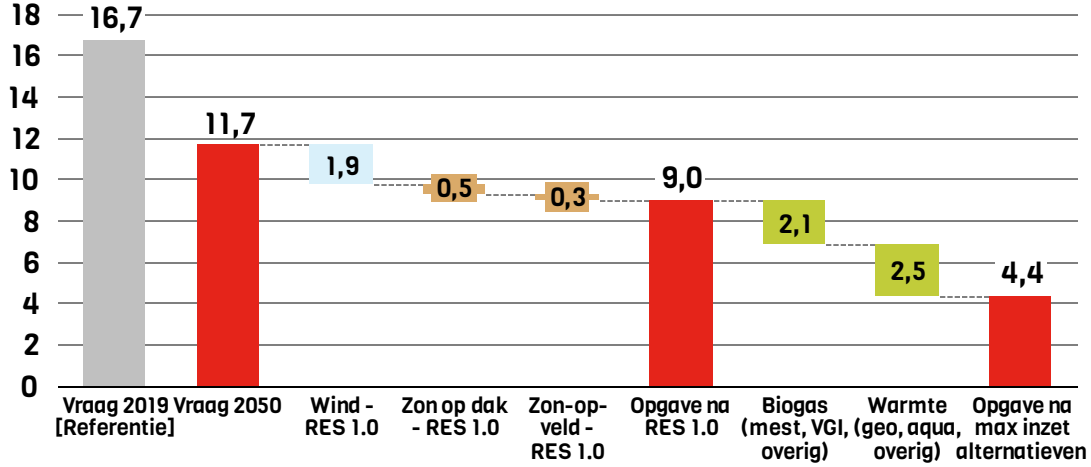
De overblijvende opgave is nog ong. 4,4 TWh extra productie van energie

Na besparing en maximale inzet van biogas en duurzame warmte wordt er aanvullend nog anderhalf tot ruim twee keer het zelfde RES-bod gevraagd om energieneutraal te worden.

Mogelijke ontwikkeling vraagzijde tot 2050



Mogelijke ontwikkeling aanbodzijde tot 2050 (watervalgrafiek)



Zes bepalende knoppen waar Fryslân aan kan draaien

Het Friese energiesysteem is aan het veranderen. Om uitgangspunten voor het toekomstige energiesysteem in Fryslân te bepalen, is het van belang dat de belangrijkste 'knoppen waaraan gedraaid kan worden' inzichtelijk worden gemaakt. Deze bepalende aspecten zijn voor Fryslân bepaald op basis van dataverzameling en analyse. Op deze pagina wordt de relatie tussen de verschillende aspecten nader geduid.

Twee ontwikkelingen met grote impact

Er spelen diverse ontwikkelingen in Fryslân die van invloed zijn op het energiesysteem. Er zijn in het bijzonder twee ontwikkelingen die veel van het huidige energiesysteem vragen en dit nog meer zullen doen in de toekomst als we op het huidige pad doorgaan. Deze staan hieronder omschreven:

1. **Zon en geen wind:** In het Friese energiesysteem wordt er steeds meer elektriciteit opgewekt met zonnepanelen. Zonneweides vragen om een groter en geconcentreerder elektrisch vermogen dan zon op daken. Zonneweides vragen daarom veel van de netinfrastructuur. En niet alleen qua omvang (aantal MW). Zonnepanelen leveren alleen energie op als de zon schijnt en dat is vaak niet het moment waarop er veel vraag naar elektriciteit is. Naast opwek via zon, kan ook de wind worden gebruikt voor opwek van duurzame elektriciteit. Met hetzelfde vermogen leveren windturbines meer elektriciteit dan zonnepanelen. Daarnaast is de gelijktijdigheid met de energievraag beter: het waait immers vaak harder in de winter wanneer de energievraag hoger is. Uitbreiding van (grote) windturbines is op dit moment beleidsmatig niet mogelijk waardoor er extra druk op opwek via zon ontstaat.

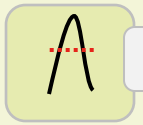
2. **Elektrificatie van het personenvervoer en de gebouwde omgeving:** Fossiele brandstoffen worden steeds vaker vervangen door elektriciteit. Dit geldt in hoge mate voor het personenvervoer en in de gebouwde omgeving. Voor personenvervoer maken traditionele benzineauto's plaats voor elektrische voertuigen. In een groot deel van de Friese gebouwde omgeving is de warmtepomp daarnaast het aangewezen alternatief. Bovendien wordt de hybride warmtepomp verplicht vanaf 2026. De hoge vraag naar elektriciteit komt in beide sectoren in pieken: bijvoorbeeld als het koud is of als mensen de auto laden na het werk. Dit zorgt voor een grote impact op het net.

Zes knoppen waaraan gedraaid kan worden

Op basis van de twee ontwikkelingen met grote impact op het energiesysteem zijn er zes knoppen waaraan gedraaid kan worden op provincieniveau. Deze knoppen worden nader toegelicht op de volgende pagina.



1. Besparing



2. Aftopping aansluitvermogen van zonopwek



3. In balans brengen en combineren opwek van zon en wind



4. Inzet warmtenetten met duurzame bronnen en seizoensopslag



5. Inzet biogas, met name uit mest



6. Inzet batterijen en slim laden

Zes bepalende knoppen waaraan gedraaid kan worden in Fryslân (2)

1. Besparing

In het energiesysteem geldt altijd: wat je niet gebruikt, hoef je niet op te wekken. Volgens de Trias Energetica is daarom **energiebesparing** altijd de eerste stap. Ook in Fryslân is er veel mogelijkheid om te besparen. Ten eerste zorgt elektrificatie van sectoren die nu fossiele technieken gebruiken (met verbranding waardoor energie verloren gaat) voor een vergroting van efficiëntie en daarmee besparing. Ten tweede is er ook in de gebouwde omgeving veel mogelijkheid om te besparen door te isoleren. Ook zullen industrieën ook steeds zuiniger worden in het gebruik van energie, mede door de energiebesparingsplicht. Tot slot kan er ook voor gekozen worden om bepaalde vragers van energie niet toe te laten binnen Fryslân.

2. Aftopping aansluitvermogen van zonopwek

Zonnepanelen werken maar een klein deel van de jaar op maximaal vermogen. Door het maximale **vermogen van de netaansluiting te beperken** (aftopping) kan de netimpact worden gehalveerd, maar blijft zo'n 90% van de opbrengsten behouden. Hierdoor wordt de impact van zonnevelden op het elektriciteitsnet verminderd.

3. In balans brengen en combineren opwek van zon en wind

Het toevoegen van windmolens bij zonnevelden zorgt voor een toename in energieproductie, maar met een geringe extra impact op het elektriciteitsnet. Dit komt doordat opwek met zon en wind *complementair* aan elkaar zijn (als de zon schijnt, waait het vaak minder en vice versa). Daarnaast waait het meer in de winter, wanneer de energievraag het hoogst is. Zo komen **aanbod en vraag in de tijd dichter bij elkaar** te liggen, waardoor er minder elektriciteit door het net getransporteerd hoeft te worden.

4. Inzet warmtenetten met duurzame bronnen en seizoensopslag

Om de impact van de elektrificatie van de warmtevraag van woningen te reduceren, kunnen er andere warmtevoorzieningen worden ingezet. Dit geldt voor plekken waar de warmtedichtheid groot genoeg is voor een warmtenet. De warmtebronnen met de meeste potentie in Fryslân zijn aquathermie (TEO 1,9 TWh en TEA 0,45-0,65 TWh) en geothermie (0,45 – 2,4TWh), maar er bestaan ook andere bronnen zoals bodemenergie of zonthermie. Seizoensopslag van warmte helpt bij het bufferen van de extra energievraag in de winter. Het benutten van de potentie van duurzame warmtebronnen blijkt in de praktijk nog lastig.

5. Inzet biogas, met name uit mest

De hoeveelheid mest in Fryslân is zeer groot. Biogas uit mest is hierdoor een belangrijke knop om aan te draaien (potentie ong. 1,2 TWh). Naast mest zijn er andere bronnen van biomassa om biogas of groen gas mee te produceren, maar de potentie hiervan is lager. Groen gas kan gebruikt worden in de gebouwde omgeving. Maar biogassen kunnen ook op andere manier ingezet worden, zoals voor meer flexibiliteit in aanbod van elektriciteit via een Warmtekrachtkoppeling (WKK).

6. Inzet batterijen en slim laden

Ook kunnen piekvermogens worden opgevangen in een **batterij** en op een later moment worden afgegeven. De impact van personenvervoer en in bredere zin batterijen, kan worden gereduceerd door batterijen **slimmer op te laden** of zelfs te gebruiken om elektriciteit terug te leveren aan het net wanneer er veel vraag is. Hierdoor kan elektrisch personenvervoer een positieve impact hebben op het elektriciteitsnet.

De bepalende 'knoppen' variëren per type gebied in Fryslân

Nu de zes belangrijkste knoppen voor heel Fryslân in beeld zijn, is het ook belangrijk nader in te zoomen naar regionale verschillen. We definiëren vijf type gebieden in Fryslân die onderling verschillen op het gebied van energievraag- en aanbod en kansen om deze aan elkaar te koppelen. Deze gebieden worden op de volgende pagina nader toegelicht op een kaart.

Kansen voor het bij elkaar brengen van vraag- en aanbod, bijvoorbeeld met energiehubs, liggen binnen deze gebieden maar ook waar deze gebieden elkaar raken. Parallel aan het integraal programmeren, wordt er in Fryslân onderzoek gedaan naar waar en hoe energiehubs in Fryslân kunnen worden ingericht.

- Landelijk gebied
- Stedelijk gebied
- Industriële clusters
- Logistieke knooppunten
- Waddeneilanden

Friese Energietafel

'Knoppen' in stedelijk en landelijk gebied

Stedelijk gebied

Steden hebben te maken met specifieke ontwikkelingen die toe te schrijven zijn aan het gebrek aan ruimte en de grotere bevolkings- en woningdichtheid. Door een gebrek aan boven- en ondergrondse ruimte zijn (elektriciteits)infrastructuur uitbreidingen moeilijker. Dit geldt ook voor grootschalige opwek. De woning- en bevolkingsdichtheid zorgt voor een hoge dichtheid van de warmtevraag, met name in hoogbouw (wijken). Binnen Fryslân zijn er meerdere steden die hiermee te maken hebben, maar de steden waar deze ontwikkelingen het meest dominant zijn, zijn de steden Leeuwarden, Heerenveen, Drachten en Sneek.

Dominante ontwikkelingen in de vraag naar energie

- **Verduurzaming van de warmtevraag.** De verduurzaming van de gebouwde omgeving heeft de grootste impact in stedelijk gebied. Veelal zal dit via elektriciteit gebeuren, maar ook via warmtenetten of groengas kan er verduurzaamd worden.
- **Toename van elektrisch personenvervoer.** Via laadpalen (publiek of privaat) zullen er steeds meer personenauto's worden opgeladen.
- **De Lelylijn.** In Drachten komt een nieuw station voor de Lelylijn. De Lelylijn gaat gepaard met een additionele elektriciteitsvraag.

Dominante ontwikkelingen in het aanbod van energie

Door relatief weinig ruimte en biomassa is het aanbod van energie vanuit stedelijk gebied beperkt. **Zon op dak** is hier de dominantste aanbod ontwikkeling.

Kansen in het stedelijk gebied

- **Warmtenetten.** Door de relatief hoge dichtheid van de warmtevraag bieden warmtenetten een alternatief voor elektrisch verwarmen. In combinatie met (ondergrondse) warmte-opslag kan de gebouwde omgeving worden verduurzaamd met beperkte impact op het elektriciteitsnet. Indien woningen voldoende geïsoleerd zijn, kan ook lage temperatuur warmte worden ingezet met bijvoorbeeld bodem, lucht en aquathermie als bron.
- **Net bewust en bidirectioneel laden via publieke laadpalen.** Door netbewust (bv niet tussen 5 en 7 's avonds en juist wel als de zon schijnt) te laden kan de impact van elektrische personenvoertuigen op de elektriciteits-infrastructuur beperkt blijven of positief worden. Via bidirectioneel laden kan ook (duurzame) energie geleverd worden op momenten dat er onvoldoende opwek is.

Landelijk gebied

Fryslân is een relatief dunbevolkte provincie met veel landelijk en weids gebied. Dit gebied wordt met name vormgegeven door de aanwezigheid van kleinere dorpen en grote hoeveelheden agrarische bedrijven. Deze agrarische bedrijven bevinden zich doorgaans op de haarvaten van het elektriciteitsnet, hebben toegang tot relatief grote hoeveelheden (rest-)biomassa en hebben in de vorm van schuren een relatief groot dak oppervlak. Voor deze ondernemingen spelen buiten energievoorziening ook prangende onderwerpen zoals stikstofuitstootreductie een rol.

Dominante ontwikkelingen in de vraag naar energie

In het landelijk gebied zijn relatief weinig grote veranderingen in de vraag naar energie te verwachten al lijkt in de verdere toekomst het verduurzamen van de werktuigen een additionele vraag met zich mee te brengen.

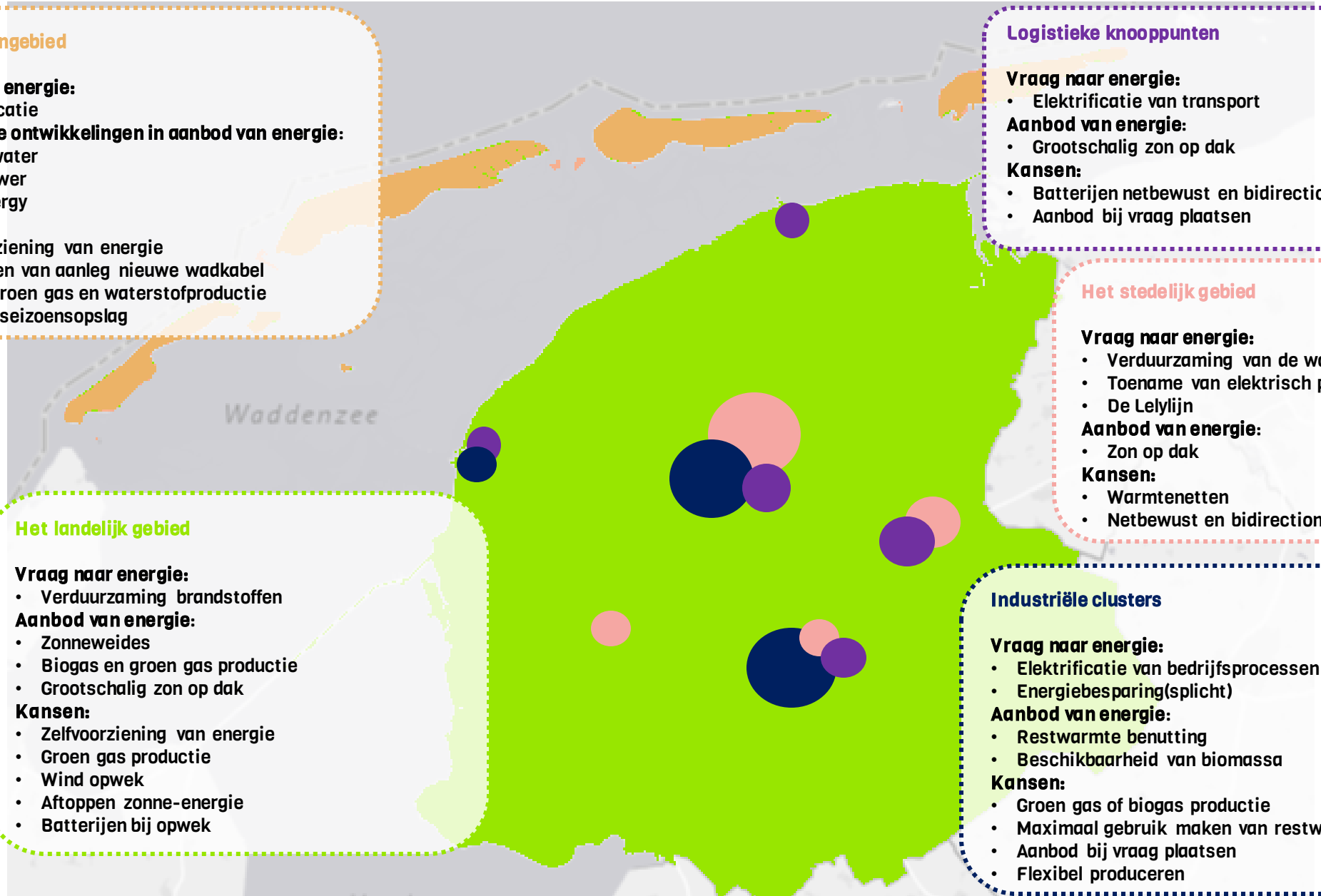
Dominante ontwikkelingen in het aanbod van energie

- **Zonneweides.** Door relatief veel ruimte en de druk om de veestapel te verkleinen ontstaat er voor agrarische bedrijven een nieuw business model in het creëren van zonneweides.
- **Biogas en groengas productie.** Door beschikbaarheid van biomassa en steeds bredere afzetmarkt (bijmengverplichting).
- **Grootschalig zon op dak.**

Kansen in het landelijk gebied

- **Zelfvoorziening energie.** In de vorm van eigen opwek (zon en kleine windmolens) en eigen opslag in de vorm van batterijen en brandstofproductie voor werktuigen. Hierdoor is er minder elektriciteitstransport nodig.
  Groen gas productie. Productie van groengas voor eigen gebruik en voor invoeding. Zorgt daarbij ook voor vermindering van stikstofuitstoot. Financiering en organisatie (op schaal) zijn hier nog knelpunten.
- **Wind en zon bij elkaar.** Door windmolens bij grote hoeveelheden zon te plaatsen (of andersom), of zelfs achter de zelfde aansluiting (cablepooling) kan het net effectiever worden gebruikt zonder dat er een verzwaring nodig is.
- **Batterij bij opwek.** Dit kan de netimpact van opwek verlagen, waardoor verzwaring niet nodig is en vraag en aanbod beter op elkaar aansluiten.
- **Aftoppen van opwek.** De impact van opwek op de infrastructuur kan beperkt worden door deze niet op zijn maximale vermogen te laten functioneren. Hierdoor kan de impact halveren waarbij nog bijna 90% van de energetische opbrengsten en meer dan 90% van de inkomsten bestaan blijven.

Regionale 'knoppen' in het Friese energiesysteem



Het waddengebied

Vraag naar energie:
- Elektrificatie

Innovatieve ontwikkelingen in aanbod van energie:
- Zon op water
- Tidal power
- Blue energy

Kansen:
- Zelfvoorziening van energie
- Vermijden van aanleg nieuwe wadkabel
- Lokale groen gas en waterstofproductie
- Dag- en seizoensopslag

Logistieke knooppunten

Vraag naar energie:
- Elektrificatie van transport

Aanbod van energie:
- Grootschalig zon op dak

Kansen:
- Batterijen netbewust en bidirectioneel laden
- Aanbod bij vraag plaatsen

Het stedelijk gebied

Vraag naar energie:
- Verduurzaming van de warmtevraag
- Toename van elektrisch personenvervoer
- De Lelylijn

Aanbod van energie:
- Zon op dak

Kansen:
- Warmtenetten
- Netbewust en bidirectioneel laden

Het landelijk gebied

Vraag naar energie:
- Verduurzaming brandstoffen

Aanbod van energie:
- Zonneweides
- Biogas en groen gas productie
- Grootschalig zon op dak

Kansen:
- Zelfvoorziening van energie
- Groen gas productie
- Wind opwek
- Aftoppen zonne-energie
- Batterijen bij opwek

Industriële clusters

Vraag naar energie:
- Elektrificatie van bedrijfsprocessen
- Energiebesparing(splicht)

Aanbod van energie:
- Restwarmte benutting
- Beschikbaarheid van biomassa

Kansen:
- Groen gas of biogas productie
- Maximaal gebruik maken van restwarmte
- Aanbod bij vraag plaatsen
- Flexibel produceren

'Knoppen' in industriële clusters en logistieke knooppunten

Industriële clusters

Verduurzaming van de industrie wordt gekenmerkt door een grote centrale energievraag meestal voor verwarmingsprocessen zoals boilers, ovens of stoomproductie. In Fryslân zijn er meerdere industriële clusters, de voornaamste clusters bevinden zich in Heerenveen, Leeuwarden, Drachten, Harlingen, Bolsward en Lemmer. Specifiek in Fryslân is de voedingsmiddelenindustrie erg groot en relatief energie-intensief. De industrie in Fryslân heeft geen hoge temperatuur processen (zoals in de keramische of staal industrie), waardoor elektrificatie een verduurzamingsmogelijkheid is.

Dominante ontwikkelingen in de vraag naar energie

- **Elektrificatie van bedrijfsprocessen.** Het vervangen van gasovens en -boilers naar elektrische varianten.
- **Energiebesparing(splicht).** Door deze plicht ontstaat een afname in energieverbruik. Waarbij besparingsmaatregelen verplicht zijn, indien bijhorende investeringen zich binnen vijf jaar terugverdienen.

Dominante ontwikkelingen in het aanbod van energie

- **Restwarmte benutting.** Restwarmte vanuit de industrie wordt steeds meer toegepast in eigen processen of ingezet in warmtenetten.
- **Beschikbaarheid van biomassa.** De voedingsmiddelenindustrie heeft de beschikking over een relatief grote stroom rest-biomassa die mogelijk kan worden ingezet voor energetische doeleinden.

Kansen bij industriële clusters

- **Groengas of biogas productie.** De voedingsmiddelenindustrie heeft toegang tot biomassa dus biogas/groengas productie kan hier worden benut. Daarnaast is groengas makkelijker in te voeden dan bijvoorbeeld in het landelijk gebied, omdat partijen al een relatief grote aansluiting hebben.
- **Maximaal gebruik maken van restwarmte.** Of in eigen proces, of bij een andere partij op het cluster of ter levering aan een warmtenet.
- **Aanbod bij vraag plaatsen.** Door energie ook lokaal op te wekken en mogelijk achter dezelfde aansluiting te houden kan energie worden geproduceerd zonder dat hier netverzwaring voor hoeft plaats te vinden.
- **Flexibel produceren.** Door de energievraag af te stemmen op de productie of door piekmomenten te mijden is minder infrastructuur nodig.

Logistieke knooppunten

De logistieke sector wordt gekenmerkt door veel transportbewegingen maar ook door relatief grote dakoppervlaktes, bijvoorbeeld bij distributiecentra. Verduurzaming van dit transport gebeurt relatief snel en elektrificatie is hier vooralsnog de meest voorkomende mogelijkheid, zeker van (nationaal) vrachtwagenvervoer en bestelbussen, maar ook voor de binnenvaart en veerdiensten wordt elektrificatie als optie genoemd. In Fryslân zijn er logistieke knooppunten in Harlingen (haven), Heerenveen, Drachten en Leeuwarden. De logistieke knooppunten, worden door elektrificatie gekenmerkt door grote batterijcapaciteiten en de vraag naar grote vermogens om batterijen snel te kunnen laden.

Dominante ontwikkelingen in vraag naar energie

- **Elektrificatie van transport.** Verduurzaming van het transport lijkt voornamelijk via elektrificatie te gaan waarbij verbrandingsmotoren worden vervangen door elektrische voertuigen. Bij de scheepvaart, worden mogelijk batterijwissels toegepast in plaats van direct laden.

Dominante ontwikkelingen in het aanbod van energie

- **Grootschalig zon op dak.** Door de grote dakoppervlaktes en hoge energievraag worden er vaak zonnepanelen geplaatst.

Kansen bij logistieke knooppunten

- **Batterijen netbewust en bidirectioneel laden.** Door netbewust (bijv. niet tussen 5 en 7 's avonds en juist wel als de zon schijnt) te laden kan de impact van de logistieke sector op de elektriciteitsinfrastructuur beperkt blijven of positief worden. Via bidirectioneel laden kan ook (duurzame) energie worden geleverd op het moment dat er te weinig opwek is.
- **Aanbod bij vraag plaatsen.** Door energie ook lokaal op te wekken en mogelijk achter dezelfde aansluiting te houden kan energie worden geproduceerd zonder dat hier netverzwaring voor hoeft plaats te vinden, waarbij kosten worden gereduceerd. Daarnaast kan dit in geval van bidirectioneel laden ook weer geleverd worden bij grote vraag.

'Knoppen' in het Waddengebied

Het Waddengebied

Het Waddengebied met daarin de vier Friese eilanden en de Afsluitdijk is een uniek stuk Fryslân. Zowel door de betekenis van het gebied voor de natuur, als de beperkte fysieke verbondenheid met het vasteland. Ook de aanwezigheid van een zoet/zoutwatergrens bij de Afsluitdijk geeft mogelijkheden.

De eilanden zijn verbonden met het vasteland via wadkabels en de aanleg van meer bekabeling is duur en heeft een impact op de omgeving. Indien er niet wordt besloten tot nieuwe wadkabels zullen de eilanden meer zelfvoorzienend moeten worden in de elektriciteitsvoorziening of bijvoorbeeld groengas moeten invoeren om volledig te verduurzamen.

De karakteristieken van het gebied bieden gelegenheid voor de inzet van nieuwe, minder voorkomende technieken.

Innovatieve ontwikkelingen in het aanbod van energie

- **Zon op water.** Zon opwek op zee of ander water kan ruimte en natuur besparen.
- **Tidal power.** Energie halen uit getijdeverschillen of stromingen kan een stabiele vorm van energievoorziening zijn. Momenteel wordt het nog zeer beperkt toegepast, bij de Afsluitdijk wordt momenteel via een 'tidal kite' energie opgewekt. Er zijn plannen voor flinke opschaling hiervan. Bij Ameland is de eerstvolgende gepland.
- **Blue energy.** Energie halen uit het samen komen van zoet en zout water. Deze vorm is dus ook niet weersafhankelijk. Ook hier is op de Afsluitdijk een proefinstallatie voor gestart met de ambitie om flink te groeien.

Kansen voor zelfvoorziening op de eilanden

- **Zelfvoorziening energie.** Net als in het landelijke gebied is de energievraag op de Wadden relatief laag waardoor de gemeenten daar zelfvoorziening van energie als kans zien.
- **Lokale groen gas en waterstof productie.** Door reststromen van bijvoorbeeld waterzuiveringsinstallaties en restafval op het eiland zelf op te waarderen en op te slaan kan de noodzaak voor invoer van energie worden beperkt.
- **Dag en seizoensopslag.** Om jaarrond zelfvoorzienend te zijn, is opslag capaciteit nodig. Voor binnen dagelijks opslag is elektriciteit op te slaan in batterijen waardoor zon en wind opwek op een later moment worden gebruikt. Om ook door de seizoenen heen energie op te slaan zijn warmte- en gasopslag mogelijk en noodzakelijk. Dit kan zowel onder- als bovengronds.

Hoofdstuk 3: Uw vragen over het Friese energiesysteem beantwoord

Friese Energietafel

Dit hoofdstuk geeft antwoord op acht vragen over het Friese energiesysteem

Om te komen tot de Friese Energievisie zijn er vast vragen die leven bij ambtenaren of bestuurders. Dit gaat over de inzet van bepaalde energiebronnen, de uitwerking van huidig beleid of over bepaalde perspectieven op het energiesysteem. Dit hoofdstuk heeft als doel deze vragen beknopt te beantwoorden. Om deze vragen te beantwoorden is gebruik gemaakt van beschikbare literatuur, van beleidsdocumenten en van de analyse die in de achtergronddocumenten verder is toegelicht. De volgende vragen worden beantwoord in dit stuk (u kunt op de vraag klikken om direct naar de beantwoording te gaan).

1. Wat als het huidige beleid het uitgangspunt is tot 2050?
2. Wat als we wind op land of water wel gaan toelaten?
3. Wat als we volledig op kernenergie overstappen?
4. Wat als we waterstof in de gebouwde omgeving gaan inzetten?
5. Wat als we de volledige warmtevraag willen invullen met duurzame warmtebronnen?
6. Wat als elke gemeente zelf energieneutraal wordt?
7. Wat als we het energiesysteem vanuit de Mienskip opbouwen?
8. Wat als we het energiesysteem inrichten vanuit systeemperspectief?

Friese Energietafel

1. Wat als het huidige beleid het uitgangspunt is tot 2050?

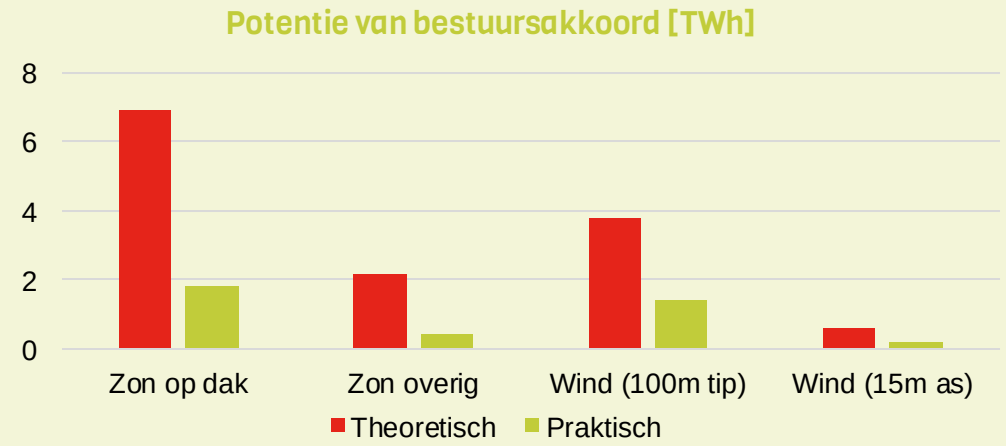
Het huidige provinciale beleid geeft richtlijnen over de invulling van duurzame opwek in de provincie. Zonne-energie is gewenst op daken, langs N- en A-wegen, op braakliggend terrein en op zandwinplassen. Voor wind wordt er ingezet op het ophogen van buurtmolens tot 100 m tiphoogte en op bedrijventerreinen. Daarnaast zijn kleinere windmolens (ashoogte tot 15m) toegestaan bij agrarische bedrijven en recreatie. Grotere molens zijn niet toegestaan op andere plekken, evenals grootschalige zonne-opwek op agrarische gronden.

