Systeemstudie energie-infrastructuur Zeeland

2020-2030-2050

CE Delft
Committed to the Environment

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Systeemstudie energie-infrastructuur Zeeland

2020-2030-2050

Dit rapport is geschreven door:
Sjoerd van der Niet, Frans Rooijers, Reinier van der Veen, Marijke Meijer, Joeri Vendrik, Thijs Scholten (CE Delft)
Marit van Lieshout, Harry Croezen (Royal HaskoningDHV)

Delft, CE Delft, maart 2020

Publicatienummer: 20.190283.0035

Energievoorziening / Elektriciteit / Regionaal / Provincies / Infrastructuur

Opdrachtgevers:
Provincie Zeeland, Vereniging van Zeeuwse Gemeenten, Enduris, Smart Delta Resources, North Sea Port

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Sjoerd van der Niet (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
	1.1 Aanleiding	8
	1.2 Doel, onderzoeksvragen en reikwijdte	9
	1.3 Leeswijzer	10
2	Opzet van het onderzoek	11
	2.1 Organisatie	11
	2.2 Onderzoeksopzet	11
3	De scenario's	14
	3.1 Regionale Sturing	14
	3.2 Nationale Sturing	15
	3.3 Internationale Sturing	15
	3.4 Generieke Sturing	16
4	Ontwikkeling van vraag en aanbod	17
	4.1 Ontwikkeling van de vraag	17
	4.2 Ontwikkeling van aanbod	23
	4.3 Netbalans	27
5	Infrastructuur knelpunten	34
	5.1 Topologie van het elektriciteitsnet	34
	5.2 Elektriciteitsnet regionale netbeheerder	35
	5.3 Hoogspanningsnet	39
	5.4 Gasnet (methaan, waterstof en CO_2)	43
	5.5 Warmtenetten	50
6	Analyse van oplossingen	51
	6.1 Inventarisatie van oplossingen	51
	6.2 Inventarisatie van belemmeringen	54
	6.3 Mogelijke oplossingen bij de gevonden knelpunten	56
7	Conclusies en aanbevelingen	61
	7.1 Knelpunten in de infrastructuur	64
A	Literatuur	69
B	Deelnemers	73

C	Begrippenlijst		74
D	Gebouwde omgeving		76
	D.1	Uitgangspunten	76
	D.2	Uitkomsten	78
E	Mobiliteit		82
	E.1	Uitgangspunten	82
	E.2	Uitkomsten	83
F	Industrie		84
	F.1	Grootste bedrijven	84
	F.2	Overige industrie	88
	F.3	Flexibiliteit	88
G	Landbouw en glastuinbouw		90
H	Elektriciteit		92
	H.1	Zon-pv	92
	H.2	Wind op land	92
	H.3	Wind op zee	93
	H.4	Ruimtebeslag	93
	H.5	Centraal en/of regelbaar productievermogen	94
	H.6	Potentie voor elektrolyse op basis van lokale overschotten	95
I	Resultaten PowerFlex		97
	I.1	Scenario 2029 Klimaatakkoord	97
	I.2	Scenario 2050 Regionale Sturing	98
	I.3	Scenario 2050 Internationale Sturing	99
	I.4	Tabellen vermogen, productie en jaarduurkrommes	100

Samenvatting

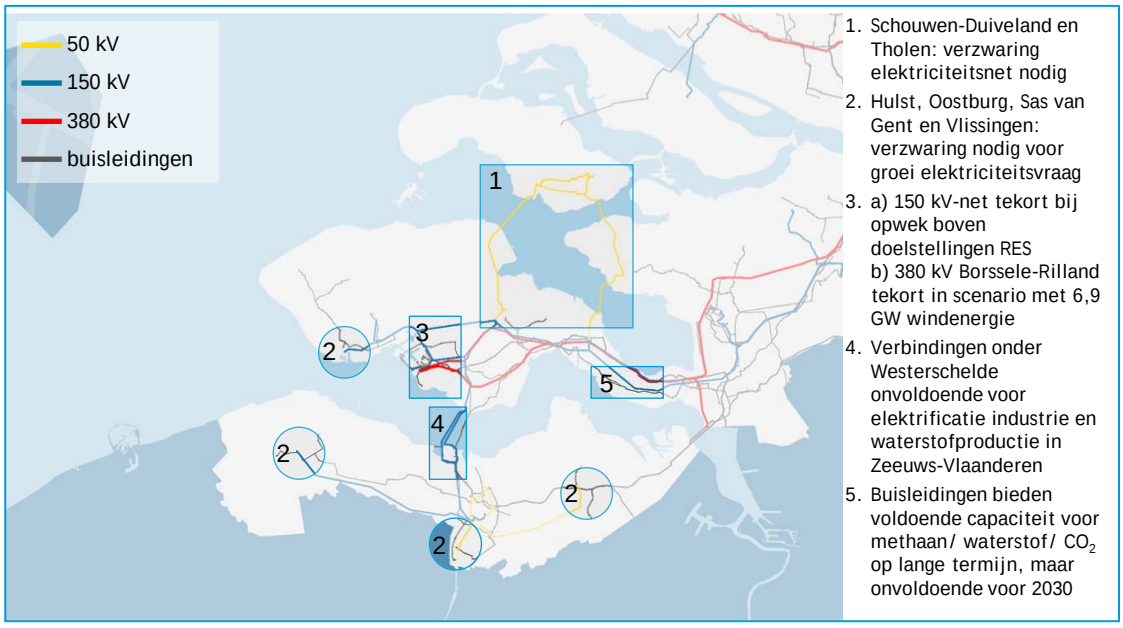
Hoe kunnen in Zeeland de vraag naar energie en het aanbod hiervan zich ontwikkelen van 2020 via 2030 tot 2050? Kan de huidige energie-infrastructuur deze ontwikkelingen faciliteren, en wat zijn dan de opgaven waar Zeeland voor staat?

In deze systeemstudie zijn vier toekomstbeelden voor de provincie opgesteld. Niet zozeer als realistische of wenselijke blauwdruk, maar om uitersten in kaart te brengen van wat van de infrastructuur kan worden gevraagd. In de praktijk zal een mix van elementen uit alle vier scenario's waarschijnlijker zijn. De studie is een verbijzondering van Net voor de Toekomst (CE Delft, 2017a) en Infrastructure Outlook (Gasunie TenneT, 2019) naar Zeeland, en kent een sterke relatie tot de CUST-studie (Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech; CE Delft, 2019).

Elk scenario heeft een ander vertrekpunt vanwaar de energietransitie wordt aangedreven: Regionale Sturing, Nationale Sturing, Internationale Sturing of Generieke Sturing. Scenario Regionale Sturing is gericht op veel lokale opwek, gebruik van lokale warmte-bronnen, elektrificatie en energiebesparing. Nationale Sturing gaat uit van wind op zee aan de basis van een waterstofeconomie. Gezien de huidige industrie, met 48 PJ waterstof-gebruik, kan in Zeeland de vraag naar groene waterstof sterk groeien. Internationale Sturing gaat uit van import van waterstof en biogas. Generieke Sturing gaat uit van technologie-neutrale maatregelen om de markt tot CO_2-reductie te bewegen, met als resultaat een mix: aardgas met CCS, elektrificatie, gebruik van warmte en import van biomassa.

In de studie zijn deze scenario's doorgerekend op impact op de infrastructuur. In Figuur 1 zijn de belangrijkste potentiële knelpunten weergegeven, gaan we in op de opgaven per type infrastructuur en doen aanbevelingen hoe de transitie in goede banen te leiden.

Figuur 1 - Belangrijkste knelpunten



Elektriciteitsnet regionale netbeheerder

Verzwaring van de elektriciteitsvoorziening naar Schouwen-Duiveland en Tholen is nodig om de groeiende vraag zowel als aanbod te faciliteren. In 2030 zijn hier al knelpunten voorzien, deze treden in alle scenario's op. Hetzelfde geldt voor de omgeving rondom Hulst (Cambron), rondom Terneuzen-Zuid en rondom Oostburg. Bij Vlissingen zal in 2030 de huidige capaciteit vrijwel maximaal worden aangewend en daar zal rond 2030 verzwaring nodig zijn. Elektrificatie van de industrie kan in Sas van Gent al voor 2030 tot knelpunten leiden.

Wanneer de warmtevraag van de gebouwde omgeving wordt geëlektrificeerd, dan kan verzwaring van het netwerk noodzakelijk worden. Hetzelfde geldt voor elektrificatie van mobiliteit. Slim laden kan de noodzaak voor verzwaring vanuit mobiliteit verlichten. Alternatieven zijn verwarming met groengas of waterstof, en mobiliteit met waterstof. Kiest men voor elektrificatie, dan is voorbereiding van verzwaring van midden- en laag-spanningsnet met de regionale netbeheerder noodzakelijk, ook al voor 2030.
Dit vraagt intensieve afstemming tussen Enduris en lokale overheden.

Er is meer potentie voor lokale opwek dan nu door de netten kan worden verwerkt. Bij groei boven de huidige ambities van de RES zal flexibiliteit een deel van de oplossingen moeten vormen. Aansluiting op lagere zekerheid, waar in geval van een storing de afname niet meer verzekerd is, vormt een eerste alternatief voor verzwaring. Deze optie is momenteel nog niet in de netcode vastgelegd. Kleinere aansluitingen in combinatie met batterijen kan het aanbod van zonneparken spreiden over de tijd. Dit kan maatschappelijk zinvol zijn, maar wordt door de huidige structuur van nettarieven niet gestimuleerd.

Hoogspanningsnet

Het 150 kV-net geeft aanbodknelpunten bij een sterke groei van lokale opwek. Het is zaak voor TenneT om hier, samen met regionale netbeheerder Enduris, de vinger aan de pols te houden. Aansluiting op lagere zekerheid of kleinere capaciteit dan piekvermogen kunnen ook op het hoogspanningsnet bijdragen om knelpunten te voorkomen. Bij windparken vormen (kleine) installaties voor conversie naar waterstof of warmte (Power-to-X) nog een alternatief.

Daarnaast zullen er vraagknelpunten ontstaan in Zeeuws-Vlaanderen. Dit is een kritische factor in de verduurzaming van de daar gevestigde industrie. Grootschalige elektrificatie van de industrie en elektrolyse in Zeeuws-Vlaanderen zouden aanzienlijke verzwaring vereisen. Uitbreiding van de bestaande 150 kV-verbinding onder de Westerschelde wordt niet op voorhand als onhaalbaar aangemerkt. Dit geldt ook voor het aanleggen van een 380 kV-verbinding naar Zeeuws-Vlaanderen als uitloper vanuit station Borssele (niet als opname in de ring tussen Rilland en Borssele). Nader onderzoek is nodig, waarover afspraken worden gemaakt door TenneT in overleg met andere relevante partijen.

Het advies is om daarnaast naar andere oplossingen te kijken. Een alternatief is verbinding via Vlaanderen (BE), met name als 380 kV-uitloper en zonder nieuwe interconnector.
Een ander scenario is om aan de vraag te voldoen met een andere energiedrager: minder elektriciteit en meer gas. Dat zou echter impliceren dat de industrie beperkt elektrificeert en elektrolyse deels plaatsvindt buiten Zeeuws-Vlaanderen.

De ruimte voor flexibiliteit in de industrie zal groeien tot enkele honderden megawatts. Bij elektrolyse op locatie biedt schakelen naar waterstofafname extra ruimte, maar dit vereist aanbod uit de waterstofbackbone of lokale opslag. Ook de bestaande SMR's kunnen tot op een bepaalde hoogte flexibel worden ingezet. Flexibiliteit kan bijdragen tijdelijke knelpunten te voorkomen, bijvoorbeeld overschotten uit lokale opwek of vraagpieken in andere sectoren bij windstilte. Structurele knelpunten worden niet voorkomen met flexibiliteit.

De 380 kV-verbinding van Borssele naar Rilland voldoet bij 3,5 GW aanlanding wind op zee in Borssele, maar is als knelpunt aangemerkt wanneer daar 6,9 GW wind op zee is aangesloten (scenario 2050 Nationale Sturing). Dergelijke grote aanlanding zou extra mogelijkheden bieden voor elektrolyse ten behoeve van industriële vraag naar waterstof. Echter, wanneer elders in Nederland de elektriciteit gevraagd is, zal transportcapaciteit nodig zijn. Dat roept de vraag op hoe aanlanding van wind op zee in Zeeland meer dan 3,5 GW zich verhoudt tot andere locaties.

De business case voor waterstofproductie in de regio dient in samenhang te worden onderzocht met zowel de lokale vraag naar waterstof en zuurstof, als de nationale elektriciteitsmarkt, alsook transportcapaciteit van elektriciteitsnet en gasnet. Potentiële locaties - Borsele, Zeeuws-Vlaanderen en eventueel Rodenhuize (BE) – kunnen hierop worden vergeleken. Inzichten uit deze studie zijn meegegeven aan het lopende onderzoek naar 1 GW elektrolyse binnen Smart Delta Resources.

Gasnet (methaan, waterstof en CO_2)

Lokale overheden en bewoners staan voor keuzes omtrent de gebouwde omgeving: verwarmen met groengas of waterstof, met warmtepompen, of warmtelevering? En dus via het gasnet, het elektriciteitsnet, of een warmtenet? Voor het gasnet voor distributie betekent dit gecontinueerd gebruik, ombouw of amoveren.

Voor het transportnet van gassen is capaciteit niet het voornaamste probleem, wel de planning. In een overgangsperiode is er vraag naar transport van vier gassen: hoogcalorisch en laagcalorisch aardgas, waterstof en CO_2. Dit vraagt gelijktijdige capaciteit in meerdere buisleidingen. In 2030 is, gezien de huidige gasleidingen, een buis tekort in zowel Zuid-Beveland als Zeeuws-Vlaanderen. Oplossingen zijn eerst te zoeken in inzet van andere bestaande buisleidingen, en alternatief in transport door Vlaanderen, transport per schip, nieuwe aanleg of een mix hiervan.

Om de transitie goed te laten verlopen en partijen niet voor voldongen feiten te stellen, is coördinatie nodig tussen partijen die transportcapaciteit vragen (gemeenten, industrie) en partijen die buisleidingen beschikbaar hebben (Gasunie, industrie en andere). Vervolgens zal ombouw gedaan moeten worden bij de overgang naar waterstof of CO_2. Buisleidingen, hun capaciteit en de vraag zijn nu in beeld voor 2030 en 2050, en de vervolgstap is om vast te stellen: welk commitment kan worden afgegeven voor de vraag, kunnen buizen geschikt gemaakt worden voor toekomstige gassen, en wanneer en onder welke condities kunnen ze beschikbaar komen? Daarbij dient naast groene waterstof ook gekeken te worden naar blauwe waterstof. In de industrie wordt veel waterstof gebruikt als grondstof, en gebruik als brandstof kan een alternatief zijn voor elektrificatie.

Warmtenet

Er is potentie voor warmtenetten in Vlissingen, Middelburg en Terneuzen, gezien de nabijheid van bronnen en de dichtheid van bebouwing. De glastuinbouw op de Axelse vlakte is voorzien van een warmtenet, andere gebieden met kassen zijn hiervoor minder gunstig gelegen. Warmtenetten vereisen aanleg van infrastructuur voor transport en distributie, en governance over levering en afname. Expertise moet verder worden opgebouwd voor besluitvorming op hetzelfde niveau als bij gas- en elektriciteitsnetten. Dit is mede afhankelijk van de ontwikkeling van de Warmtewet 2.0.

Governance van de transitie

Deze systeemstudie maakt duidelijk dat, met de energietransitie naar klimaatneutraal, de vraag aan energie-infrastructuren zal veranderen en welke vraagstukken specifiek ontstaan in een viertal scenario's. Overleg en coördinatie zijn nodig om de transitie steeds verder uit te tekenen, belemmeringen tijdig in beeld te krijgen en partijen niet voor voldongen feiten te stellen. Het gaat dan om zowel vraagpartijen, aanbodpartijen alsook netbeheerders Enduris, TenneT en Gasunie, en overheden. Met name de elektriciteitsverbinding van Zeeuws-Vlaanderen is kritiek voor ontwikkeling van daar gevestigde industrie.

De aanbeveling is de transitie langs twee sporen te begeleiden:

1. Vanuit de RES, met Enduris. Focus op distributie van elektriciteit, gassen en warmte; focus op de sectoren gebouwde omgeving, mobiliteit en lokale opwek.
2. Vanuit SDR, met TenneT en Gasunie. Focus op transport van elektriciteit, gassen en CO_2; focus op de sectoren industrie, centrales en wind op zee. Het is aanbevolen om partijen uit België uit te nodigen hieraan bij te dragen, ten behoeve van integrale afweging van de Kanaalzone en eventuele verbindingen van Zeeuws-Vlaanderen met Vlaanderen.

Afstemming met het Rijk is nodig om provinciale ontwikkelingen en nationaal beleid met elkaar in de pas te laten lopen en belemmeringen te adresseren ten aanzien van investeringen in het net en regelgeving rondom flexmaatregelen. Hier is een centrale rol weggelegd voor de provincie.

Om dit doorgaande proces met feiten te ondersteunen, is het van nut om het energiesysteem bij herhaling integraal door te rekenen. Dit onderzoek en de bijbehorende dataset kunnen als basis dienen voor 'levende' datasets over 2030 en 2050, om daarop partijen uit te nodigen hun gegevens periodiek te updaten met de meest recente plannen - een levend en actueel toekomstbeeld van het energiesysteem.

1 Inleiding

Nederland heeft de ambitie om de CO_2-emissies in 2030 en 2050 met respectievelijk 49 en 95% te reduceren ten opzichte van 1990. Om deze doelstellingen te halen is ook in Zeeland een energietransitie nodig in alle sectoren: industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit en landbouw.

Een robuust en adaptief energiesysteem is een voorwaarde om de energietransitie te realiseren. Energiesystemen zullen complexer worden. De vraag naar en het aanbod van energie gaan veranderen. Fossiele brandstoffen worden vervangen door duurzame bronnen die een wisselend aanbod kennen. Netbalans, conversie en opslag van energie worden nieuwe uitdagingen. Op alle schaalniveaus zullen (nieuwe) energiesystemen ontstaan. Nieuwe spelers doen hun intrede op de energiemarkt en energieconsumenten worden tevens energieproducenten.