Analyse van Provincie en Berenschot

De Provincie Fryslân en Berenschot hebben de potentie duurzame opwek van het provinciale beleid ingeschat op basis van een (GIS-)analyse. De achterliggende analyse is beschikbaar in de achtergronddocumenten.

Beleid heeft enerzijds beperkte netimpact door weinig grootschaligheid, anderzijds wel veel kleinschalig zon met slechte gelijktijdigheid met gebruik

Wind opwek zal in het huidige beleid niet zorgen voor significante netimpact. Zeker de kleine erfmolens voor eigen gebruik, zullen niet bepalend zijn voor de infrastructuur. Dit komt, omdat hiervoor geen grote hoeveelheid elektriciteit getransporteerd hoeft te worden. Ook de locaties van grotere windmolens bij bedrijventerreinen is vanuit net-perspectief goed, omdat deze vlak bij de energievraag worden geplaatst.



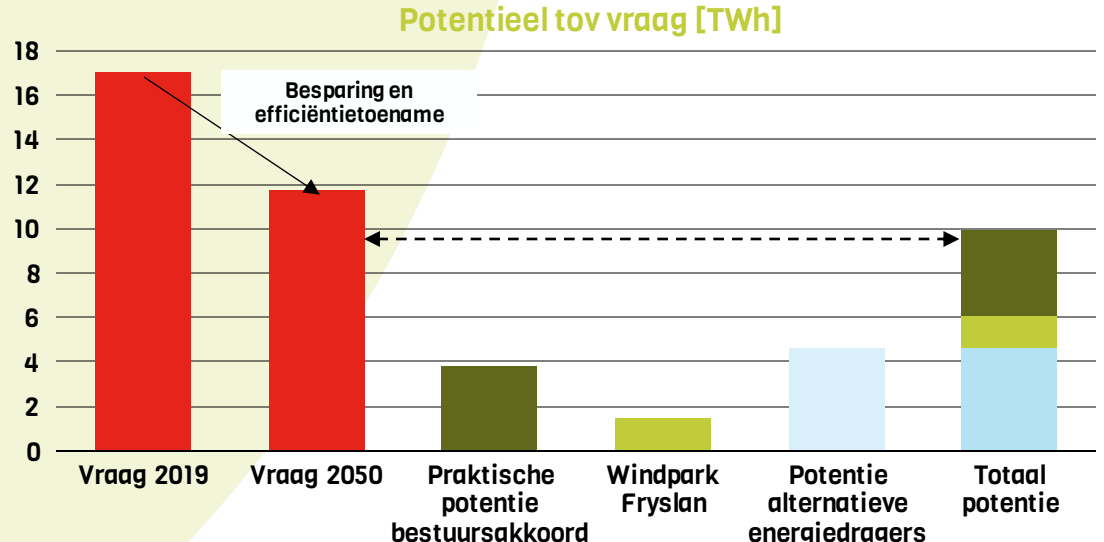
Kleinschalige opwek via daken heeft een kleinere impact dan grootschalige opwek, omdat een deel van de opwek direct gebruikt kan worden. Het provinciale beleid laat weinig ruimte voor grootschalige zonopwek. Waar dit wel wordt toegestaan, is dit wel op relatief afgelegen gebieden (zandwinplaatsen) of gebieden met dunne (landelijk gebied) of geen infrastructuur (A- en N-wegen).

Duurzame opwek die mogelijk is binnen het bestuursakkoord kan 20-25% van de huidige energievraag voorzien

In de figuren hieronder is te zien dat de praktische potentie van vier technieken uitkomt op ongeveer 4 TWh. Dit is ongeveer een kwart van vraag naar energie in 2019. De theoretische potentie is weliswaar hoger (13,5 TWh), maar de verwachting is dat dit niet volledig benut kan worden (zie achtergronddocument). Deze berekening zegt niets over het RES-bod in 2030, wat mogelijk binnen het huidige beleid behaald kan worden.

Er ontstaat in 2050 een tekort om energieneutraal te worden, ook met besparing, maximale benutting van andere energiebronnen én efficiëntietoename

Indien de energievraag daalt naar ong. 12 TWh door besparingen, dan kan iets meer dan een derde hiervan ongeveer worden ingevuld door andere energiebronnen (warmte, biogas, etc.). Als de bestaande opwek (wind en zon) blijft bestaan (en indien nodig vervangen wordt), dan blijft er een tekort over van ca. 2 TWh om binnen het beleid energieneutraal te worden.



2. Wat als we wind op land of water wel gaan toestaan?

Vanwege het huidige provinciale beleid zijn er beperkte mogelijkheden om grotere windturbines te installeren in Fryslân. Op deze pagina gaan we in op de vraag: wat als wind wel wordt toegestaan? We bekijken dit vanuit energieperspectief en vanuit de netimpact die ontstaat voor zowel zon- als windenergie.

Energiesysteem

Vanuit systeemperspectief zijn er twee voordelen voor windturbines, ten opzichte van zon-pv:

- **Meer wind dan zon:** In Nederland waait het meer dan de zon schijnt. Een windturbine is ongeveer 3.500 uur van de in totaal 8.760 uur per jaar in staat om stroom op te wekken (40%). Voor zon-pv is dit 950 uur of 10%. Daarnaast levert een grotere windturbine meer 'vollasturen' dan zon. Dat betekent dat met hetzelfde vermogen (MW) meer stroom opgewekt kan worden met windturbines dan met zonnepanelen. Hierdoor is er minder infrastructuur nodig om de zelfde hoeveelheid energie op te wekken en te transporteren.
- **Vraag en aanbod bij elkaar:** Het waait in de winter doorgaans harder dan in de zomer. Tijdens de winter is de vraag naar energie ook hoger. Doordat vraag en aanbod hier meer in lijn liggen, is er minder noodzaak om elektriciteit op te slaan of af te toppen.
- **Grote of kleine turbine?** Bij een verdubbeling van de diameter van de rotor kan er een verviervoudiging aan energie worden geproduceerd. Daarnaast waait het op grotere hoogte vaak harder en constanter. Hierdoor kan er meer energie uit de zelfde windmolen worden gehaald als de tiphoogte verhoogd wordt. Grotere turbines zijn dus energetisch voordeliger dan kleinere. Dit is zichtbaar in de hoeveelheid molens die nodig zijn om te voorzien in de Friese energievraag.

Ruimte

Vanuit ruimtelijk perspectief zijn er twee voordelen voor zonnepanelen te bedenken, ten opzichte van windturbines:

- Zonnepanelen kunnen makkelijker uit het zicht worden geplaatst en meervoudig ruimtegebruik is (net als bij wind) mogelijk.
- Windmolens moeten relatief ver uit elkaar staan om een goed rendement te behalen. Hierdoor is relatief veel ruimte nodig. Zo beslaat windpark Fryslân ca 3.400 ha met 89 turbines. Per turbine is de hoeveelheid direct ruimtegebruik wel veel kleiner dan voor zon-pv.

Invulling van de Friese energievraag met verschillende type windmolens

In hoofdstuk 2 is de energievraag en het gat naar energieneutraliteit naar 2050 toe ingeschat. Dit gat tussen huidige opwek (RES 1.0) en de totale vraag bedraagt nog ca. 9 TWh. Als dit moet worden opgewekt zijn er:

- ~90.000 erfmolens of
- ~1.150 windmolens met tiphoogte 100m of
- ~600 windmolens met tiphoogte 180m (vergelijkbaar met windpark Fryslân) of
- ~215 windmolens met tiphoogte 260m (vergelijkbaar met grootste molen op de Maasvlakte) of
- ~9.500 hectare aan zon-pv nodig.

Een nadere toelichting van deze inschatting is opgenomen in de achtergronddocumenten.

Netimpact van verschillende opties

De netimpact van de invullingen met zon-pv is veruit het grootst, er is namelijk zo'n 9,5 GW aan vermogen nodig waar dit voor wind ongeveer 3,5 GW is. Daarnaast is de gelijktijdigheid met gebruik ook beter voor wind, waardoor er een kleiner deel via de infrastructuur getransporteerd dient te worden.

Het verschil tussen de verschillende windmolens is kleiner. Dit komt voornamelijk door de spreiding hiervan. De kleine erfmolens zullen meer lokaal geplaatst en gebruikt kunnen worden. Voor grotere windmolens is meer transportcapaciteit nodig. Daarentegen is de opbrengst van lagere windmolens wel kleiner, waardoor er een groter totaal opgesteld vermogen nodig is.

3. Wat als er groene waterstof in de gebouwde omgeving wordt ingezet?

De beschikbaarheid van groene waterstof is zeer onzeker, vooral op de korte termijn (zie in het kader hiernaast). Hieronder geven we een kort rekenvoorbeeld in het geval dat Fryslân eigen groene waterstof gaat produceren ter vervanging van aardgas voor woningen. Hierbij worden utiliteiten buiten beschouwing gelaten.

Ten eerste is hiervoor opwek van duurzame elektriciteit nodig en ten tweede elektrolysers om deze elektriciteit om te zetten in waterstof. Hieronder schetsen we drie scenario's voor de invulling van de energievraag van Friese woningen: 1) via all-electric warmtepompen, 2) via waterstof en 3) via een combinatie (waterstof voor slecht te isoleren woningen) worden verwarmd. In alle scenario's zijn woningen geïsoleerd tot aan label B.

Uitkomst: Door de grote energieverliezen (tot wel 65%, zie kader hiernaast) moet er 5 tot 8 keer meer elektriciteit in Fryslân worden opgewekt om waterstof in te zetten in de gebouwde omgeving. De huidige infrastructuur kan hiervoor gebruikt worden, maar er zullen alsnog veel inpandige aanpassingen aan gasfornuizen en cv-ketels moeten worden gedaan.

	100% all electric	10% op H_2, rest all-e	100% op H_2
Totale elektrische vraag	**1,25 TWh**	**2,0 TWh**	**9,1 TWh**
Benodigd aantal **ha zon** voor totale vraag	1316 ha	2143 ha	9608 ha
Benodigd **aantal windmolens 100m** voor totale vraag	155 #	253 #	1134 #
Benodigd **aantal windmolens 260m** voor totale vraag	30 #	48 #	217 #

Waterstof: een aantal feiten op een rij

- **Productie:** Waterstof is geen energiebron maar een energiedrager. Dit betekent dat alle waterstof geproduceerd moet worden. Als we uitgaan van groene waterstof, wordt dit met duurzame elektriciteit geproduceerd. Bij de productie van waterstof gaat een groot deel (tot 65%) van de energie verloren.
- **Transport:** Waterstof kan met kleine aanpassingen via het huidige gasnet getransporteerd worden, maar inpandig moet er wel aanpassingen worden gedaan (aanpassing of vervanging van het gasfornuis en cv-ketel). Dit is omdat waterstof andere chemische eigenschappen heeft dan aardgas.
- **Toepassingen:** (Grijze of blauwe) waterstof wordt momenteel vooral ingezet als grondstof in de (petro) chemie en kunstmestindustrie (ammoniakproductie). Waterstof wordt nog nauwelijks gebruikt voor energetische toepassingen, maar kan voornamelijk voor hoge temperatuurprocessen (>1000 °C) een logische vervanging van aardgas zijn. Eventuele toepassing van waterstof(dragers) lijkt ook te passen bij langeafstandstransport zoals bij het zwaar wegtransport, scheepvaart en luchtvaart. Tot slot wordt waterstof waarschijnlijk ingezet voor elektriciteitsproductie bij schaarste.
- **Kosten:** De kosten van groene waterstof worden naar verwachting hoog, omdat een groot deel van de ingekochte elektriciteit verloren gaat in de productie en de bouw en operatie van de opwekfaciliteiten (elektrolysers). Bij inzet in woningen zullen ook nog kosten komen, gerelateerd aan inpandige verbouwingen, zoals hierboven beschreven.
- **Beschikbaarheid:** Groene waterstof is nog maar zeer beperkt beschikbaar en het is nog erg onzeker hoeveel hiervan beschikbaar komt in de toekomst. Importeren van groene waterstof via de waterstofbackbone is voorlopig nog niet aan de orde. Gasunie is voornemens om de industriële clusters te verbinden en daarnaast lijken ook omgebouwde elektriciteitscentrales logische eerste aangeslotenen. De backbone, die door Fryslân loopt zal naar verwachting niet vóór 2030 waterstof bevatten. Daarnaast is de verwachting dat überhaupt groene waterstof erg schaars blijft.
- **Opslag- en afnameflexibiliteit:** Een groot voordeel van waterstof is dat het kan worden opgeslagen voor langere tijd, net als aardgas. Daarnaast kunnen elektrolysers zeer veel flexibel vermogen leveren, door waterstof te produceren wanneer er een overvloed is aan elektriciteitsaanbod. Hierdoor hoeven er minder investeringen in het elektriciteitsnet te worden gedaan.

4. Wat als we volledig op kernenergie overstappen?

We gaan nader in op twee type kerncentrales: de klassieke grootschalige kerncentrale (zoals in Borssele) en de kleinschalige modulaire reactor (SMR). Die laatste is nog nergens in de wereld operationeel en nog technologisch onvolwassen en behoeft nog meerdere jaren aan ontwikkelingen, voordat een eerste gebouwd kan worden. In de tabel staat een overzicht van de eigenschappen van beide typen.

(Bouw)duur

- **SMR:** bouw en vergunningsduur worden geschat op 7 jaar, maar hier is dus nog geen praktijk voorbeeld van. Deze tijdsduur gaat in nadat de locatiekeuze, organisatie en toeleveringsketen al zijn bepaald, wat ook enkele jaren in beslag kan nemen.
- **Klassieke kerncentrale:** de bouw en vergunning van een grote kernreactor blijkt moeilijk in te schatten, maar duurt zeker 10 jaar en is vaak onderhevig aan vertraging en budgetoverschrijding. Zo is onlangs de grootste reactor van Europa (Olkiluoto 3, Finland van 1600 MW) in 2022 aangesloten op het net. De bouw hiervan liep 12 jaar uit.

Energieopbrengst

- **SMR:** een module van 60 MW kan ongeveer 0,5 TWh opleveren (4,5 % van totale energievraag in Fryslân in 2050). Er zijn daarom ongeveer 18 SMR-modules van deze grootte nodig om te voorzien in te in te vullen energievraag in Fryslân in 2050.
- **Klassieke kerncentrale:** een grootschalige centrale van 1600 MW kan ongeveer 12,8 TWh opleveren (110% van de minimale totale energievraag in Fryslân in 2050).

Netimpact

Een kerncentrale levert niet-variërende (baseload) elektriciteit. Dit betekent enerzijds dat het niet weersafhankelijk is en er altijd CO_2-vrije elektriciteit beschikbaar is. Anderzijds, betekent dat ook dat er geen extra elektriciteit kan worden geproduceerd op het moment dat de vraag groot is. Hierdoor is flexibel vermogen (gascentrales) nog altijd nodig.

Daarnaast zijn reactoren van een dusdanige omvang, dat deze op het hoogspanningsnet worden aangesloten. Hierdoor vermindert de benodigde transportcapaciteit van hoog- naar middenspanning niet en moet de transportcapaciteit alsnog worden uitgebreid om de groei in vraag te kunnen faciliteren.

Kosten

Naast investeringen voor de bouw van kerncentrale, is er geld nodig voor de uitbreiding van de infrastructuur en de ontmanteling aan het eind van de levensduur. TNO schat de kosten voor de aanbouw van een kerncentrale in op zo'n 10 miljard en 1,5 miljard voor ontmanteling. Kernenergie heeft daardoor een relatief hoge prijs per MWh (90 €/MWh) in verhouding tot wind en zon (40-70 €/MWh). Voor een SMR is dit waarschijnlijk lager doordat de bouw gestandaardiseerd kan worden waardoor schaalvoordelen komen te ontstaan. Echter, naar verwachting zal deze prijs nog een stuk hoger liggen per MWh dan andere opties voor elektriciteitsopwekking.

	SMR-module (60 MW)	Grootschalige reactor (1600 MW)
Technologische volwassenheid	TRL 6 en minder	TRL 9
Bouwduur	6-8 jaar	10-13 jaar
Netimpact	Kan vraagpiekdrukken op OS, maar niet flexibel	TenneT aansluiting, niet flexibel, mogelijk minder zon
Energie-opbrengsten[4]	0,5 TWh (ca 4,5 % van totaal verbruik in 2050)	12,8 TWh (ca 110% van totaal verbruik in 2050)
Kosten	<90 €/MWh	90 € /MWh
Ruimte	<6 ha (per module)	6 ha

5. Wat als we de warmtevraag in de gebouwde omgeving willen invullen met duurzame warmtebronnen?

De warmtevraag in 2050 is allesbehalve zeker. Deze is sterk afhankelijk van de mate waarin sectoren gaan elektrificeren en of er op de inzet van warmtenetten wordt gestuurd door overheden. Vandaar dat de warmtevraag sterk afwijkt per scenario in de Systeemstudie (tussen de ~1,0 – 2,2 TWh per jaar; zie kader hiernaast). De warmtevraag is daarnaast afhankelijk van de potentie van warmtebronnen die daadwerkelijk ontsloten kunnen worden. Dit blijkt in de praktijk niet altijd te lukken.

Als wél de volledige warmtevraag wordt ingevuld met duurzame warmtebronnen dan komt de warmtevraag het sterkst overeen met het scenario Regionale sturing in de Systeemstudie met een warmtevraag van 2,2 TWh (exclusief de reststoffen energiecentrale (REC) van Omrin). Hoe deze vraag kan worden ingevuld, is afhankelijk van welke bronnen precies aanwezig zijn, wat de warmtedichtheid is en welke temperatuurniveau wordt gevraagd (LT, MT of HT). In praktijk kunnen warmtebronnen het best ingezet worden nabij stedelijke omgevingen (de vier grote steden). In de provincie Fryslân kan met name gebruik worden gemaakt van de onderstaande potentiële waarden:

- Warmte uit oppervlaktewater: 1,9 TWh
- Geothermie: 0,4-2,4 TWh
- Warmte uit afvalwater: 0,5-0,7 TWh

Potentieel van duurzame warmtebronnen is in Fryslân in grote mate aanwezig. Wel kan de warmtevraag maar één keer ingevuld worden. Wanneer geothermie in Leeuwarden wordt ingezet, wordt het te benutten potentieel van andere bronnen verminderd. Let wel: afhankelijk van de temperatuur van de bron zal ook een warmtepomp ingezet moet worden voor opwaardering van de warmte. Dit levert een aanvullende elektriciteitsvermogensvraag.

Per stad is in de Transitievisie Warmte een visie gevormd op welke wijken geschikt zijn voor warmtenetten en welke bronnen hiervoor ingezet kunnen worden. Bij verdere herijkingen hiervan wordt duidelijker welk deel van de gebouwde omgeving door warmtenetten wordt ingevuld. De realisatie van warmtenetten met duurzame warmtebronnen blijkt in de praktijk nog lastig vanwege de kosten, de veranderende wetgeving en het vollooprisico.

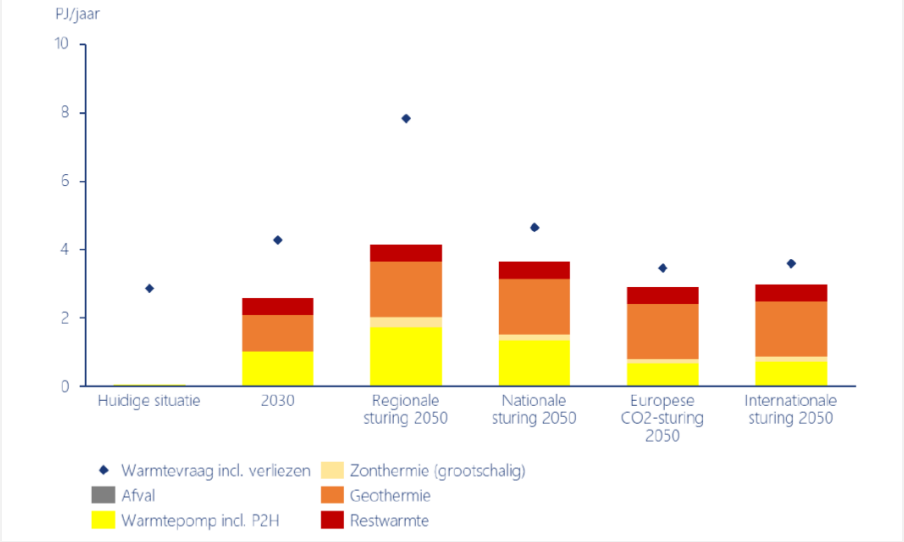
Seizoensopslag is een aanvullende kans om de extra energievraag in de zomer te kunnen bufferen voor de winter. Dit is goedkoper dan opslag van elektriciteit.

Warmtevraag- en aanbod volgens de Systeemstudie Fryslân

Voor deze studie is er o.a. een model gemaakt van de warmtevraag in Fryslân in 2030 en 2050 en hoe deze ingevuld kan worden. Dit is de vraag naar warmte uit warmtenetten en deze verschilt per scenario, zie ook het figuur hieronder.

In het scenario Regionale sturing, is er veel meer inzet van lokale warmtenetten en stijgt de vraag naar warmte uit warmtenetten in dit scenario naar ong. 2,2 TWh/jaar. In andere scenario's is er minder vraag naar warmte omdat er op andere energiebronnen wordt ingezet om energieneutraal te worden.

In alle scenario's is er rekening gehouden met hoeveel warmte er uit duurzame bronnen gehaald kan worden. In alle scenario's spelen geothermie, restwarmte, zonthermie en warmtepompen (met aquathermie) een rol. In alle scenario's gelden ook tekorten die aangevuld worden door biomassa en back-upketels op (groen) gas.



6. Wat als elke gemeente zelf energieneutraal wordt?

Energieneutraliteit kan op meerdere schaalniveaus van toepassing zijn. Als Fryslân als **provincie** energieneutraal wenst te worden, dan kan Windpark Fryslân bijvoorbeeld energie 'compenseren' voor energievraag in Leeuwarden.

Het kan ook zo zijn dat elke gemeente of regio zelf streeft naar energieneutraliteit. Dat betekent dat bijv. Leeuwarden zijn volledige eigen energievraag zou moeten opwekken. Hieronder zetten we twee gemeenten tegenover elkaar; de **stedelijke gemeente Leeuwarden** en de wat **landelijkere gemeente Opsterland**. Vervolgens geven we nog een aantal voorbeelden voor de andere regio's die beschreven zijn hoofdstuk 2.

Energieneutrale gemeenten

De energievraag die volgens de klimaatmonitor in 2021 nog moet worden opgewekt is:

- Voor gemeente Leeuwarden nog ~2,5 TWh
- Voor gemeente Opsterland nog ~0,8 TWh

Dit is exclusief de energiebesparing die voortkomt uit elektrificatie. Invulling van deze energievraag kan op verschillende manieren en met diverse bronnen. Voor dit voorbeeld lichten we drie opties uit: via zon, via wind en via een mix van deze. De implicaties van deze invullingen zijn te relateren aan de hoeveelheid grond die nodig is om de energie op te wekken. Hieronder een overzicht van het direct en indirect (de afstand die windmolens uit elkaar moeten staan) landgebruik gerelateerd aan de totale oppervlakte van de gemeenten. Op basis van deze analyse lijkt het lastig voor een gemeente als Leeuwarden om energieneutraal te worden zeker als hiervoor geen landbouwgrond mag worden gebruikt.

	Leeuwarden	Opsterland
Alleen zon-pv	**Direct:** 10% van oppervlakte	**Direct:** 3% van totale oppervlakte
Alleen windopwek (180 m tip windmolen)	**Direct:** 1% van oppervlakte **Indirect:** 24% van oppervlakte	**Direct:** <1% van oppervlakte **Indirect:** 7% van oppervlakte
Combinatie zon en wind (vermogen 1:1)	**Direct:** 3% van oppervlakte **Indirect:** 19% van oppervlakte	**Direct:** 1% van oppervlakte **Indirect:** 5% van oppervlakte

Energieneutraliteit en zelfvoorziening

Voor de eilanden lijkt energieneutraliteit haalbaar door het beperkte energieverbruik en relatief veel ruimte. Echter, er is verschil tussen energieneutraliteit en zelfvoorziening.

- Bij energieneutraliteit wordt er even veel opgewekt als verbruikt, maar hoeft dit niet gelijktijdig te gebeuren waardoor er volop gebruik wordt gemaakt van transportcapaciteit.
- Voor zelfvoorziening wordt zo min mogelijk/geen gebruik gemaakt van de transportcapaciteit (wadkabels in geval van eilanden). Om dit te bereiken is systeemflexibiliteit nodig zoals opslag en beter afstemmen van vraag en aanbod.

Friese Energietafel

7. Wat als we het energiesysteem vanuit de Mienskip opbouwen?

netwerk duurzame dorpen
ontmoeten - delen - inspireren

Vanuit de FEA en het Netwerk Duurzame Dorpen is er een antwoord op deze vraag geformuleerd:

Een lokaal gemeenschapsproces vindt altijd antwoorden op de verschillende vraagstukken. Op die manier ontstaat er in samenspraak een lokaal gedragen energiesysteem. Veel is op voorhand niet duidelijk, dat is echter geen belemmering om toch met elkaar aan de slag te gaan. Op die manier ontstaat een lokale samenvoorzienende mix vanuit zelfregie en lokaal eigendom. Daarbij vormt zich een lokale energiegemeenschap[1] waarbij uitgangspunten worden geformuleerd wat lokaal belangrijk gevonden wordt. Deze mix ontstaat aan de hand van verschillende (systeem)scenario's over mogelijke toekomstige energiesystemen waarbij warmte, elektriciteit en mobiliteit integraal met elkaar worden behandeld.

Door onafhankelijke ondersteuners en professionele kennis wordt een gemeenschapsproces op gang gebracht en tot een gedragen einde gebracht. In dit proces verkennen lokale burgers, overheden en bedrijven in samenspraak welke mogelijke energiesystemen passend zijn bij hun lokale uitgangspunten. Deze systemen worden gekoppeld aan meerdere schaalniveaus zodat samenwerkingsverbanden zoals clusters van dorpen en intergemeentelijk gebieden kunnen ontstaan. Vanuit de kennis van gebieden rondom de lokale opgaves worden verschillende andere thema's zoals voedsel, water en infrastructuur betrokken bij de mogelijke toekomstscenario's. In deze brede betrokkenheid komen ook vraagstukken zoals gedragsverandering en sociaal economische transities aan de orde die een belangrijk onderdeel vormen van de lange termijn CO2 doelen volgens het IPCC[2]. De KEV 2023[3] wijst op de grote technologische uitdagingen van de klimaatopgave. De aanpak vanuit de Mienskip biedt hiervoor een oplossing omdat gedragsverandering geen directe technologische belemmering kent. De investeringen in samen anders eten, reizen en spullen delen zijn erg laag per ton vermeden CO_2 en vragen vooral gezelligheid, vertrouwen en een nieuw perspectief.

Kwantitatieve doelen	2030	2040
Aantal initiatieven	100	300
Energiedoelstelling	75% duurzame energie	100% duurzame energie
Klimaatdoelstellingen	55% CO2 neutraal	95% CO2 neutraal

1) https://europadecentraal.nl/onderwerp/klimaat-en-milieu/energie/energiegemeenschappen/Factsheet_RES
2) https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf
3) https://www.pbl.nl/nieuws/2023/klimaatdoel-2030-voor-het-eerst-in-zicht-snelle-en-ambitieuze-uitwerking-plannen-cruciaal

Basisuitgangspunten voor een energiesysteem vanuit de Mienskip zijn:

- Uitgaan van de lokale gemeenschap en haar behoefte. Als de energiebehoefte daalt door energiebesparing en/ of gedragsverandering, dan daalt ook de lokale opgave. Technieken zijn dienstbaar aan de lokale behoefte.
- Langetermijndenken over de voordelen en nadelen van het energiesysteem. Denk aan stabiele energieprijzen, werkgelegenheid of het Friese vestigingsklimaat.
- De opgave wordt 'van klein naar groot' ingevuld.
- De opgave wordt lokaal georganiseerd en indien gewenst uitgevoerd. Hiermee worden kennis, kunde en menskracht lokaal ingezet.
- Iedereen doet op de eigen schaal wat kan, overschotten worden in principe eerst lokaal gedeeld daarna op steeds grotere schaal.
- Huishouden -> Gemeenschap -> Gemeente -> Regio -> Landelijk -> Europees.
- Gemeenschappen zijn over het jaar zelfvoorzienend en over de seizoenen 'samenvoorzienend'.
- Gemeenschappen geven zelf vorm aan de energiemix en nemen daarin verantwoordelijkheid.
- Lokale energiesystemen combineren warmte, stroom, opslag en lokale flexibele energiebehoefte.
- Lokaal energie delen wordt optimaal gestimuleerd via hubs en integrale brede energiesystemen.
- Afhankelijkheid van geopolitieke spanningen worden beperkt.
- Gemeenschappen werken aan een integrale CO_2-opgave; daar worden nieuwe passende instrumenten voor ontwikkeld.

8. Wat als we het energiesysteem inrichten vanuit systeemperspectief?

Twee rapporten zeggen iets over het systeemperspectief op het Friese energiesysteem: de Systeemstudie Fryslân en het concept-NPE (Nationaal Plan Energiesysteem). De belangrijkste inzichten rondom systeemperspectief uit beide documenten staat hiernaast in de kaders beschreven. Vanuit dit perspectief zijn er een aantal *do's and dont's* in de realisatie van het Friese energiesysteem tot 2050:

Doen:

- **Het realiseren van voldoende hernieuwbare energie:** Door een combinatie van zon en wind (1:4) kan een veel grotere hoeveelheid hernieuwbare opwek worden gerealiseerd met een vergelijkbare opgave voor de infrastructuur. Verzwaringen en flexibiliteit kunnen dan effectiever worden ingezet.
- **Het realiseren van warmtenetten:** 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.
- **Het realiseren van (systeem)flex:** Curtailment (het aftoppen van elektriciteitspieken), batterijen en power-to-gas, zijn oplossingen om knelpunten op onderstationsniveau te verlichten.
- **Het tijdig realiseren van voldoende netverzwaring:** dit blijft hoe dan ook nodig om energieneutraal te worden.