Het is de vraag hoe we in de toekomst het geïntegreerde energiesysteem ontwerpen en beheren, met behoud van betrouwbaarheid, veiligheid en betaalbaarheid. De ontwikkeling van energie-infrastructuur is kostenintensief en is nu nog veelal reactief op de vraagontwikkeling. Daarbij is vaak sprake van een lange doorlooptijd bij de ontwikkeling van energie-infrastructuur. Dit draagt het risico in zich dat energie-infrastructuur niet tijdig de geschikte capaciteit kan bieden die als onderdeel van de energietransitie noodzakelijk is.

Deze systeemstudie biedt inzicht in de mogelijke ontwikkelingen van vraag en aanbod, de consequenties daarvan voor de energie-infrastructuur in termen van knelpunten en een verkenning van oplossingen.

1.1 Aanleiding

Inzicht in het toekomstige energiesysteem is ook gevraagd in het licht van een aantal ontwikkelingen in de provincie Zeeland.

Roadmap Smart Delta Resources

Het uitvoeren van een systeemstudie is essentieel voor het realiseren van de projecten uit de SDR-Roadmap (CE Delft, 2018). Het CUST-project en de E-infrastudie voor de Kanaalzone Zeeuws-Vlaanderen laten zien dat enorme hoeveelheden groene stroom en groene waterstof beschikbaar moeten komen om de klimaatdoelstellingen te halen. Ook laten ze zien dat de bijbehorende energie-infrastructuur omvangrijk zal zijn en ten opzichte van de huidige situatie ingrijpend zal moeten worden aangepast (Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech; CE Delft, 2019; CE Delft, 2018).

Regionale EnergieStrategie Zeeland (RES)

Het eindresultaat dient onder andere als input voor verdere optimalisatie van het Zeeuws Energieakkoord 1.0 (RES) en toekomstige versies. De RES is het instrument om te komen tot gedragen keuzes voor de opwekking van duurzame elektriciteit op land, de warmtetransitie in de gebouwde omgeving, de energietransitie binnen mobiliteit en de daarvoor benodigde opslag- en infrastructuur. De RES heeft een horizon van 2030 met een doorkijk naar 2050.

1.2 Doel, onderzoeksvragen en reikwijdte

De systeemstudie heeft als doel:
- een gezamenlijke kennisbasis te bieden voor de netbeheerders, Smart Delta Resources, RES Zeeland en het besluitproces rondom de aanlanding van wind op zee;
- met inzichten in ontwikkelingen in vraag en aanbod, de knelpunten die dan ontstaan gelet op de huidige energie-infrastructuur en een verkenning van oplossingen hiervoor.

De volgende onderzoeksvragen geven daar invulling aan.
- Wat is de ontwikkeling van vraag en aanbod van energiedragers in locaties, jaarvolumes en uurprofielen, uitgaande van bestaande plannen en verschillende toekomstscenario's?
- Wat is de mogelijkheid om met huidige energie-infrastructuur deze ontwikkelingen te faciliteren, uitgewerkt naar locatie, volume en energiemix?
- Wat zijn de oplossingen en belemmeringen in de huidige kaders om de energie-infrastructuur in te richten op toekomstige ontwikkelingen?
- In hoeverre kan sturing gegeven worden aan de ontwikkelingen van vraag en aanbod en van de energie-infrastructuur?

De reikwijdte van de systeemstudie is langs verschillende lijnen bepaald:
- geografisch: provincie Zeeland, waar nodig in samenhang met aangrenzende regio's waaronder (Oost-) Vlaanderen;
- periode: 2020, 2030 en 2050;
- energiedragers: elektriciteit, gas (methaan en waterstof), warmte en - hoewel geen energiedrager - CO_2;
- vraagsectoren: gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie inclusief datacenters, en landbouw inclusief glastuinbouw;
- aanbodsectoren: duurzame opwek uit zon en wind, warmte, centrales, wkk's, biomassa en groengas;
- infrastructuren: het regionale elektriciteitsnet (midden- en laagspanning), het hoog-spanningsnet (380 en 150 kV), het gasdistributienet, het gastransportnet (hogedruk en middendruk), warmtenetten, CO_2-net, en opslag en conversie.

Aanlanding wind op zee

Zeeland is de eerste regio waar groene stroom van de nieuwe generatie grote windparken op zee aan land zal komen: Borssele I t/m IV en daarna mogelijk IJmuiden-VER Alpha (2 GW), waarover de definitieve besluitvorming eind 2020 wordt verwacht. Vanwege het fluctuerende windaanbod en de daarmee verbonden balanceringsvraagstukken is de gedachte aan conversie en opslag in gasvorm (waterstof, aardgas als alternatief) in samenhang met de industrie een belangrijk uitgangspunt.

Huidig capaciteitstekort

Het energienetwerk in Zeeland heeft nog ruimte momenteel, maar de beschikbare invoedingscapaciteit is niet toereikend om de volledige doelstelling uit de RES te kunnen absorberen. Er is ook een aantal plaatsen in de provincie waar het netwerk nu al tegen zijn grenzen aanloopt. Er moet dus capaciteit op het regionale netwerk worden gecreëerd om alle toekomstige zon- en windparken aan het net te koppelen. Daarnaast is de capaciteit nu ontoereikend om grootschalige elektrificatie van de industrie en de vestiging van nieuwe industrie in Zeeuws-Vlaanderen te faciliteren.

1.3 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 geeft kort weer hoe het onderzoek is opgezet;
- Hoofdstuk 3 beschrijft de uitgangspunten en gedachten die ten grondslag liggen aan de diverse scenario's;
- Hoofdstuk 4 gaat in op vraag en aanbod in de verschillende sectoren volgens deze scenario's;
- Hoofdstuk 5 geeft de resultaten weer van de doorrekeningen van de netbeheerders, oftewel wat de impact van de ontwikkelingen van vraag en aanbod is op de energie-infrastructuur;
- Hoofdstuk 6 bevat een inventarisatie van oplossingen voor knelpunten en belemmeringen in de bestaande kaders, waarna we deze toepassen op de scenario's voor Zeeland;
- Hoofdstuk 7 zet de conclusies en aanbevelingen op een rij;
- ten slotte is er een aantal bijlagen met verantwoording van bronnen en methode.

2 Opzet van het onderzoek

2.1 Organisatie

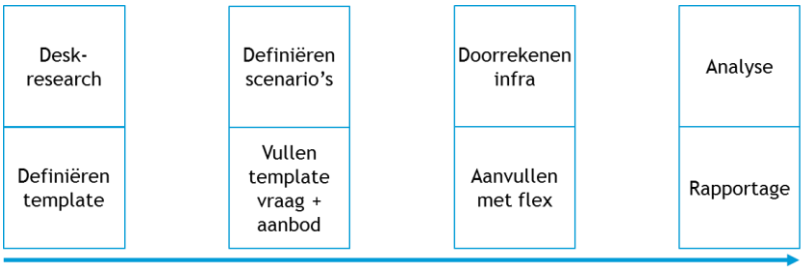
De voortgang van het onderzoek is verlopen in samenspraak met de begeleidingsgroep. Hierin waren vertegenwoordigd:
- provincie Zeeland;
- Vereniging van Zeeuwse Gemeenten;
- Smart Delta Resources;
- North Sea Port;
- Enduris;
- TenneT;
- Gasunie Transport Services.

Een complete lijst van mensen die hebben bijgedragen aan de studie is te vinden in Bijlage B.

2.2 Onderzoeksopzet

Het onderzoek is als volgt opgezet:

Figuur 2 - Opbouw van de studie



Deskresearch

Allereerst is bronmateriaal verzameld, met behulp van de begeleidingsgroep. Beleid, plannen en analyses vanuit de diverse sectoren bevatten relevante informatie aan de hand waarvan de templates uiteindelijk gevuld kunnen worden. De literatuur betreft zowel nationale als specifiek Zeeuwse ontwikkelingen. Ter aanvulling is er contact geweest met mensen met kennis vanuit de sectoren en vanuit Zeeland zelf.

Definitie van het template

Daarnaast is het template gedefinieerd waarin alle data kunnen worden vervat voor vraag en aanbod, op basis waarvan de infrastructuur doorgerekend kan worden. Het vormt de schakel tussen het onderzoekswerk van CE Delft en Royal HaskoningDHV enerzijds en de netbeheerders anderzijds. Het template bevat voor elk scenario een reeks categorieën van vraag aanbod. Van elke is zowel de energie (GJ/jr) als vermogens (MW) opgegeven, en er is een profiel aan gekoppeld, wat de verdeling over de 8.760 uren in het jaar weergeeft.

Definitie van de scenario's

De steekjaren voor de scenario's zijn 2020, 2030 en 2050. 2020 is geënt op de huidige situatie. Voor 2050 zijn vier scenario's opgesteld, gebaseerd op Net voor de Toekomst (CE Delft, 2017a; 2017b), maar waar nodig aangepast aan de Zeeuwse context en nieuwe ontwikkelingen. Voor 2030 zijn eveneens vier scenario's opgesteld, als tussenpunten tussen 2020 en het respectievelijke scenario voor 2050. Daarbij is het uitgangspunt dat ze de scenario's voor 2030 variaties vormen binnen het Klimaatakkoord (2019) en dat de RES van Zeeland (Zeeuws Energieakkoord, 2019a) binnen het bereik valt dat wordt opgespannen door deze vier scenario's.

Net voor de Toekomst bevat vier toekomstbeelden van de energievoorziening in Nederland. Deze geven vier extremen weer. Ze vormen geen antwoord op de vraag welke ontwikkelingen het meest plausibel of wenselijk zijn, maar zetten de kaders neer. Eerder dan op één van deze hoekpunten, zal de werkelijkheid binnen deze kaders uitkomen, met een mix van elementen uit de verschillende scenario's. Er zijn twee redenen om voor 2050 de extremen uit te werken. De eerst reden is praktisch: er zijn nog te veel onzekerheden op dit moment – rondom het toekomstige overheidsbeleid, technologieontwikkeling, kostenontwikkeling, maatschappelijke voorkeuren, enzovoort – om al een concrete voorspelling te doen van de energievoorziening in 2050. De tweede reden is inhoudelijk: het doel van de studie is om toekomstige knelpunten in het energiesysteem in beeld te krijgen en juist in de extreme scenario's zullen deze aan de oppervlakte komen.

Uitwerking vraag en aanbod

Per categorie in vraag en aanbod zijn de scenario's uitgewerkt. Dat wil zeggen dat de templates zijn gevuld met waardes voor de energievraag (GJ/jaar) en het energieaanbod (in termen van opgesteld vermogen (MW) en in termen van energie (GJ/jaar)).

Waar mogelijk is input vanuit de RES gebruikt, met name gebouwde omgeving, mobiliteit en decentrale opwek van elektriciteit. Bij de gebouwde omgeving was de RES ten tijde van de uitwerking van de scenario's (najaar 2019) nog niet afdoende uitgewerkt en is het CEGOIA-rekenmodel gebruikt om een kostenoptimale verdeling van verwarmingstechnieken over buurten uit te rekenen. De randvoorwaarden variëren per scenario. Voor industrie is gewerkt op basis van de studie CUST (Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech; CE Delft, 2019). De scenario's die daarin zijn ontwikkeld, waren met enige aanpassingen hier toepasbaar.

Niet is meegenomen dat de ontwikkeling van de industrie en van het energiesysteem elkaar beïnvloeden, zodat een ander energiesysteem een tweede-orde-effect kan hebben op welke industrie in de regio gevestigd is met welke productievolumes. Vergelijkbare aannames zijn gemaakt voor de gebouwde omgeving en mobiliteit, namelijk dat de behoefte aan verwarming en koeling, aan kracht en licht, en aan reiskilometers constant zijn.

Aanvullen met flex

De data over vraag en aanbod hebben we aangevuld met een analyse van flexmaatregelen. Dit is allereerst gedaan in Zeeuwse context, door naar elektriciteitsoverschotten te kijken binnen de provincie. Vervolgens hebben we dit ook gedaan in grotere, (inter-)nationale context. Hierbij hebben we het rekenmodel PowerFlex gebruikt, waarin we de elektriciteitsmarkt simuleren voor Nederland en Duitsland. Dit geeft een inschatting van jaarduurkrommes van elektriciteitsprijzen, de inzet van centrales, en de potentie voor elektrolysers in de context van de (inter-)nationale elektriciteitsmarkt.

Doorrekening infrastructuur door netbeheerders

Het template vormt de schakel naar de doorrekening van de infrastructuur. Dit is gedaan door de netbeheerders Enduris, TenneT en Gasunie.

Enduris heeft alle stations op alle niveaus, van transformatorstations in de wijken tot de koppelpunten met hoogspanningsnet doorgerekend. Daarnaast heeft Enduris een *loadflow*-berekening gedaan van het 50 kV-net. Laag- en middenspanningskabels zijn niet doorgerekend. Ten slotte heeft Enduris voor enkele karakteristieke gebieden op basis van de data onderzocht wat er nodig is om het gasdistributienet gereed te maken voor waterstof.

TenneT heeft *loadflow*berekeningen gedaan van het hoogspanningsnet, met voor Zeeland vraag en aanbod ingevuld zoals aangeleverd binnen deze systeemstudie. Dit betekent dat voor elk uur van het jaar het gehele Nederlandse net wordt doorgerekend om het aanbod van elektriciteit naar de vraag te transporteren.

Gasunie heeft een vergelijkbare analyse gedaan voor het gasnet. Daarvoor moeten in de analyse de verschillende buisleidingen toegewezen worden aan de verschillende gassen: hoog- en laagcalorisch aardgas, groengas, waterstof en CO_2.

Analyse

De doorrekeningen van de infrastructuur resulteren in een overzicht van knelpunten. Deze hebben we geanalyseerd op locatie, termijn (2020, 2030, 2050), en mate en duur van capaciteitsoverschrijding. Vervolgens hebben we de oorzaken onderzocht door de knelpunten te relateren aan de data over vraag en aanbod. Daarnaast is een inventarisatie gedaan van mogelijke oplossingen en flexmaatregelen, en bij welk type knelpunt deze geschikt zijn. Deze bouwstenen zijn samengebracht: welke oplossingen zijn er voor de knelpunten die uit de doorrekeningen naar voren zijn gekomen? Zo komt in beeld welke keuzes voorliggen of zich in de toekomst voor zullen doen.

Rapportage

Ten slotte zijn alle bevindingen in dit rapport vervat.

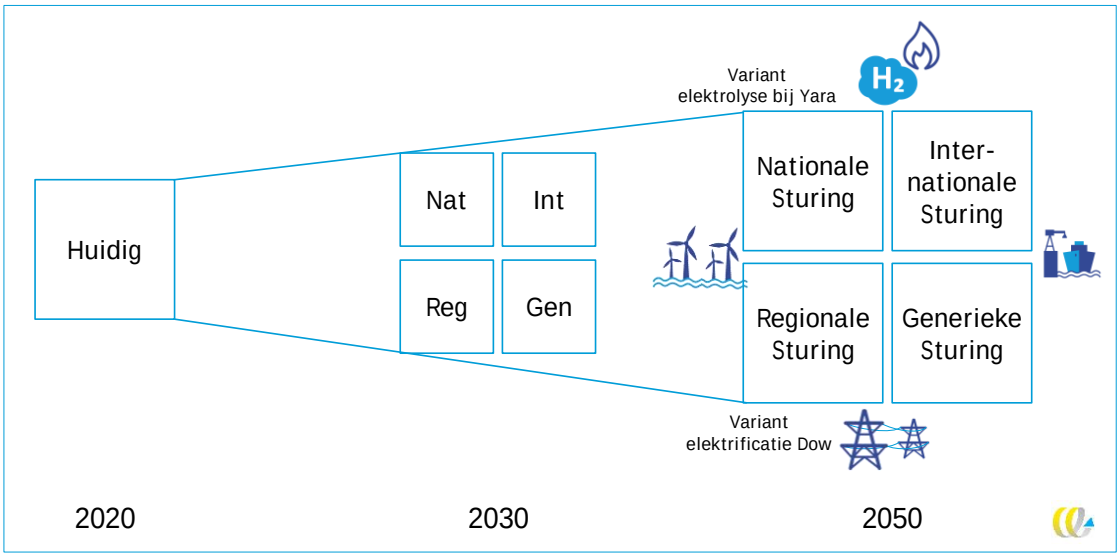
3 De scenario's

Er zijn in totaal negen scenario's uitgewerkt: eenmaal voor 2020, en viermaal voor 2030 en 2050. Het scenario voor 2020 is gebaseerd op de huidige situatie. De vier scenario's voor 2030 en 2050 zijn gebaseerd op 'Net voor de Toekomst'. Hieronder geven we de centrale gedachten weer die het vertrekpunt vormen in deze toekomstbeelden.

We hechten eraan te benadrukken dat de scenario's niet zijn bedoeld als realistische of wenselijke blauwdrukken voor de toekomst, maar juist als uiteenlopende beelden van hoe de toekomst eruit zou kunnen zijn. Hiermee kunnen de netbeheerders in kaart brengen wat er eventueel gevraagd kan worden van de infrastructuur. Een scenario voor 2030 geheel geënt op de RES wordt buiten deze systeemstudie doorgerekend.

Er zijn twee randvoorwaarden die de toekomstbeelden begrenzen. Ten eerste zijn ze coherent: vraag en aanbod zijn in samenhang opgesteld. Ten tweede, de scenario's voldoen aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord van Parijs en hebben als vertrekpunt dus volledige reductie van broeikasgassen.

Figuur 3 - **Opzet van de scenario's**



3.1 Regionale Sturing

Provincies en gemeenten hebben de regie genomen en sturen sterk op regionale energie-systemen, met decentrale energieopwekking en -gebruik. Het tempo van de transitie ligt hoog. Burgers, bedrijven en decentrale overheden nemen veel initiatieven om het regionale potentieel maximaal te benutten.

Voor de gebouwde omgeving zijn extra warmtenetten aangelegd, zodat de warmte van de industrie nuttig aangewend wordt. Er is veel zon-pv, zowel op de daken als in zonneparken, en zowel op individueel initiatief als vanuit collectieven. Ook zijn er windmolenparken op land bij. Omdat burgers betrokken zijn bij de energievoorziening, is er draagvlak voor nieuwe technieken en decentrale oplossingen. CCS kan hier ook onderdeel van zijn.

De maatschappij beseft dat hernieuwbare energie in Nederland schaars is. Veel woningen worden geïsoleerd en gaan over naar all-electric, mobiliteit is grotendeels elektrisch. Er is draagvlak voor het opzetten van een circulaire industrie, waarin recycling belangrijk is. De industrie zet daarnaast in op elektrificatie en waar nodig inzet van groengas. Dit ligt in lijn met het scenario Circulair in CUST. Er is een variant op scenario 2050 Regionale Sturing waarin het kraken bij Dow wordt geëlektrificeerd.

Het scenario Regionale Sturing is niet gelijk aan de RES die nu in Zeeland wordt opgesteld. In Hoofdstuk 4 gaan we in op de uitwerking van de scenario's per sector en daar zal blijken dat Regionale Sturing een meer extreme optie vormt dan het beeld dat uit de RES naar voren komt. Kwalitatief zijn er wel overeenkomsten: gebouwde omgeving deels naar all-electric, elektrificatie van mobiliteit, en uitbreiding van zonne-energie en wind op land.

3.2 Nationale Sturing

Hoe komt het energiesysteem eruit te zien als maatschappij en politiek besluiten dat regionale regie niet de beste oplossing is, maar dat we Nationale Sturing nodig hebben? Burgers en bedrijven staan de rijksoverheid in dit toekomstbeeld toe om de regie te nemen. Het Rijk stuurt op energieautonomie voor Nederland via een mix van centrale en decentrale energiebronnen. CCS is in dit maatschappijbeeld geen bevoorkeurde oplossingsroute, hoewel het ook in dit scenario kan bijdragen aan een klimaatneutrale economie.

Het Rijk organiseert grote projecten, met name op het gebied van wind op zee, inclusief bijvoorbeeld energie-eilanden in de Noordzee. De elektriciteit uit wind op zee vormt de aanjager van de waterstofeconomie.

Er komt vraag naar waterstof vanuit alle sectoren. Woningen worden verwarmd met hybride installaties, deels elektrische warmtepomp en deels ketel op waterstof. In de mobiliteit zijn de voertuigen met brandstofcellen dominant, rijdend op waterstof. Ook in de industrie is er veel vraag naar waterstof, zowel als grondstof als voor de energetische waarde. De overheid dekt bepaalde risico's in deze transitie af met subsidies, innovatiepremies, gerichte juridische sturing of andere instrumenten. Dit toekomstbeeld voor de industrie ligt in lijn met het scenario High Renewable Energy in CUST. Er zijn twee varianten op scenario 2050 Nationale Sturing: met waterstofproductie uit elektrolyse bij Yara en alternatief alle waterstofproductie in Borsele nabij aanlanding van wind op zee.

3.3 Internationale Sturing

De vorige twee toekomstbeelden hebben een sterke focus op de beleidskeuze dat Nederland zelfvoorzienend wil zijn op het gebied van de energievoorziening. Als we dat loslaten, en we baseren onze energievoorziening op een internationaal perspectief met veel import en export, hoe ziet ons energiesysteem er dan uit?

Nederland is in dit toekomstbeeld een sterk internationaal georiënteerd land, ook op het gebied van de eigen energievoorziening. Nederland wil geen CO_2 uitstoten en moet aan zijn internationale verplichtingen voldoen. Burgers accepteren de lasten echter niet om dit binnen het grondgebied van Nederland voor elkaar te krijgen en hebben meer over voor buitenlandse hernieuwbare energie. Import is het resultaat. De Nederlandse economie is wel innovatief en de handelsbalans is gezond. Ook CCS is in dit scenario een geaccepteerde optie. Voor de industrie is dit toekomstbeeld de huidige situatie met biogas in plaats van aardgas. Dit is niet geënt op een van de drie scenario's in de CUST-studie.

3.4 Generieke Sturing

Het laatste scenario heeft een vergelijkbaar vertrekpunt als het vorige: Nederland is internationaal georiënteerd op het gebied van de energievoorziening. Het verschil is dat in dit toekomstbeeld geen sturing wordt aangenomen gericht op bepaalde oplossingen of energiedragers, maar dat met generieke maatregelen de markt zelf oplossingen zoekt.

Een van de manieren waarop zoiets kan ontstaan, is vanuit Europees beleid in de vorm van emissieheffingen of een CO_2-taks. De energietransitie komt organisch tot stand, waarin partijen zelf beslissingen nemen over individuele businesscases waarin CO_2-beprijzing is meegenomen, en de transitie is minder van bovenaf gestuurd op specifieke oplossingen. CCS is in dit scenario een geaccepteerde optie. Waterstof, biomassa en elektriciteit uit hernieuwbare bronnen moeten hiermee concurreren. Dit toekomstbeeld voor de industrie ligt in lijn met het scenario CCS in CUST.

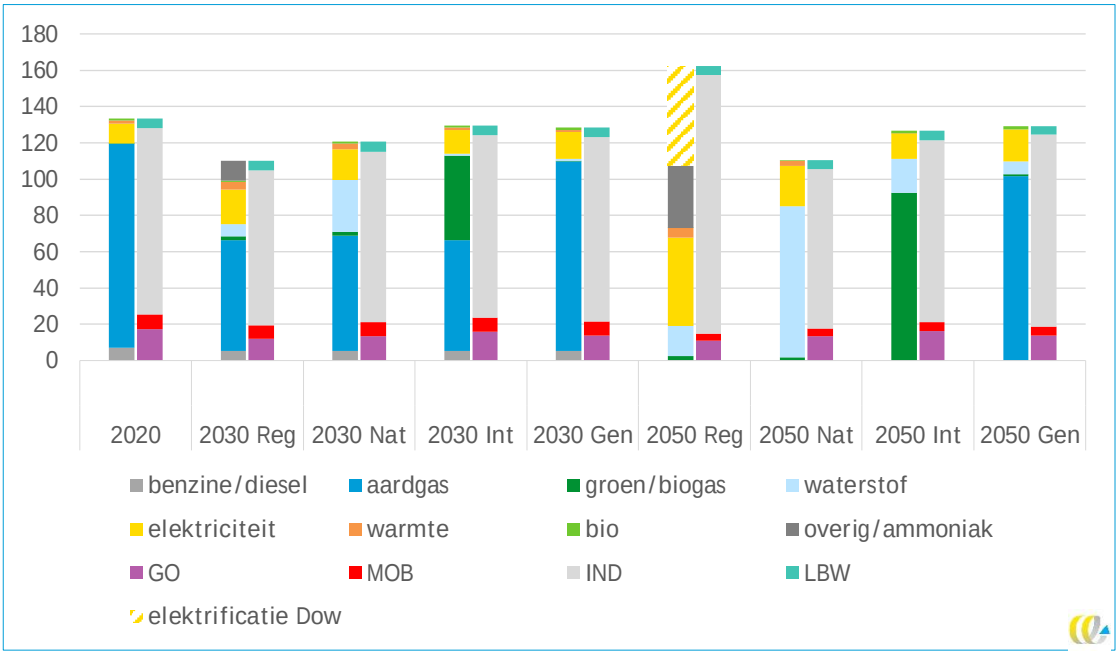
4 Ontwikkeling van vraag en aanbod

4.1 Ontwikkeling van de vraag

De totale vraag is nu circa 136 PJ per jaar. Dit betreft de afname aan de poort, wat aangeleverd moet worden via de energie-infrastructuren.[1] Het is exclusief ruwe olie en grondstofstromen buiten de relevante energiedragers. Niettemin heeft de industrie een veel grotere energievraag dan gebouwde omgeving, mobiliteit en landbouw. Opgesplitst naar energiedrager is aardgas goed voor ruim 80% van de vraag.

Figuur 4 geeft de verschuivingen weer in de diverse scenario's, per sector en per energiedrager. Daarna gaan we per sector dieper in op de ontwikkeling van de vraag.

Figuur 4 - Vraag per sector en per energiedrager (PJ)



Gebouwde omgeving

In 2020 is het grootste deel van de gebouwde omgeving verwarmd met aardgas en een klein deel met een warmtenet. De finale vraag bedraagt ruim 17 PJ. Dit bestaat voor ruim twee derde uit aardgas, bijna een derde uit elektriciteit en een klein gedeelte uit warmte.

[1] Dit is exclusief de vraag voor centrales voor productie voor de elektriciteitsmarkt, maar inclusief de vraag van Elsta ten behoeve van Dow en Trinseo. Dow, Trinseo en Elsta zijn hier als één vraagpartij weergegeven. Wat tussen hen onderling wordt uitgewisseld is wel betrokken in de uitwerking van de scenario's.

In het scenario Regionale Sturing vindt een transitie plaats naar (hybride) warmtepompen en warmtenetten. Bovendien vindt in dit scenario isolatie plaats, gemiddeld naar label C. Dit maakt voor veel woningen de stap naar all-electric met minimaal label B een rendabele combinatie. In 2030 is dan nog circa de helft van de gebouwen afhankelijk van gas voor de verwarming (Zeeuws Energieakkoord, 2019b). De gasvraag is daarmee sterk gedaald, van 12 naar 3 PJ. Naar 2050 neemt dit dan verder af naar circa een derde van de gebouwen en 2 PJ gasvraag, geheel ingevuld met groengas. De elektriciteitsvraag groeit daarbij juist: van 5 nu naar ruim 6 PJ in 2050. En hetzelfde geldt voor de warmtevoorziening via warmtenetten: naar 2 PJ in 2030 en 3 PJ in 2050.

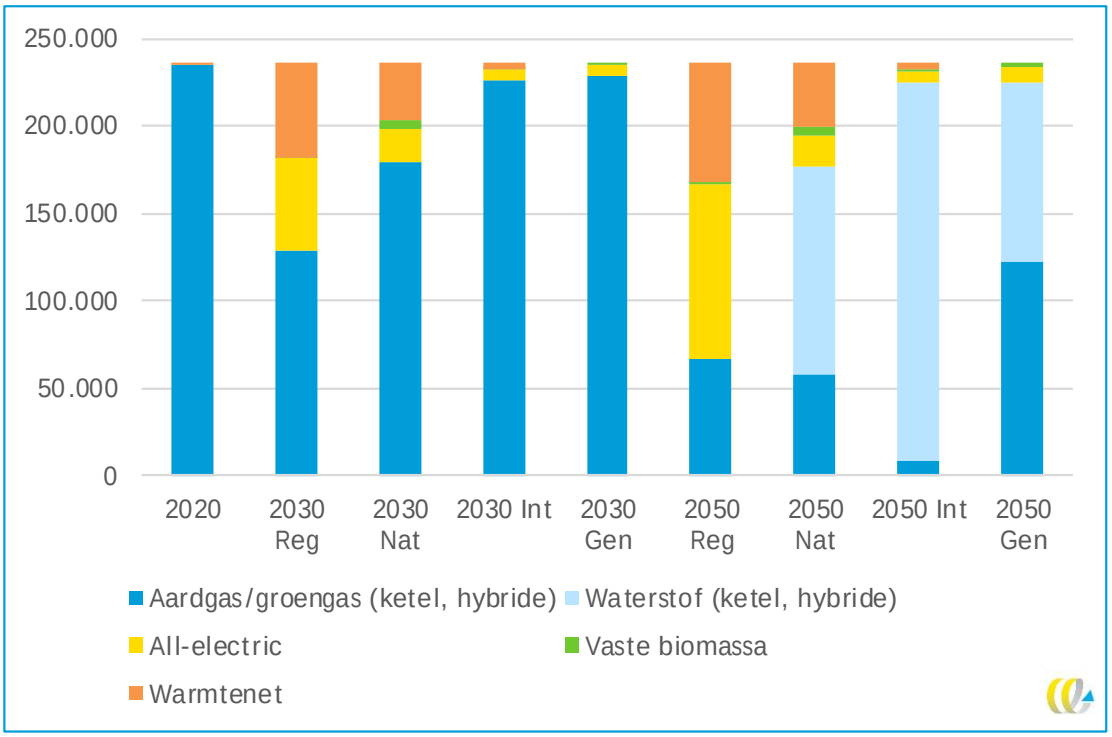
In het scenario Nationale Sturing blijft een groot deel van de gebouwen verwarmd via het gasnet, hetzij met aardgas en later groengas, hetzij met waterstof. Er komen veel hybride installaties met een warmtepomp in combinatie met een ketel. Voor wie zijn ketel moet vervangen, vormt dit ook voor 2030 al een goede optie. Warmtenetten blijven ongeveer gelijk aan de huidige. De gasvraag gaat dus op den duur over naar groengas of waterstof en wordt, door de hybride installaties, bovendien lager. De elektriciteitsvraag groeit daarbij.

In het scenario Internationale Sturing blijven hr-ketels tot 2030 gemeengoed, maar worden voor 2050 veelal vervangen door waterstofketels. De gasvraag wordt dus een waterstof-vraag.

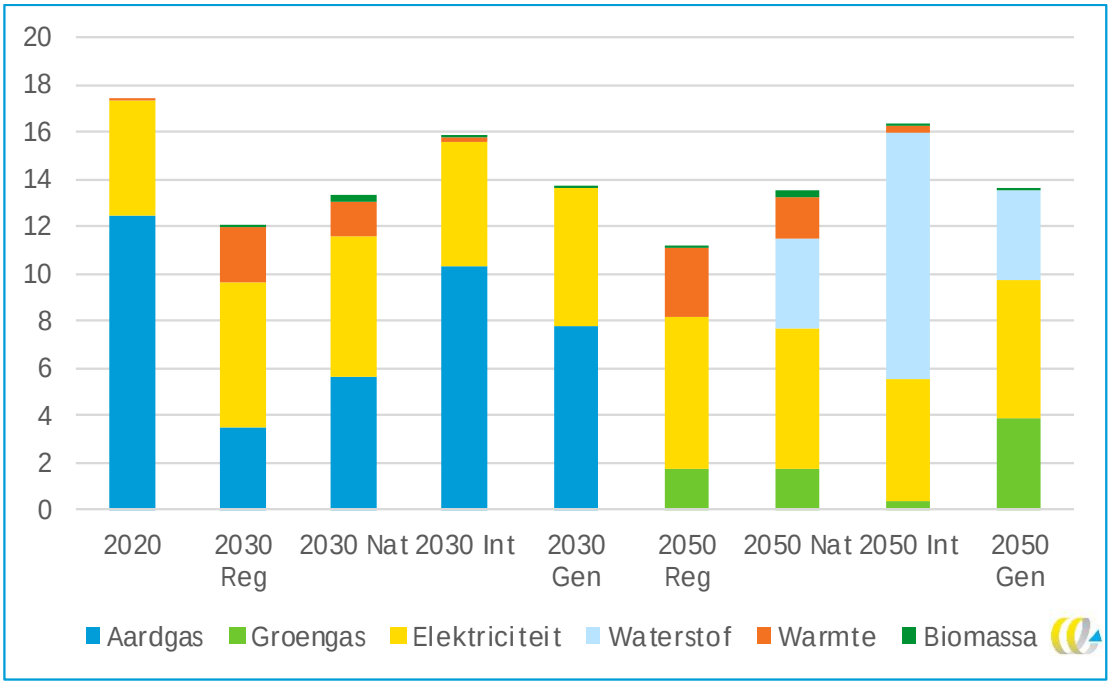
In het scenario Generieke Sturing is er een transitie naar hybride installaties op zowel aardgas/groengas en waterstof. Warmtenetten vormen in deze scenario's geen vooraanstaande optie.

Een geografische weergave van warmtetechniek per buurt is opgenomen in Bijlage D.

Figuur 5 - Aantal woningequivalenten per warmtetechniek



Figuur 6 - Vraag van de gebouwde omgeving **in alle scenario's** (PJ)



Mobiliteit

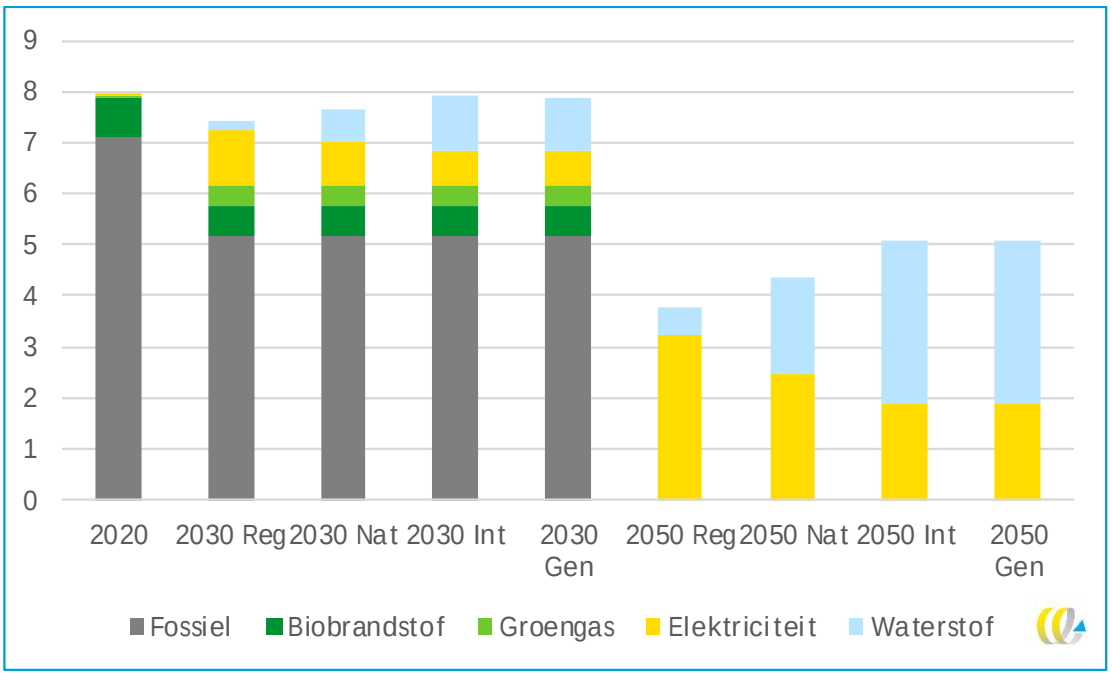
Fossiele brandstoffen zijn nog dominant in 2020, wel vindt bijmenging plaats van biobrandstof. In 2030 zal ongeveer een derde van de transitie zijn voltooid en voor 2050 is voorzien dat alles geheel over is naar een mix van elektrisch rijden en brandstofcellen (waterstof). De verdeling verschilt tussen de scenario's: in Regionale Sturing gaan personenauto's 100% naar elektrisch, in Nationale Sturing 75% elektrisch en 25% waterstof, en in Internationale en Generieke Sturing is de verdeling 50/50%. Omdat elektromotoren efficiënter zijn dan verbrandingsmotoren, met ongeveer een factor drie, is er niet alleen een verandering van energiedrager, maar zal de totale energievraag bovendien sterk afnemen.