Vanuit systeemperspectief zouden de uitgangspunten die gehanteerd zijn in vraag 5 (zo volledig mogelijk benutten warmtebronnen in gebouwde omgeving) en vraag 2 (wel wind toelaten) belangrijke bouwstenen zijn voor het toekomstige Friese energiesysteem.

Niet doen:

Het Rijk heeft onlangs met het concept-NPE ook het belang van het systeemperspectief benadrukt. Volgens het plan geldt de definitie van *hieronder*. Op basis hiervan zou dit bijv. het volgende betekenen voor Fryslân:

- **Alleen groen gas in de gebouwde omgeving waar huizen echt niet te isoleren zijn:** Want hier zijn alternatieven vanuit duurzame warmtebronnen (zeker in Fryslân in de vorm van geothermie en aquathermie) en all-electric oplossingen. Biomassa kan vanuit systeemperspectief beter ingezet worden als grondstof, biobrandstoffen, flexibel elektriciteitsvermogen en warmte (WKK).
- **Geen toepassing van waterstof in Friese energiesysteem met uitzondering van flexibel vermogen en zwaar transport:** Waterstof wordt als schaarse grondstof en energiedrager alleen in processen gebruikt die hoge temperatuur nodig hebben (chemische en energie-intensieve industrie). Die zijn in Fryslân afwezig. Groene waterstof zou daarom alleen in Fryslân ingezet worden als flexibele CO_2-vrije elektriciteitsproductie. Op den duur zou dit kunnen uitbreiden naar de scheep en luchtvaart.

De uitgangspunten die gehanteerd zijn in vraag 3 (waterstof in gebouwde omgeving) zijn niet verenigbaar met het systeemperspectief, omdat er alternatieven in de gebouwde omgeving zijn en dat waterstof op plekken toegepast dient te worden waar geen alternatief beschikbaar is.

Systeemperspectief volgens de Systeemstudie Fryslân

De Systeemstudie Fryslân uit 2022 heeft als doel om te bepalen binnen welke uitersten de energietransitie zich in Fryslân zal plaatsvinden naar energieneutraliteit. In vier scenario's worden er verschillende verhaallijnen toegepast in combinatie met trends en ontwikkelingen. Deze scenario's verschillen inhoudelijk sterk qua energievraag, -aanbod en –infrastructuur.

Systeemperspectief volgens het concept-NPE

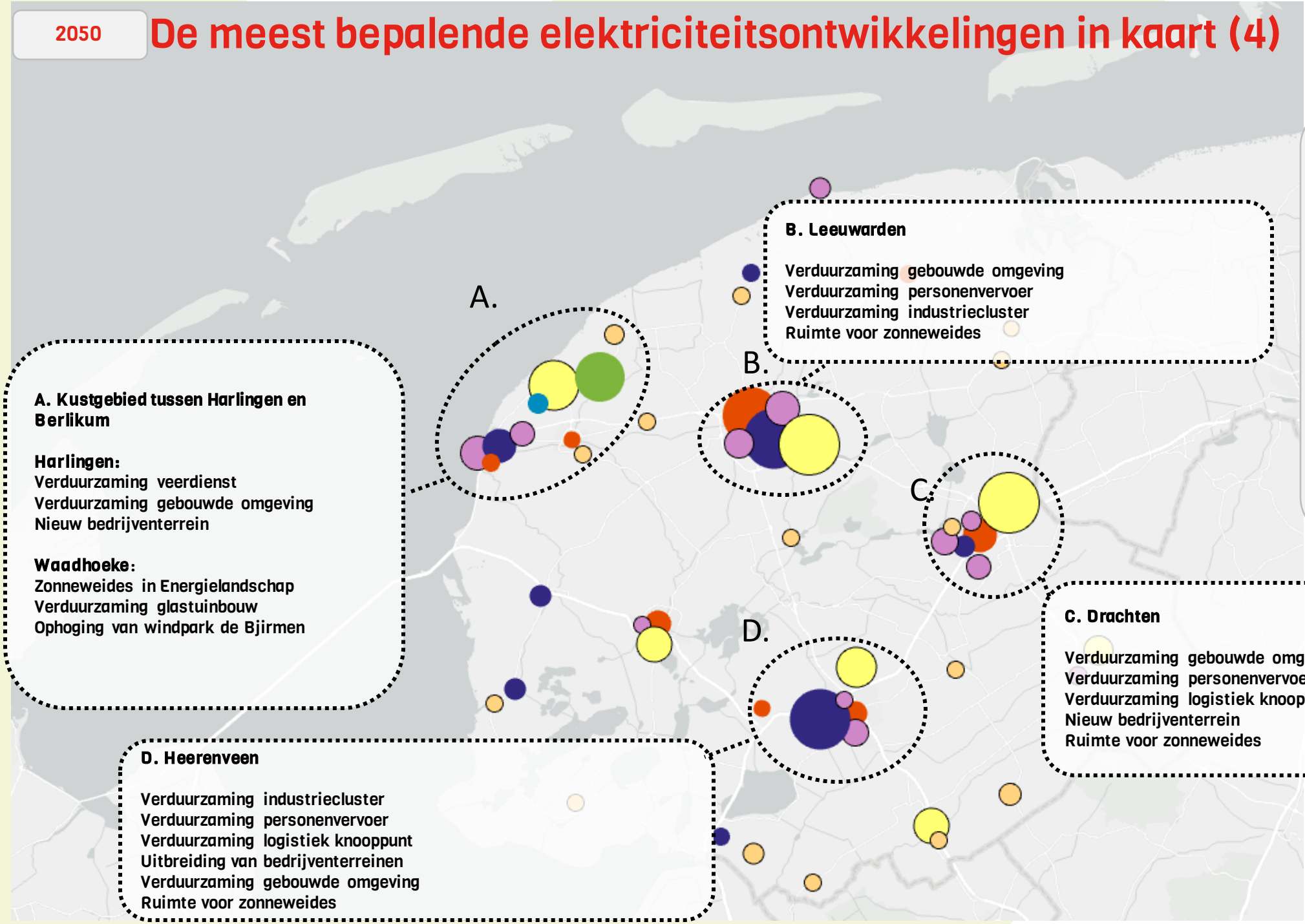
Volgens het concept-Nationaal Plan Energiesysteem geldt volgens het systeemperspectief ook dat "schaarse duurzame energie daar wordt ingezet waar er geen goede alternatieven zijn, het maatschappelijk de meeste meerwaarde heeft en gericht is op het behalen van de Europese doelen waar Nederland zich aan verbonden heeft."

Friese Energietafel

VERBINDEN | VERGROENEN | VERSNELLEN

2050

De meest bepalende elektriciteitsontwikkelingen in kaart (4)



A. Kustgebied tussen Harlingen en Berlikum

Harlingen:
Verduurzaming veerdienst
Verduurzaming gebouwde omgeving
Nieuw bedrijventerrein

Waadhoeke:
Zonneweides in Energielandschap
Verduurzaming glastuinbouw
Ophoging van windpark de Bjirmen

B. Leeuwarden

Verduurzaming gebouwde omgeving
Verduurzaming personenvervoer
Verduurzaming industriecluster
Ruimte voor zonneweides

C. Drachten

Verduurzaming gebouwde omgeving
Verduurzaming personenvervoer
Verduurzaming logistiek knooppunt
Nieuw bedrijventerrein
Ruimte voor zonneweides

D. Heerenveen

Verduurzaming industriecluster
Verduurzaming personenvervoer
Verduurzaming logistiek knooppunt
Uitbreiding van bedrijventerreinen
Verduurzaming gebouwde omgeving
Ruimte voor zonneweides

Legenda

Segment[1]

Aanbod
- Zonneweides obv aanvragen bij Liander en input gemeente
- Zon obv ruimtelijke modellen
- Wind

Vraag
- Gebouwde omgeving
- Mobiliteit
- Industrie
- Glastuinbouw

Omvang

15 MW

100+ MW

Friese Energietafel

Achtergronddocument 1:
Inzicht in ontwikkelingen vraag en aanbod van elektriciteit

Friese
Energietafel

Met name zonneweides en de verduurzaming van woningen en personenvervoer hebben grote impact op het Friese net

Dit achtergronddocument biedt inzicht in de verwachte ontwikkelingen aan de vraag- en aanbodzijde van elektriciteit tot 2050. Deze ontwikkelingen zijn variërend van invloed op de belasting van het elektriciteitsnet. Dit document bevat het volgende:

- Belangrijkste conclusies en inzichten (deze pagina)
- Een aantal inzichten gevisualiseerd (geplot en geografisch weergegeven)
- Informatie over de verwachte ontwikkeling tot 2050 per segment in Fryslân
- Dit document geeft hiermee antwoord op de volgende kernvraag: *Welke elektriciteitsontwikkelingen hebben naar verwachting een grote impact op het Friese elektriciteitsnet?* Hieronder geven we een beknopt antwoord op deze vraag.

Beantwoording kernvraag achtergronddocument 1

Op basis van omvang (vraag of aanbod van MW's elektriciteit), spreiding (centraal of juist decentraal), gelijktijdigheid (aanbod gelijk met opwek) kan kwalitatief bepaald worden welke ontwikkelingen een grote netimpact hebben. Dit zijn met name zonneweides, de verduurzaming van de gebouwde omgeving en de verduurzaming van personenvervoer (zie tabel hiernaast). Regionale ontwikkelingen met grote impact zijn de verduurzaming van de industrie, de veerdiensten, de glastuinbouw en de aansluiting van de Lelylijn.

Segment	Omvang	Spreiding	Gelijk-tijdigheid	Inschatting netimpact
Zonneweides	Zeer groot	Centraal	Klein	Zeer groot
Verduurzaming bestaande woningen	Zeer groot	Decentraal	Gemiddeld	Zeer groot
Verduurzaming personenvervoer	Groot	Decentraal	Groot	Groot

Friese Energietafel

Vier type criteria die netimpact bepalen

Er zijn hoofdzakelijk vier type factoren die de netimpact van een ontwikkeling bepalen. Factoren die een geringere impact op onderstationsniveau hebben, hebben niet automatisch ook een lage impact op andere netvlakken, het tegendeel is zelfs soms waar. We bepalen in het traject van integraal programmeren echter primair de impact op onderstations en niet op het laagspanningsnet. Ontwikkelingen binnen de segmenten zijn op onderstaande factoren kwalitatief geanalyseerd.

Zekerheid (zeker vs onzeker) De mate waarin het zeker is dat een ontwikkeling (volledig) via elektriciteit gaat verduurzamen is uiteindelijk bepalend of die ontwikkeling wel of geen impact gaat hebben op de elektriciteitsinfrastructuur. Sommige ontwikkelingen laten al een duidelijke tendens zien en lijken daarom meer zeker terwijl andere verduurzamingsroutes nog uiterst onzeker zijn. Ter illustratie; personenvervoer lijkt met vrij grote zekerheid te elektrificeren, terwijl dit voor de glastuinbouw nog veel minder zeker is; warmte op een andere wijze lijkt daar ook goed mogelijk. Hoe groter de zekerheid van elektrificatie hoe groter we de impact op het elektriciteitsnet schatten.

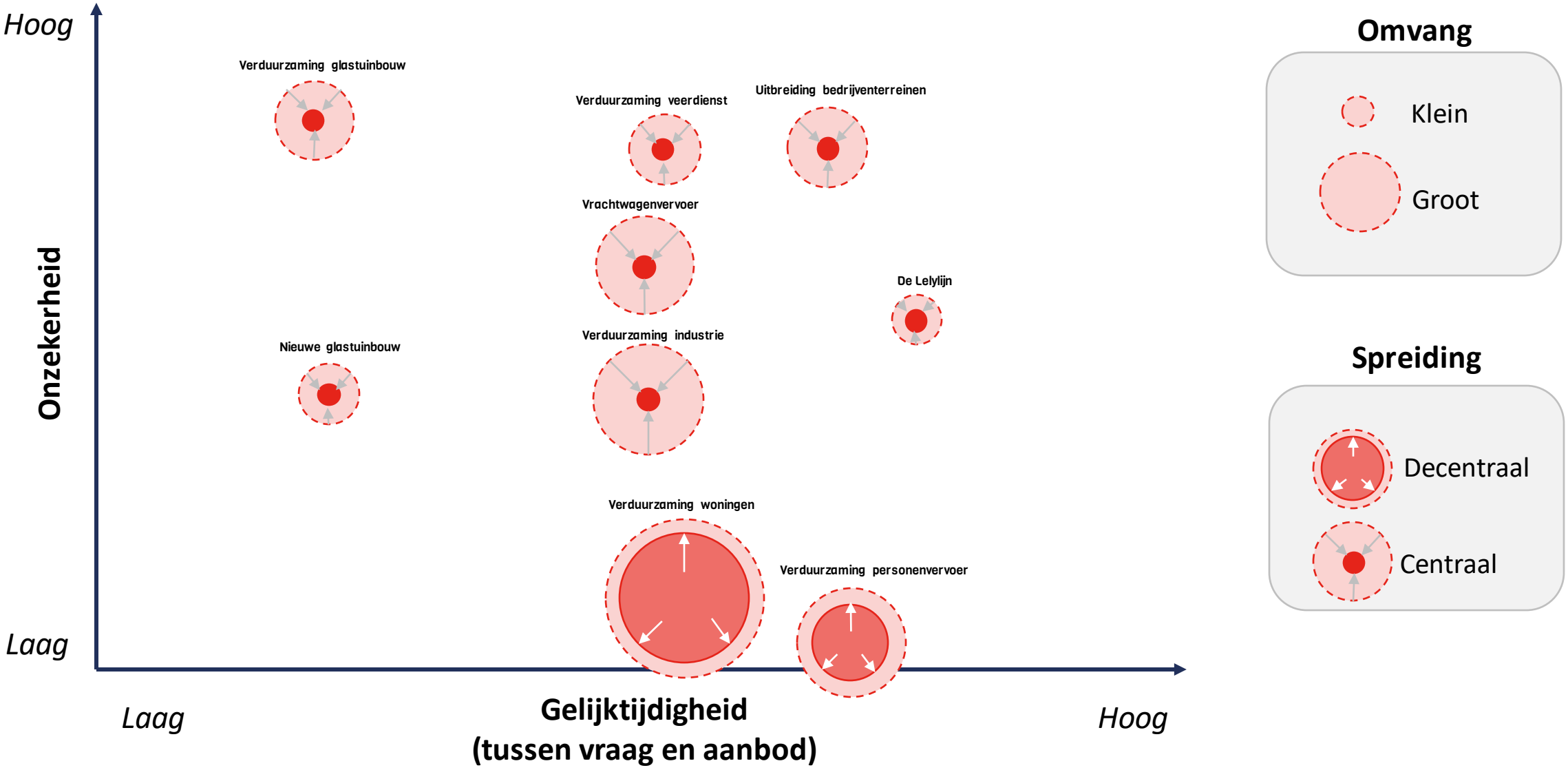
Omvang (groot vs klein) De energetische omvang van de ontwikkeling heeft uiteraard een invloed op de infrastructuur: hoe groter de ontwikkeling hoe groter de impact. Hiermee bedoelen we de omvang van de totale ontwikkeling. Ter illustratie: de ontwikkeling van elektrificatie van personenvervoer betreft niet één enkel voertuig, maar de ontwikkeling als geheel. Dat betekent alle elektrificatie en bijpassende energievraag van personenvervoer.

Spreiding (centraal vs decentraal) Hoe meer decentraal een ontwikkeling plaatsvindt, hoe kleiner diens effect op onderstationsniveau. Dit komt omdat op lagere netvlakken vraag en aanbod dan meer in evenwicht worden gebracht. De druk op het laag- en middenspanningsnet neemt hierdoor wel toe. Ter illustratie: het toevoegen van één zonnepaneel op ieder huis, zorgt voor een beperkte belasting op het onderstation, doordat de opwek ook weer lokaal gebruikt wordt. De omvang van al deze zonnepanelen heeft wel grote omvang (zie vorige factor).

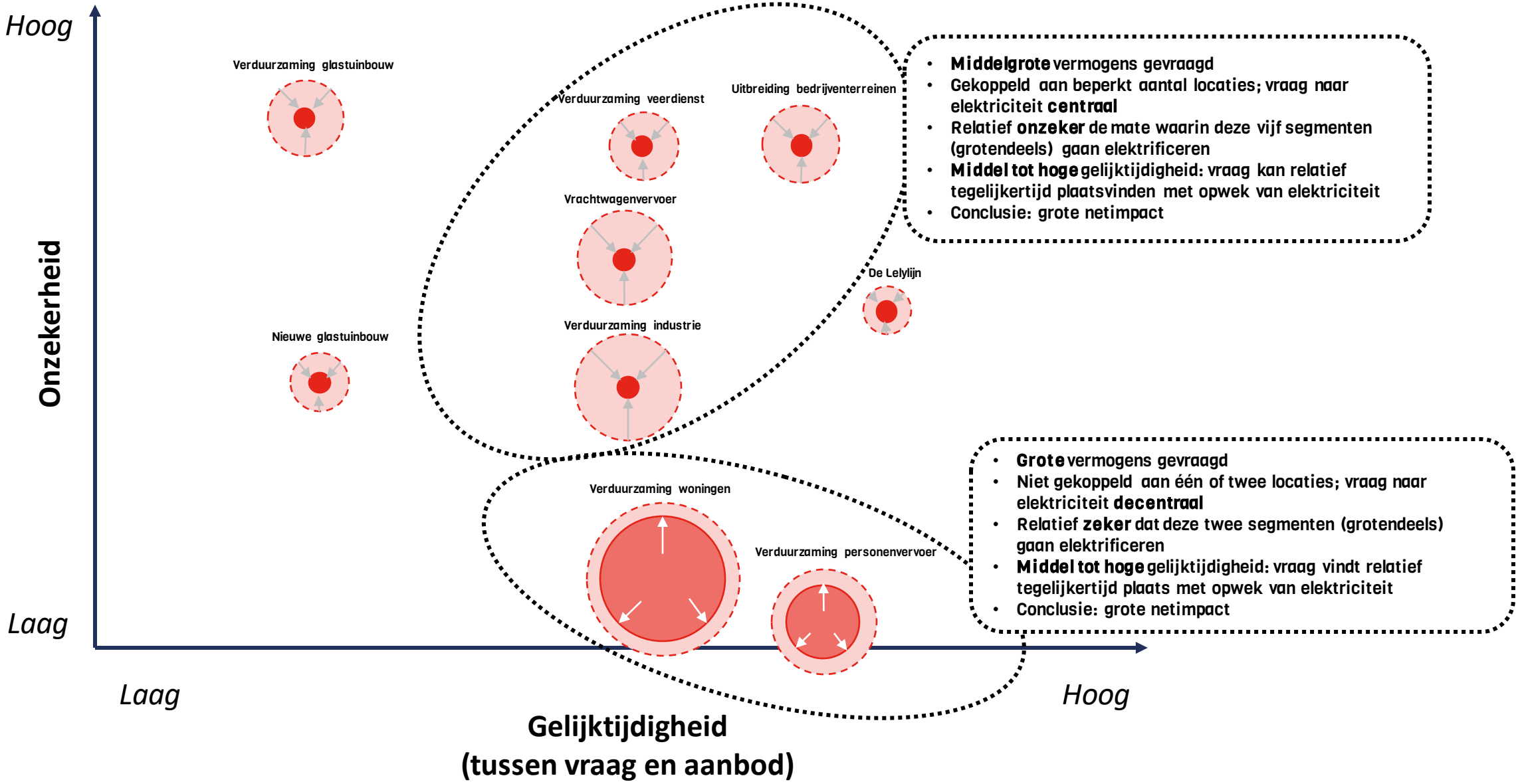
Gelijktijdigheid (groot vs klein) De mate waarin aanbod en vraag op het zelfde moment plaatsvindt, bepaalt of er veel of weinig via het onderstation moet worden getransporteerd. Ontwikkelingen die een grotere gelijktijdigheid hebben, hebben dus een minder grote impact. Ter illustratie: zonopwek is maximaal op het midden van de dag in de zomer, maar dit is juist een moment waarop de vraag laag is. Hierdoor heeft zonopwek een relatief grote impact op de infrastructuur.

Friese Energietafel

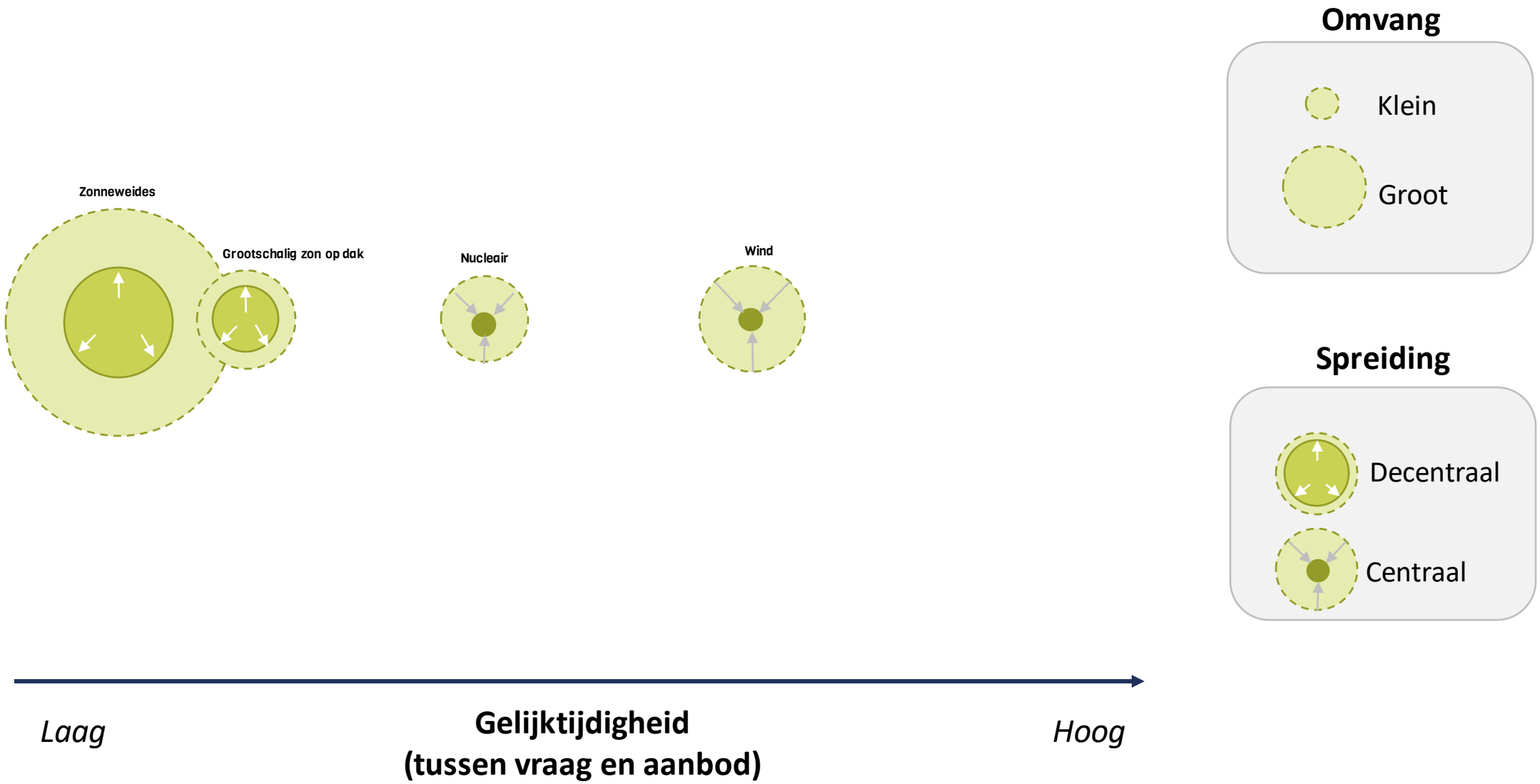
Impactvolle elektriciteitsontwikkelingen (vraagzijde) in kaart



Ontwikkelingen (vraagzijde) variëren sterk in omvang, (on)zekerheid, (on)gelijktijdigheid: dit bepaalt de netimpact

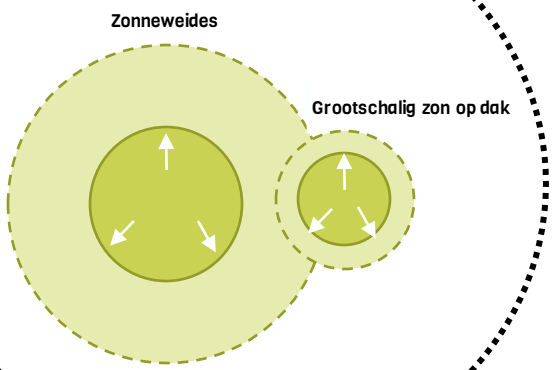


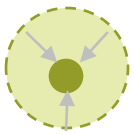
Impactvolle elektriciteitsontwikkelingen (aanbodzijde) in kaart

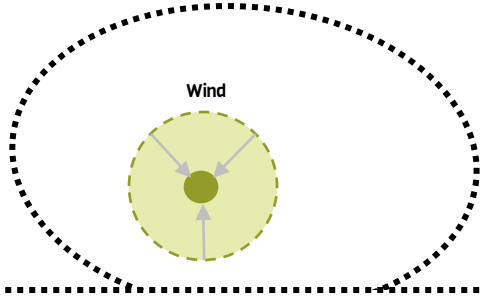


Ontwikkelingen (aanbodzijde) variëren sterk in omvang en (on)gelijktijdigheid: dit bepaalt de netimpact

- Relatief vermogen van één SMR module (kerncentrale) weergegeven ter illustratie.
- Een kerncentrale is **zeer centraal** en gekoppeld aan één centrale.
- De gelijktijdigheid is **gemiddeld**. Een kerncentrale draait altijd en kan niet gemakkelijk uit of aan worden gezet.
- Conclusie: **gemiddelde** netimpact.



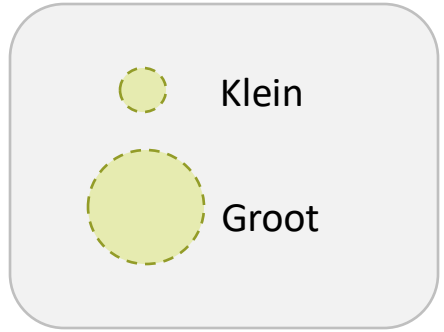




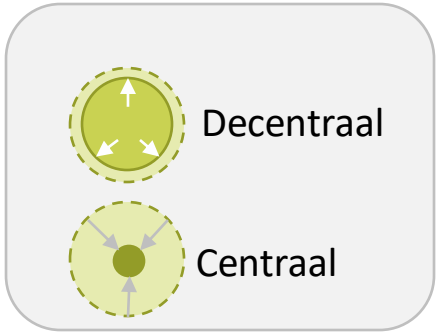
- **(Middel)grote** vermogens gevraagd
- Spreiding is afhankelijk van grootte zonneweides of daken
- **Lage** gelijktijdigheid: vraag naar elektriciteit vindt niet gelijk plaats met opwek van zon. Dit vergroot de netimpact
- *Onzekerheid is niet relevant: deze ontwikkelingen hebben altijd impact op het net*
- Conclusie: **Zeer grote** netimpact

- **Relatief lage** vermogens gevraagd
- Gebonden aan beperkt aantal plekken: **centraal aanbod**
- **Hoge** gelijktijdigheid: vraag naar elektriciteit vindt relatief gelijk plaats met opwek van zon (ook 's avonds is er wind). Dit verkleint de netimpact
- *Onzekerheid is niet relevant: deze ontwikkelingen hebben altijd impact op het net*
- Conclusie: Relatief **kleine** netimpact

Omvang

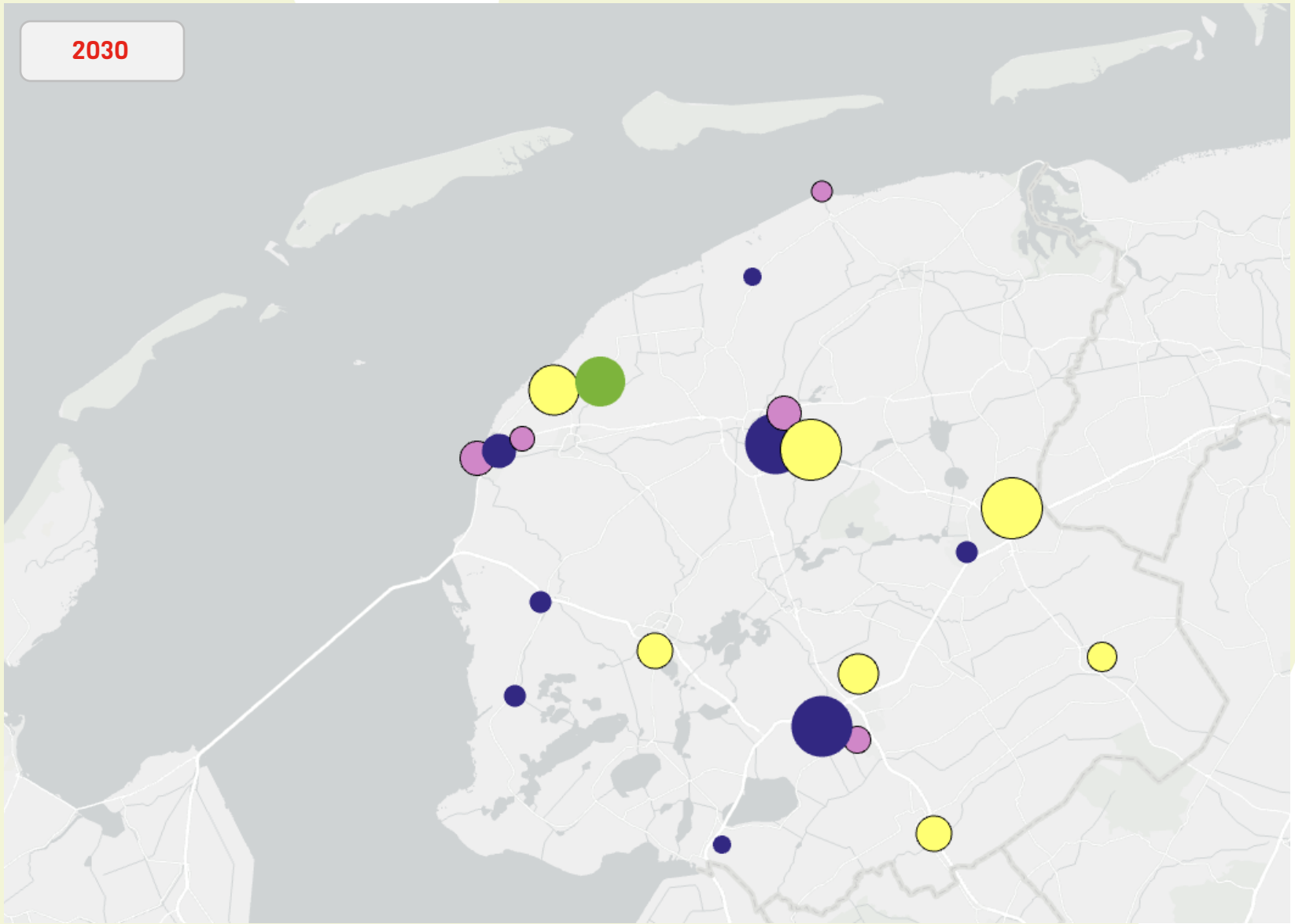


Spreiding



Laag — **Gelijktijdigheid (tussen vraag en aanbod)** — *Hoog*

De meest bepalende elektriciteitsontwikkelingen in kaart (1)



Legenda

Segment[1]

Aanbod

- Zonneweides obv aanvragen bij Liander en input gemeente
- Zon obv ruimtelijke modellen[1]
- Wind

Vraag

- Gebouwde omgeving
- Mobiliteit
- Industrie
- Glastuinbouw

Omvang

15 MW

100+ MW

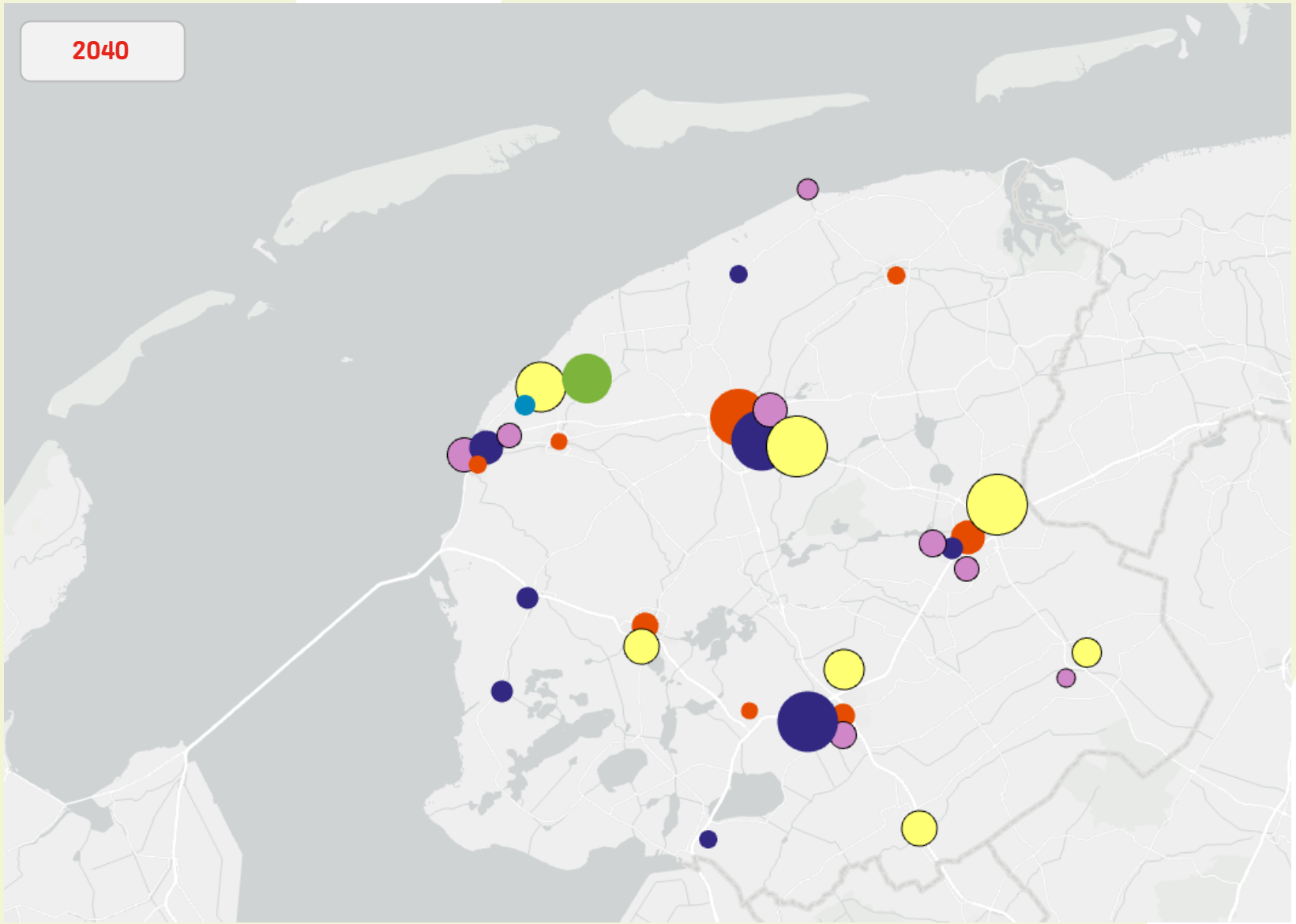
Toelichting

- Alleen ontwikkelingen met een gecentreerde, sterke vermogensgroei (>15 MW) zijn weergegeven. Kleinere en/of decentrale ontwikkelingen worden wel meegenomen in de belastingprognose, maar staan hier niet weergegeven.
- Figuren zijn tot stand gekomen door forecast modellen, bekende plannen en gesprekken met stakeholders te combineren. Dit is nog onafhankelijk van de beschikbare ruimte op het elektriciteitsnet.

Noot: In kaart zijn alleen toenemende vermogens weergegeven. Huidige vermogens zoals Windpark Fryslan, zijn om deze reden niet weergegeven.

1) Ruimtelijke modellen staan in Achtergronddocument 4 beschreven.

De meest bepalende elektriciteitsontwikkelingen in kaart (2)



Legenda

Segment[1]

Aanbod
- Zonneweides obv aanvragen bij Liander en input gemeente
- Zon obv ruimtelijke modellen[1]
- Wind

Vraag
- Gebouwde omgeving
- Mobiliteit
- Industrie
- Glastuinbouw

Omvang

15 MW

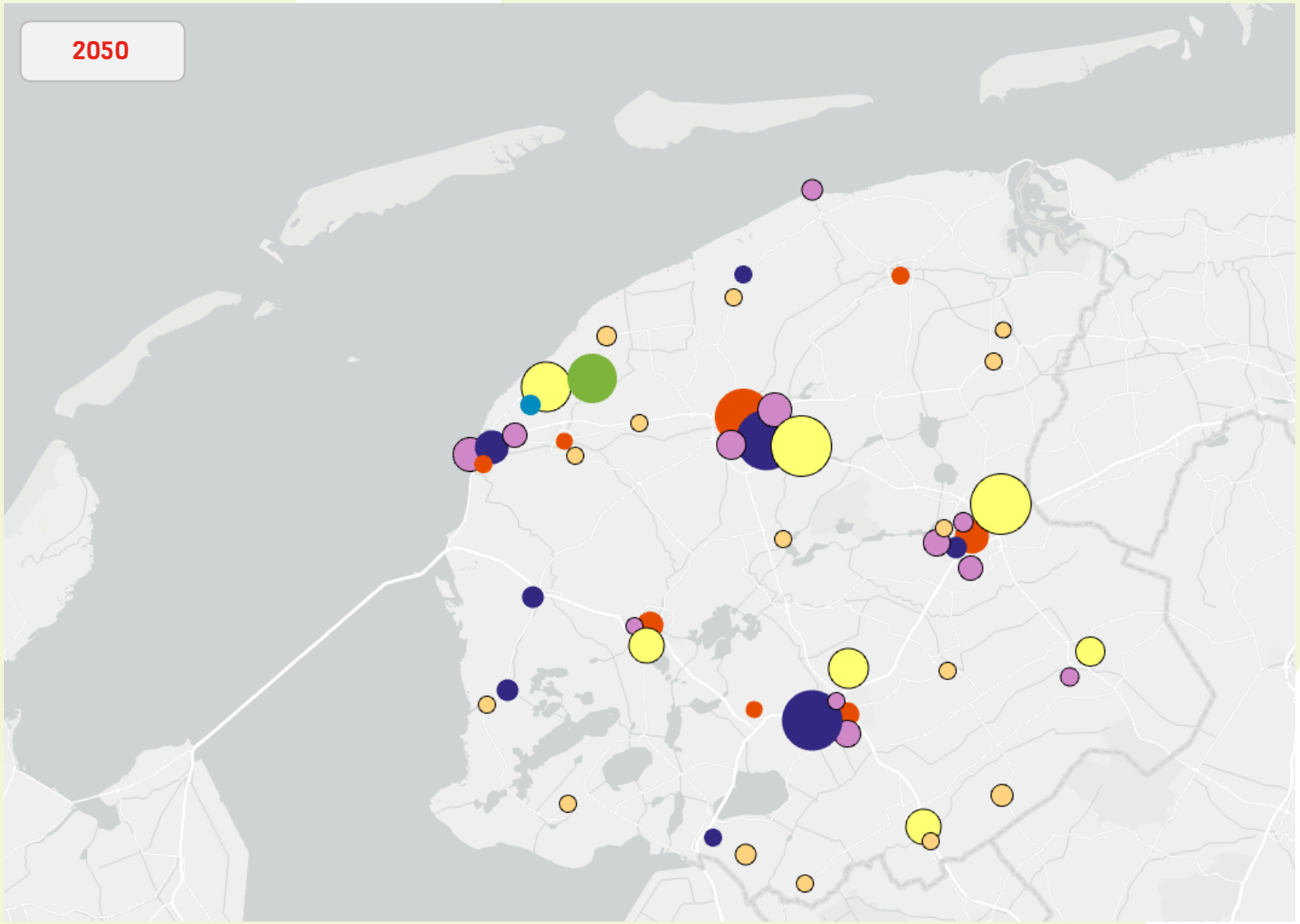
100+ MW

Toelichting

- Alleen ontwikkelingen met een gecentreerde, sterke vermogensgroei (>15 MW) zijn weergegeven. Kleinere en/of decentrale ontwikkelingen worden wel meegenomen in de belastingprognose, maar staan hier niet weergegeven.
- Figuren zijn tot stand gekomen door forecast modellen, bekende plannen en gesprekken met stakeholders te combineren. Dit is nog onafhankelijk van de beschikbare ruimte op het elektriciteitsnet.

Noot: In kaart zijn alleen toenemende vermogens weergegeven. Huidige vermogens zoals Windpark Fryslan, zijn om deze reden niet weergegeven.
1) Ruimtelijke modellen staan in Achtergronddocument 4 beschreven.

De meest bepalende elektriciteitsontwikkelingen in kaart (3)



Legenda

Segment[1]

Aanbod

- Zonneweides obv aanvragen bij Liander en input gemeente
- Zon obv ruimtelijke modellen[1]
- Wind

Vraag

- Gebouwde omgeving
- Mobiliteit
- Industrie
- Glastuinbouw

Omvang

15 MW

100+ MW

Toelichting

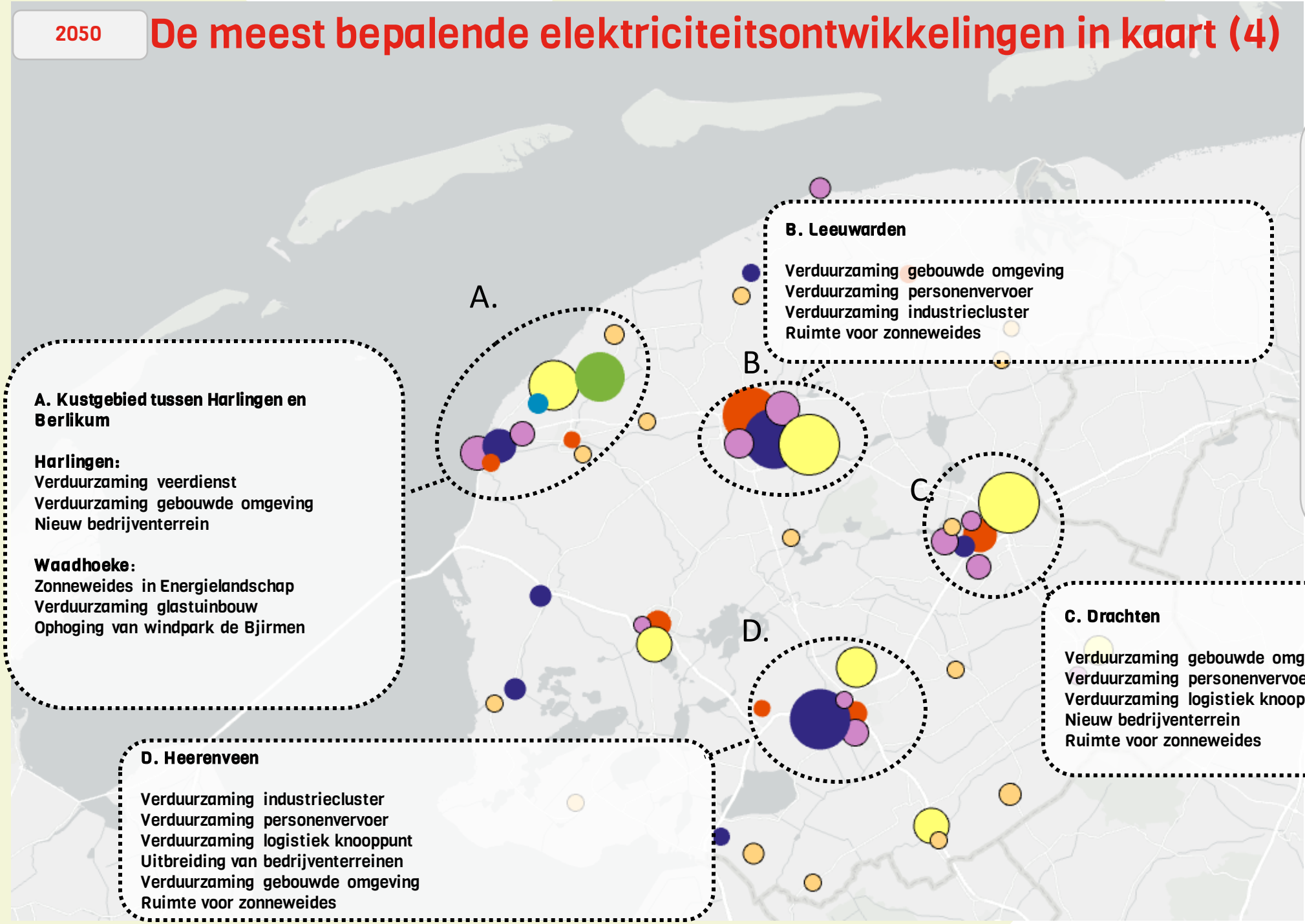
- Alleen ontwikkelingen met een gecentreerde, sterke vermogensgroei (>15 MW) zijn weergegeven. Kleinere en/of decentrale ontwikkelingen worden wel meegenomen in de belastingprognose, maar staan hier niet weergegeven.
- Figuren zijn tot stand gekomen door forecast modellen, bekende plannen en gesprekken met stakeholders te combineren. Dit is nog onafhankelijk van de beschikbare ruimte op het elektriciteitsnet.

Noot: In kaart zijn alleen toenemende vermogens weergegeven. Huidige vermogens zoals Windpark Fryslan, zijn om deze reden niet weergegeven.

1) Ruimtelijke modellen staan in Achtergronddocument 4 beschreven.

2050

De meest bepalende elektriciteitsontwikkelingen in kaart (4)



A. Kustgebied tussen Harlingen en Berlikum

Harlingen:
Verduurzaming veerdienst
Verduurzaming gebouwde omgeving
Nieuw bedrijventerrein

Waadhoeke:
Zonneweides in Energielandschap
Verduurzaming glastuinbouw
Ophoging van windpark de Bjirmen

B. Leeuwarden

Verduurzaming gebouwde omgeving
Verduurzaming personenvervoer
Verduurzaming industriecluster
Ruimte voor zonneweides

C. Drachten

Verduurzaming gebouwde omgeving
Verduurzaming personenvervoer
Verduurzaming logistiek knooppunt
Nieuw bedrijventerrein
Ruimte voor zonneweides

D. Heerenveen

Verduurzaming industriecluster
Verduurzaming personenvervoer
Verduurzaming logistiek knooppunt
Uitbreiding van bedrijventerreinen
Verduurzaming gebouwde omgeving
Ruimte voor zonneweides

Legenda

Segment[1]

Aanbod
- Zonneweides obv aanvragen bij Liander en input gemeente
- Zon obv ruimtelijke modellen
- Wind

Vraag
- Gebouwde omgeving
- Mobiliteit
- Industrie
- Glastuinbouw

Omvang

15 MW

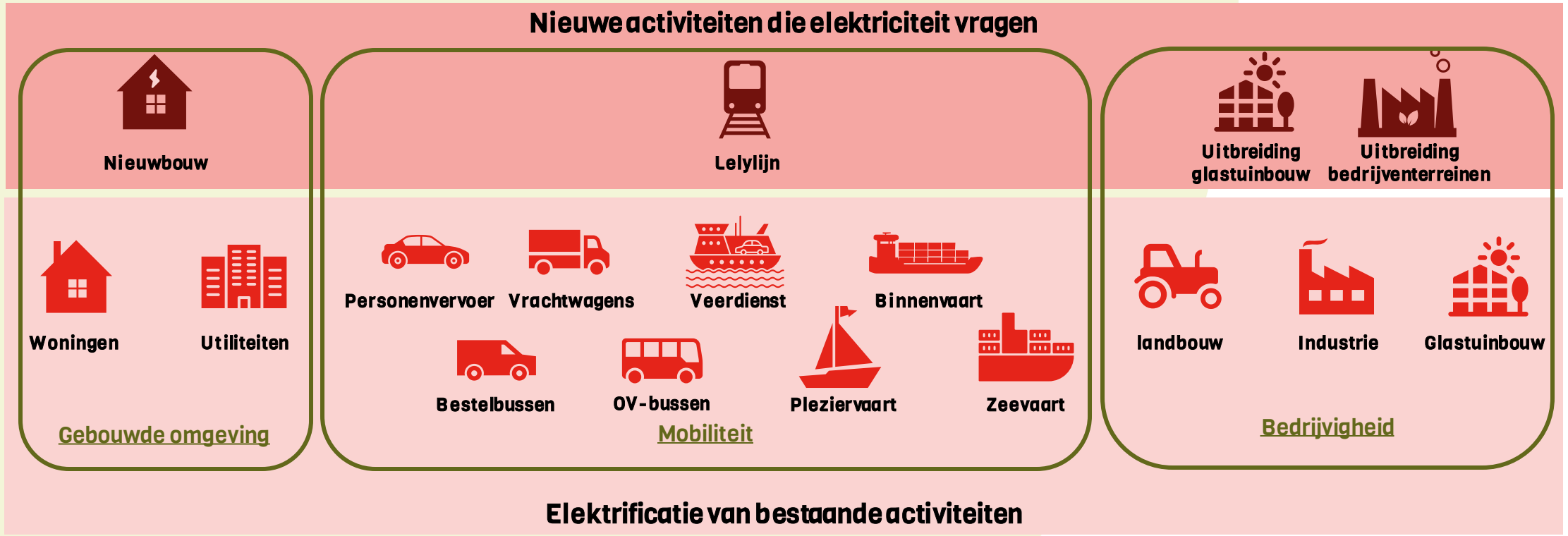
100+ MW

Friese Energietafel

Ontwikkelingen met een elektriciteitsvraag komen voort uit de verduurzaming of uitbreiding van activiteiten

In deze analyse beschouwen we hoofdzakelijk de ontwikkelingen en veranderingen **ten opzichte van de huidige bestaande elektriciteitsvraag.** Bestaande elektriciteitsvraag, waaronder elektriciteitsverbruik in de industrie (pompen, logistiek, koeling, etc.), landbouw (melkrobots, koeling en elektrische voertuigen), gebouwde omgeving (apparatuur) en elders (huidig treinverkeer, straatlantaarns, wegaanwijzingen, etc.), worden in deze analyse niet meegenomen als ontwikkeling omdat diens verandering t.o.v. de huidige situatie beperkt is. Mogelijk verandert de elektriciteitsvraag hier wel enigszins door efficiënte verhoging of uitbreiding van gebruik. De grootschalige bestaande vraag (zoals bijvoorbeeld bestaande datacenters) worden wel meegenomen in het bepalen van knelpunten en het identificeren van kansen, maar niet individueel toegelicht.

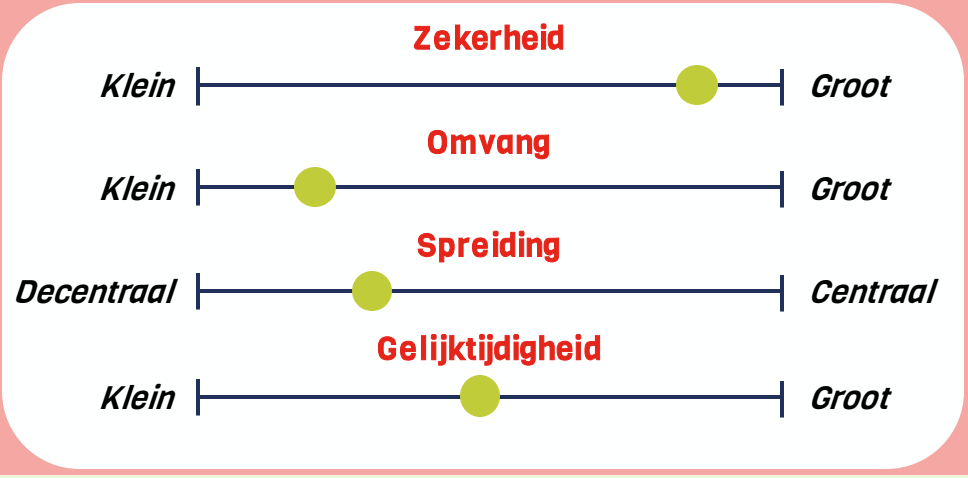
Elektriciteitsvraagontwikkelingen laten zich primair verdelen in twee groepen; verduurzaming van huidige activiteiten en nieuwe activiteiten. Deze twee groepen staan hieronder geïllustreerd en verdeeld per vraagsector.



Gebouwde omgeving (1/2): nieuwbouw

Nieuwbouwwoningen

Nieuwe energievraag als gevolg van uitbreiding van het aantal woningen. Nieuwbouwwoningen zullen in het algemeen all-electric worden opgeleverd. Bij aanleg van nieuwe wijken zijn collectieve warmteoplossingen, zoals aquathermie of geothermie, ook een mogelijkheid. De totale omvang is beperkt vergeleken met verduurzaming huidige gebouwen. Nieuwbouwwoningen zijn doorgaans goed geïsoleerd en hebben geïntegreerde zonnepanelen waardoor energievraag per huis relatief laag is. Naar verwachting worden er in totaal enkele 10 duizenden woningen bijgebouwd in Fryslân.



Friese Energietafel

Gebouwde omgeving (2/2): bestaande bouw

Verduurzaming bestaande woningen

Woningen stappen af van conventioneel verwarmen op aardgas. (Gedeeltelijke) elektrificatie is hier een veel gekozen oplossing. Onzekerheden zitten in de mate waarin een huis te isoleren is en het uitrollen van collectieve warmteoplossingen op basis van duurzame warmtebronnen. De omvang van de energievraag van de verduurzaming is zeer groot (ca 30% van totale energievraag) maar ook zeer decentraal verspreidt door Fryslân in de vorm van dorpen en veel vrijstaande woningen. Door toenemende isolatie zal de totale energievraag door de jaren heen afnemen.

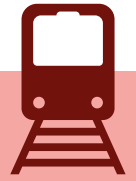


Verduurzaming bestaande utiliteitsbouw

Vervanging van ruimteverwarming op aardgas voor niet-woningbouw. Hieronder vallen alle gebouwen die geen woning zijn en aardgas momenteel niet inzetten in het primaire proces (oven/boiler/etc) maar voor ruimteverwarming, e.g. kantoorruimtes. Door de relatieve grote (lage temperatuur) warmte vraag, zijn warmte oplossingen als collectieve warmtenetten (op aqua- of geothermie) of via WKO's hier logische keuzes.



Mobiliteit (1/5): de Lelylijn



Ontwikkeling Lelylijn

Voeding van de bovenleidingen van de, nieuw aan te leggen, Lelylijn met in ieder geval station in Drachten. Locaties en fasering van voedingen nog onzeker evenals totale vermogensvraag, maar het betreft altijd elektriciteit (geen andere duurzame energiedrager). Kiezen van voedingslocaties, kan elektriciteitsvraag en aanbod bij elkaar brengen. In het algemeen is de gelijktijdigheid met zon-opwek goed, omdat treinen overdag vaker reizen dan 's nachts.



Friese Energietafel

Mobiliteit (2/5): personenvervoer en busverkeer

Verduurzaming personenvervoer

Verduurzaming van de energievraag (in de vorm van benzine en diesel) voor personenvervoer. Deze verduurzamingsroute is al stevig ingezet en lijkt, zeker op de langere termijn, volledig te verschuiven naar batterij-elektrische voertuigen. Vanwege de relatief wijd opgezette provincie, zal het laden van deze voertuigen veelal verspreid gebeuren, met uitzondering van enkele snellaadpunten. Laden gebeurt (op werk) relatief gelijktijdig met opwek. Slim en netbewust laden kan de impact van (alle) elektrische voertuigen verminderen.



Verduurzaming OV - busverkeer

Verduurzaming van de energievraag (voornamelijk in de vorm van diesel en Compressed Natural Gas (CNG)) voor OV-bussen. Batterij-elektrisch lijkt hier de meest logische optie door de relatief korte afstanden en de volwassenheid van de technologie in combinatie met ambitieuze doelstellingen op de relatief korte termijn. Fryslân wil namelijk vanaf 2030 dat alle bussen zero-emissie rijden. Ondanks dat het een relatief kleine hoeveelheid energie betreft, wordt het laadvermogen wel zeer centraal gevraagd op laaddepots.



Mobiliteit (3/5): bestelbussen en vrachtwagens

Verduurzaming bestelbussen

Verduurzaming van de energievraag (in de vorm van met name diesel) voor bestelbussen. Verduurzamingsroute is ingezet en lijkt, zeker op de langere termijn, volledig te verschuiven naar batterij-elektrische voertuigen, vergelijkbaar met personenvervoer. Laden zal deels op logistieke depots en deels verspreid plaatsvinden. Twee grote logistieke depots zijn te vinden in Heerenveen en Drachten.



Verduurzaming vrachtwagens

Verduurzaming van de energievraag (in de vorm van met name diesel) voor vrachtwagens. Elektrificatie lijkt hier, zeker voor nationaal transport, de voornaamste verduurzamingsroute. Deze trend is echter pas net ingegaan en zeker voor internationaal transport, zijn andere energiedragers ook denkbaar. Logischerwijs zal laden plaatsvinden op logistieke depots. Waar zeer grote hoeveelheden energie en vermogens gevraagd zullen worden. Twee grote logistieke depots zijn te vinden in Heerenveen en Drachten.



Mobiliteit (4/5): veerdiensten en pleziervaart

Verduurzaming veerdiensten

Verduurzaming van de veerdiensten door vervanging van huidig LNG en diesel. Verduurzamingsroute is momenteel nog onzeker, maar elektrificatie lijkt hier een mogelijkheid. De omvang van de ontwikkeling in combinatie met het centraal laden (het betreft immers een beperkt aantal schepen en havens) zorgt mogelijk voor een grote vermogensvraag. Door gebruik van modulaire inwisselbare batterijen, kan de vermogensvraag verlagen en de gelijktijdigheid met opwek verhoogd worden.



Verduurzaming van pleziervaart

Verduurzaming van de pleziervaart door vervanging van diesel en benzine. Verduurzamingsroute, voor met name de kleinere boten lijkt via elektrificatie logisch. Ondanks dat Fryslân relatief veel pleziervaart kent is de omvang relatief klein en de spreiding relatief groot (langs eigen steiger en via verschillende havens). Doordat pleziervaart doorgaans niet-intensief gebruikt worden, zijn langere laadtijden acceptabel en kunnen laadvermogen dus lager zijn. Daarnaast de gelijktijdigheid (als de zon schijnt, wordt er meer gevaren), relatief groot.



Mobiliteit (5/5): zeevaart en binnenvaart

Verduurzaming zeevaart

Verduurzaming van de zeevaart door vervanging van stookolie en diesel. De verduurzamingsroute van de (internationale) zeevaart is, net als de luchtvaart, momenteel nog zeer onzeker. Elektrificatie lijkt hier, zeker voor internationaal transport, niet mogelijk waardoor bio en synthetische brandstoffen hier meer waarschijnlijk zijn. Daarnaast is het de vraag of de (internationale) zeevaart in de provincie Fryslân zelf zijn energievraag zal plaatsvinden. Deze is immers niet gebonden aan specifieke havens. Als dit wel gebeurt, lijkt de Port of Harlingen het meest voor de hand liggend.