De huidige structuren voor aanvoer van brandstoffen zullen niet of nauwelijks meer gebruikt worden. Het laden van elektrische voertuigen gaat via het elektriciteitsnet, en vindt ofwel thuis of op andere particuliere laadplekken plaats, ofwel op publieke laadpalen, ofwel snellaadstations. Waterstof zal aangevoerd worden via het gasnet of over zee en met tankwagens, en kan op tankstations worden getankt.

De RES (Zeeuws Energieakkoord, 2019c) gaat uit van circa 120.000 elektrische personenauto's in 2030. Hierbinnen is er behoefte aan laden in de openbare ruimte voor meer dan 70.000 voertuigen. Ongeveer de helft van deze behoefte komt van toeristen. Met dubbelgebruik van laadpalen zijn dan bijna 10.000 openbare laadpalen nodig in Zeeland (Over Morgen, 2019).

Het scenario 2030 Regionale Sturing ligt hierboven met een piek van 170.000 EV's. 2030 Nationale Sturing komt ongeveer overeen (130.000). De andere twee scenario's liggen onder de RES (90.000).

Figuur 7 - Finale vraag mobiliteit in alle scenario's (PJ)



Industrie

De grootste industrie (top-10) is geanalyseerd per bedrijf, voortbordurend op de analyses in CUST (Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech; CE Delft, 2019). De uitwerking is terug te vinden in Bijlage F.1 - dit is kwalitatief gehouden, vanwege concurrentiegevoelige data. Voor de overige industrie is één set aan scenariokeuzes gemaakt. Ten slotte zijn over nieuw te vestigen bedrijven, vertrekkende bedrijven of andere producten bij bestaande bedrijven geen aannames gedaan, op de komst van een datacenter na. Wel is met North Sea Port en Enduris een inventarisatie gemaakt van de capaciteit die beschikbaar is voor nog te ontwikkelen industriële zones.

In de industrie is er vraag naar energiedragers niet alleen om hun energetische waarde, maar ook als grondstof. Bijvoorbeeld aardgas wordt niet alleen gebruikt om warmte mee te maken, maar ook voor de productie van waterstof. De waterstof wordt gebruikt als grondstof in de productie. De navolgende cijfers bevatten zowel de energetische als de grondstofvraag. Olie is buiten de cijfers gelaten (de vraag van ruwe olie en afzet van geraffineerde producten door Zeeland Refinery en de vraag naar de aardoliefractie van Dow als grondstof).

De top-10 maakt het leeuwendeel uit van de vraag van de industrie: bij elektriciteit gaat het om ongeveer 75% en bij aardgas om 97%. In scenario Regionale Sturing zal de industriële elektriciteitsvraag het sterkst stijgen: naar 15 PJ in 2030 en 28 PJ in 2050. Elektrificatie van de kraakprocessen bij Dow zou met circa 2 GW continue tot jaarlijks circa 60 PJ elektriciteitsvraag leiden, waarvan 55 PJ additioneel in deze variant tegenover het regulier scenario. In het scenario Nationale Sturing groeit elektriciteit tot 16 PJ, in Internationale Sturing tot 10 PJ en in Generieke Sturing tot 13 PJ.

De methaanvraag daalt in de scenario's Regionale Sturing en Nationale Sturing naar vrijwel nul in 2050. In Regionale Sturing wordt dit opgevangen door elektrificatie, circulair grondstofgebruik, waterstof en import van ammoniak. In Nationale Sturing wordt de methaanvraag grotendeels overgenomen door waterstof en in mindere mate door elektrificatie.

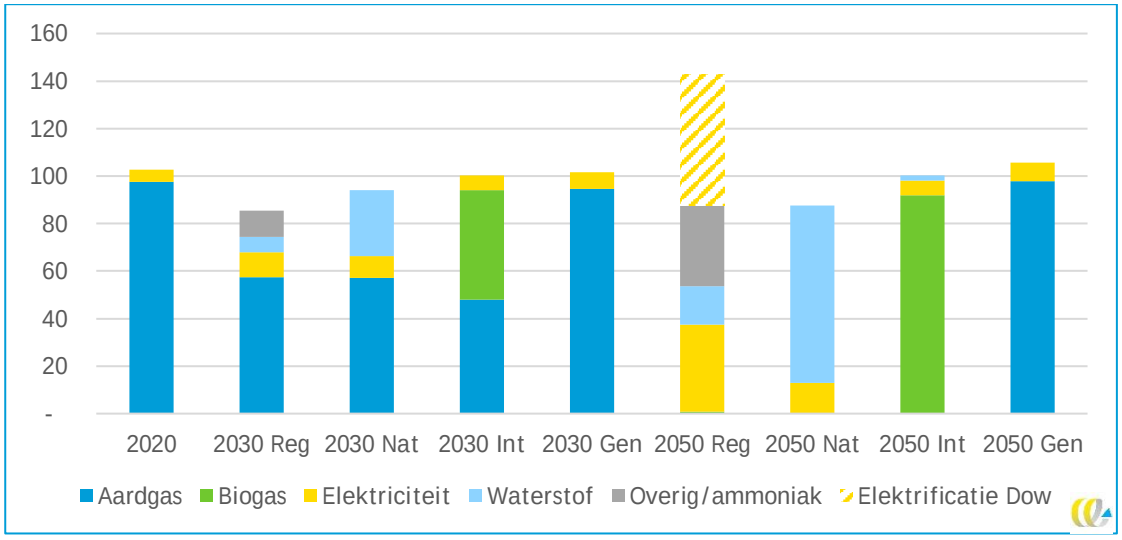
In de twee andere scenario's blijft methaan een belangrijke rol spelen en blijft constant op ongeveer 80 PJ. Het methaan kan biogas zijn (dit is aangenomen bij Internationale Sturing) maar ook aardgas met CCS (dit is aangenomen bij Generieke Sturing).

Voor waterstof maken we onderscheid tussen waterstofafname en -gebruik. De afname is wat er aan de poort geleverd moet worden via een waterstofnet, het gebruik betreft alle waterstof die achter de poort een functie speelt in het proces, veelal als grondstof. Hier zit een verschil tussen, omdat nu waterstof vaak gemaakt wordt op locatie uit aardgas met een SMR, en omdat in de toekomst waterstof gemaakt kan worden met elektrolyse uit elektriciteit. Er is dan wel waterstofgebruik, maar geen -afname.

Het waterstofgebruik bedraagt nu 48 PJ, grotendeels bij Yara en Zeeland Refinery. Hierin is de waterstof in de kraakgassen van Dow aan Elsta niet meegeteld. In scenario Regionale Sturing gaat Yara over op import van ammoniak, en daalt daarom het waterstofgebruik. In scenario Nationale Sturing groeit het waterstofgebruik, omdat hier waterstof ook een rol krijgt in het maken van warmte. In de scenario's Internationale en Generieke Sturing blijft het waterstofgebruik gelijk aan huidig.

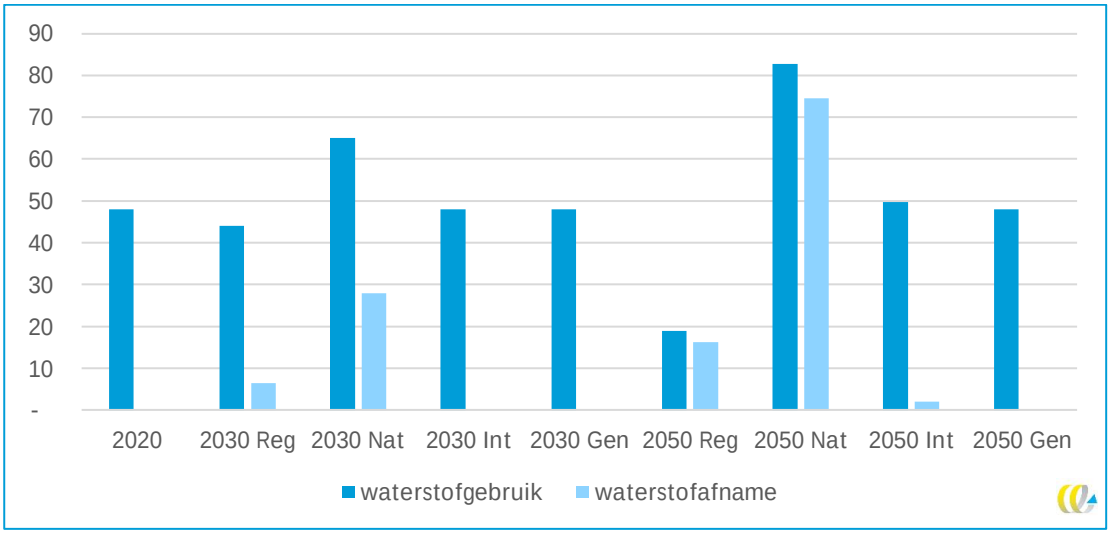
De waterstofafname van de infrastructuur in de industrie is het grootst in scenario Nationale Sturing: 21 PJ in 2030 en 60 PJ in 2050. In Regionale Sturing ontstaat er een waterstofafname tot 16 PJ, in Internationale Sturing tot 2 PJ en in Generieke Sturing is er nauwelijks of geen waterstofafname. Bij minder afname dan gebruik, wordt er op locatie waterstof gemaakt met een SMR of elektrolyser. In de netberekeningen is er een variant van scenario 2050 Nationale Sturing met waterstofproductie met een elektrolyser op locatie bij Yara. Zie hiervoor Paragraaf 5.3. Zie ook Paragraaf 6.3 voor flexibiliteit in de industrie, waaronder het wisselen tussen waterstofafname en elektrolyse.

Figuur 8 - Afname van energiedragers in de industrie in alle scenario's (PJ) *



* In de variant met elektrificatie van Dow is er circa 60 PJ additionele elektriciteitsvraag.

Figuur 9 - Waterstof in de industrie (PJ)



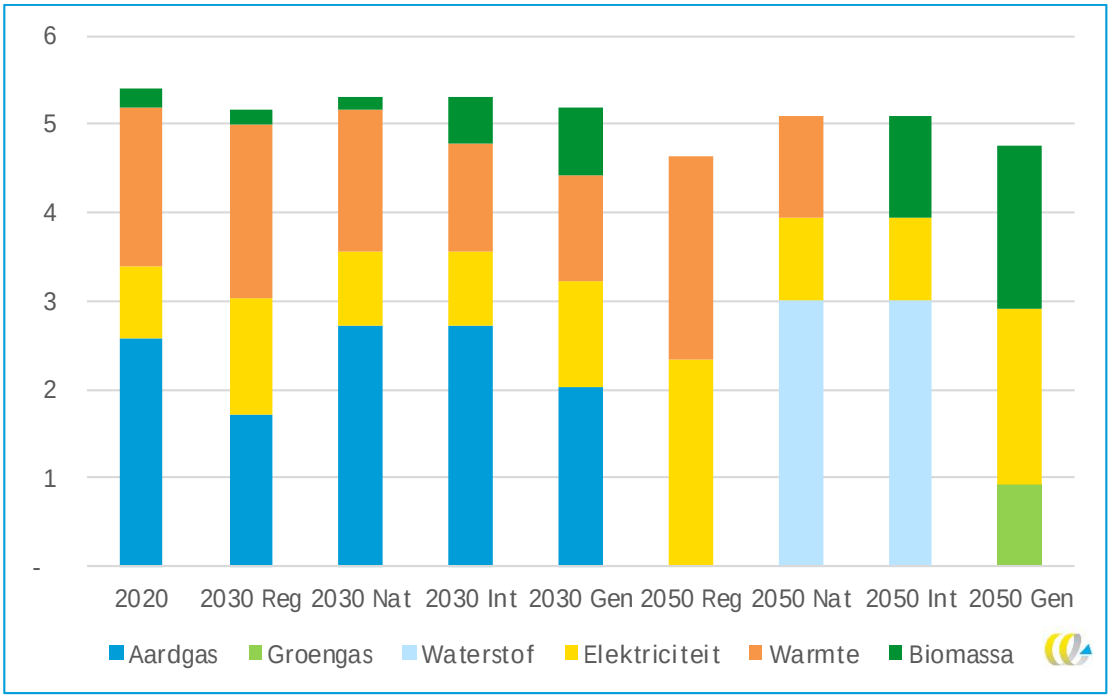
Landbouw en glastuinbouw

De landbouw is, naast de energievraag van de industrie, een kleine sector in Zeeland. De huidige vraag bedraagt 2,5 PJ aan aardgas en bijna 0,8 PJ aan elektriciteit. De gasvraag is vooral voor wkk's in de glastuinbouw om warmte, CO_2 en elektriciteit te produceren. Ten slotte wordt ook warmte afgenomen van de industrie door de glastuinbouw nabij Terneuzen (1,8 PJ) en is er een biomassa-installatie in Sirjansland (0,2 PJ).

Het scenario Regionale Sturing voorziet elektrificatie van de warmtevraag en uitbreiding van de afname van warmte van warmtebronnen in de omgeving. In 2030 is de transitie op weg en in 2050 voltooid. Het scenario Nationale Sturing gaat voor 2050 uit van een transitie naar waterstof en enige uitbreiding van warmte-afname. We gaan ervan uit dat waterstof in 2030 nog niet beschikbaar is, zodat een vraag naar aardgas of eventueel biogas of groengas dan nog dominant is. Hetzelfde geldt voor het scenario Internationale Sturing, waar naast waterstof ook biomassa wordt aangewend. In Generieke Sturing zijn de wkk's gestookt op biogas of groengas, en waar dat niet mogelijk is, gaat men over op biomassa-installaties of elektrificatie.

Vergelijken we alle scenario's, dan zien we dat de elektriciteitsvraag ongeveer constant kan blijven, maar ook kan verdubbelen tot meer dan 2 PJ. De gasvraag kan naar nul, maar ook overgenomen worden door een waterstofvraag van circa 3 PJ.

Figuur 10 - Vraag in landbouw en glastuinbouw in alle scenario's (PJ)



4.2 Ontwikkeling van aanbod

Aardgas en groengas

De gasvraag wordt nu vrijwel geheel ingevuld door import en bedraagt in totaal circa 113 PJ voor de vier vraagsectoren plus circa 30 PJ gasvraag voor de Sloecentrale en Elsta's productie voor het net. In Zeeuws-Vlaanderen is in 2019 een invoeder van groengas in gebruik genomen met een capaciteit van circa 18 miljoen m^3 per jaar, oftewel 0,6 PJ. De potentie voor groengas uit biogeen materiaal uit de regio is ongeveer 3 PJ (CE Delft en Generation.Energy, 2019). In de scenario's 2050 Regionale en Nationale Sturing is er enkel vraag in de gebouwde omgeving en volstaat deze hoeveelheid. In alle andere scenario's zal er import moeten plaatsvinden.

Zon en wind

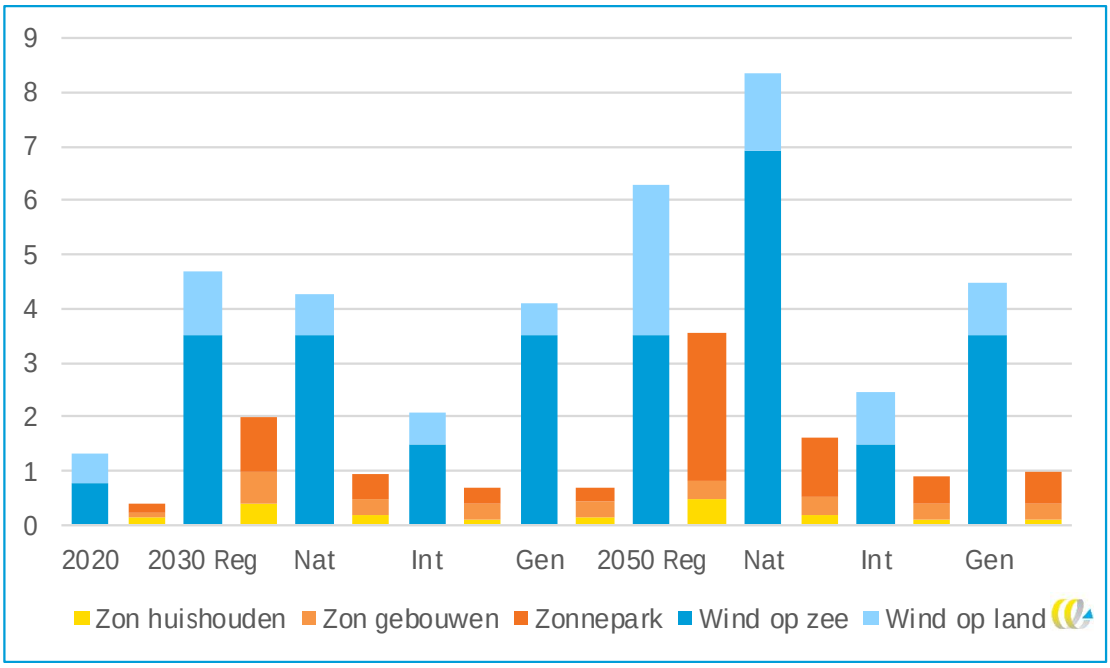
In 2020 zal er circa 400 MW aan zon-pv in Zeeland zijn geïnstalleerd, 575 MW wind op land en 752 MW wind op zee (Borssele I en II). In het scenario Regionale Sturing is vooral groei voorzien van het aanbod op land; in Nationale Sturing wordt wind op zee sterk uitgebreid; en in de twee andere scenario's blijft de groei van zonne- en windenergie beperkt.

Scenario Regionale Sturing is een extreem wat betreft de groei van zonneparken en wind op land. In 2030 zou er dan 0,6 GW aan zon op dak (>15 kW), 1,0 GW aan zonneparken staan en 1,2 GW aan windparken, en in 2050 respectievelijk 0,8 GW, 2,8 GW en 2,8 GW. Hiermee stijgt dit scenario ver uit boven de ambities van de RES, waarin 0,5 GW aan zon op dak (>15 kW), 0,5 GW aan zonneparken en 0,7 GW aan wind op land is voorzien voor 2030.

Scenario Nationale Sturing ligt in deze categorieën in lijn met de RES. Hier komt in dit scenario wel een extreme hoeveelheid van windparken op zee bij: in 2050 6,9 GW, bestaande uit Borssele (1,5 GW), een deel van IJmuiden-VER (het veld Alpha, 2 GW) plus aansluiting van andere, nog onvoorziene windparken (3,4 GW). Dit kan bijvoorbeeld de vorm hebben van aansluiting op een netwerk op de Noordzee, en kan ook aanlanden in de vorm van op zee geproduceerde waterstof.

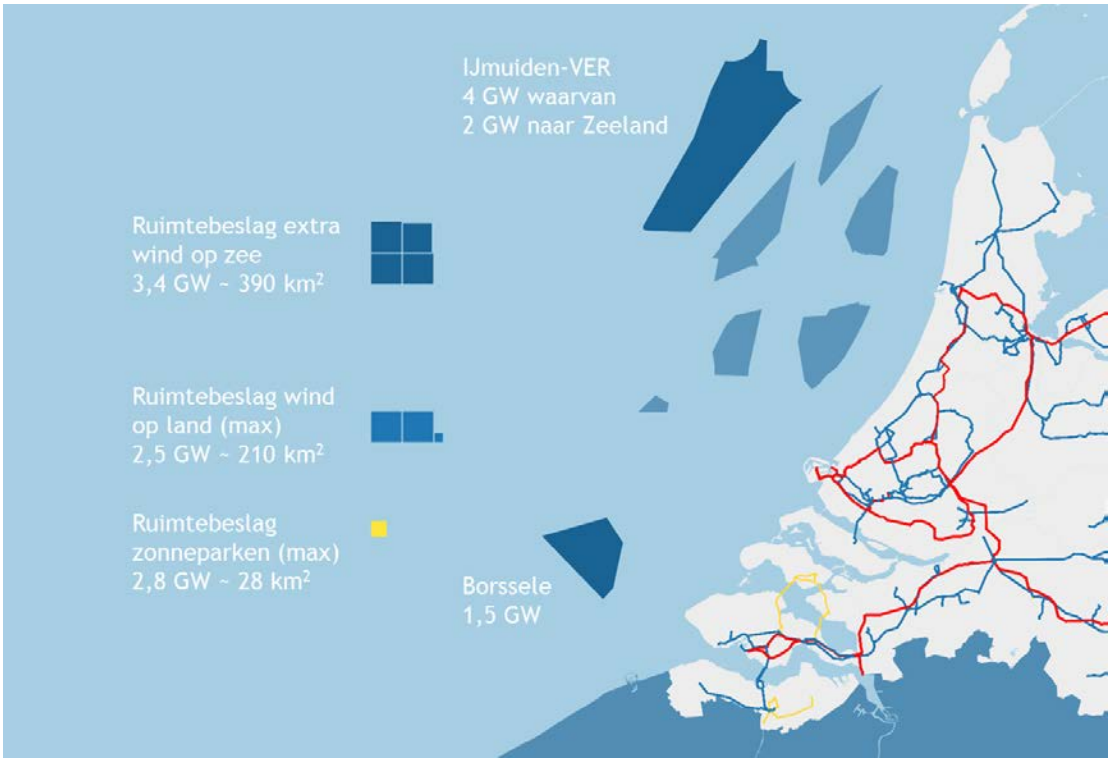
Voor de jaarlijkse elektriciteitsproductie gaan we uit van vollasturen van 4.000 tot 4.500 uur voor wind op zee, 2.500 tot 3.000 uur voor wind op land, en 900 tot 1.000 uur voor zon-pv (vanwege technische vooruitgang kunnen deze oplopen van 2020 naar 2050).
Dit betekent dat, met de vermogens uit de scenario's, in 2020 17 PJ elektriciteit wordt opgewekt met zon en wind, in 2030 tussen 31 en 72 PJ (het maximum in Regionale Sturing), en in 2050 tussen 38 tot maximaal 134 PJ (het maximum in Nationale Sturing).

Figuur 11 - Vermogen wind en zon in alle scenario's (GW, w=wind, z=zon)



Het ruimtebeslag van deze vermogens is ingeschat met kentallen. In 2050 Nationale Sturing is er 3,4 GW additionele wind op zee, bovenop Borssele en IJmuiden-VER, met een ruimtebeslag van circa 390 km^2. Wind op land komt in scenario 2050 Regionale Sturing tot 2,5 GW en dit heeft een ruimtebeslag van circa 210 km^2 (dit is inclusief wat reeds is gerealiseerd). Zonneparken zijn ook het grootst in scenario 2050 Regionale Sturing met 2,8 GW. Dit legt een ruimtebeslag van circa 28 km^2.

Figuur 12 - Ruimtebeslag zon en wind (een vierkantje is maximaal 10x10 km²)



Elektriciteitscentrales en wkk's

Momenteel draaien in Zeeland drie elektriciteitscentrales: de kerncentrale van Borssele (485 MWe), de Sloecentrale op aardgas (870 MWe) en de Elsta op aardgas aangevuld met waterstof (459 MWe). Voor 2030 gaan we ervan uit dat ze alle nog actief zijn.

In het scenario 2030 Regionale Sturing nemen we aan dat de gasprijzen stijgen en de elektriciteitsprijzen, op momenten van groot aanbod vanuit zon en wind, juist laag zijn. Dit betekent dat dan de keuze kan zijn om niet in de elektriciteitsvraag van Dow en Trinseo te voorzien met de productiecapaciteit van Elsta, maar elektriciteit van het net af te nemen.[2]

2050 is echter meer ongewis. In het scenario Regionale Sturing is er veel volatiel elektriciteitsaanbod vanuit zon en wind, en is daarnaast behoefte aan flexibele centrales die als back-up fungeren. In dit scenario draait alleen de Sloecentrale nog, Borssele is gesloten en niet vervangen, en bij Elsta is geen elektriciteitsproductie meer (wel stoomproductie voor Dow).

In scenario Nationale Sturing is er evenmin een opvolger voor Borssele, maar draaien Sloe en Elsta beiden op waterstof. De Sloecentrale fungeert ook vooral als back-up bij het aanbod vanuit wind op zee. Elsta draait voor Dow en Trinseo en is daarnaast back-up voor levering aan het net. Ook in Internationale Sturing is aangehouden dat er opvolgers zijn

[2] In de doorrekening van TenneT is voor scenario 2030 Regionale Sturing aangenomen dat Elsta uit staat. Zo komen eventuele knelpunten door elektriciteitsafname van het net in plaats van inzet van eigen productiecapaciteit in ieder geval naar voren.

voor Sloe en Elsta, maar dan op respectievelijk aardgas met CCS en biogas. Bovendien is in dit scenario voorstelbaar dat er een opvolger is voor Borssele, ook op kernenergie, maar dan gekoppeld aan een elektrolyser en waterstof producerend. In Generieke Sturing kunnen Sloe en Elsta elektriciteit produceren uit aardgas met CCS en kan er in plaats van Borssele een biomassacentrale zijn (in combinatie met bioraffinage bij Zeeland Refinery).

De draaiuren van de centrales hangen af van de energiemarkten. Hiervan is een inschatting gemaakt met een simulatie in PowerFlex. Zie voor toelichting Bijlage I. Voor 2030 is de situatie bekeken net ervoor, waarin de kolencentrales nog actief zijn, maar het Klimaat-akkoord verder wel al is uitgevoerd. De Sloecentrale komt hierin uit op 2.600 vollasturen, en Elsta, wat betreft productie voor de elektriciteitsmarkt en niet voor Dow en Trinseo, op 2.900. Borssele zal circa 8.000 vollasturen draaien, want een dergelijke kerncentrale is niet of nauwelijks flexibel en werkt dus vrijwel volcontinu.

Voor 2050 zijn Regionale Sturing en Internationale Sturing gemodelleerd. In geval van Regionale Sturing blijkt er grote behoefte aan regelbare productiecapaciteit. Sloe en Elsta kunnen circa 1.100 vollasturen draaien. Daarnaast is er behoefte aan productievermogen voor een zeer beperkt aantal uren waarop het aanbod van zon en wind zeer klein is. In Nederland gaat het om 30 GW met minder dan 250 vollasturen op jaarbasis. Deze behoefte kan een reden vormen om, anders dan in eerste instantie voor dit scenario voorzien, een nieuwe centrale te bouwen op de locatie van de huidige Borsselecentrale - niet een kerncentrale, maar juist een goed regelbaar type.

In het scenario 2050 Internationale Sturing, met weinig volatiel aanbod en een grote waterstofvraag, is er meer behoefte aan centrales. Er zijn centrales die 4.650 vollasturen draaien voor elektriciteitsproductie aan het net. Dan gaat het met name om wkk's of brandstofcellen die toch al voor warmteproductie actief zijn. Dit geldt ook voor de elektriciteitsproductie van Elsta voor het net. En er zijn meer flexibele centrales, zoals Sloe, die circa 1.400 vollasturen zullen draaien in deze markt.

Waterstof

De waterstofvraag kan groeien tot 83 PJ in scenario 2050 Nationale Sturing. De waterstof kan geïmporteerd worden en na aanvoer in de havens verder getransporteerd via buizen die hiervoor mogelijk vrijgemaakt kunnen worden in het gasnet. Een andere optie is dat er elektrolyse plaatsvindt. Elektrolysers kunnen aangesloten worden op het net (380 kV) of gekoppeld worden aan windparken op zee, zowel op zee of bij aanlanding van de elektriciteit. Een combinatie van import en lokale productie is het meest waarschijnlijk.

Waterstofproductie zal moeten plaatsvinden in samenhang met zowel de lokale vraag naar waterstof en zuurstof, als de nationale elektriciteitsmarkt, alsook transportcapaciteit van elektriciteitsnet en gasnet. Potentiële locaties - Borsele, Zeeuws-Vlaanderen en eventueel Rodenhuize (BE) - worden vergeleken in de 1 GW studie binnen Smart Delta Resources. Elektrolysers kunnen tot op zekere hoogte een balancerende functie hebben, draaiend op overschot aan aanbod vanwege wind op zee. Evengoed kunnen ze elektriciteit vragen van het net op windstille momenten.

Hieronder gaan we in op de vraag: wat is de potentie voor elektrolysers met elektriciteitsoverschotten als uitgangspunt? Hierbij is het onderscheid te maken tussen lokale overschotten en nationale of internationale overschotten. De elektriciteitsmarkt is uiteindelijk leidend en die is nationaal of zelfs internationaal. In deze context blijkt de

potentie kleiner dan wanneer we overschotten beschouwen in Zeeuwse context in isolatie, enkel op basis van regionale vraag en niet-regelbaar aanbod.

Met PowerFlex zijn drie simulaties gedaan van de elektriciteitsmarkt voor Nederland en Duitsland. De verhoudingen tussen vraag en aanbod van niet-regelbaar vermogen liggen daar anders dan in Zeeland. Dit impliceert een andere *residual load* (saldo van vraag min aanbod) en dus een andere potentie voor flexibiliteitsopties om de overschotten op te vangen. De potentie in de context van de elektriciteitsmarkt blijkt veelal kleiner dan enkel in de Zeeuwse context. Op de internationale elektriciteitsmarkt zijn er minder overschotten en deze fluctueren meer ('piekerig'), waardoor minder vollasturen gehaald kunnen worden. Onderstaande tabel vat de resultaten samen. Zie ook Bijlage H.6 voor de analyse in Zeeuwse context in isolatie en Bijlage I voor de analyse van de elektriciteitsmarkt.

Gegeven de aanlanding van wind op zee in Borsele en de waterstofvraag in de Zeeuwse industrie, is er een sterke case voor elektrolyse in Zeeland. Dicht bij elkaar zou het elektriciteitsnet er bovendien beperkt mee worden belast. Wel dient de businesscase beschouwd te worden in het licht van de elektriciteitsmarkt. Dat betekent dat transportcapaciteit nodig is, om stroom die aanlandt in Zeeland verder het land in te brengen, en mogelijk ook andersom om stroom van elders te brengen naar de elektrolysers in Zeeland op momenten met weinig aanbod vanuit wind op zee.

Tabel 1 - Potentie voor elektrolyse op basis van elektriciteitsoverschotten

	2030 Zeeuwse context	2030 context elektriciteitsmarkt	2050 Zeeuwse context	2050 context elektriciteitsmarkt
Wind op zee (GW)	1,5-3,5		1,5-6,9	
Overschotten naar elektrolysers	44-83%	64%	35-74%	58-65%
Elektrolysers (GWe)	0,4-2,1	0,5	0,5-3,5	0,3-1,4
Vollasturen (u/jr)	5.000	1.200	5.000	1.300-3.700
Waterstofproductie (PJ)	6-31	2	7-51	1-15
Waterstofafname (PJ)	1-29		7-83	

4.3 Netbalans

In het hoofdstuk hierna gaan we in op de impact die de scenario's hebben op de infrastructuur. Voor de vertaling van vraag en aanbod naar infrastructuur is het jaartotaal onvoldoende, maar moeten we kijken naar de uurlijkse waarden. Oftewel, in plaats van energie (PJ/jaar) gaan we kijken naar vermogen (MW voor elektriciteit en m^3/uur voor gas).

De vermogens variëren gedurende het jaar volgens verschillende profielen. Dat geeft inzicht in de balans of onbalans tussen vraag en aanbod op uurbasis. Daarbij beschouwen we de dagbalans, oftewel dag versus nacht, en seizoensbalans, oftewel winter versus zomer. Eerst bespreken we de provincie als geheel, daarna zoomen we in op een enkele gemeente. Ten slotte bekijken we de import, export en opslag van gas en waterstof.

Dagbalans op het elektriciteitsnet

De verschillende sectoren hebben elk hun eigen profiel. Binnen de dag piekt de vraag vanuit de gebouwde omgeving 's ochtends, daalt dan licht en piekt nog eens tegen de avond. Warmtepompen zullen een meer uitgespreid patroon laten zien. De elektriciteitsvraag voor

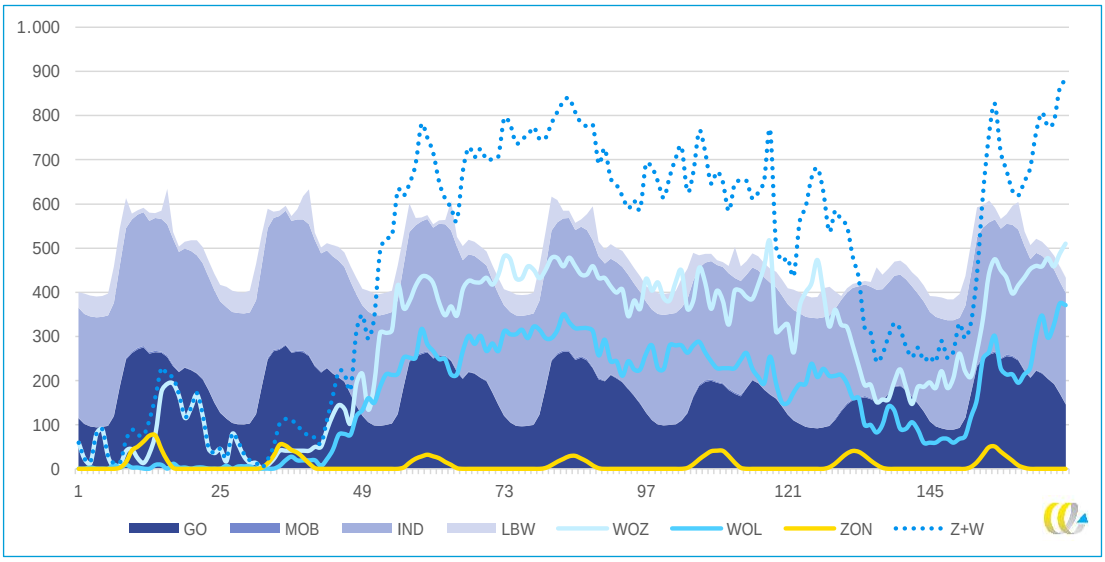
mobiliteit heeft een vergelijkbaar patroon, wat met slim laden echter meer verspreid kan plaatsvinden en in afstemming op het elektriciteitsaanbod. De industrie opereert grotendeels volcontinu, deels is er een dagpatroon. Zonne-energie piekt uiteraard midden op de dag en is 's nachts nul. Windenergie heeft geen patroon wat zich herhaalt over de dagen. Het laat zich op dagbasis wel redelijk voorspellen.

In 2020 is het aanbod van elektriciteit uit de volatiele bronnen zon en wind zelden groter dan de vraag. In 2030 ligt dat al anders, en in de scenario's Regionale en Nationale Sturing voor 2050 zijn er vaak grote overschotten. We bekijken twee extremen. Allereerst een week in februari 2020: er is grote vraag in de gebouwde omgeving en de industrie, zon stelt hier weinig tegenover, het aanbod van windparken kan zich soms wel meten met de vraag. Opgeteld zijn zon en wind ongeveer de helft van deze week dekkend voor de vraag, maar de andere helft is er een sterk tekort wat met centrales ingevuld moet worden. Dan een week in augustus 2050 in scenario Nationale Sturing. Er is relatief weinig vraag en het gegroeide aanbod van zonne-energie kan de elektriciteitsvraag overdag soms al dekken. Daarbij komt dan nog het aanbod van wind op land en vooral wind op zee. Er is een groot overschot.