Verduurzaming binnenvaart

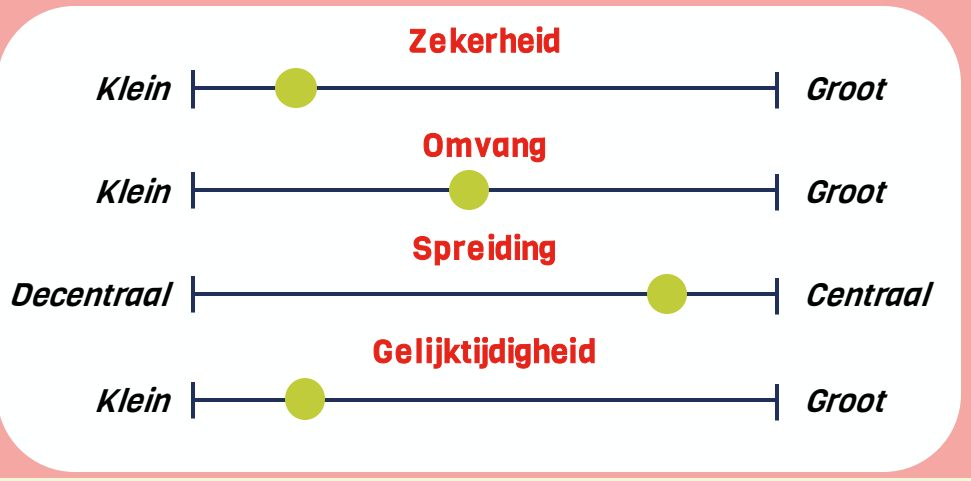
Verduurzaming van de zeevaart door vervanging van stookolie en diesel. Verduurzamingsroute van de binnenvaart is nog erg onzeker. Elektriciteit biedt hier wel een mogelijkheid. Mogelijk via uitwisselbare modulaire (container) batterijen. Laden zal dan met name op overslag locaties plaatsvinden, maar door modulaire inwisselbare batterijen mogelijk een verminderde vermogensvraag hebben.



Bedrijvigheid (1/3): nieuwe glastuinbouw en bedrijventerreinen

Nieuwe glastuinbouw

Uitbreiding van de glastuinbouw in de provincie is nog onzeker. Mogelijk wordt deze uitbreiding (Waddenglas) onderdeel van een te ontwikkelen Energielandschap in Waadhoeke. Uitbreiding van glastuingebieden, dan wel in Sexbierum, dan wel in Berlikum maakt verduurzaming wel efficiënter, door schaal voordelen dus zeer centraal. Omvang van elektriciteitsvraag zeer afhankelijk van gekozen verduurzamingsroute. Energievraag zit voornamelijk in warmte (winter) en licht ('s avonds), waardoor gelijktijdigheid met (zon) opwek inherent klein is.



Nieuwe/uitbreiding bedrijventerreinen

Uitbreiding van bedrijventerreinen met nieuwe bedrijvigheid met nieuwe elektriciteitsvraag. Omvang van elektriciteitsvraag zeer afhankelijk van (type) bedrijvigheid dat zich vestigt. Bedrijventerreinen worden doorgaans als uitbreiding van huidige bedrijventerreinen centraal georganiseerd. Door slimme inrichting van nieuw te ontwikkelen bedrijventerreinen kunnen vraag en aanbod van elektriciteit in ontwerp dichter bij elkaar worden gebracht. Grote uitbreidingen staan gepland rondom Drachten, Harlingen en Heerenveen.



Bedrijvigheid (2/3): landbouw en glastuinbouw

Verduurzaming landbouw

Vervanging van de diesel vraag vanuit landbouw voertuigen en andere machines. Elektrificatie door gewicht en specificaties van landbouwvoertuigen niet direct logisch, maar wel mogelijk op de langere termijn. De totale energetische omvang is beperkt en laden (op eigen erf) zal zeer decentraal gebeuren. Trend van zelfvoorziening op eigen erf is zichtbaar, zeker met de opkomst van kleinere erf windmolens. Inzet van zelf opgewekte elektriciteit voor brandstof generatie (waterstof) of batterij laden denkbaar, waardoor gelijktijdigheid goed benut wordt. Impact op het net is daardoor klein.



Verduurzaming glastuinbouw

Vervanging van de aardgas vraag voor het genereren van warmte, elektriciteit en CO_2 (WKK) of warmte en CO_2 (gasketel). Sector is beperkt aanwezig in Fryslân (ca 180 ha), maar heeft grote energievraag en is voornamelijk centraal over 2 locaties (Sexbierum en Berlikum) gelegen. Verduurzamingsroute nog onzeker, waarschijnlijk een mix van oplossingen; biogas WKK, warmte via diverse bronnen (zon/geo/aquathermie/restwarmte) en elektrificatie. Gelijktijdig afhankelijk van dominante route. Indien elektrificatie, gelijktijdigheid zeer klein, want warmte en belichting juist nodig in koude, donkere winterdagen.



Bedrijvigheid (3/3): industrie

Verduurzaming industrie

Vervanging van de aardgasvraag voor processen anders dan ruimteverwarming. Afhankelijk van type industrie en proces verschilt zekerheid van elektrificatieroute. Industrie in Fryslân betreft voornamelijk voedingsindustrie en is doorgaans logisch te elektrificeren, doordat temperaturen haalbaar zijn via e-boilers en e-ovens. Processen hebben redelijk grote energetische omvang en zijn vrij centraal georganiseerd (op industrieterreinen). Mate waarin gelijktijdigheid met aanbod georganiseerd kan worden, is afhankelijk van het proces.



Friese Energietafel

Nieuwe ontwikkelingen rondom aanbod van elektriciteit

Ook in de analyse van de aanbodzijde beschouwen we hoofdzakelijk ontwikkelingen en veranderingen ten opzichte van het huidige elektriciteitsaanbod. Bestaand elektriciteitsaanbod, zoals de reststoffen energiecentrale, gascentrale, WKK's en biomassacentrales, zijn buiten beschouwing gelaten. Van dit huidige aanbod is de verwachting dat dit aanbod (op basis van fossiele content) op den duur afneemt, waardoor dit geen beperkende factor zal zijn voor het elektriciteitsnet. Het bestaande aanbod wordt wel meegenomen in het bepalen van knelpunten en het identificeren van kansen, maar wordt verder niet individueel toegelicht. De factor 'zekerheid' is niet van toepassing voor de ontwikkelingen rondom elektriciteitsaanbod: al deze ontwikkelingen hebben per definitie invloed op het net en daarmee altijd zeker.

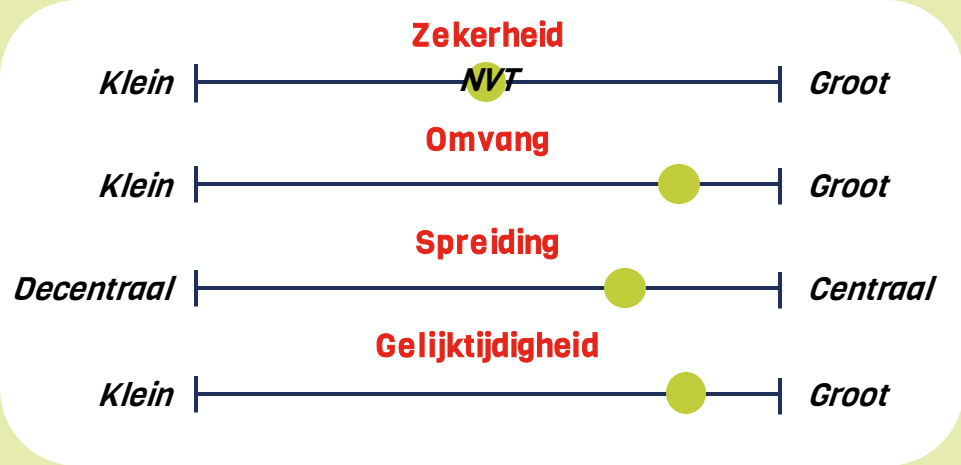


Friese Energietafel

Wind (1/2): op land

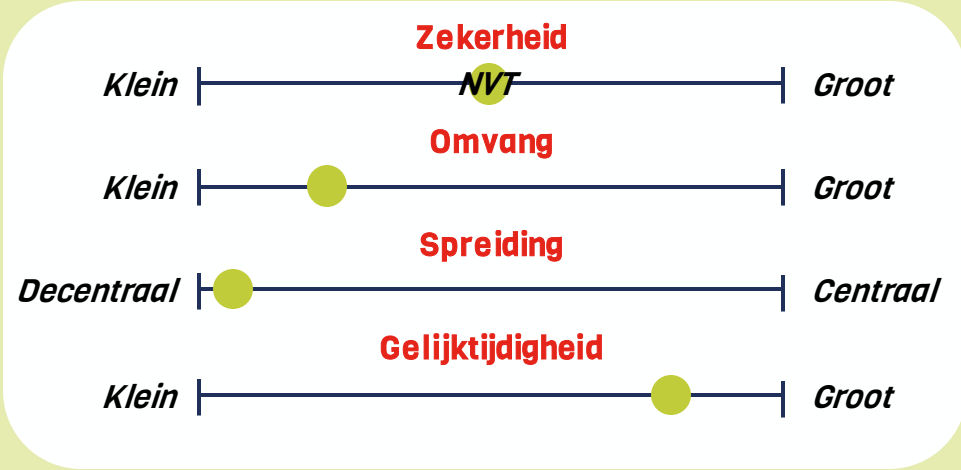
Wind op land (>15m)

Uitrol van meer grote windmolens en het ophogen van bestaande windmolens op het land. Hoe groter de windmolen hoe (exponentieel) meer energie wordt opgewekt. De omvang is in potentie erg groot, zeker aan de kuststreek. Windmolens worden relatief vaak geclusterd. De gelijktijdigheid aanbod is relatief groot, ook op seizoensniveau. De wenselijkheid van de bouw van nieuwe windmolens staat ter discussie in Fryslân. Hierdoor lijkt benutting van deze potentie beperkt.



Wind op land (<15m)

Uitrol van meer kleine windmolens met een maximale mast hoogte van 15 meter. De individuele omvang van een enkele windmolen is zeer beperkt waardoor deze met name voor eigen gebruik van invloed kan zijn en dus ook beperkt effect heeft op het elektriciteitsnet op onderstationsniveau. Echter, door de in potentie grote aantallen, kan toch een significante hoeveelheid energie worden opgewekt. Het Friese bestuursakkoord wijst agrarische bedrijven en recreatiegebieden aan als toegestane locaties.



Wind (2/2): op zee



Wind op zee (>15m)

Uitrol van grotere windmolens en het ophogen van bestaande windmolens op zee. Windparken op zee (of meer) hebben doorgaans een zeer grote omvang en worden geclusterd geconstrueerd. Daarnaast waait de wind op zee doorgaans harder dan op land, waardoor opbrengsten per windmolen hoger zijn. Windpark Fryslân is voor nu het enige voorbeeld binnen de provinciegrenzen. Uitbreiding van windpark Fryslân, of nieuwe parken, zijn momenteel (nog) niet in zicht.

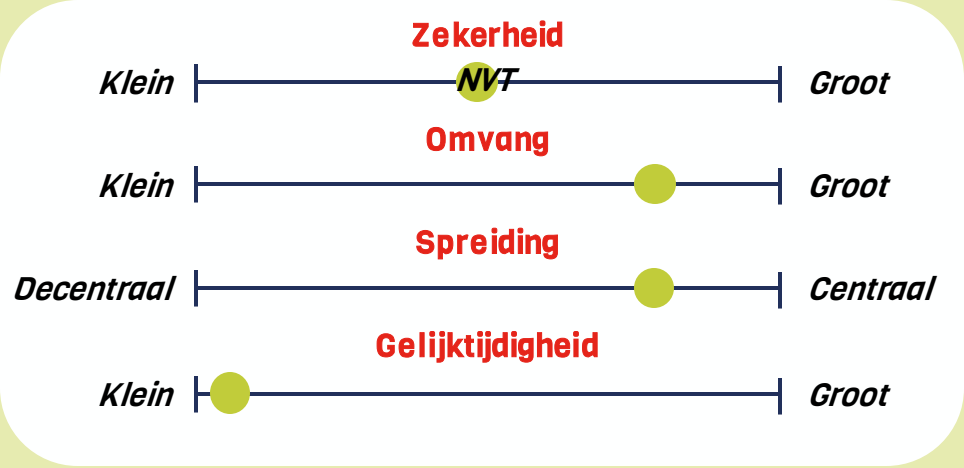


Friese Energietafel

Zon (1/2): weides en grootschalig zon op dak

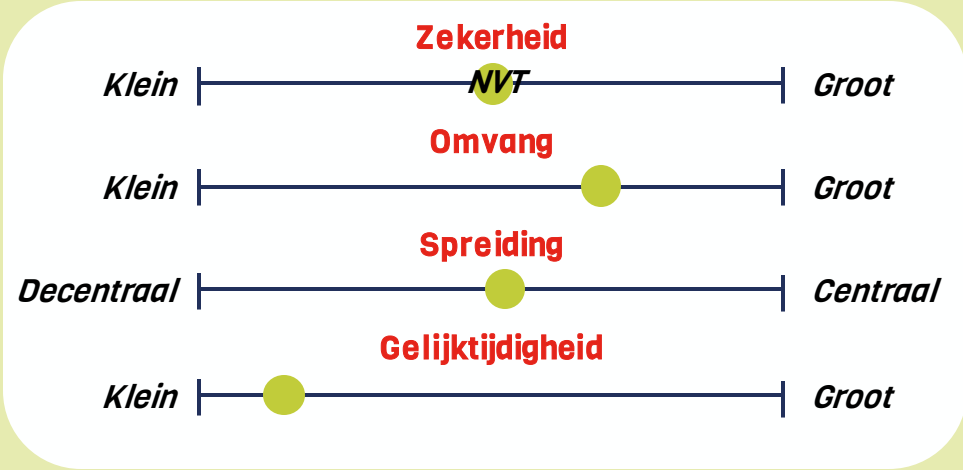
Zonneweides

Uitrol van zonneweides van enkele tot tientallen hectaren, zowel op water als op land. Zonneweides zijn doorgaans groot in omvang en centraal gepositioneerd. Door een beperkt aantal zonuren zijn de energetische opbrengsten per paneel beperkt en de vermogensvraag hoog. De opbrengsten van zonne-energie zullen met name in de zomer overdag pieken, dit is op het moment dat er relatief weinig vraag is waardoor de gelijktijdigheid met aanbod klein is.



Zon op dak (groot)

Uitrol van zon-op-dak bij grote dakoppervlaktes zoals boerderijen en logistieke centra. Hiervan zijn de oppervlaktes doorgaans kleiner dan die van zonneweides en meer decentraal gelocaliseerd. Hierdoor is de kans groter (afhankelijk van de activiteit) dat een groter deel van de elektriciteit lokaal wordt verbruikt en er dus minder vermogen via onderstations getransporteerd dient te worden. Echter, is de gelijktijdigheid (op seizoens- én dagbasis) met vraag relatief nog laag.



Zon (2/2): kleinschalig zon op dak

Zon op dak (klein)

Uitrol van zon-op-dak bij kleinere dakoppervlaktes zoals woningen en winkels. Doorgaans enkele tot tientallen zonneppanelen per aansluiting, maar door zeer groot aantal daken in omvang groot. Aansluitingen hebben vaak ook een vraag naar elektriciteit, waardoor in delen van de tijd geen vermogensaanbod ontstaat. De gelijktijdigheid is echter wel beperkt.

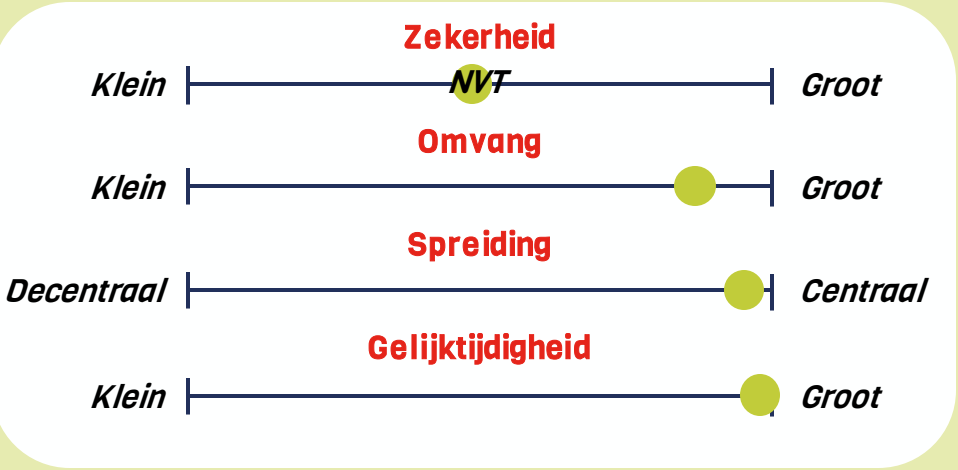


Friese Energietafel

Overig: gas en nucleair

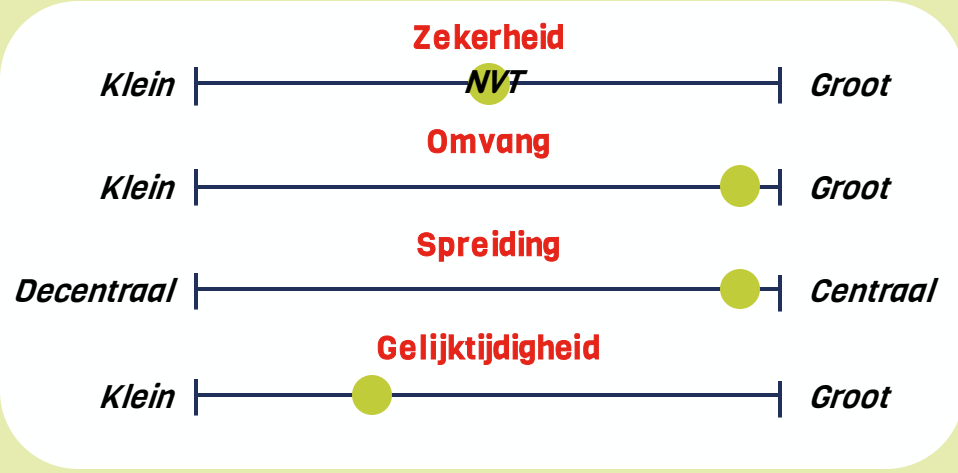
Gascentrale

Het aanbod van elektriciteit uit gascentrales door verbranding van (duurzame) gassen. Naar verwachting zullen gascentrales vooral als flexibel vermogen elektriciteit leveren (dit is in Bergum al het geval). Het flexibel vermogen is bedoeld om vraag en aanbod in evenwicht te houden waardoor gelijktijdigheid per definitie groot is. Indien mogelijk lijkt het logisch om de gascentrale in Bergum op waterstof te laten draaien, maar gezien de energetische verliezen is direct elektriciteitsverbruik efficiënter.



Nucleair

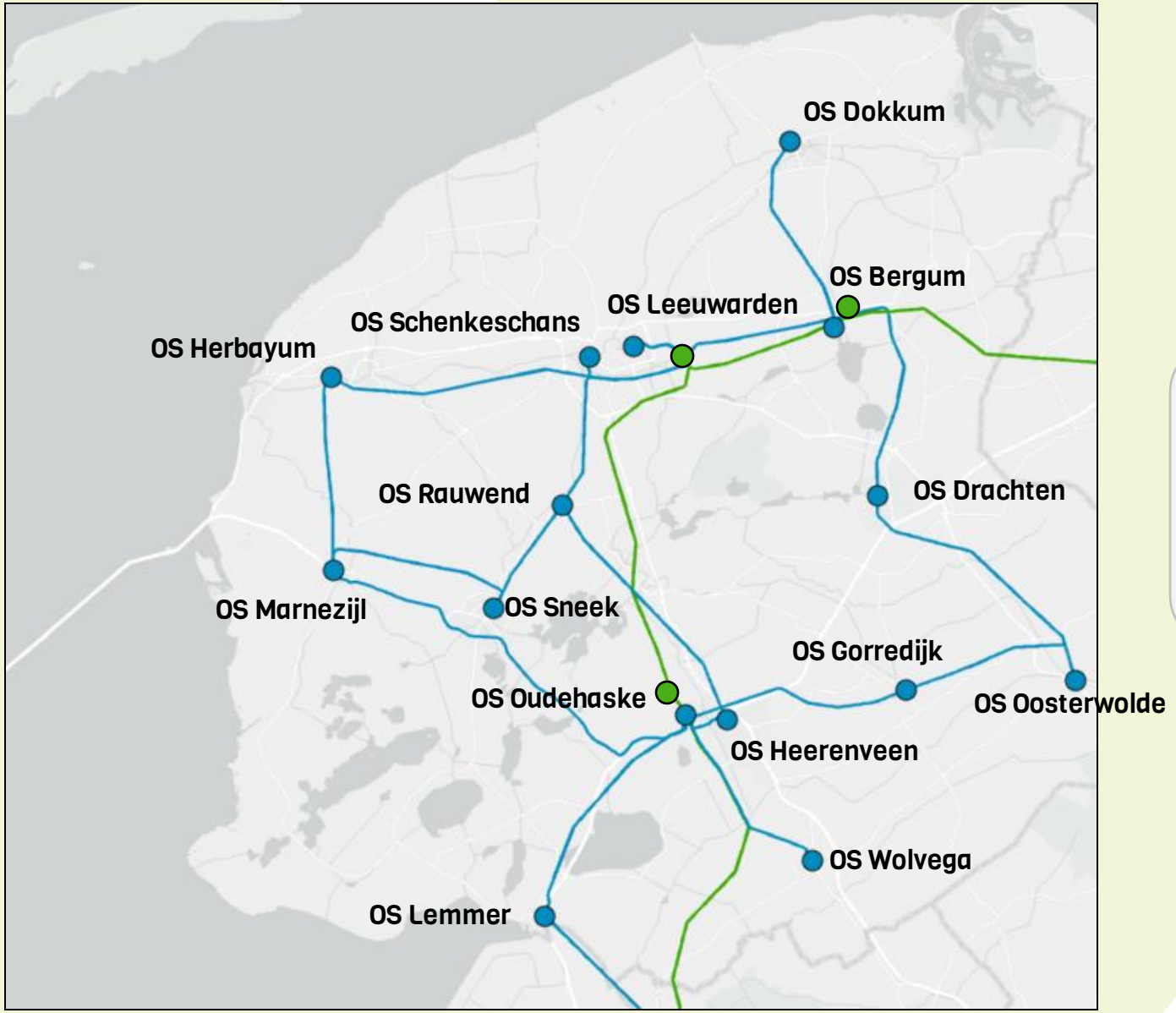
Het aanbod van elektriciteit uit kernsplijting door (kleine) nucleaire reactoren. De energetische omvang van de reactoren zal groot tot zeer groot zijn, afhankelijk van het type reactor. Logisch is wel dat het hier om één of enkele reactoren gaat. De gelijktijdigheid tussen vraag en aanbod is beperkt gezien het continue (niet-flexibele) vermogen betreft. Voor zover bekend zijn er geen plannen voor de bouw of verkenning van nucleaire reactoren in de provincie.



Achtergronddocument 2:
Inzicht in toekomstige belasting van het elektriciteitsnet

Friese
Energietafel

De huidige hoogspanningselektriciteitsinfrastructuur in Fryslân



Legenda

- Onderstations (110/20 kV)
- 110 kV hoogspanningskabels
- 220 kV hoogspanningskabels
- Onderstations (220/110 kV)

Friese Energietafel

De Friese infrastructuur loopt achter op de ontwikkelingen

Het net in Fryslân houdt de energietransitie niet bij

De huidige infrastructuur in Fryslân is te dun voor de realisatie van de energietransitie en economische groei in de provincie. Dit uit zich momenteel al doordat er vanuit TenneT netcongestie is afgekondigd voor teruglevering op het hoogspanningsnet. Zonopwek is hiervoor de voornaamste reden van de overbelasting. Ook is in grote delen van Fryslân inmiddels congestie voor levering vanuit het net. Dit heeft een iets bredere oorzaak, maar verduurzaming van de gebouwde omgeving, de industrie en de overstap op elektrische voertuigen zijn hierin grote factoren.

Capaciteit van onderstations bijna nergens toekomst bestendig

Op onderstationsniveau komt de grootste en eerste overschrijding van de capaciteit voornamelijk door zon opwek. Maatregelen (zoals batterijen bij opwek, aftoppen en vraagsturing) kunnen worden getroffen om deze piekbelasting te drukken. Alleen het onderstation in Gorredijk lijkt na zijn uitbreiding toekomstbestendig.

Veel extra infrastructuur in de maak

In de jaren tot aan 2030 wordt er op drie plekken (Bergum, Gorredijk en Oudehaske) de capaciteit uitgebreid. Daarnaast zijn er twee nieuwe stations in Bolsward en Boksummerdyk die extra capaciteit gaan toevoegen. Dit lijkt voor de langere termijn echter nog niet voldoende. Andere uitbreidingen zitten daarom nog in de ontwerp- of verkenningsfase.

Leeswijzer

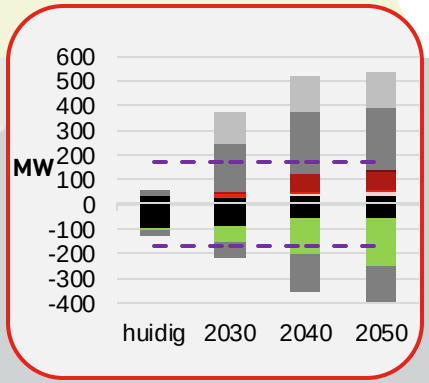
In de hierop volgende pagina's wordt de hoogspanningsinfrastructuur in de provincie geografisch weergeven. Vervolgens wordt de impact van eerder omschreven ontwikkelingen op de onderstations grafisch weergegeven in de vorm van belastingprognoses.

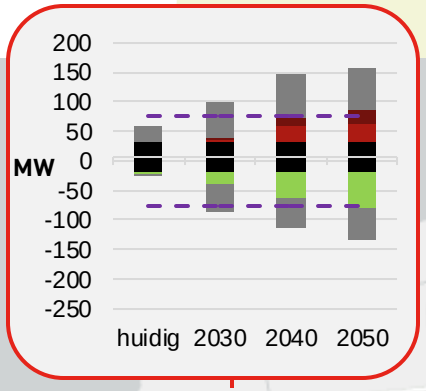
Een belastingprognose laat het piekvermogen van een specifiek jaar zien: het vermogen op het moment in het jaar dat het net het zwaarst belast wordt. Deze vermogens kunnen zeer kortstondig plaatsvinden – een zonnige en winderige middag met weinig vraag, of een koude donkere winter avond waarin nauwelijks opwek is.

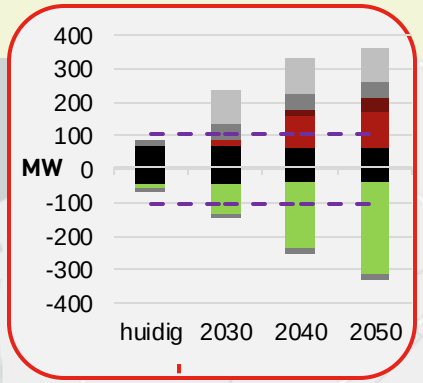
Tot slot worden geplande infrastructuur projecten op het hoogspanningsniveau weergegeven, zodat het duidelijk wordt waar verlichting van de bestaande infrastructuur te verwachten is.