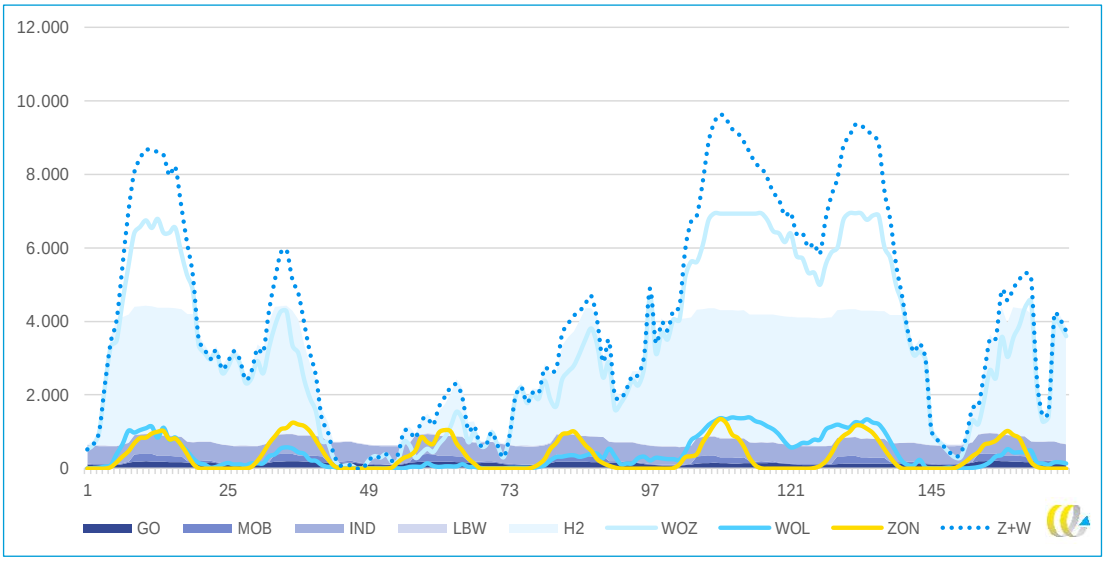
Elektrolysers kunnen hier in ieder geval een deel van afnemen. Ook is er flexibiliteit mogelijk in de industrie, waardoor de elektriciteitsvraag groter of kleiner kan zijn, al naar gelang de markten en eventueel congestie. Als we kijken naar de ordegrootte, dan zien we dat deze flexibiliteit van de ordegrootte is enkele honderden megawatts, terwijl de overschotten vele malen groter kunnen zijn. (Zie ook Paragraaf 6.3 over flexibiliteit.)

Op momenten met een tekort in plaats van een overschot, zal elektriciteitsproductie in centrales moeten plaatsvinden. Dit wijst er bovendien op dat Zeeland in de netberekeningen niet in isolatie kan worden beschouwd, maar dat er altijd interactie is met de rest van Nederland.

Figuur 13 - Vraag en aanbod uit zon en wind op uurbasis in scenario 2020 week 6 (MW)



Figuur 14 - Vraag en aanbod uit zon en wind op uurbasis in scenario 2050 Nationale Sturing week 31 (MW)



Seizoensbalans op het elektriciteitsnet

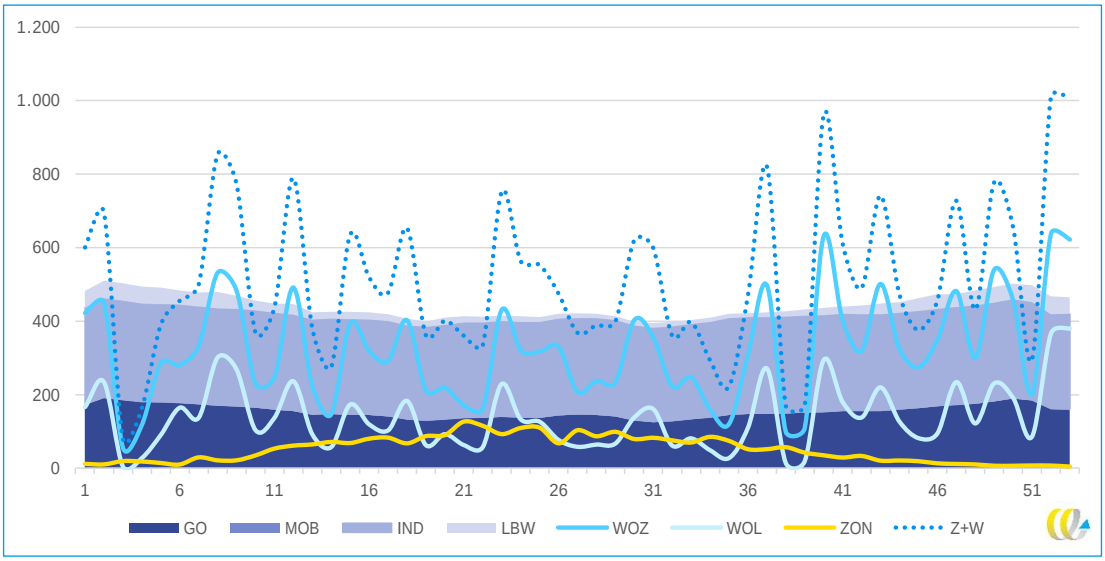
Wederom, elke categorie heeft haar eigen patroon gedurende het jaar. In de gebouwde omgeving is er uiteraard vraag naar warmte vooral in de koude wintermaanden, mogelijk komt 's zomers een significante vraag naar koeling op, en de vraag naar kracht en licht is iets sterker in de winter dan in de zomer. Als meer warmtepompen worden gebruikt voor verwarming, dan wordt dit een dominante factor in de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving, met het zwaartepunt in de winter. Mobiliteit is min of meer constant over het jaar, en industrie evenzo, hoewel enkele bedrijven werken met campagnes (agrarisch of agrobusiness).

Voor zon-pv geldt uiteraard dat de wintermaanden minder opleveren vergeleken met de periode mei tot en met augustus. Wind fluctueert het hele jaar, hoewel in de zomer-maanden vaker lagere windsnelheden voorkomen.

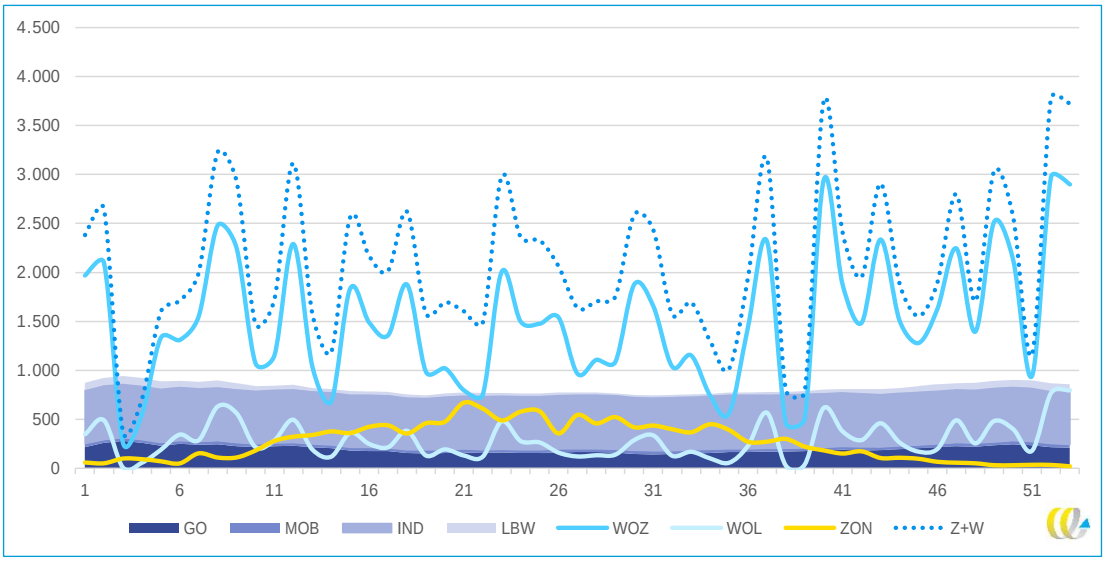
We zetten de weekgemiddelden op een rij, zie ook Figuur 15,
Figuur 16 en Figuur 17. In 2020 is de vraag soms groter en soms kleiner dan het volatiele aanbod. De vraagzijde is behoorlijk constant, vanwege de relatief grote continue vraag in de industrie. In 2030 en 2050 kan het volatiele aanbod een groot deel van het jaar voldoen aan de vraag. Er kunnen echter weken blijven voorkomen waarin dit niet het geval is. Als er structurele overschotten zijn, dan is er ruimte voor elektrolysers in connectie met wind op zee.

De grafieken tonen ook de potentiële groei van de elektriciteitsvraag. Waar de huidige totale vraag gemiddeld 440 MW is met pieken tot 690 MW, daar kan dit in 2030 groeien tot 820 MW gemiddeld en pieken tot 1.200 MW, en in 2050 tot 1.500 MW gemiddeld en pieken tot 2.100 MW. Deze cijfers komen uit de scenario's Regionale Sturing, met de grootste elektriciteitsvraag. In de andere scenario's is er minder elektrificatie, met de laagste waarden in scenario Internationale Sturing. Die heeft in 2050 gemiddeld 560 MW elektriciteitsvraag met pieken tot 900 MW.

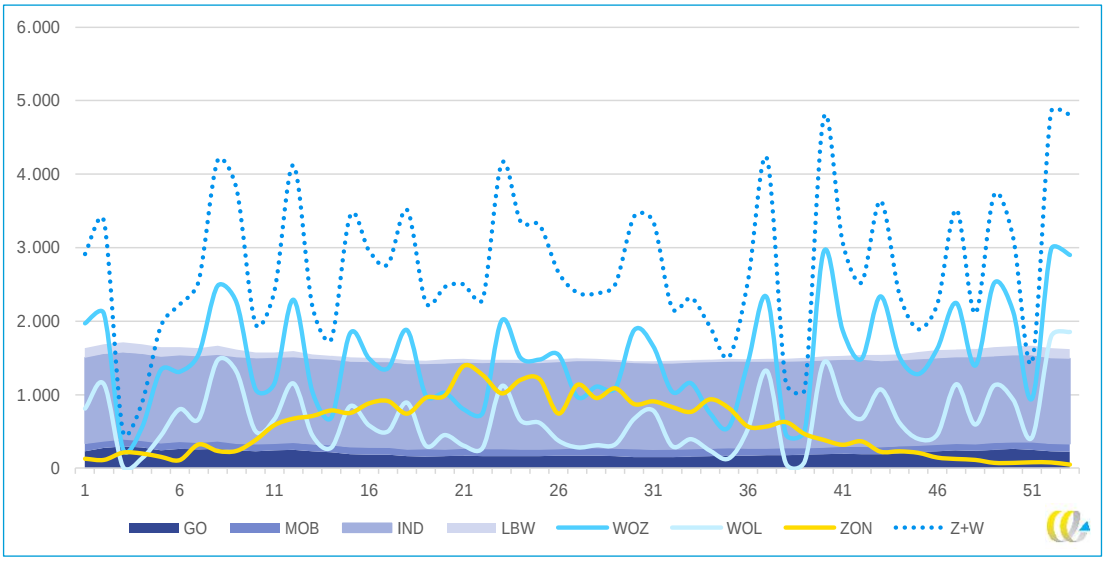
Figuur 15 - Weekgemiddelden van vraag en aanbod van zon en wind in scenario 2020 (MW)



Figuur 16 - Weekgemiddelden van vraag en aanbod van zon en wind in scenario 2030 Regionale Sturing (MW)



Figuur 17 - Weekgemiddelden van vraag en aanbod van zon en wind in scenario 2050 Regionale Sturing (MW)



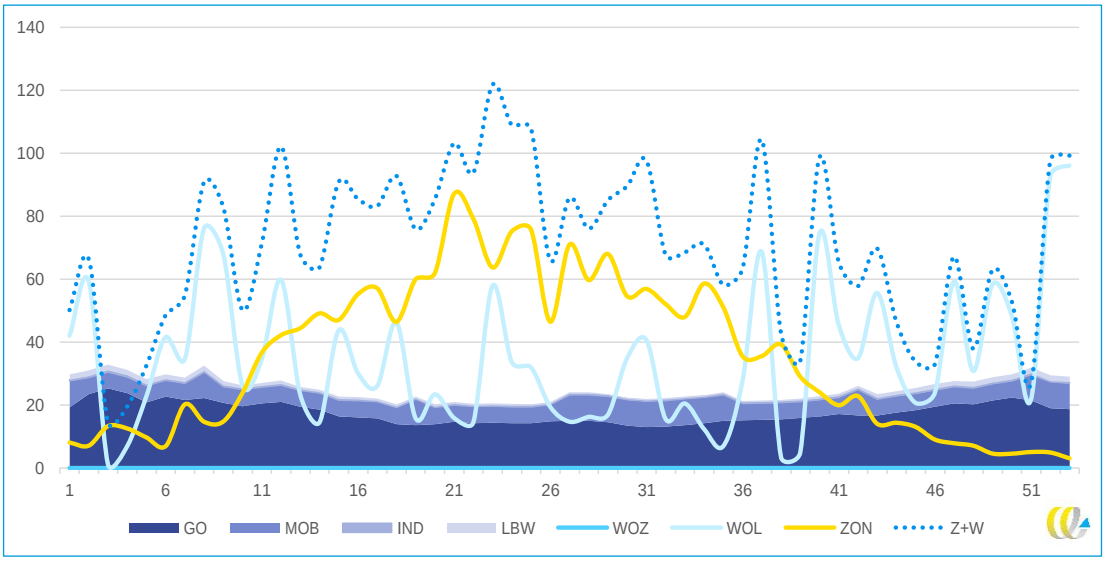
Inzoomen op een gemeente

Niet elke locatie in Zeeland geeft hetzelfde beeld. De grote industrie is een dominante factor in de provincie, maar is sterk geconcentreerd rond Terneuzen, Vlissingen, Borsele en, in mindere mate, Middelburg. In andere gemeenten is de industriële vraag een kleinere factor. We zoomen daarom in op een enkele gemeente en nemen als voorbeeld gemeente Veere.

De elektriciteitsvraag is daar nu gemiddeld circa 10 MW, in 2030 Regionale Sturing kan dit groeien naar circa 20 MW, en in 2050 Regionale Sturing naar 25 MW, met pieken tot boven circa 50 MW. De groei komt door elektrificatie van verwarming, bovendien komt het laden van elektrische voertuigen komt op als een significante factor. Bij huidige laadprofielen, zonder slim laden, zou dat alleen al een piekvraag geven van 20 MW in 2050. Kortom, lokaal zijn elektrificatie van gebouwde omgeving en mobiliteit factoren van belang. Deze werken door op het laag- en middenspanningsnet.

Behalve de vraag kan ook het lokale aanbod sterk groeien. Het is wederom het scenario Regionale Sturing wat hierin de extremen opzoekt, met maximale benutting van het potentieel voor zon-pv en wind op land. Tegenover de grote groei van de vraag staat derhalve een nog grotere groei van aanbod. Er zijn lokaal grote elektriciteitsoverschotten. Deze kunnen bijvoorbeeld door de industrie elders in de provincie worden opgenomen, wat echter wel transport vergt en dus capaciteit op de netten vereist.

Figuur 18 - Weekgemiddelden van vraag en aanbod van zon en wind in gemeente Veere in scenario 2050 Regionale Sturing (MW) *

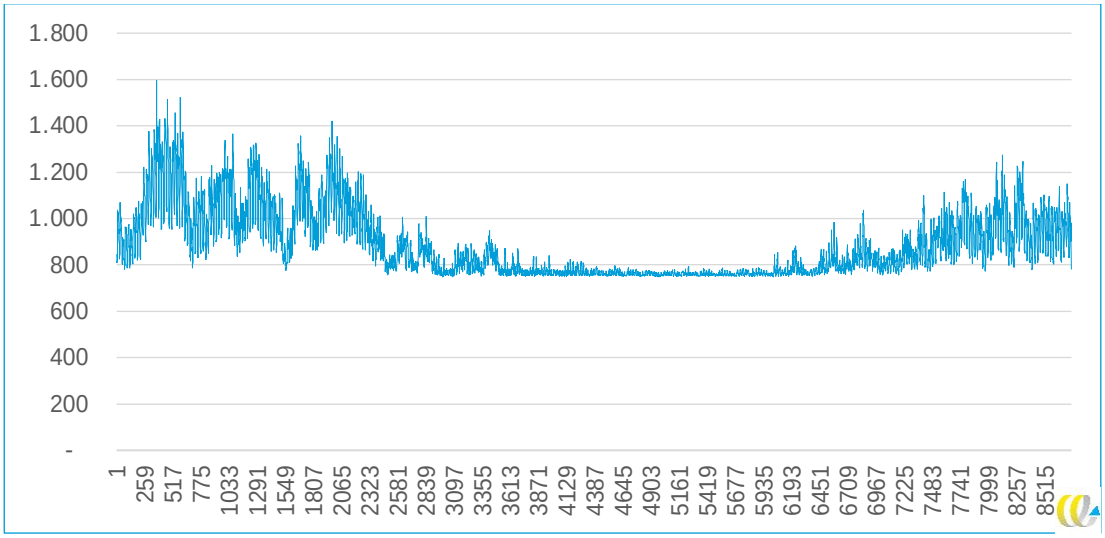


* Deze waarden voor gemeente Veere zijn uitkomsten van een scenario voor 2050 en reflecteren niet bestaand beleid of plannen.

Import, export en opslag van gas en waterstof

De gasvraag, bestaande methaan en waterstof samen, daalt of blijft ongeveer gelijk. Dit geldt in alle scenario's, en niet alleen op jaarbasis, maar ook kijkend naar uurwaarden. De gasvraag dient zowel om in grondstoffen te voorzien in de industrie als voor verwarming in de gebouwde omgeving. De industrie vormt een stabiele vraag en uiteraard zorgt verwarming voor pieken hier bovenop in de winterperiode. Er is lokaal invoeding van groengas en de beschikbaarheid van biomassa geeft een potentieel van 2,6 PJ. Dit kan voldoende zijn voor resterende methaanvraag, namelijk in scenario's 2050 Regionale en Nationale Sturing. Het kan ook een marginale bijdrage zijn, aangezien in 2050 Generieke Sturing de methaanvraag nog altijd circa 100 PJ bedraagt. Er zal dan import moeten plaatsvinden.

Figuur 19 - Gasvraag in scenario 2020 op alle uren van het jaar (GJ/u) *



* Afname van aardgas door eindgebruikers in gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie of landbouw. Dit is exclusief gasvraag voor elektriciteitsproductie voor het net van de Sloecentrale en Elsta. Hun vraag is afhankelijk van hun inzet en daarmee van de elektriciteitsmarkt.

Van waterstof kan er binnen Zeeland meer aanbod zijn, omdat er elektrolyse kan plaatsvinden, met name gekoppeld aan wind op zee. Vraag en aanbod zijn echter niet per se in balans, noch op jaarbasis noch op uurbasis. Zoals uit Paragraaf 4.2 blijkt, kan er op jaarbasis netto export plaatsvinden, maar kan het ook zijn dat netto import nodig is. Als we kijken op uurbasis, dan zien we de productie fluctueren met de wind, terwijl de vraag in de industrie veelal volcontinu is en eventuele waterstofvraag voor verwarming seizoensgebonden is. Dit kan worden opgevangen met flexibiliteit in de industrie (zie hiervoor Paragraaf 6.3) of met opslag van waterstof. Dat kan bijvoorbeeld in lege gasvelden op de Noordzee of zoutcavernes in Groningen.

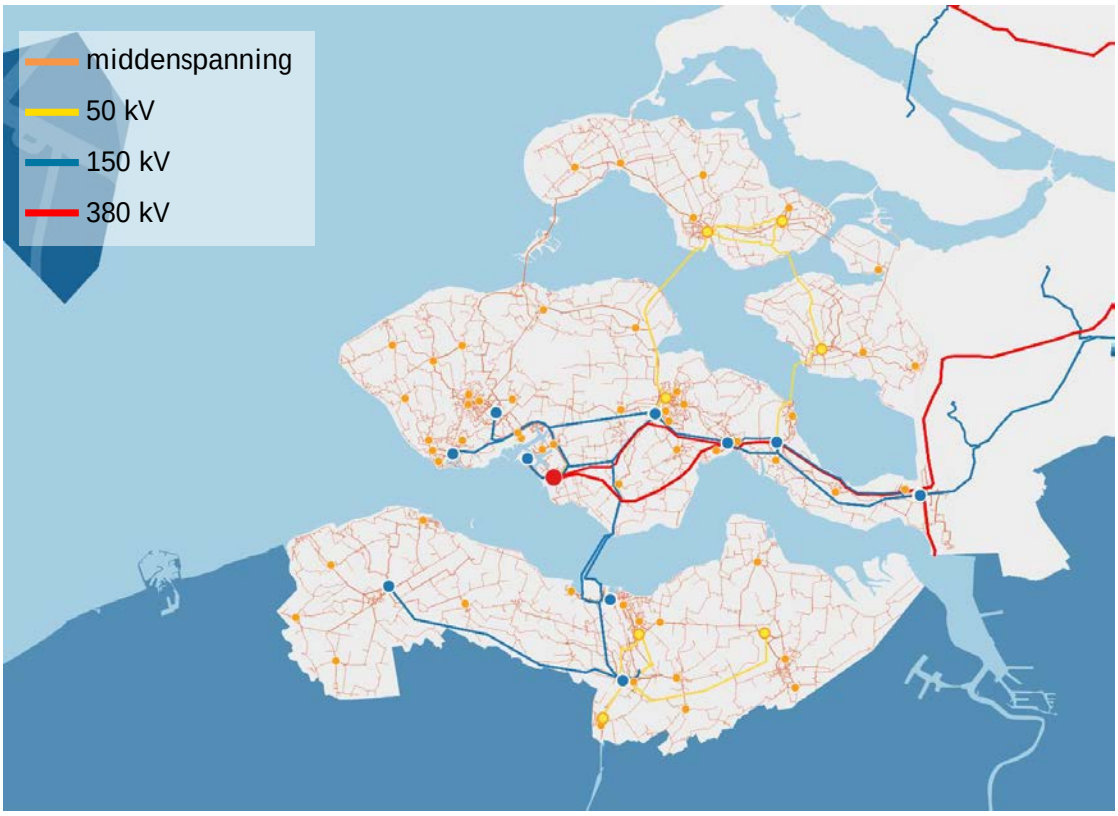
Op basis van regionaal vraag en aanbod, met de aannames dat tekorten direct kunnen worden aangevuld met import en dat structurele overschotten worden geëxporteerd, is een inschatting gemaakt van de behoefte aan waterstofopslag. In sommige scenario's is er meer aanbod dan vraag: er vindt export plaats en de behoefte aan opslag is nihil. In scenario 2050 Nationale Sturing is er meer vraag dan aanbod. Er moet dan import plaatsvinden, en de behoefte aan opslag in de regio is eveneens nihil. In scenario 2030 Regionale Sturing zijn vraag en aanbod beide substantieel en ongeveer in evenwicht. Er is dan tot circa 2 PJ of 0,2 bcm opslag nodig.[3]

[3] Dit is zogenaamd werkgasvolume voor waterstof, waar wordt gerekend met 10,8 MJ/m^3. Dit geldt bij kamertemperatuur en standaarddruk (T = 273 K en p = 1 bar). Er is nog kussengas nodig, wat extra volume vraagt, maar door hogedruk is het effectieve volume dan weer een stuk lager (TNO; EBN, 2018).

5 Infrastructuur knelpunten

5.1 Topologie van het elektriciteitsnet

Figuur 20 - Topologie van het elektriciteitsnet in Zeeland



Het elektriciteitsnet is als volgt opgebouwd, zie ook Figuur 20. Allereerst is er het hoog-spanningsnet (380 kV en 150 kV) beheerd door TenneT. Er loopt een 380 kV-verbinding vanuit het 380 kV-station Borssele over Zuid-Beveland naar Rilland, waar verdere lijnen lopen naar Noord-Brabant (Geertruidenberg) en België (Zandvliet). Er wordt een nieuwe 380 kV-verbinding gerealiseerd van Borssele naar Rilland (project Zuidwest 380kV West). De 380 kV-verbinding van Borssele naar Willem-Annapolder wordt uitgevoerd met vier nieuwe 380 kV-circuits en zal de bestaande 380 kV-verbinding vervangen. Het 380 kV-deel van Willem-Annapolder naar Rilland wordt uitgevoerd met twee nieuwe 380 kV-circuits en twee nieuwe 150kV-circuits en zal de bestaande 150 kV-verbinding Willem-Annapolder - Rilland vervangen. De bestaande 380 kV-verbinding tussen Willem Anna Polder en Rilland blijft gehandhaafd.

150 kV-verbindingen lopen ook over Zuid-Beveland van Rilland tot Middelburg en Vlissingen, Bovendien zijn er twee kabels onder de Westerschelde. Aan de kant van Zeeuws-Vlaanderen is Elsta aangesloten op het 150 kV-net, wat doorloopt naar Westdorpe, met een tak naar

Oostburg. Extra kabels op 150 kV zijn gepland van Goes naar Terneuzen en Westdorpe (deze zijn nog niet ingetekend op bovenstaande kaart).

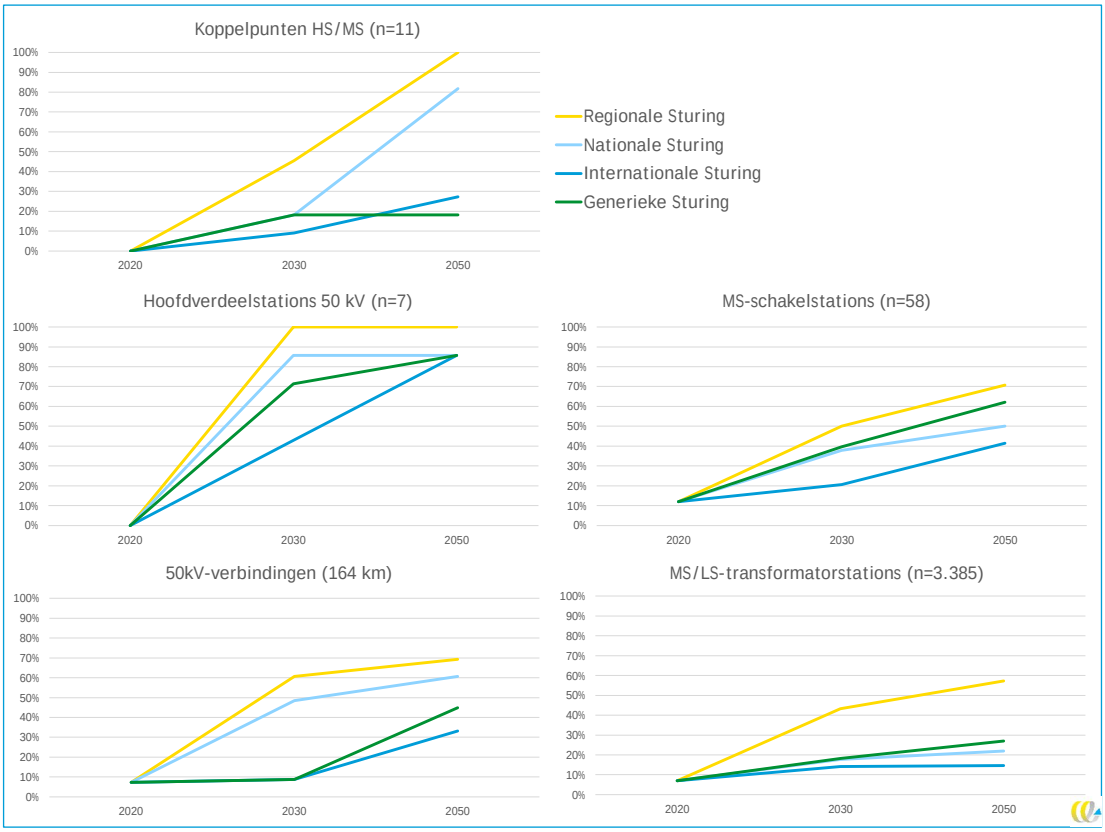
Vervolgens zijn er de netten beheerd door Enduris. Allereerst zijn er de transformatoren waarmee Enduris aan het hoogspanningsnet is gekoppeld. Dan is het hoogste netvlak 50 kV (tussenspanning). In Zeeuws-Vlaanderen zijn er verbindingen vanaf Westdorpe naar Sas van Gent en naar Hulst (Cambron). Daarnaast is er een lus van 50 kV die Zuid-Beveland, Noord-Beveland, Schouwen-Duiveland en Tholen verbindt. Dit noordelijke deel van Zeeland is afhankelijk van de aansluitingen van deze lus bij Goes en Kruiningen. Ten slotte zijn er het middenspanningsnet voor distributie en uiteindelijk het laagspanningsnet, met fijnmazige kabelcircuits in de steden.

Het hoogspanningsnet is vooral bedoeld voor transport. Er zijn centrales op aangesloten, wind op zee, en in enkele gevallen de grote industrie. Het middenspanningsnet zet de stap naar distributie. Bovendien takken hier veel industrie, wind- en zonneparken op aan. Ook snellaadstations voor mobiliteit worden aangesloten op middenspanning. Het laagspanningsnet is de laatste stap van distributie. Hierop is de gebouwde omgeving aangesloten. Daar vinden we dus belasting van woningen en utiliteitsbouw voor kracht en licht en, afhankelijk van het scenario, ook voor verwarming; belasting van laadpalen van elektrische voertuigen; en aanbod van zon-pv op daken.

5.2 Elektriciteitsnet regionale netbeheerder

Enduris heeft alle stations en het 50 kV-net doorgerekend. De data over 2020 uit deze studie zijn door Enduris eerst naast huidige cijfers gelegd. De verschillen zijn overal minder dan 10% van wat er nu gemeten wordt, wat voldoet voor de doelstellingen van deze studie, namelijk een verkenning van 2030 en 2050.

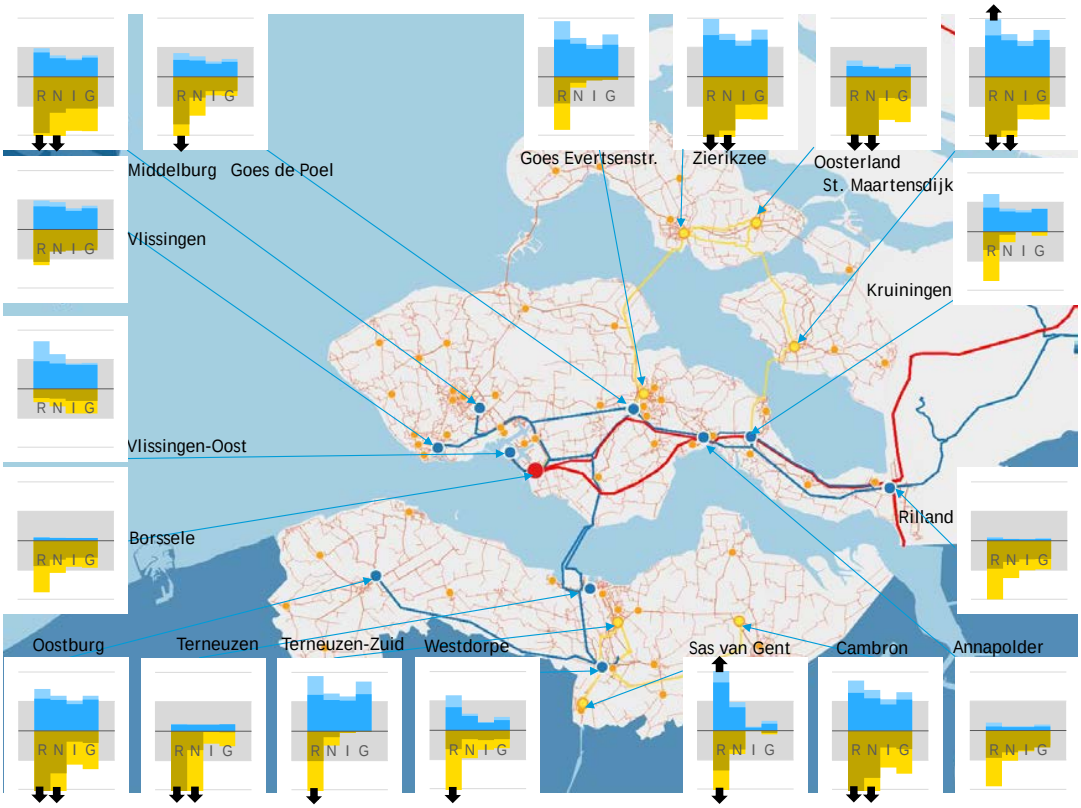
Figuur 21 - Ontwikkeling van knelpunten per scenario *



* In 2020 is er overschatting van knelpunten op basis van de dataset in vergelijking met de realiteit.

Knelpunten ontstaan op alle stations en netvlakken en in alle scenario's, maar er zijn wel duidelijk verschillen. Scenario Regionale Sturing leidt tot de meeste knelpunten, daarna Nationale, Generieke en Internationale Sturing. 2050 toont meer knelpunten dan 2030. In 2030 kunnen zich knelpunten voordoen op enkele HS/MS-koppelpunten en op een groot deel van de 50 kV-stations. Ook de verbindingen op 50 kV vormen een knelpunt, in ieder geval in de scenario's Regionale en Nationale Sturing. Bij MS-schakelstations is het beeld meer gematigd, en bij transformatorstations naar LS zal elektrificatie zoals in Regionale Sturing tot veel knelpunten leiden. Dit is per stations niet heel veel werk, maar het gaat wel om veel stations. De opgave is ongeveer een verdubbeling ten opzichte van lopende werkzaamheden.

Figuur 22 - Piekbelasting van HS/MS- en 50 kV-stations*

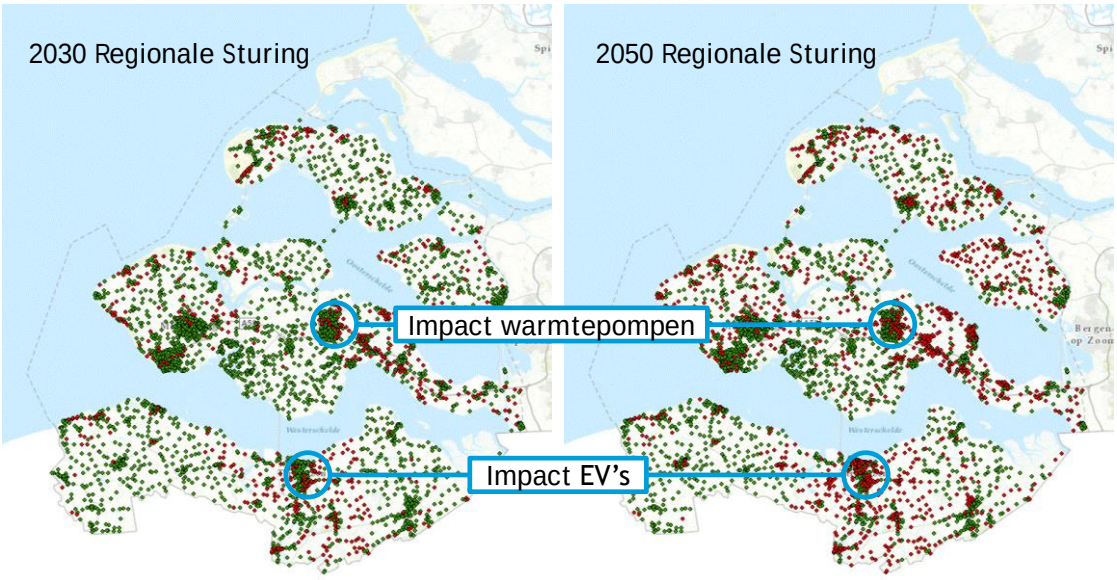


* Omhoog/blauw is vraagbelasting. Boven het grijs is meer dan 100% van de capaciteit. Donkerblauw is 2030, lichtblauw is 2050, R is Regionale Sturing, etc. Omlaag/geel is aanbodbelasting, donkergeel is 2030 en lichtgeel is 2050, grijs markeert 100% van de capaciteit. Pijltjes wijzen op overbelasting meer dan 200%.