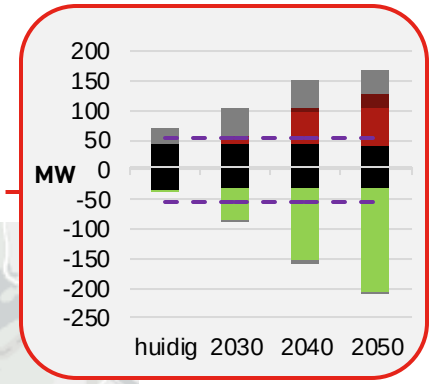
Friese Energietafel

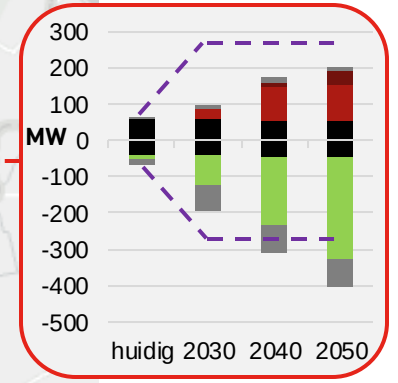
In Noord-Fryslân zullen alle onderstations een tekort aan terugleveringscapaciteit hebben

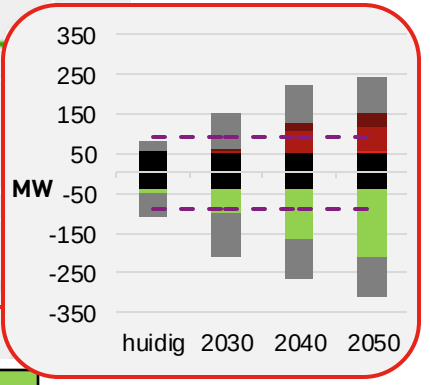


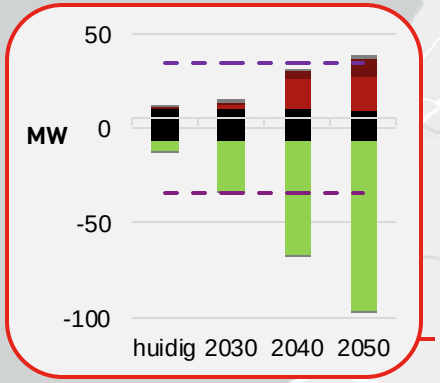












OS Dokkum

OS Leeuwarden

OS Schenkeschans

OS Bergum

OS Herbayum

OS Rauwend

OS Drachten

Capaciteit

Toevoegingen obv deze studie (zie slide 13)

Toevoegingen obv concrete plannen (zie slide 13)

Huidig vermogen

Glastuinbouw

Industrie

Gebouwde omgeving

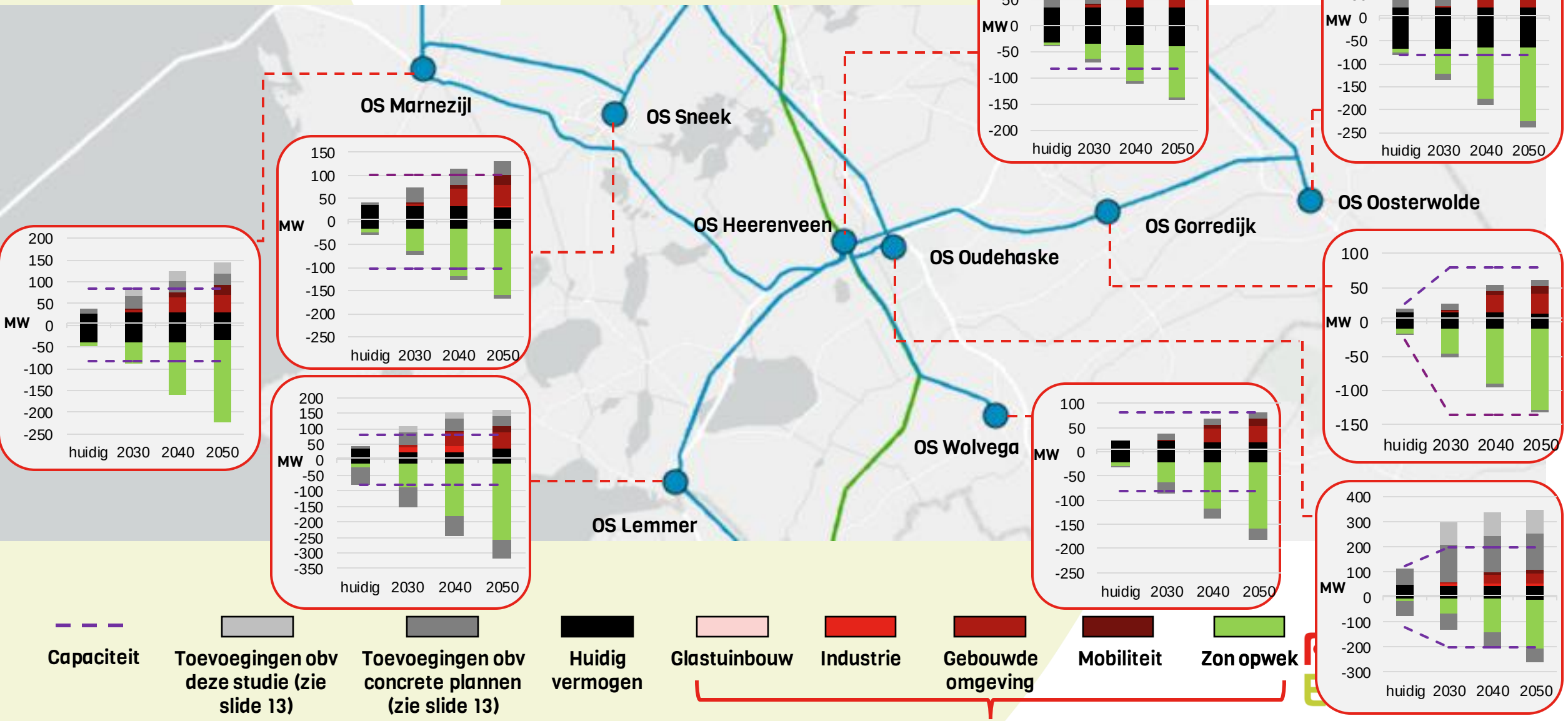
Mobiliteit

Zon opwek

Liander modellen

Friese Energietafel

In Zuid-Fryslân heeft alleen Gorredijk geen tekort



Capaciteit

Toevoegingen obv deze studie (zie slide 13)

Toevoegingen obv concrete plannen (zie slide 13)

Huidig vermogen

Glastuinbouw

Industrie

Gebouwde omgeving

Mobiliteit

Zon opwek

Liander modellen

...daarom zijn er veel plannen voor uitbreidingen

Nieuw 110/20 kV-station Boksumerdyk wordt aangesloten op bestaande 110 kV kabels. Verwachte capaciteit van 160 MW.(Liander/TenneT)

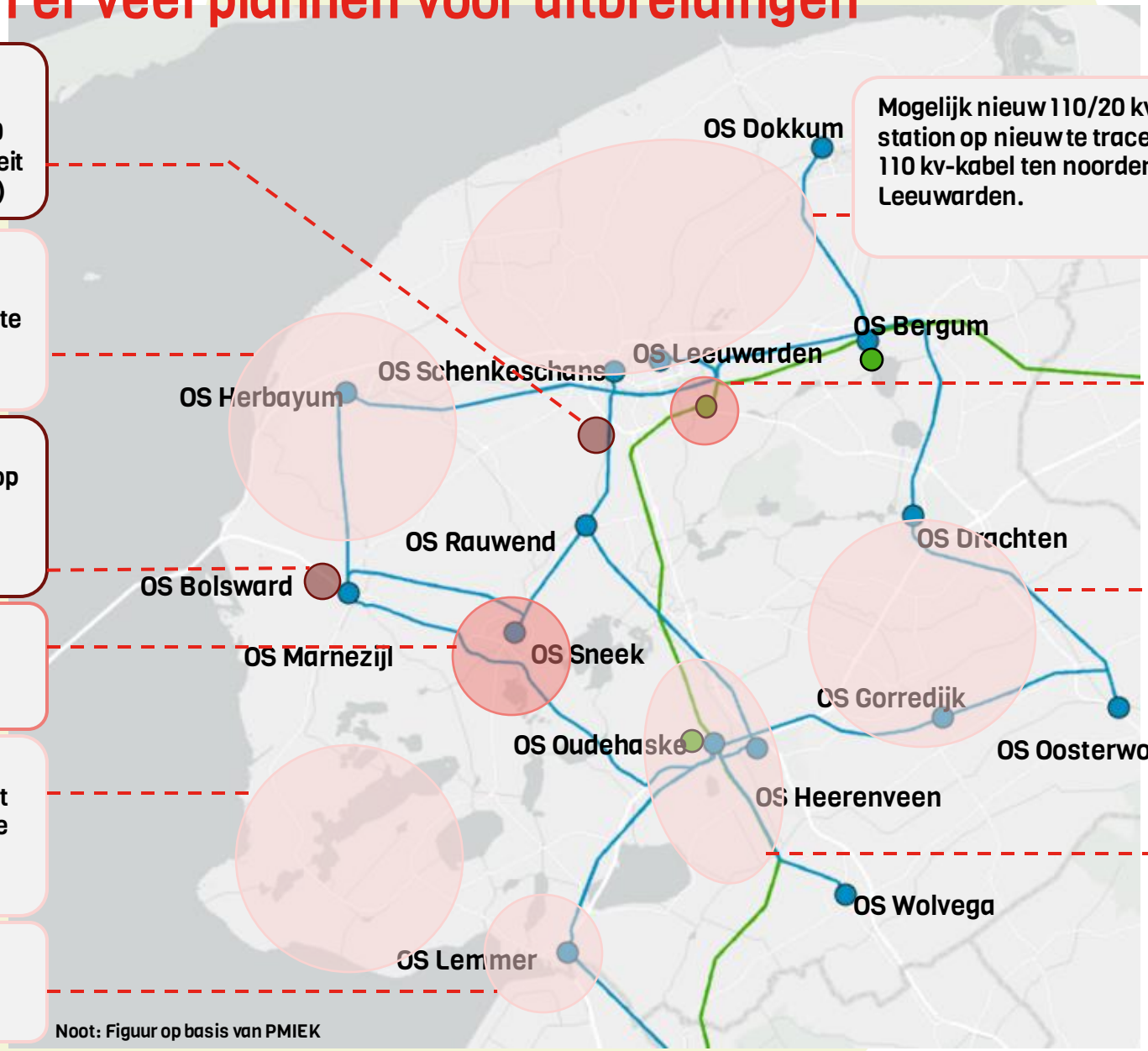
Mogelijk nieuw 110/20 kV-station in omgeving Harlingen/Franeker op nieuw te traceren 110 kKv-kabel. (Liander/TenneT)

Nieuw 110/20 kV-station Bolsward wordt aangesloten op bestaande 110 kV kabels. Verwachte capaciteit van 160 MW.(Liander/ TenneT)

Nieuw 110 kV-station op bestaande 110 kv kabels. (TenneT)

Mogelijk nieuw 110/20 kV-station in zuidwest Fryslân dat wordt aangesloten op nieuw te traceren 110 kV kabels. (Liander/TenneT)

Mogelijk nieuw 110/20 kV-station in de omgeving van Lemmer. (Liander/TenneT)



Noot: Figuur op basis van PMIEK

Mogelijk nieuw 110/20 kv-station op nieuw te traceren 110 kv-kabel ten noorden van Leeuwarden.

Uitbreiding/ nieuwbouw van 220/110 kV-station Louwsmeer. (TenneT)

Mogelijke nieuw 110/20 kV station in de omgeving Drachten/Gorredijk dat wordt aangesloten op nieuw te traceren 110 kV kabels (Liander/TenneT)

Mogelijke uitbreiding/ nieuwbouw van 220/110 kV-station. Ontwikkelingen rond Heerenveen worden hierin meegenomen. (TenneT)

Legenda

- Ontwerp fase
- Studie fase
- Verkennende fase
- Zoekgebied

Friese Energietafel

Batterijen en waterstof voor flexibiliteit én altijd duurzame elektriciteit op hoogspanningsniveau

Om ook tijdens momenten zonder zon of wind opwek, energie op te wekken is ook flexibel vermogen op duurzame energie nodig. Twee mogelijkheden hiervoor zijn de inzet van waterstof voor elektriciteitsproductie of de inzet van batterijen. Waterstof wordt dan geproduceerd en batterijen gevuld in tijden van duurzaam overschot. Om hieraan op landelijk niveau voldoen wordt het Programma EnergieHoofdstructuur opgesteld. Dit ligt momenteel ter inzage. Voor Fryslân zijn hier de volgende aspecten relevant.

Het Programma EnergieHoofdstructuur (PEH)

Vanuit het PEH zijn de volgende punten relevant voor Fryslân:

- De elektriciteitscentrale in Burgum wordt naar verwachting omgebouwd tot **waterstofcentrale**. Burgum staat in het PEH dan ook genoemd als één van de 'aanwijsgebieden locaties voor grootschalige elektriciteitsproductie'(650 – 1.100 MW). Alternatief is in te zetten op verspreide kleinere stations (tot 100MW). Dergelijke stations worden vanuit systeemperspectief het gunstigst gebouwd nabij 380kV, 150kV of 110kV-stations. Naast Burgum worden Zuidwest-Friesland (ongeveer 338MW) en Zuidoost-Friesland (ongeveer 454MW) als locaties genoemd voor nieuwe regelbare centrales.
- Burgum wordt genoemd als locatie nabij een hoogspanningsstation voor **grootschalige batterijen** (>100MW).
- Fryslân ligt op de route van het Nederlandse **waterstofnetwerk** "backbone", met mogelijke aansluitingen op grote gebruikers en opslagfaciliteiten na 2030.
- **Ondergrondse waterstofopslag** wordt onderzocht, met Fryslân als potentiële locatie vanwege geschikte zoutcavernes. Er is nog geen specifiek onderzoek gedaan naar geschikte locaties in Fryslân.
- Het 110kV-station Marnezijl bij Bolsward wordt overwogen als locatie voor elektrolyse-ontwikkeling op maximaal 5 hectare grond.

TenneT; batterijen op het hoogspanningsnet 2030

In aanvulling op het PEH heeft TenneT een kaart uitgegeven waarin wordt aangegeven hoeveel batterij-opslag nodig lijkt in 2030 om systeemstabiliteit te waarborgen. In Fryslân is hier behoefte voor 200 tot 1000MW aan batterij-opslag. Hierbij geeft TenneT de voorkeur voor batterijen

- ...dichtbij zon en windparken
- ...dichtbij bestaande hoogspanningsstations
- ...niet onder hoogspanningslijnen of over hoogspanningskabels
- ...niet waar TenneT in de toekomst een station wil bouwen/uitbreiden.

Achtergronddocument 3: Inzicht in potentie alternatieve energiebronnen

Friese Energietafel

Potentie van drie type alternatieve energiebronnen in kaart gebracht: waterstof, warmte en biogassen

Er zijn technisch gezien drie alternatieve opties (los van elektriciteit) om het energiesysteem te verduurzamen: biogassen, waterstof en hernieuwbare warmte. In dit achtergronddocument lichten we deze opties nader toe. Eerst wordt ingegaan op de vraag naar een energiedrager om vervolgens de meest bepalende bronnen voor het Friese energiesysteem toe te lichten (blauw en dikgedrukt in figuur hieronder). De overige energie bronnen kunnen ook heel bepalend zijn, maar dan op regionaal niveau. Deze bronnen worden kort toegelicht op deze pagina.

	Alternatieve energiedragers		
	Biogassen	**Waterstof**	**Hernieuwbare warmte**
Vraag naar energiebronnen	Div. toepassingsmogelijkheden afhankelijk van mate van opwaardering	Industrie en mobiliteit Flexvermogen	Gebouwde omgeving en glastuinbouw
Aanbod van energiebronnen	Uit reststromen uit voedingsmiddelen- en genotsindustrie Uit mest Overig (o.a. zuiveringsslib, GFT, afvalhout)	Import **Import via backbone**	Restwarmte Van de industrie Aquathermie Uit oppervlaktewater (TEO) Uit afvalwater (TEA) Uit drinkwater (TED) Geothermie en bodemenergie Zonthermie Thermische panelen Elektrisch-thermische panelen (PVT)

De meest bepalende alternatieve energiebronnen zijn warmte uit oppervlaktewater, biogas uit mest en geothermie

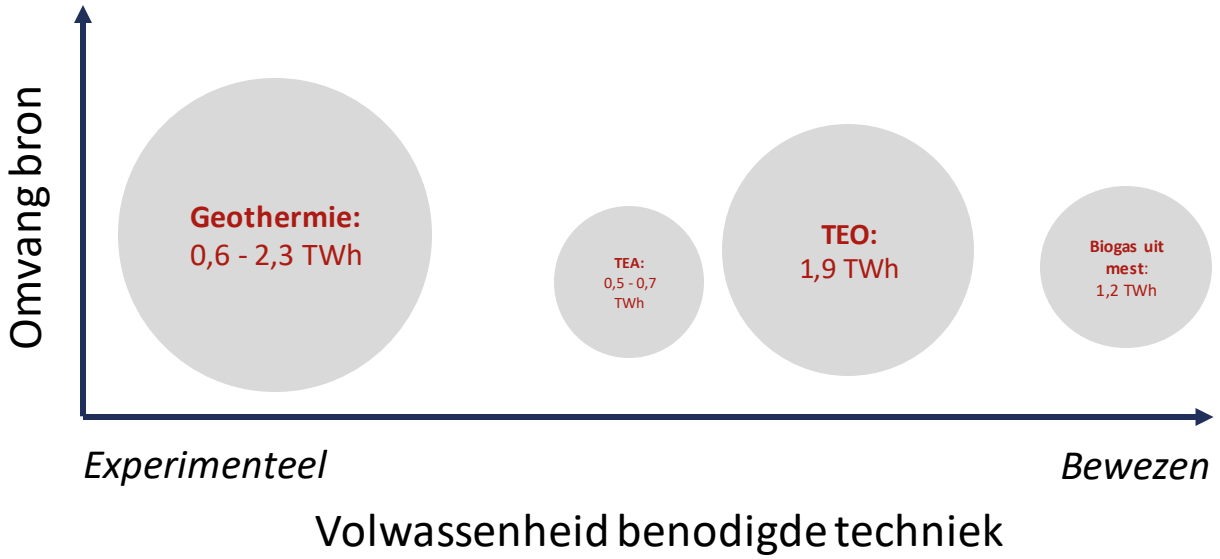
Fryslân is relatief rijk als het gaat om alternatieve energiebronnen. De provincie heeft veel oppervlaktewater, ligt op een vulkaan en heeft veel veeteelt. Dit biedt kansen voor het inzetten van energiebronnen die het gebruik van elektriciteit kunnen verminderen of kunnen bufferen. De drie meest bepalende energiebronnen zijn:

1. **Aquathermie (TEO en TEA):** Het is al een tijd bekend dat deze bronnen veel potentie hebben in de provincie (concept-RES, RSW) en veel gemeenten in Fryslân zijn hiermee aan het experimenteren. Deze potentie kan verzilverd worden in de buurt van geschikte wijken voor aquathermie (geconcentreerde vraag). De potentie van TEO is nabij voldoende vraag is ong. 1,9 TWh. De potentie van TEA is max. 0,7 TWh.

2. **Biogas uit mest:** Vanwege de grote hoeveelheid koeien is er veel mest aanwezig in Fryslân. Fryslân is een netto exporteur van mest. Dit is daarom de belangrijkste bron als het gaat om de productie van biogas en groen gas. Het aanbod is zeer verspreid bij (clusters van) boeren en door de relatief hoge kosten van transport ook moeilijk centraal te organiseren. Dit potentieel is ong. 1,2 TWh.

3. **Geothermie:** Het theoretische potentieel van geothermie in Fryslân is groter dan de warmtevraag en vrijwel oneindig als dit volledig benut kan worden. Ook hiervoor geldt dat dit potentieel verzilverd kan worden nabij de gebouwde omgeving, glastuinbouw en/of industrie. Hiermee is de hoeveelheid en type warmtevraag een beperkende factor. Het potentieel van geothermie dat naar schatting benut kan worden door vraagsectoren is 2,3 TWh. Het potentieel in de gebouwde omgeving is echter 0,6 TWh, het overige deel kan door de industrie worden ingezet. De techniek is nog niet volwassen en er ontstaan momenteel diverse knelpunten in de toepassing hiervan, o.a. in Leeuwarden.

De overige energiebronnen (restwarmte, biogas uit VGI-reststromen, warmte uit afvalwater, import van waterstof) zijn weliswaar lokaal of regionaal belangrijk, maar zijn op provinciaal niveau minder dominante bronnen.



Totaaloverzicht potentie alternatieve Friese energiebronnen

Type bron	Naam energiebron	Praktisch potentieel	Theoretisch potentieel	Informatiebron
Biogassen	Uit reststromen VGI	0,1-0,4 TWh	1,25 TWh	New Energy Coalition, 2021
Biogassen	Uit mest	1,2 TWh	2,2 TWh	New Energy Coalition, 2021
Biogassen	Overig (o.a. zuiveringsslib, GFT, afvalhout)	0,1-0,5 TWh	1,2 TWh	New Energy Coalition, 2021
Waterstof	Productie met elektrolysers	*Onbekend*	*Afhankelijk van totale elektriciteitsopwek in Fryslân (40 tot 65%)*	
Waterstof	Import via backbone	*Alleen geschikt voor piekvermogen*		P-Miek Fryslân
Warmte	Restwarmte industrie	*Onbekend*	0,6 TWh	New Energy Coalition en Galama Sustainable Solutions, 2021
Warmte	Warmte uit oppervlaktewater (TEO)	1,9 TWh	*>100% van Friese warmtevraag*	ROM3D en Inenergie
Warmte	Warmte uit afvalwater (TEA)	<0,5 - 0,7 TWh	0,5 - 0,7 TWh	Debiet- en temperatuurdata van het Wetterskip.
Warmte	Geothermie (1500-4000m)	0,6 - 2,3 TWh	3,5 TWh	New Energy Coalition en Galama Sustainable Solutions, 2021; Systeemstudie Fryslân, EBN, Berenschot, Panterra, 2020
Warmte	Combinatie van bovenstaande	2,5 TWh		Systeemstudie Fryslân

Vraag en aanbod van biogas in Fryslân is afhankelijk van keuzes die worden gemaakt rondom opwaardering en toegepaste technieken

Biogassen kunnen van verschillende bronnen gemaakt worden en zijn er in verschillende vormen die elk voor andere toepassingen gebruikt kunnen worden. Welke vorm en toepassingsmogelijkheid wordt gebruikt, hangt dus af van (lokale) keuzes die worden gemaakt. Welke keuzes worden gemaakt, beïnvloeden in hoeverre kan voorzien worden in de vraag uit verschillende sectoren. De keuzes (vanuit het perspectief van biomassa houders) worden hieronder stapsgewijs toegelicht en geïllustreerd in het figuur hieronder.

Keuze 1: Welke bronnen worden gebruikt voor biogassen?

Biogassen worden gemaakt van biomassa. Biomassa is onder te verdelen in hoogwaardig materiaal (droog/houtachtig en geschikt voor vergassing) en laagwaardig (nat, geschikt voor vergisting). New Energy Coalition heeft onderzocht hoeveel bronnen van elk type beschikbaar is in Fryslân. Lang niet al deze biogrondstoffen kunnen gebruikt worden voor energietoepassingen, bijvoorbeeld omdat ze hoogwaardiger kunnen worden ingezet als veevoer, grondstof of voor de productie van biobrandstoffen. De bronnen die het meest aanwezig zijn, zijn mest uit de agrarische sector en reststromen uit de voedings- en genotsmiddelenindustrie.

Keuze 2: Welke techniek past en is die beschikbaar?

Afhankelijk van het type biomassa zijn andere technieken nodig. Voor natte biomassa (mest) is vergisting nodig. Deze techniek is nu ook al breed inzetbaar. Voor andere biomassastromen zoals uit de voedings- en genotsmiddelenindustrie is een nieuwe techniek nodig: vergassing. Deze techniek is nu nog niet ver genoeg ontwikkeld, maar is dit in de toekomst mogelijk wel.

Keuze 3: Hoe en waar wordt er van biomassa biogas gemaakt?

Het opwerken van mest naar biogas via vergisting vereist grote investeringen. Deze investeringen zijn pas rendabel als een minimum aantal koeien aanwezig is (als vuistregel geldt hiervoor dat dit minimaal 300 koeien betreft). Veel boeren hebben echter minder koeien, waardoor een vergister op eigen terrein onrendabel is. Hiervoor zijn collectieve vergisters of hubs mogelijk, ieder met voor- en nadelen (zie studie New Energy Coalition). Voor de potentie inschatting zijn we uitgegaan van een collectieve aanpak waarbij mest bij boeren lokaal wordt opgehaald en deze collectief wordt vergist.



Vraag en aanbod van biogas in Fryslân is afhankelijk van keuzes die worden gemaakt rondom opwaardering en toegepaste technieken

Keuze 4: Is er een afnemer beschikbaar voor biogassen?

Na vergisting of vergassing blijven er gassen over die een lagere kwaliteit hebben dan aardgas. Deze gassen kunnen daarom niet direct worden ingevoed in het gasnet. Wel is er de mogelijkheid om hier in de directe omgeving een afnemer voor te vinden en zo bij te dragen aan de verduurzaming hiervan. Deze afnemers kunnen de industrie of WKK's (Warmte Kracht Koppeling) zijn. Via WKK's kan op deze manier weer duurzaam (en flexibel) elektriciteit worden opgewekt.

Keuze 5: zijn de kosten en verliezen het waard om op te waarderen naar groen gas?

Als er geen directe afnemer van het biogas in de buurt zit, kan er worden gekozen om te investeren om de gassen op te waarderen naar aardgaskwaliteit en deze in te voeden in het bestaande gasnet. Deze investeringen zijn echter erg hoog en behoeven vaak een zekere schaal. Daarnaast kost dit opwaarderen ook energie, waardoor de netto-opbrengst afneemt. Hiermee is het wel mogelijk om de soms moeilijk te elektrificeren gebouwde omgeving te verduurzamen.

Sturen op groengas

Overheden hebben via beleidsinstrumentarium de mogelijkheid om te sturen op deze keuze. Zo stijgt, door de nationale bijmengverplichting voor de gebouwde omgeving, de waarde van groengas en zal er mogelijk meer van de biomassa verwaard worden. Daartegenover staat wel dat dit ook kannibaliseert op de inzet van biogas in WKK's of industrie, dat energetisch gezien efficiënter is.



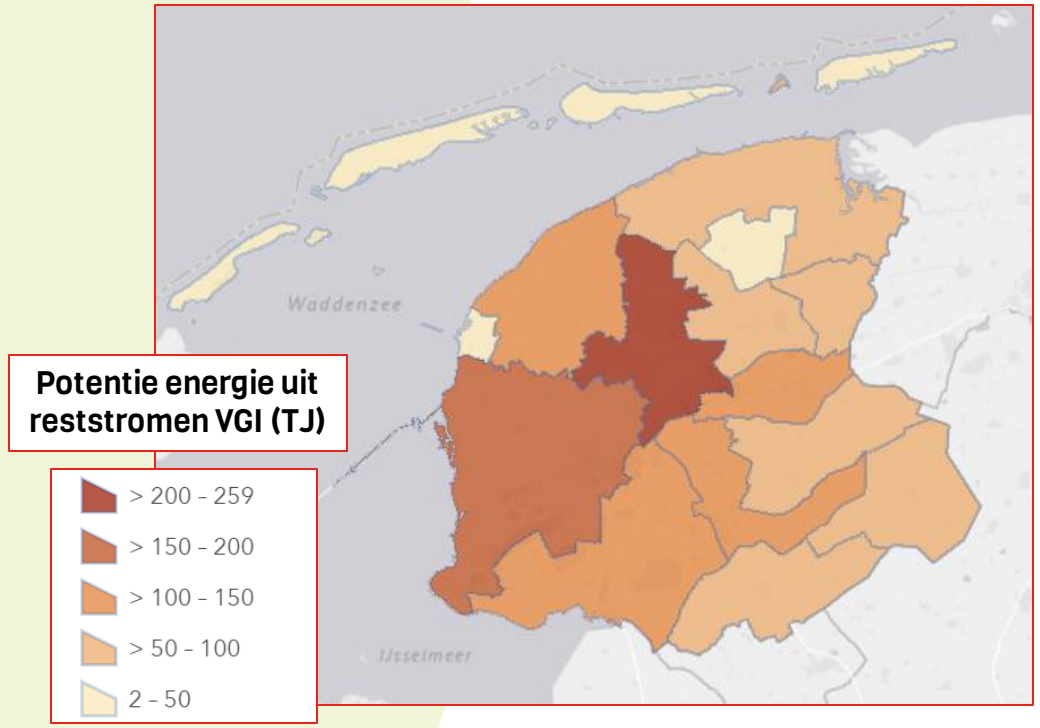
Friese potentie voor biogassen uit reststromen VGI

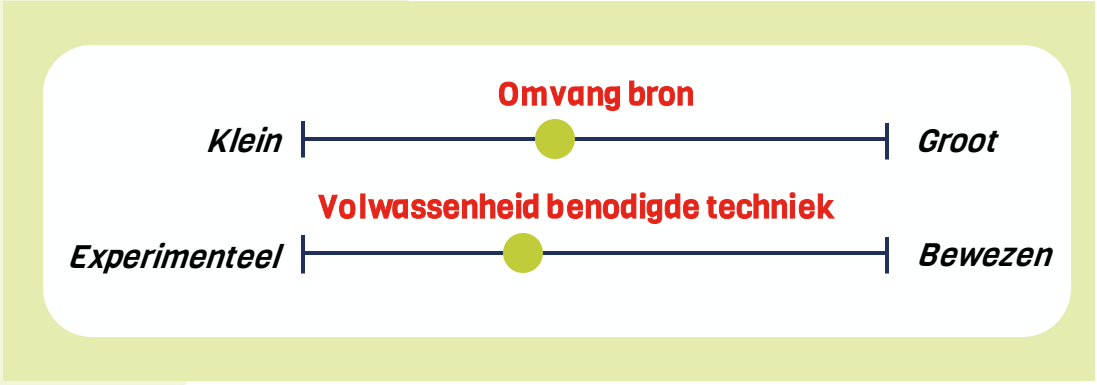
Reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie (VGI) blijven over bij de productie van voedings- en genotmiddelen. De totale hoeveelheid energie die besloten ligt in Friese VGI reststromen, bedraagt maximaal 1,3 TWh (theoretisch potentieel). Dit is onderzocht door New Energy Coalition in opdracht van Provincie Fryslân. Gebruikt zijn de nationale gegevens van het CBS, omgeslagen per gemeente op basis van het aantal VGI bedrijven. Niet al deze biogrondstoffen kunnen gebruikt worden voor energietoepassingen, met name omdat ze hoogwaardiger kunnen worden ingezet als veevoer, grondstof of voor de productie van biobrandstoffen.

De New Energy Coalition heeft in vier scenario's berekend hoeveel van dit theoretische potentieel praktisch kan worden ingezet als energie. Deze hoeveelheid varieert tussen:

- **55 GWh** (weinig sturing door overheid en uitgaande van huidige technieken) en
- **394 GWh** (veel sturing overheid en uitgaande van innovatieve technologieën zoals hogedrukvergisting en (superkritische water-) vergassing).

Om een groot deel van het potentieel te kunnen benutten, zijn er innovatieve technieken benodigd. De kaart rechts laat zien hoeveel potentie in TJ er per gemeente beschikbaar is, indien die technieken worden benut. Dit potentieel is met name hoog in Leeuwarden en Súdwest-Fryslân, vanwege de aanwezigheid van fabrieken zoals Fryslân Campina.

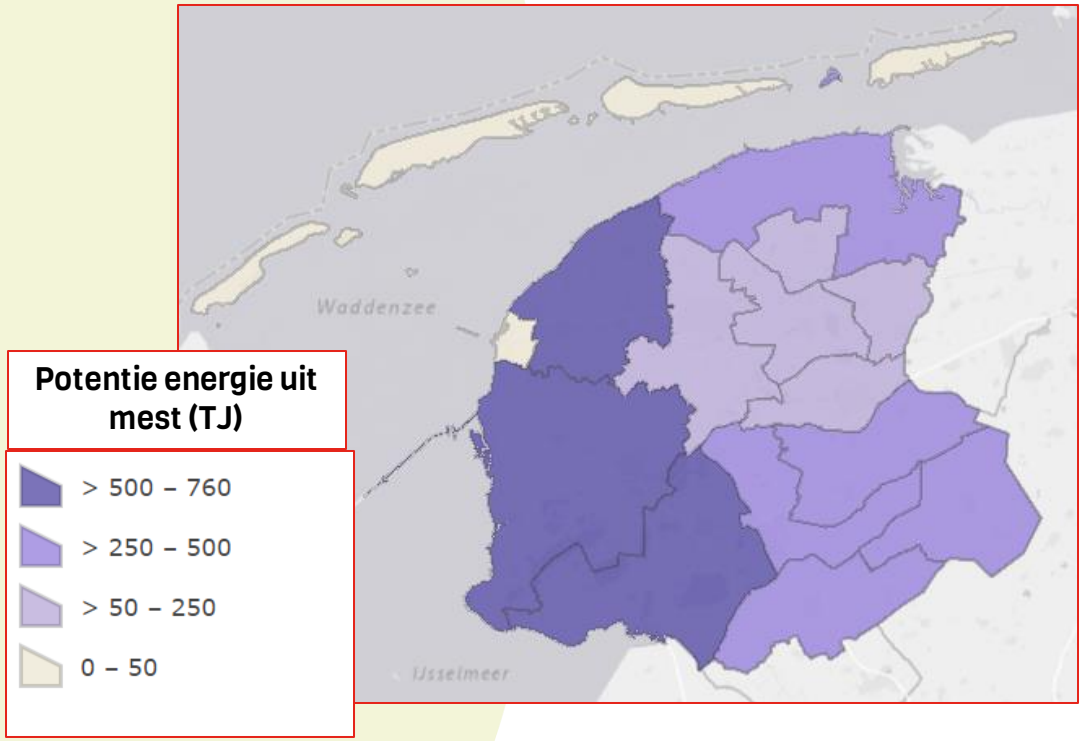


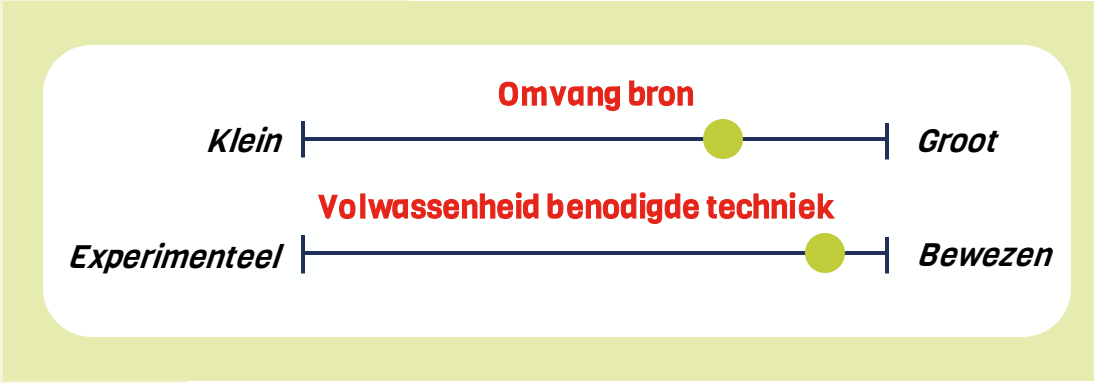


Friese potentie voor biogassen uit mest

De totale hoeveelheid energie die besloten ligt in Friese mest bedraagt maximaal 2,2 TWh (theoretische potentie). Fryslân is een netto exporteur van mest. Vanuit de provincie wordt ca. 366 kton mest per jaar afgevoerd.

De New Energy Coalition heeft ook voor mest in vier scenario's berekend hoeveel van dit theoretische potentieel praktisch kan worden ingezet als energie. Deze hoeveelheid varieert niet in de scenario's en is maximaal **1,2 TWh.** Dit is omdat de grootste gemeenten zijn met de hoogste mestproductie. Om biogas van mest de maken zijn er geen innovatieve technieken nodig en is daarmee de volwassenheid van de benodigde techniek groot. Er zijn op dit moment al tientallen biogasinstallaties aanwezig in Fryslân. Een deel van dit potentieel wordt daarom al benut.





Waterstofproductie en –import via de backbone

Productie

Waterstof is geen energiebron maar een product dat gemaakt wordt met aardgas (grijs) of elektriciteit van windmolens (groen). Vandaar dat waterstof technisch gezien geen potentie heeft, zoals geothermie of aquathermie.

De mogelijke productie van groene waterstof in Fryslân hangt aan de ene kant af van de hoeveelheid windturbines of zonneparken waarmee elektriciteit geproduceerd kan worden en anderzijds van de mogelijkheid tot installatie van één of meerdere elektrolysers. De productie ervan is daarmee afhankelijk van welke keuzes er in Fryslân hierover worden gemaakt. De vraag naar waterstof in Fryslân is echter nog bepalender. Waterstof is met name geschikt voor processen waar hoge temperaturen voor benodigd zijn, zoals (zware) industrie, die afwezig is in deze provincie. De vraag naar groene waterstof is hier dus relatief beperkt.

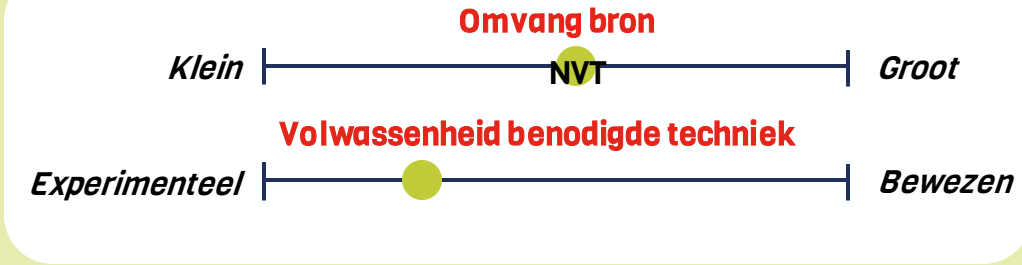
Import

In nationale plannen van de waterstofbackbone wordt gebruik gemaakt van één van de bestaande gasleidingen die o.a. door Fryslân richting de Randstad gaat. Waterstof uit deze leiding zou makkelijk via het GTS-net (Gas Transport Services van Gasunie) verspreid kunnen worden bij grootafnemers in Fryslân. Wederom is hier de verwachte vraag naar waterstof bepalend; dit is vanwege weinig grote industriële partijen in Fryslân beperkt. Geïmporteerde waterstof via de backbone zou wel kunnen bijdragen aan de flexibilisering van het elektriciteitsnet. De energiecentrale bij Burgum kan de waterstof omzetten in flexibel vermogen ten behoeve van het hoogspanningsnet. Wanneer er bijvoorbeeld weinig wind of zon is, kan waterstof worden omgezet in elektriciteit.

Hierbij gaat echter relatief veel energie verloren waardoor deze optie duurder wordt en dit logischerwijs alleen gedaan wordt wanneer het echt noodzakelijk is. De centrale bij Burgum heeft een piekvermogen van 38x4 MW (150 MW).

Elektrolyser in Oosterwolde

In Oosterwolde wordt de komende vijf jaar onderzocht of de productie van waterstof haalbaar is op momenten dat er te veel groene stroom wordt aangeboden (flexibel vermogen). Op deze locatie gaan energieontwikkelaar GroenLeven en netbeheerder Alliander aan de slag om met de productie van waterstof de netcongestie te optimaliseren. De waterstoffabriek van 1,4 megawatt is duidelijk een proefproject. Als de fabriek op maximale capaciteit draait, neemt het slechts een klein deel van de stroom van het 50 megawatt zonnepark af.

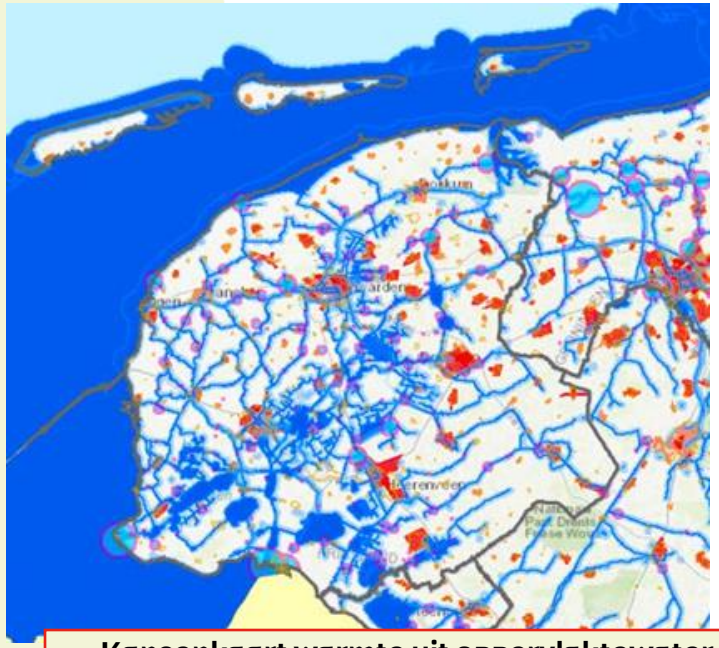


Warmte uit oppervlaktewater (TEO)

Veel gemeenten zijn bezig de toepassingsmogelijkheden van TEO in kaart te brengen of er mee te experimenteren in de vorm van lokale, kleinere warmtenetten. De potentie is in theorie oneindig in Fryslân vanwege de vele wateren. De praktische potentie is afhankelijk van de vraag naar duurzame warmte en de afstand van de vraag tot de warmtebron.

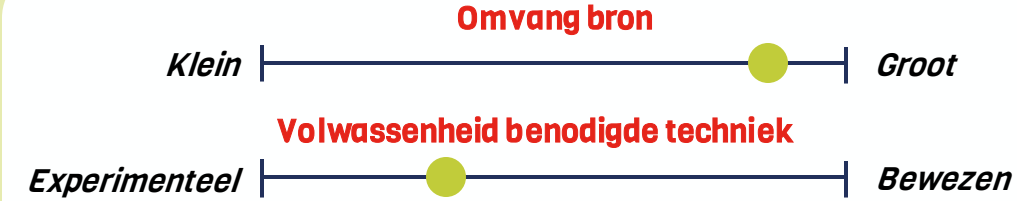
In de rapportage Energie uit Oppervlaktewater van ROM3D en Inenergie is er gekeken naar de potentie TEO die nabij vraagclusters beschikbaar is (gebouwde omgeving en/of glastuinbouw) in de noordelijke provincies. Dit is 1,9 TWh voor Fryslân. Dat betekent dat volgens de onderzoekers in 34% van de geschikte vraag uit woonwijken voorzien kan worden.

Het potentieel van 1,9 TWh is gebaseerd op de vraag naar warmte binnen een straal van 500 meter van wateren. Volgens het Wetterskip kunnen distributiesystemen op brontemperatuur veel grotere afstanden overbruggen, waardoor de potentie nog kan stijgen. Het Wetterskip is bezig met een nieuwe aquathermie potentiekaart, evenenals het Stowa.



Kansenkaart warmte uit oppervlaktewater

Warmtevraag kan maar één keer worden ingevuld
Om de potentie van de verschillende warmtebronnen te bepalen wordt er vaak gekeken naar de businesscase voor een warmtenet, die weer afhankelijk is van de warmtevraag concentratie. Gezien deze rekensom voor alle bronnen wordt gedaan ontstaan er een dubbeltelling; immers, de warmtevraag wordt maar één keer ingevuld ondanks dat de businesscase voor meerdere bronnen positief is. Daarom hanteren we een totale praktische potentie van 2,5 TWh voor duurzame warmte. Dit komt overeen met het scenario met maximale warmte inzet uit de systeemstudie Fryslân.



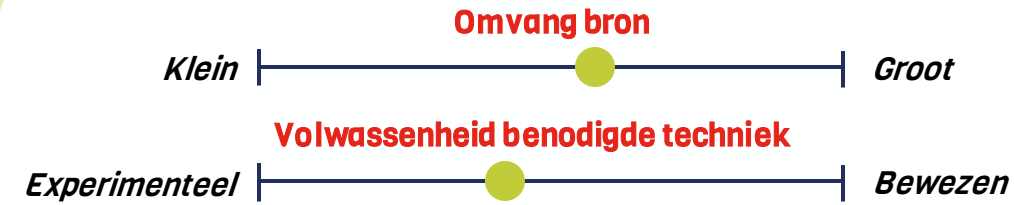
Warmte uit afvalwater (TEA)

Ook een andere vorm van aquathermie, warmte uit afvalwater afkomstig uit RWZI's is een energiebron met veel potentie.

Het Wetterskip schat het potentieel in van het totaal aan RWZI's in Fryslân in op ong. 0,5 TWh zonder en 0,7 TWh met WKO. Dit is gebaseerd op het debiet van de RWZI's en de optredende temperatuurverschillen jaarrond met RWZI.

Veelal liggen RWZI's nabij woonkernen of industrie. We nemen daarom in dit document aan dat een belangrijk deel van deze potentie benut zou kunnen worden in de gebouwde omgeving of industrie.

Warmtevraag kan maar één keer worden ingevuld
Om de potentie van de verschillende warmtebronnen te bepalen, wordt er vaak gekeken naar de businesscase voor een warmtenet, die weer afhankelijk is van de warmtevraag concentratie. Gezien deze rekensom voor alle bronnen wordt gedaan ontstaan er een dubbeltelling; immers, de warmtevraag wordt maar één keer ingevuld ondanks dat de businesscase voor meerdere bronnen positief is. Deaarom hanteren we een totale praktische potentie van 2,5 TWh voor duurzame warmte. Dit komt overeen met het scenario met maximale warmte inzet uit de systeemstudie Fryslân.

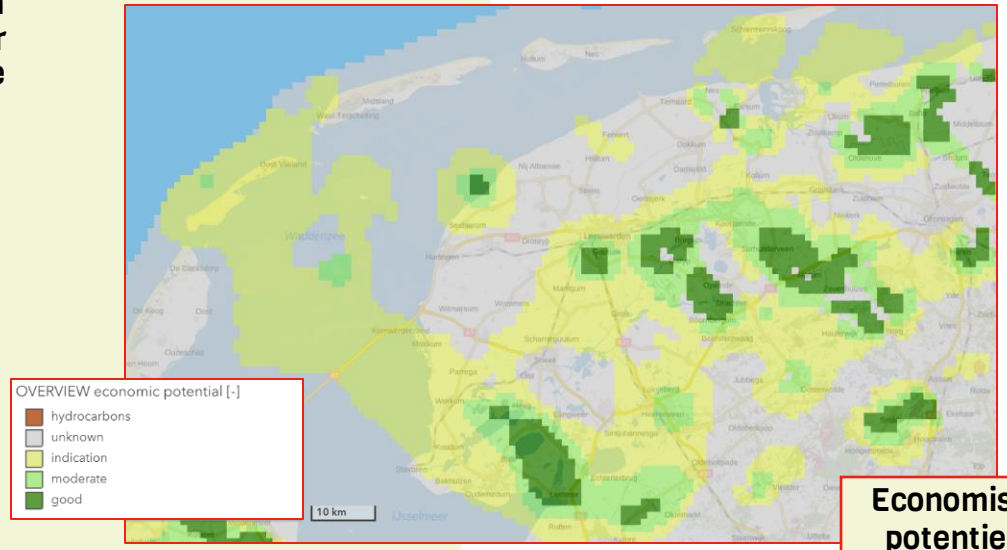


Geothermie

Met geothermie of aardwarmte wordt er warmte uit de (diepe) ondergrond door een warmtenet naar huizen, glastuinbouw of industrie geleid. In 2020 hebben Panterra en Berenschot in opdracht van EBN in het kader van WARM een detailstudie gedaan naar de potentie van aardwarmte in Fryslân. Zij hebben dit onderzoek o.a. gebaseerd op de kaarten van de ThermoGIS-database van TNO (zie figuur hiernaast).

In het algemeen is Fryslân goed geschikt voor geothermie. Op diverse plekken is het economische potentieel goed (waar de warmte relatief economisch voordelig uit de grond kan worden gepompt), o.a. bij Leeuwarden, Balk en bij Drachten. Diepe geothermie heeft naar schatting zo'n 3.000 woningen nodig om een warmtenet rendabel te maken. Mede om deze reden zijn het vooral de grotere steden in de regio Fryslân waar het loont om de potentie van geothermie verder te onderzoeken.

Volgens het onderzoek is de vraag naar warmte waarin aardwarmte kan voorzien in Fryslân 2,3 TWh. Deze vraag is opgebouwd uit de gebouwde omgeving (**0,6 TWh**), de glastuinbouw (0,1 TWh) en de industrie (1,6 TWh). Afhankelijk van welke sectoren gebruik gaan maken van geothermie kan er meer potentieel verzilverd worden. De systeemstudie Fryslân gaat ervan uit dat er voor **0,4 TWh** (na technologische vooruitgang) aan geothermie in het toekomstige energiesysteem in Fryslân wordt gebruikt.
O.a. Leeuwarden is bezig met het project Warmte van Leeuwarden om dit potentieel te gaan benutten.



Economisch potentieel

Warmtevraag kan maar één keer worden ingevuld
Om de potentie van de verschillende warmtebronnen te bepalen wordt er vaak gekeken naar de businesscase voor een warmtenet, die weer afhankelijk is van de warmtevraag concentratie. Gezien deze rekensom voor alle bronnen wordt gedaan ontstaan er een dubbeltelling; immers, de warmtevraag wordt maar één keer ingevuld ondanks dat de businesscase voor meerdere bronnen positief is.
Daarom hanteren we een totale praktische potentie van 2,5 TWh voor duurzame warmte. Dit komt overeen met het scenario met maximale warmte inzet uit de systeemstudie Fryslân.



Restwarmte uit industrie

Restwarmte afkomstig uit de industrie is een relatief goedkope warmtebron. Hiernaast staat een overzicht van het theoretische potentieel van restwarmte in Fryslân. Ongeveer de helft van dit potentieel is afkomstig uit de afvalverbrandingscentrale. Een deel van de restwarmte van de afvalverbranding wordt al geleverd aan Frisia zout. Het overige gedeelte wordt gebruikt voor elektriciteitsproductie.

De overige ~0,3 TWh restwarmte in Fryslân is grotendeels afkomstig van zuivel en voedselindustrie en beschikbaarheid is gelimiteerd tot een klein aantal locaties. Deze 0,3 TWh, is ongeveer 3% van de huidige warmtevraag in Fryslân (ca 9 TWh). Of restwarmte rendabel kan worden ingezet is erg afhankelijk van de afstand tussen de warmtebron en de afnemers en de lokale warmtevraag. Grootste kansen lijken er te zijn voor restwarmtebenutting in Leeuwarden, Heerenveen, Drachten, Workum en Franeker.

Deze theoretische potentie is afkomstig uit de studie van New Energy Coalition en Galama Sustainable Solutions uit 2020: Schets Energievoorziening Fryslân in 2050

Bron	Plaats	Gemeente	Theoretische potentie [TJ]
AVI	Harlingen	Harlingen	1190
Fryslân Campina	Workum	Sûdwest-Fryslân	190
Vreugdenhill dairy foods	Scharstenburg	de Fryske Marren	160
Fryslân Campina	Gerkesklooster	Achtkarspelen	130
A-ware en Fonterra	Heerenveen	Heerenveen	110
Sonac	Burgum	Tietjerksteradeel	110
Huhtamaki	Franeker	Waadhoeke	100
Hochwald Nederland B.V.	Bolsward	Sûdwest-Fryslân	60
Fryslân Campina	Leeuwarden	Leeuwarden	33
Industriecluster Heerenveen	Heerenveen	Heerenveen	32
Koopmans	Leeuwarden	Leeuwarden	27
RWZI	Leeuwarden	Leeuwarden	25
Nederlandse Onttinningsfabriek BV	Leeuwarden	Leeuwarden	10
Smilde Foods Heerenveen	Heerenveen	Heerenveen	10
Industriecluster Wolvega	Wolvega	Weststellingwerf	6

1 PJ = 1000 TJ = 0,278 TWh = 278 GWh

Warmtevraag kan maar één keer worden ingevuld
Om de potentie van de verschillende warmtebronnen te bepalen wordt er vaak gekeken naar de businesscase voor een warmtenet, die weer afhankelijk is van de warmtevraag concentratie. Gezien deze rekensom voor alle bronnen wordt gedaan ontstaan er een dubbeltelling; immers, de warmtevraag wordt maar één keer ingevuld ondanks dat de business case voor meerdere bronnen positief is. Daarom hanteren we een totale praktische potentie van 2,5 TWh voor duurzame warmte. Dit komt overeen met het scenario met maximale warmteinzet uit de systeemstudie Fryslân.



Overige energiebronnen met minder impact op het Friese energiesysteem

Er zijn nog een aantal warmtebronnen die niet hiervoor behandeld zijn, maar op regionaal niveau wel bepalend kunnen zijn voor de inrichting van het energiesysteem. Deze staan hieronder opgesomd.

- **Overige vormen van aquathermie (TED):** Warmte kan ook uit drinkwater gewonnen worden. Deze potentie is in Fryslân minder groot dan de potentie van warmte uit oppervlaktewater, maar kan lokaal een heel goede aanvulling zijn op een warmtenet.
- **Andere vormen van biomassa:** De New Energy Coalition heeft in het onderzoek naar biogassen ook voor andere biomassa berekend wat de energiewaarde is. Dit is o.a. voor zuiveringsslib, gewasresten, GFT, afvalhout, productiebossen en hout uit natuur en landschap. Met deze biomassa kan het potentieel vergroot worden voor biogassen, maar deze biomassasoorten zijn individueel gezien te klein om in dit document te beschrijven.
- **Zonthermie:** Deze potentie is sterk afhankelijk van de potentie van zon op dak (klein- en grootschalig) en in hoeverre deze al wordt ingevuld door pv-panelen. Daar waar de warmtevraag hoog is, er weinig capaciteit op onderstations is en er weinig warmtebronnen aanwezig zijn, zou dit een goede oplossing kunnen zijn om nader te onderzoeken. Thermische panelen produceren ca 4 keer zoveel energie per vierkante meter dan zon-pv, dit gaat echter wel ten koste van de flexibiliteit in toepassingen die elektriciteit levert.
- **Bodemwarmte;** Naast (diepe) geothermie, zijn ook technieken die minder diep (tot 500 m) de aarde in gaan een mogelijke bron voor warmte. Dit wordt ook wel bodemenergie genoemd. Er kan gebruik gemaakt worden van gesloten (ook wel bodemwarmtewisselaars genoemd) of open bodemenergiesystemen (ook wel WKO's genoemd). Warmte die hierbij gewonnen wordt is, vergelijkbaar met TEO, van lagere temperatuur waardoor opwaardering (met een elektrische warmtepomp) nodig is. Deze systemen bieden de mogelijkheid voor invulling van zowel de warmte- als de koudevraag. Ook kan warm water in de zomer worden opgeslagen in de bodem om in de winter te gebruiken en omgekeerd in de vorm van een warmte-koude opslag.

Achtergronddocument 4:
Inzicht in gehanteerde methodiek

Friese
Energietafel

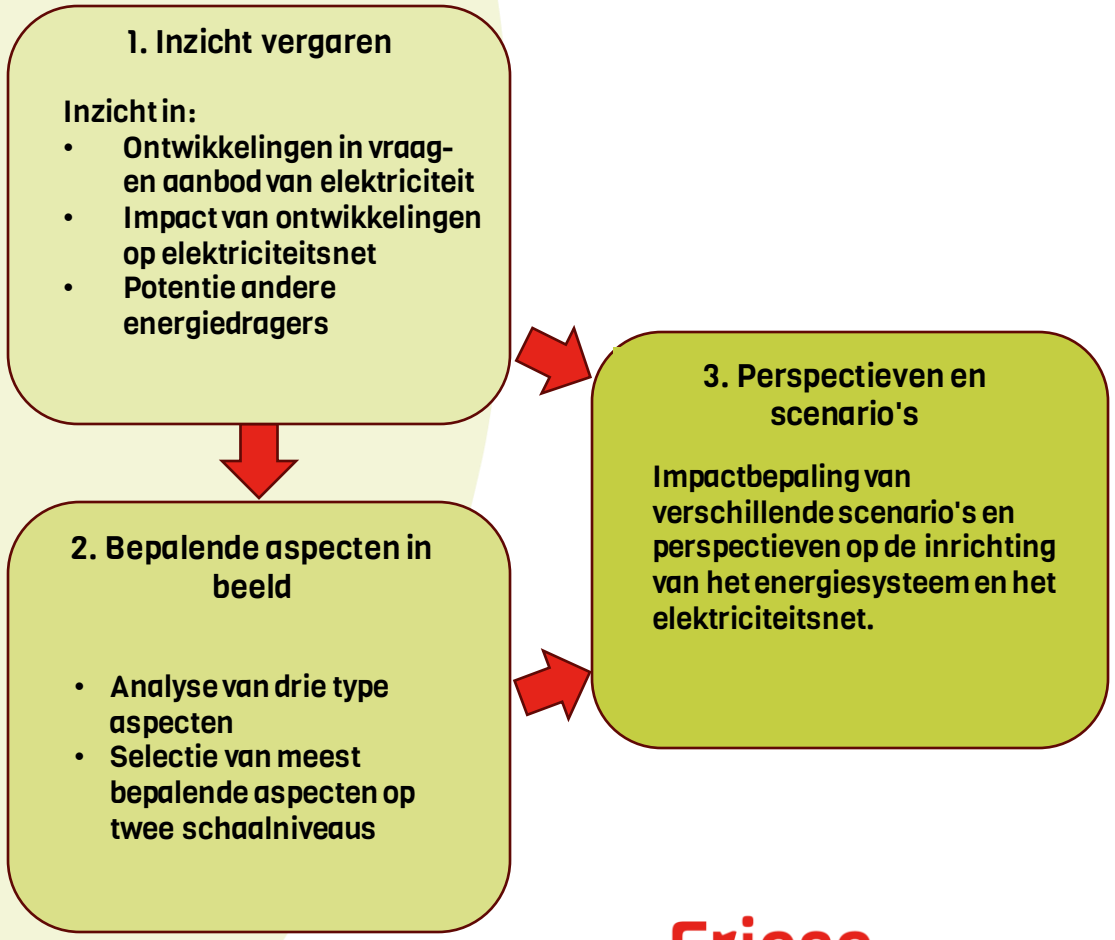
Methodiek in het kort: op zoek naar de meest bepalende aspecten van het Friese energiesysteem

In dit achtergronddocument wordt toegelicht op welke manier inzichten zijn vergaard en hoe deze zijn gebruikt om te komen tot een overzicht van bepalende aspecten van het Friese energiesysteem. In het kort is de volgende aanpak gehanteerd, die op de volgende pagina's verder toegelicht wordt:

1. Inzicht vergaren: we verzamelen allereerst informatie die nodig is om een goed beeld te krijgen van het toekomstige energiesysteem van Fryslân. We bekijken de verwachte (of geschatte) ontwikkelingen van vraag naar en aanbod van elektriciteit en hoe deze effect hebben op het elektriciteitsnet. Daarnaast brengen we de potentie van andere energiedragers in kaart, die deze netimpact zouden kunnen verlichten. Dit doen we voor waterstof, duurzame warmte en biogassen.

2. Bepalende aspecten in beeld: We brengen voor de elektriciteitsontwikkelingen en de andere energiedragers in beeld hoe bepalend deze zijn op de inrichting van het Friese energiesysteem. Dit doen we aan de hand van een aantal criteria, waaronder de omvang van de ontwikkeling (vermogen of energetisch) en de spreiding hiervan (verspreid met lage impact op het net of juist geconcentreerd?). Op basis van deze criteria bepalen we de meest bepalende aspecten van het Friese energiesysteem. Dit wordt voor Fryslân als geheel gedaan maar er wordt ook ingezoomd op een aantal onderscheidende typeringen waar vraag en aanbod samen komen.

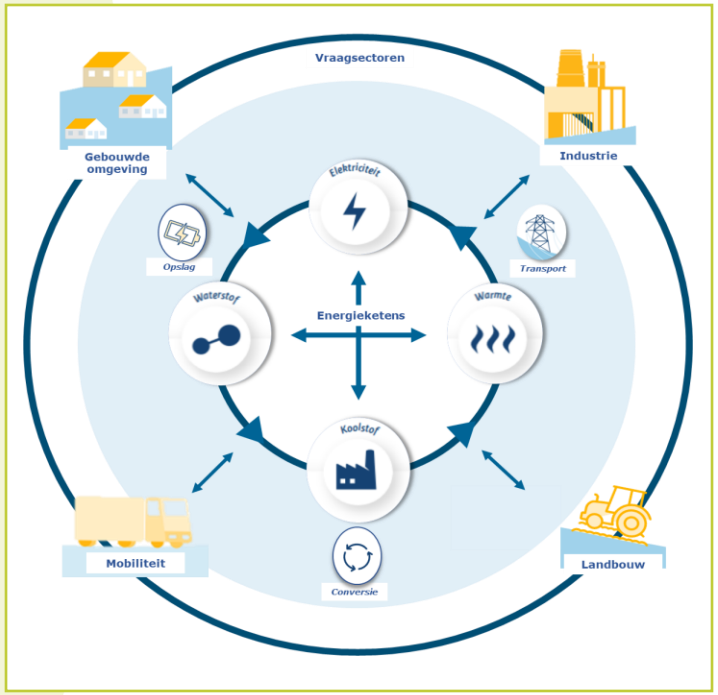
3. Perspectieven en scenario's: Er zijn, naast een *forecasting* van huidige ontwikkelingen en technieken, ook andere eindbeelden denkbaar voor het Friese energiesysteem in 2050. Wat als woningen worden verwarmd op waterstof of als we het energiesysteem vanaf onderaf opbouwen? Dit soort vragen worden beantwoord aan de hand van de informatie die in stap 1 en 2 geanalyseerd is. De antwoorden op deze vragen ondersteunen het voeren van het goede gesprek tijdens het maken van de Energievisie.



Friese Energietafel

Stap 1: Inzicht vergaren in vraag- en aanbod, de impact op het elektriciteitsnet en de potentie van andere energiedragers

In de eerste onderzoekstap is er informatie en data verzameld om inzicht te krijgen in het Friese energiesysteem. Het energiesysteem is een samenspel tussen vraag, aanbod en transport, conversie en opslag (zie figuur hiernaast). De aanleiding om te gaan integraal programmeren in Fryslân is dat er nu en in de toekomst problemen ontstaan op het elektriciteitsnet. De nadruk van deze analyse ligt daarom op het in kaart brengen van ontwikkelingen die van invloed zijn op het elektriciteitsnet. We verzamelen drie soorten informatie: a) de ontwikkeling van vraag- en aanbod van elektriciteit tot 2050, b) het effect dat deze ontwikkelingen hebben op het elektriciteitsnet en c) de potentie van overige energiedragers.



a) Ontwikkelingen in vraag- en aanbod van elektriciteit

De vragers en aanbieders van elektriciteit zijn als eerste onderverdeeld in **segmenten.** Een segment is een cluster van vragers of aanbieders die onderscheidend en relevant zijn om over te rapporteren op Fries schaalniveau qua omvang en impact op het net. Voor deze segmenten zijn (kwalitatief) een aantal eigenschappen bepaald, namelijk de omvang, de geografische spreiding, gelijktijdigheid met aanbod/vraag en de zekerheid dat elektrificatie plaatsvindt.

Achtergronddocument 1 geeft een overzicht van de elektriciteitsontwikkelingen.

b) Impact van ontwikkelingen op elektriciteitsnet

De spreiding, omvang en gelijktijdigheid van een ontwikkeling bepalen in het algemeen de impact die deze heeft op het elektriciteitsnet. Liander berekent deze impact in **belastingprognoses**. We maken gebruik van deze methodiek en voegen daar zelf aanvullende data aan toe die wordt opgehaald tijdens de dataverzameling (zie volgende pagina welke bronnen hiervoor zijn gebruikt). We vatten deze informatie samen in een overzicht met de belasting per onderstation en maken inzichtelijk door welke ontwikkelingen de belasting veroorzaakt wordt.

Achtergronddocument 2 geeft een overzicht van de geschatte belasting per onderstation.

c) Potentie andere energiedragers

In Fryslân liggen kansen om andere energiedragers te gebruiken in het energiesysteem. Het benutten van deze potentie kan het gebruik van elektriciteit beperken en hiermee ook de netimpact. We brengen het potentieel in kaart van deze andere energiebronnen aan de hand van onderzoek dat reeds is uitgevoerd (zie bronnen volgende pagina). We brengen de onderlinge groottes van de potenties in kaart. Daarnaast bepalen we hoe de productie van en vraag naar deze bronnen verspreid of juist geconcentreerd op één plek zijn.

Achtergronddocument 3 geeft een overzicht van de potentie van andere energiedragers.

1. Inzicht vergaren

Inzicht in:
- Ontwikkelingen in vraag- en aanbod van elektriciteit
- Impact van ontwikkelingen op elektriciteitsnet
- Potentie andere energiedragers

Stap 2: Identificatie bepalende factoren van het (toekomstige) energiesysteem

Drie type aspecten

Er zijn drie type aspecten die bepalend kunnen zijn voor het Friese energiesysteem. Dit zijn:

1. **Ontwikkelingen in vraag- en aanbod van elektriciteit:** deze ontwikkelingen zijn in stap 1 in kaart gebracht. In hoeverre een ontwikkeling bepalend is voor Fryslân, is bepaald aan de hand van vier criteria (zie verdere verdieping in achtergronddocument 1):
    - De omvang van de ontwikkeling (vermogen)
    - De spreiding van de ontwikkeling (centraal of decentraal)
    - De gelijktijdigheid van de ontwikkeling (opwek tegelijkertijd met vraag of niet)
    - De zekerheid dat elektrificatie plaatsvindt binnen een segment (met als gevolg wel of geen netimpact)
2. **Potentie andere energiedragers:** ook deze ontwikkelingen zijn in stap 1 in kaart gebracht. In hoeverre een ontwikkeling bepalend is voor Fryslân, is bepaald aan de hand van twee criteria:
    - De omvang van de potentie (energetisch)
    - De volwassenheid van de benodigde technologie om de bron te benutten (experimenteel of bewezen)
3. **Oplossingen voor bevordering netefficiëntie:** Dit zijn maatregelen die getroffen kunnen worden om de netimpact van bestaande of toekomstige ontwikkelingen te verminderen. Dit betekent in het algemeen de vraag dichter bij het aanbod brengen en vice versa, zowel ruimtelijk gezien als in de tijd. Deze technieken zijn goed in beeld bij de netbeheerder. Een aantal voorbeelden zijn batterijen, curtailment (aftopping) of cable pooling. Deze oplossingen worden geanalyseerd op de volgende criteria:
    - De mate waarin netimpact verminderd kan worden (in MW verminderde capaciteit bondigheid)
    - De volwassenheid van de techniek of maatregel (experimenteel of bewezen)
    - De geschatte kosten

Twee schaalniveaus

Van de drie type aspecten worden de meest bepalende geïdentificeerd aan de hand van de hiervoor beschreven criteria. Bepalende aspecten hebben veel invloed op de netimpact in de toekomst. Factoren kunnen bepalend zijn op provinciaal niveau (factoren die qua impact op het net op veel plekken een rol spelen) of op regionaal niveau (belangrijk op bepaalde plekken in Fryslân, zoals aan de kust bij de veerdiensten of de Lelylijn met regionale impact). We rapporteren de bepalende aspecten dus op twee schaalniveaus.

2. Bepalende aspecten in beeld

- Analyse van drie type aspecten
- Selectie van meest bepalende aspecten op twee schaalniveaus

Stap 3: beantwoording vragen aan de hand van alternatieve perspectieven of scenario's

Dit document is bedoeld als (technische en inhoudelijke) onderbouwing om te komen tot de Energievisie. Tijdens dit proces zijn er meerdere perspectieven mogelijk op het Friese energiesysteem. De derde stap is het uitdenken van scenario's of perspectieven en dit vervolgens inhoudelijk te laden. Wat als Fryslân bijvoorbeeld volledig op kernenergie overstapt, zijn de netproblemen dan voorbij? Of: kunnen we energieneutraal worden met alleen zonnevelden?

Via een combinatie van expert inschattingen, rekenmodellen en diverse bronnen zijn de vragen beantwoord in begrijpbare eenheden en bewoording.

3. Perspectieven en scenario's

Impactbepaling van verschillende scenario's en perspectieven op de inrichting van het energiesysteem en het elektriciteitsnet.

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (1): overzicht

Informatiebronnen voor de ontwikkelingen in vraag- en aanbod van elektriciteit

Basisbronnen:

- Modellen van Liander (zie toelichting op model op volgende pagina)
- Modellen van ElaadNL (zie toelichting op model op volgende pagina)

Aanvullende Friese bronnen en informatie reeds bekend bij Liander:

Onderstaande bronnen zijn al bekend bij Liander en gebruikt om belastingprognoses per onderstation te maken.

- Regio-analyses: informatie die hieruit naar voren is gekomen is verwerkt in de belastingprognoses van Liander.
- Klantaanvragen en andere bekende plannen bij Liander: Naast de regio-analyses worden ook aanvragen en plannen van zakelijke klanten van Liander meegenomen.

Aanvullende Friese bronnen en informatie zijn toegevoegd worden in dit traject:

Onderstaande bronnen zijn gedurende de dataverzameling aanvullend of vervangend in de analyse gebruikt. Hoe deze extra informatie is gecombineerd met de basisbronnen, staat beschreven op deze pagina.

- Extra informatie van gemeenten zonder regio-analyse: dit zijn grotere ontwikkelingen die binnen een gemeente plaatsvinden die van invloed zijn op de belasting van het net.
- Voor woningbouw prognoses is de uitkomst van het nieuwbouwmodel gecorrigeerd om de nieuwe Primos 2023 cijfers weer te geven.
- LTO heeft input geleverd over de agrarische verduurzaming.
- GlastuinbouwNL heeft de verduurzamings- en uitbreidingsplannen van de glastuinbouw toegelicht.
- De provincie heeft de programmering van de uitbreiding van bedrijventerreinen tot aan 2035 geleverd.
- Industrie- en logistiekcijfers worden momenteel op basis van gesprekken tussen Liander en de sector aangescherpt.

Informatiebronnen voor de potentie andere energiedragers

Biogas:

- New Energy Coalition, 2021: Groen gas en haar bijdrage aan de Friese energietransitie

Waterstof:

- P-Miek Fryslân
- Plannen waterstofbackbone van Gasunie

Warmte:

- Algemeen en warmtevraag 2030: Regionale Structuur Warmte Fryslân, 2021; WarmingUP
- TEO: ROM3D en Inenergie, 2020: Energie uit oppervlaktewater
- Geothermie: Berenschot en Panterra, 2020: WARM in Fryslân; TNO: ThermoGIS
- Restwarmte: New Energy Coalition, Galama Sustainable Solutions, 2020: Schets Energievoorziening Fryslân in 2050

Friese Energietafel

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (2): modellen van Liander

Liander is verantwoordelijk voor het onderhoud en de uitbreiding van het elektriciteitsnet in o.a. Fryslân. Om zich goed voor te bereiden op deze uitbreidingen, maakt Liander verschillende modellen die huidige ontwikkelingen doortrekt naar de toekomst toe. Deze modellen maken van verschillende trends, scenario's en databases gebruik. Hieronder en op de volgende pagina's wordt per segment toegelicht welke informatie door Liander wordt gebruikt. Soms is er informatie hieraan toegevoegd omdat de modellen hierin tekort schieten. Deze methodiek wordt toegelicht op pagina 14 en 19. Liander doet investeringen in het net op basis van aanvragen en bekende plannen, maar vaak zijn deze nog niet bekend of concreet genoeg (zeker richting 2040 en 2050). Om dit te ondervangen maakt Liander belastingmodellen. De netbeheerder maakt per segment drie scenario's (hoge, gemiddelde, of lage impact op de netinfrastructuur). We gaan in dit traject uit van het gemiddelde ('midden'-) scenario, omdat Liander dit scenario ook gebruikt om investeringen te maken.

Om te komen tot inzichten over het Friese energiesysteem wordt er gebruik gemaakt van de modellen van Liander. Deze worden op de volgende pagina's nader toegelicht.

Warmtemodel I: woningen en kleinverbruikers

Liander gaat uit van het beleid van de Rijksoverheid tot aan 2030, zoals als laatst geschetst in de Klimaat- en energieverkenning (KEV) 2022. Voor de gebouwde omgeving betekent dit een mix aan hybride warmtepompen, elektrische warmtepompen en warmtenetten. Voor de nabije toekomst (< 2030) worden er aanvullende bronnen meegenomen, waaronder het Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving (2022), het Nationaal warmtenet trendrapport (DNE-research, 2021), het landelijk coalitieakkoord (2022), en het Actieplan hybride warmtepompen (2022). Voor de langere termijn (>2030) is de integrale infrastructuurverkenning 2030-2050 (Netbeheer Nederland) leidend.

Grofweg zijn er voor een duurzame gebouwde omgeving drie oplossingen: warmtenet, all-electric of hybride. Deze oplossingen hebben elk een eigen impactwaarde op het elektriciteitsnet. In het gehanteerde midden-scenario wordt uitgegaan van een verdeling van respectievelijk 25, 45, en 30%. In een spreidingsmodel wordt vervolgens uitgegaan van één oplossing per postcode (pc)-6 gebied. Op basis van verschillende variabelen zoals het energielabel, de woningdichtheid en het type woning, wordt aan de hand van een model een keuze voor één van de drie oplossingen gekozen. Elektrisch koken wordt hierin altijd meegenomen.

Warmtemodel II: utiliteiten grootverbruikers

Het tweede model schat de toekomstige impact in van 1) de verduurzaming van bedrijfsruimtes en 2) de verwarming van het tapwater van grootverbruikers van gas. Denk bijv. aan kantoorpanden, hotels, overheidsgebouwen, bioscopen, of musea. Voor de industrie of glastuinbouw worden er andere modellen gebruikt (zie volgende pagina). In het midden-scenario wordt ervan uitgegaan dat er door de ODE en energiebelasting wordt gestuurd op elektrificatie van de warmtevraag. Hierdoor ontstaat er een financiële prikkel om op een natuurlijk moment over te stappen op een warmtepomp. Dit leidt er toe dat ongeveer 50% van alle grootverbruikende utiliteiten in 2050 zal zijn overgestapt op elektriciteit. Warmtenetten en WKO's (samen met duurzaam gas) worden hier meer voorkomend geacht door de relatief gecentraliseerde warmtevraag en vullen daarom de overige 50%.

Het spreidingsmodel is bottom-up opgebouwd: per klant wordt een businesscase gemodelleerd hoe voordelig het is om over te stappen op een warmtepomp in een gegeven jaar, en bepalen daarmee de kans dat klanten daadwerkelijk overstappen. Met de kenmerken van een pand wordt bepaald hoe hard een warmtepomp moet werken om het gebouw een graad te verwarmen. Dit wordt vermenigvuldigd met een profiel van de temperatuur door het jaar heen. Hierin is in elk geval een koude week van -14C gesimuleerd, om de piek impact op de warmtevraag mee te nemen.

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (3): modellen van Liander

Industriemodel

Voor de bestaande industrie wordt per type industrie ingeschat de mate van elektrificatie en het type oplossing dat waarschijnlijk ingezet gaat worden. De voedingsmiddelen- en papierindustrie elektrificeren volgens het midden-scenario meer dan de helft van het gasverbruik. De chemische industrie en keramische industrie gaan volgens dit scenario ook aanzienlijk elektrificeren (+/- 30% van het gasverbruik). De metaalindustrie elektrificeert een deel van de processen, maar volgens het scenario slechts 15% van het gasverbruik.

Per type industrie zijn er verschillende elektrificatieoplossingen gangbaar of passend met uiteenlopende efficiëntie (ovens of e-boilers hebben een coëfficiënt of performance of COP van 0.99 in tegenstelling tot warmtepompen met een COP van 3.5). Liander neemt met zijn model aan dat de snelheid van de groei naar het elektrificatieplafond – de maximale potentiële elektrificatie van het productieproces – gelijk is voor elk type industrie. Voor klanten die over een Gasunie-aansluiting beschikken, wordt ervan uitgegaan dat de elektriciteitsvraag bij Liander terechtkomt. De impact van de (combinatie van) oplossingen wordt bepaald per klant.

Glastuinbouwmodel

Dit model beschrijft de impact van de verduurzaming van de glastuinbouw in combinatie met mogelijke groei van areaal. De glastuinbouw haalt conventioneel gezien zijn energie uit warmte kracht koppelingen (WKK's). Deze WKK's produceren zowel elektriciteit, warmte als co_2 waar de kassen gebruik van maken. Daarnaast worden WKK's ook ingezet om elektriciteit te leveren en het elektriciteitsnet te balanceren (mate waarin o.a. afhankelijk van het type teelt).

Op basis van het doel van Glastuinbouw Nederland, om in 2040 klimaatneutraal te zijn, wordt in het midden-scenario bij nieuw areaal vanaf 2032 geen nieuwe WKK meer geplaatst. Voor bestaand areaal worden WKK's tussen 2029 en 2040 uit gefaseerd, waarbij ca 10% blijft staan met duurzaam gas als voeding. Naast het wel of niet ontstaan van WKK's, houd het model ook rekening met de intensivering van de elektriciteitsvraag, op basis van het type teelt en huidig energieverbruik. De mate waarin intensivering plaatsvind is dus zeer ondernemingsafhankelijk. De groei of krimp van het areaal wordt ook meegenomen afhankelijk van de omvang van het bestaande glastuinbouw cluster, beschikbaarheid van alternatieve warmtebronnen en vrije landbouwgrond.

Friese Energietafel

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (4): modellen van Liander

Nieuwbouwmodel

Voor het segment nieuwbouw worden er vijf submodellen gebruikt: basislast, zon op daken, warmtepompen, warmtenetten en mobiliteit (EV). Voor het aantal nieuwe woningen wordt o.a. meegenomen: groei van bevolking en huishoudens, landelijke en regionale politieke ambities en historische realisaties en vergunningsverlening. Voor het midden-scenario gaan we uit van het volgende: Na een dip in woningbouwvergunningen, komt er een groei in de realisatie van nieuwbouwwoningen om het woningtekort te verkleinen. Hiervoor wordt de PRIMOS prognose van ABF Research gebruikt die ook door het Ministerie van Binnenlandse zaken worden gebruikt. Op dit moment is het model nog gestaafd op de PRIMOS prognose van 2022. Deze wordt vergeleken met de PRIMOS 2023 prognose en de impact wordt handmatig aangepast.

Bij nieuwe woningen wordt de impact van hoog- en laagbouw onderscheiden en is de warmtepomp de warmteoplossing waar vanuit wordt gegaan. Daarnaast gaan we uit van extra belasting door zonnepanelen afhankelijk van hoog/laagbouw en koop/huur en voorspellen we een elektrischvoertuig, afhankelijk van koop/huur, hoog/laagbouw en stedelijk/landelijkheid.

Mobiliteitsmodel (E-laadNL)

ElaadNL maakt sinds 2019 periodiek een prognose van de elektrische mobiliteit en daarbij horende laadinfrastructuur. Deze prognose baseert ElaadNL op het aantal voertuigen, de huidige tendens, automarktontwikkelingen (zoals aanbod en ambities vanuit fabrikanten en prijsontwikkelingen), maar ook trends in laadinfrastructuurontwikkeling en algehele mobiliteitstrends. Op basis van deze factoren worden per voertuigtype landelijk drie scenario's gemaakt die de in groei van elektrische mobiliteit in aantallen en energievraag uitdrukken. De uitrol van elektrische voertuigen gaat echter niet overal even snel. Om dit te modelleren gebruikt ElaadNL een spreidingsmodel op basis van wetenschappelijk onderzoek, data- en marktanalyses. Uit deze factoren blijkt dat sociaal economische factoren leidend zijn in de volgorde waarin geografisch gezien meer elektrisch personenvervoer wordt uitgerold. Om de vertaling van aantallen naar impact op de elektriciteitsinfrastructuur te maken, worden er vier type laadpalen onderscheden: werkladen, thuisladen, snelladen en publiekladen. Voor ieder van deze ladingstypen wordt een profiel opgesteld. Zo is werkladen veelal overdag en thuisladen veelal bij thuiskomst. Ook worden de types geografisch gespreid aan de hand van verschillende factoren, zo hebben stedelijk gebieden relatief veel publieke laadpunten en landelijk gebied meer thuislaadpunten. Voor niet-personenvervoer wordt de vermogensvraag meer geconcentreerd verwacht op logistieke knooppunten.

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (6): aanvullende bronnen

De modellen van Liander beschikken niet over alle relevante informatie. Sommige informatie is nieuw of op andere aannames gebaseerd dan waar de FET of provincie vanuit gaan. Waar geen directe vermogensvragen bekend zijn (bijvoorbeeld bij nieuwbouw of additionele hectares bedrijventerreinen) wordt aan de hand van kengetallen toevoegingen gedaan aan de belastingprognose. Dit is dezelfde methodiek als in de regio-analyses wordt toegepast.

Segment	Beschrijving	Kengetal
Bestaande bouw	Impact van all-electric oplossing op onderstation	3,5 kW/woning
Bestaande bouw	Impact van hybride oplossing op onderstation	1 kW/woning
Nieuwbouw	Impact van nieuwe laagbouw woning op onderstation	2,4 kW/woning
Nieuwbouw	Impact van nieuwe hoogbouw woning op onderstation	1,75 kW/woning
Nieuwe bedrijventerreinen	Impact van nieuw te ontwikkelen lichte industrie op onderstation	400 kW/ha
Nieuwe bedrijventerreinen	Impact van nieuw te ontwikkelen zware industrie op onderstation	1 MW/ha
Mobiliteit	Impact van personenauto's op onderstation	1 kW/auto
Zon-opwek	Impact van zon opwek op onderstation	1 MW/ha

Deze kentallen geven slechts een indicatie van de daadwerkelijk impact, maar bieden een eerste, bruikbaar inzicht dat nuttig is voor programmeringsdoeleinden.

Friese Energietafel

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (7): bepaling energievraag 2050

Het Energietransitiemodel (ETM)

Het Energietransitiemodel (ETM) is gebruikt om de energievraag van 2050 te bepalen. Het model is een interactieve, online simulatie tool voor energiesystemen. Het model stelt je in staat om tot in groot detail mogelijke toekomstige energiesystemen te onderzoeken en kwantificeren. Het ETM is gratis in gebruik, open source en beschikbaar voor (EU) landen, gemeenten en vele andere regio's. Het ETM is ontwikkeld door Quintel. Het ETM stelt je in staat verschillende aannames over verduurzamingsroutes per segment (woningbouw/industrie/etc), demografische en economische effecten en berekent de energievraag die hieruit volgt. Dit kan op provinciale schaal.

Aannames voor energievraag Fryslân 2050

In de berekeningen zijn geen economische of demografische effecten meegenomen. Wel zijn deze effecten meegenomen in de bandbreedte, weergegeven in Hoofdstuk 2. Meest opvallende uitkomst betreft energiebesparing die ontstaat door elektrificatie. Voor Fryslân zijn de volgende aannames gedaan:

Segment	Energetische aannames voor 2050
Mobiliteit - pv	100% elektrificatie
Mobiliteit - vracht	100% elektrificatie bestelbussen 75% elektrificatie vrachtvervoer (25% biodiesel+diesel) binnenvaart 50% elektrificatie, 50% LNG)
GO - utiliteiten en bedrijvigheid	Isolatie naar B, 25% warmtenet, 25% WKO, 50% Luchtwarmtepomp, maar ook toename e-vraag en groei van 1% per jaar (huidige trend)
Industrie - Totaal	Energie vraag blijft gelijk; elektrificatie leidt nauwelijks tot efficiëntie verhoging dus totale vraag blijft gelijkt
GO - Woningen	60% Luchtwarmtepomp, 10% bodemwarmtepomp, 10% warmtenet, 10% hybride 5% Houtpellets/biomassa 5% e-boiler
Landbouw (inc glastuinbouw)	Energie vraag blijft gelijk

Ook voor vraag 3; wat als we waterstof gaan gebruiken in de GO, is het ETM gebruikt om de energetische vraag te bepalen.

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (8): beantwoording vraag 1

Techniek voor elektriciteitsopwek	Methodiek bepaling theoretische potentie	Schatting totaal vermogen (MW)	Schatting totale energieopwek (TWh)	Methodiek bepaling praktische potentie	Schatting totaal vermogen (MW)	Schatting totale energieopwek (TWh)
Zon op dak	Theoretische potentie RVO	7700 MW	6,9	Scherpere eisen aan oriëntatie van daken (1,1 KV + 0,9 GV) op basis van methodiek Liander	2000 MW	1,8
Zon langs rijkswegen incl. oksels	OER-RWS – totaal bruto areaal	1126 ha = 1126 MW	1,0	GIS-analyse provincie o.b.v. bermgebied met veiligheid, begroeiing en operatie marges (kernGIS RWS)	260 ha =260 MW	0,2
Zon langs provinciale wegen	GIS analyse provincie – totaal berm oppervlakte (BGT)	802 ha = 802 MW	0,72	GIS-analyse provincie o.b.v. bermgebied met veiligheid, begroeiing en operatie marges (BGT)	76 ha = 76 MW	0,068
Zon op zandwinplassen	GIS analyse provincie - 100% van oppervlakte alle zandwinplassen wordt benut voor zon-opwek (enkelbestemmingen bestemmingsplan)	500 ha = 500 MW	0,45	GIS analyse provincie – Alle zandwinplekken met gemiddelde vulgraad zoals bij bestaande zon op zandwinplassen (ong. 26%) (enkelbestemmingen bestemmingsplan)	130 ha = 130 MW	0,1
Zon op braakliggend terrein	GIS analyse provincie – totaal braakliggend terrein (zoals gedefinieerd in basisregistratie gewaspercelen)	6 ha = 6 MW	0,054	GIS analyse provincie – totaal braakliggend terrein (zoals gedefinieerd in basisregistratie gewaspercelen)	6 ha = 6 MW	0,005
Ophogen dorpsmolen (tot 100m tiphoogte)	GIS analyse provincie - Alle windmolens op land worden virtueel opgehoogd tot 100m met een vermogen van 2,3 MW (obv RES bestaande molens[1])	523 MW aan additioneel vermogen; 694 MW in totaal	2,43	Slechts 14[3] dorpswindmolens hogen op tot 100m met een vermogen van 2,3 MW (RES bestaande molens)	24 MW aan additioneel vermogen; 215 MW in totaal	0,75
Wind (tot 100m tiphoogte) op bedrijventerreinen bij vier grote steden (Leeuwarden, Heerenveen, Drachten en Sneek)	GIS analyse provincie – obv bestaande windparken een gemiddelde aantal ha per windmolen bepaalt (10 ha/windmolen) en geplot op bedrijventerreinen (elk bedrijventerrein is een windpark met daartussen windmolens) [2]	170 windmolens = 391 MW (incl. bestaande)	1,37	GIS analyse provincie – obv bedrijventerreinen met windmolens is een gemiddeld aantal ha/windmolen (20 ha/windmolen) bepaalt en geplot op alle bedrijventerreinen	85 windmolens = 195 MW (incl. bestaande)	0,68
Wind (max 15 m ashoogte) bij agrarische bedrijven	GIS analyse provincie obv BAB bestand – Elk agrarisch krijgt één kleine windmolen[1]	4074 agrarische bedrijven met erfmolens	0,5	Gesprek met LTO-Noord wees uit dat een adaptatie van ca 30% reëel wordt geacht	1220 agrarische bedrijven met erfmolens	0,15
Wind (max 15 m as hoogte) bij recreatie	GIS analyse provincie obv GEO database – recreatiegebieden (zwembaden, zwemwater, sportverenigingen, ijshallen, groepsaccommodatie, campings, sportaccommodaties, golfbanen, jachthavens) nemen allen een kleine windmolen	695 erfmolens bij recreatiegebieden	0,083	Adoptiecijfer van agrarische bedrijven over genomen: 30%	208 erfmolens bij recreatiegebieden	0,02
Totaal	Som van het bovenstaande is schatting theoretische bestuursakkoord		13,5 TWh	Som van het bovenstaande is schatting praktische potentie bestuursakkoord		3,8 TWh

1) Zie volgende pagina voor gebruikte windmolens en bijhorende kengetalle.n
2) Hier zijn ook windmolens "geplot" op kleinere bedrijventerreinen dit kan leiden tot 0,1 windmolens per bedrijventerrein, maar door cumulatie (1 vd 10 kleine bedrijventerrein krijgt er één) wel relevant
3) https://windenergie-nieuws.nl/20/twee-friese-energiecooperaties-kiezen-voor-ewt-1-mw-windturbine/

Gehanteerde bronnen en informatie in methodiek (9): beantwoording vraag 2

Werkwijze

Voor het bepalen van het aantal windmolens en diens kenmerken is de volgende werkwijze gehanteerd.

- Het verschil tussen het RES bod en de verwachte energievraag (uit het ETM) is gebruikt om het gat van 9TWh te bepalen.
- Er zijn 4 type windmolens die momenteel bekend zijn, gebruikt om de berekeningen op te maken. Dat zijn:
  - De WES erfmolen – ashoogte van 15 m – Windenergysolutions.nl
  - Windturbine bestaand naast de A31 – tiphoogte 99m – RES
  - Windturbine van Windpark Fryslân – tiphoogte 180 m – windparkfryslan.nl
  - Windturbine Haliade-X – tiphoogte 260 m - https://www.tno.nl/nl/duurzaam/hernieuwbare-elektriciteit/nieuwe-technologie-windenergie/haliade-x-windturbine/
- Op basis van onderstaande kengetallen per windmolen is het aantal benodigde windmolens bepaald.

Disclaimers

- Bij de berekeningen is het aantal vollasturen voor wind constant gehouden. In de praktijk geldt hoe hoger de molen hoe meer vollasturen. Dit komt door meer constante en hardere wind naar mate de wind harder waait.
- De beschreven windmolens van 100m zijn recent vernieuwd en hebben relatief grote bladen, daardoor relatief groot vermogen met beperkte tiphoogte. Gemiddeld ligt het vermogen lager met 100m tiphoogte.

Type windmolen	Eenheid	Kengetal	Bron
WES-erfmolen	Opbrengst per molen (GWh/molen)	0,1	Windenergysolutions.nl
Alle windmolens >100m	Vollasturen (uur)	3500	RES Factsheet/Regioanalyse Waadhoeke
Windmolen 100m tip	Vermogen (MW)	2,3	RES Fryslan
Windmolen 180 m tip	Vermogen (MW)	4,3	Windparkfryslan.nl
Windmolen 260 m tip	Vermogen (MW)	12	TNO

Overzicht aanvullende informatiebronnen per energiebron

Gedurende deze studie zijn meerdere bronnen aangedragen hier is op de volgende manieren mee omgegaan:

- Een deel van de studies worden momenteel/binnenkort uitgevoerd en zijn daarom interessant bij een volgende cyclus
- Een deel van de bronnen is opgenomen voor de relevante energiedrager
- Een deel gaf een minder nauwkeurig of actueel beeld van de gezochte informatie ten opzichte van de informatie die reeds bekend was.

Type bron	Naam energiebron	Informatiebron	Aanvullende informatie
Biogassen	Groen gas	Scenariostudie Groen Gas (CE Delft + NEC) 2023 en 2024.	Dit onderzoek gaat nog uitgevoerd worden. Wanneer de resultaten beschikbaar zijn, is het goed om deze informatie mee te nemen in de volgende cyclus integraal programmeren.
Biogassen	Groen gas	New Energy Coalition, Panorama Groen Gas 2023	Laatste stand van zaken rondom groen gas in Fryslân.
Elektriciteit	Blue energy	*Provincie Fryslân heeft 1,2 miljoen in een blue energie centrale gestoken aan de Afsluitdijk.*	*Dit is een mooie innovatie maar op dit moment nog te klein qua vermogen om technisch mee te nemen in het kennisdocument. Het wordt als innovatie wel benoemd op pagina 13.*
Elektriciteit	Zon op dak	Eind september komt RVO met een update van de data zon-op-gebouwen.	Update van huidige data. In dit document wordt voor de theoretische potentie zon op gebouwen, de huidige RVO potentie gebruikt en voor de praktische potentie de potentie die Liander hanteert.
Warmte	Aquathermie	In het samenwerkingsverband Missy Wetterwaarmte zijn Provincie Fryslân, het Wetterskip en gemeenten bezig met een aquathermie potentiekaart. De Unie van Waterschappen of Stowa is bezig met een landelijke aquathermie potentiekaart op hoog detailniveau. In maart is tevens een rapport over de benutting van thermische energie uit afvalwater verschenen. De Unie van Waterschappen of Stowa is bezig met een landelijke aquathermie potentiekaart op hoog detailniveau.	Informatie over potentie op hoog detailniveau. Wanneer deze beschikbaar komt is het goed om deze informatie mee te nemen in de volgende cyclus integraal programmeren.