Waar ontstaan de knelpunten met name, en waardoor? Figuur 22 toont de koppelstations en 50 kV-stations. Er is onderscheid gemaakt tussen vraagbelasting en aanbodbelasting en tussen 2030 en 2050. Knelpunten door toename van de vraag komen in alle scenario's, ook in 2030, voor op de 50 kV-lus van Goes over Schouwen-Duiveland en Tholen naar Kruiningen, en ook bij Hulst (Cambron), Terneuzen-Zuid en Oostburg. Bij Vlissingen zal in 2030 de huidige capaciteit vrijwel maximaal worden aangewend.

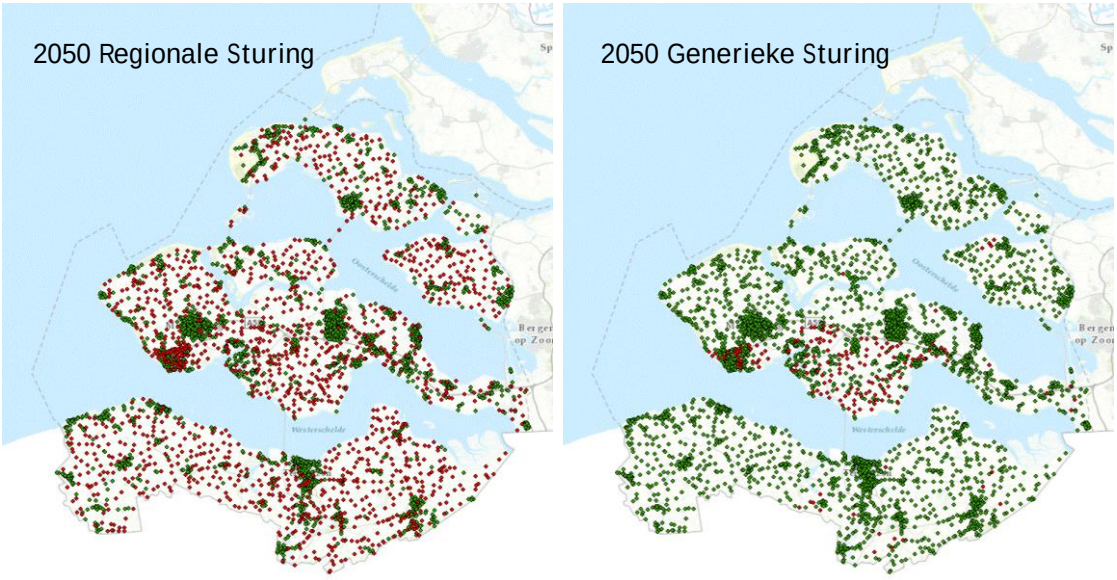
Knelpunten door toename van aanbod (lokale opwek met zon en wind) ontstaan met name in scenario's Regionale Sturing en in mindere mate Nationale Sturing en meest in 2050. Deze aanbodknelpunten kunnen overal ontstaan. Op stations die een grotere, landelijke regio bedienen zijn de knelpunten navenant. Station Middelburg vervult een centrale functie voor Walcheren, station Oostburg voor het westen van Zeeuws-Vlaanderen, stations Zierikzee en Oosterland voor Schouwen-Duiveland, en station St. Maartensdijk voor Tholen.

Figuur 23 - Impact van warmtepompen en laden van elektrische voertuigen op MS/LS-stations (rood = overbelasting, groen = geen overbelasting)



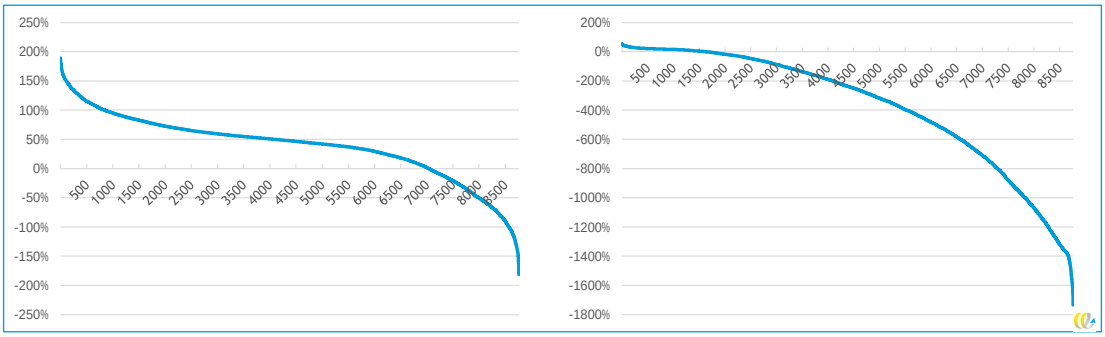
Vraagknelpunten kunnen ontstaan door elektrificatie van verwarming in de gebouwde omgeving als door groei van laden voor mobiliteit. In de resultaten van Enduris vinden we beide terug. Bijvoorbeeld in Goes is in scenario 2030 Regionale Sturing de gebouwde omgeving nog aangesloten op gas, maar in 2050 all-electric, en hierdoor ontstaan nieuwe knelpunten. En voor Terneuzen is in deze beide scenario's een warmtenet voorzien, maar wordt mobiliteit geheel elektrisch, en hierdoor ontstaan nieuwe knelpunten. Ten slotte de aanbodknelpunten: scenario 2050 Regionale Sturing heeft maximaal zon-pv, in scenario 2050 Generieke Sturing is dit veel minder, en dit is duidelijk terug te zien in de knelpunten, zie Figuur 24.

Figuur 24 - Impact van zon-pv op MS/LS-stations (rood = overbelasting)



De knelpunten doen zich soms maar enkele uren voor op jaarbasis, maar soms ook langer. Onderstaand zijn ter illustratie twee jaarduurkrommes weergegeven, waarin de belasting op alle 8.760 uren in het jaar zijn gesorteerd van maximum naar minimum. Op station Goes-Evertsenstraat is er overbelasting vanwege zowel vraag als aanbod, maar aan beide kanten gaat het om een beperkt aantal uren per jaar. Op station Oosterland is in scenario 2050 Regionale Sturing dermate veel zon en wind aangesloten, dat dit station een groot deel van het jaar overbelast is, tot maximaal liefst zestien keer de huidige capaciteit.

Figuur 25 - Jaarduurkrommes van stations Goes-Evertsenstraat (links) en Oosterland (rechts) in scenario 2050 Regionale Sturing



5.3 Hoogspanningsnet

TenneT heeft de impact van alle scenario's op het hoogspanningsnet doorgerekend. Voor 2050 zijn hierbij de elektrolysers meegenomen zoals in Tabel 2. Het scenario 2050 Nationale Sturing is tweemaal doorgerekend: eenmaal met 1,5 GW elektrolyse bij Yara en 2 GW elektrolyse bij Borsele, en eenmaal met alle elektrolyse bij Borsele.

Wat zijn de resultaten? Er ontstaan knelpunten in het 150 kV-net door aanbod van lokale opwek (wind op land, zon-pv). In 2030 is dit vrijwel uitsluitend het geval in scenario Regionale Sturing, oftewel bij sterke groei van het aanbod, meer dan nu voorzien in de RES. In 2050 is in alle scenario's de lokale opwek gegroeid ten opzichte van 2030 en ontstaan in alle scenario's knelpunten.

De groeiende elektriciteitsvraag voor de gebouwde omgeving en mobiliteit kan gefaciliteerd worden over het 150 kV-net. Dit geldt ook voor de industrie, behalve in geval van sterke elektrificatie en/of elektrolyse in de industrie in Zeeuws-Vlaanderen. De verbindingen onder de Westerschelde bieden daarvoor te weinig capaciteit. Meer specifiek gaat het om elektrificatie van Dow (2 GW continue elektriciteitsvraag) in de variant op scenario 2050 Regionale Sturing, en om 1,5 GW elektrolyse bij Yara in 2050 Nationale Sturing.

De 380 kV-verbinding Borssele - Rilland voldoet voor transport van elektriciteit van 3,5 GW wind op zee en de centrales. Alleen in het scenario Nationale Sturing met 6,9 GW wind op zee zou hier een knelpunt ontstaan.

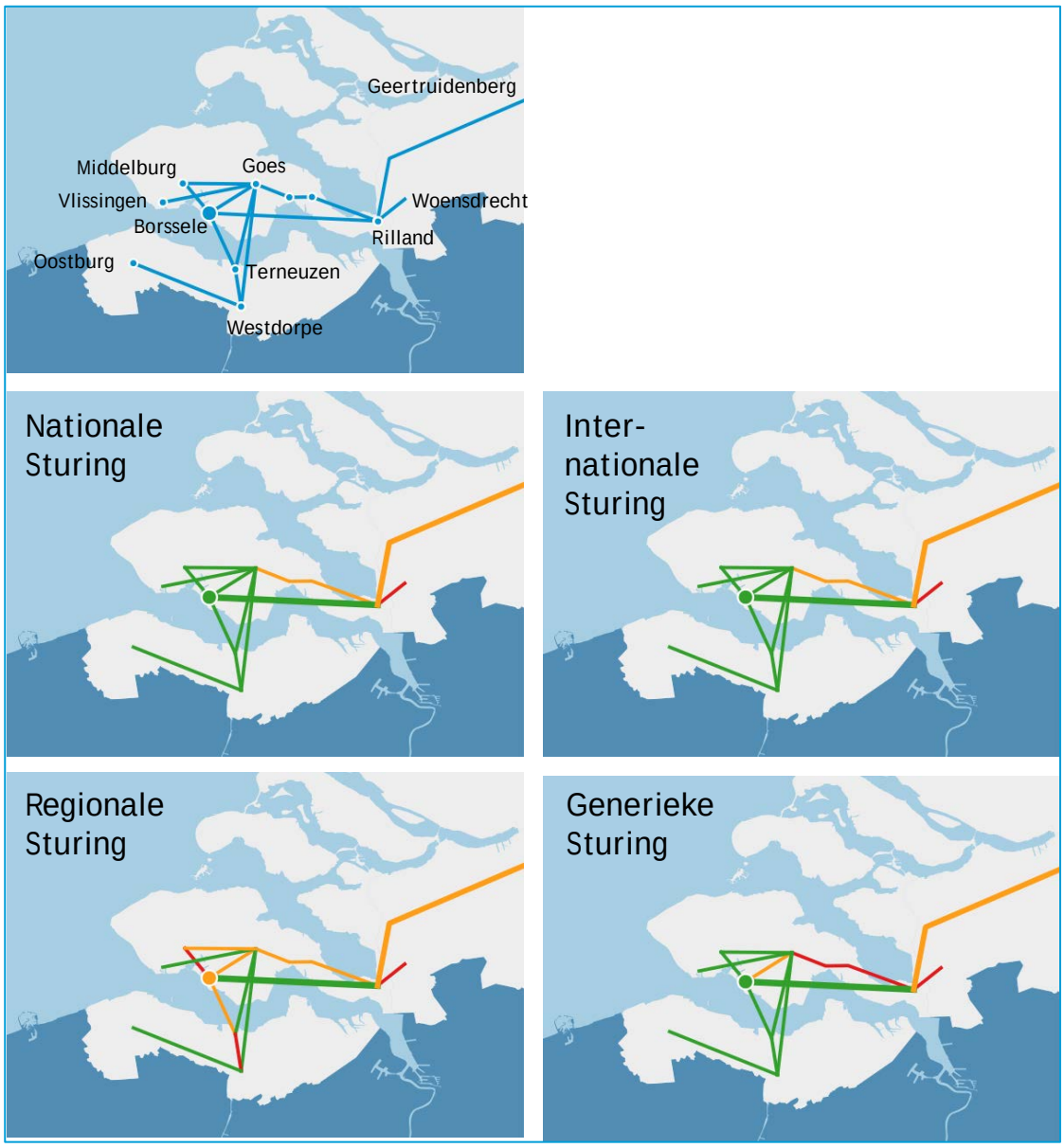
Tabel 2 geeft per verbinding en per scenario de knelpunten weer. Er wordt onderscheid gemaakt tussen knelpunten bij N-0 en bij N-1: een N-0-knelpunt betekent dat er onvoldoende capaciteit is zelfs wanneer het net volledig in bedrijf is; een N-1-knelpunt betekent dat er onvoldoende transportcapaciteit is bij handhaving van de enkelvoudige storingsreserve.

Tabel 2 - Knelpunten hoogspanningsnet

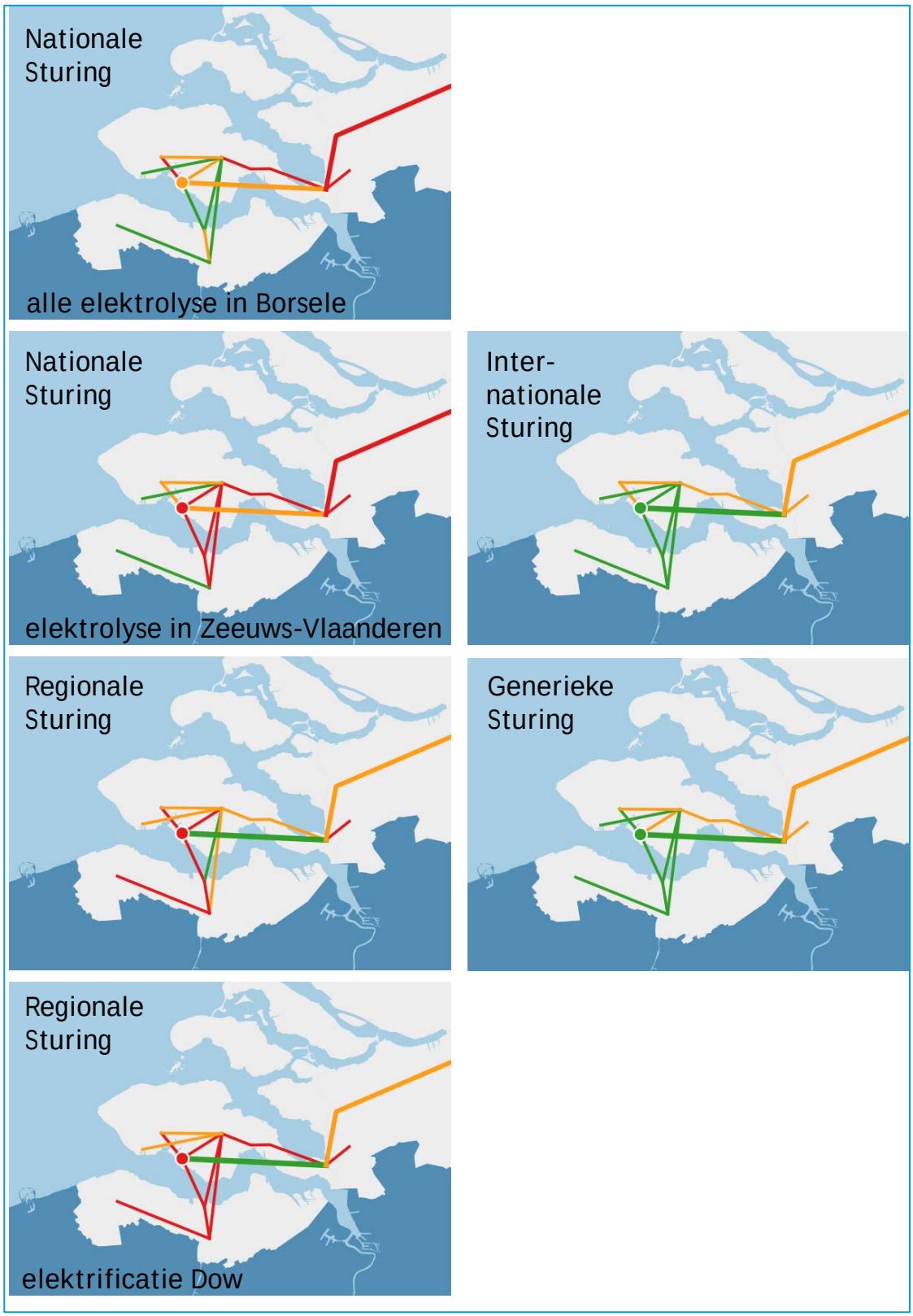
	2020	2030				2050					
		R	N	I	G	R	R+	**N'**	**N"**	I	G
Borssele - Goes de Poel (150 kV)											
Borssele - Middelburg (150 kV)											
Borssele - Terneuzen (150 kV)											
Goes de Poel - Middelburg (150 kV)											
Goes de Poel - Terneuzen (150 kV)											
Goes de Poel - Vlissingen (150 kV)											
Goes de Poel - Westdorpe (150 kV)											
Goes de Poel - Willem Anna Polder - Kruiningen - Rilland (150 kV)											
Oostburg - Westdorpe (150 kV)											
Rilland - Woensdrecht (150 kV)											
Terneuzen - Westdorpe (150 kV)											
Borssele (380/150 kV-station)											
Borssele - Rilland (380 kV)											
Rilland - Geertruidenberg (380 kV)											

Oranje = N-1-knelpunt, rood = N-0-knelpunt, scenario 2050 R+ = elektrisch kraken van Dow, scenario 2050 N' = elektrolyse bij Yara en Borsele, scenario 2050 N" = alle elektrolyse bij Borsele.

Figuur 26 - Knelpunten hoogspanningsnet 2030 (oranje = N-1-knelpunt, rood = N-0-knelpunt)



Figuur 27 - Knelpunten hoogspanningsnet 2050 (oranje = N-1-knelpunt, rood = N-0-knelpunt)



5.4 Gasnet (methaan, waterstof en CO_2)

Het Nederlandse gastransportnet wordt beheerd door GTS. Op basis van druk is het onder te verdelen in het hoofdtransportleidingnet (HTL) en een regionaal transportleidingnet (RTL). Het HTL is weer te verdelen in laagcalorisch gas (G-gas), zoals uit het Groningen-gasveld, en hoogcalorisch gas (H-gas), zoals uit kleine gasvelden en import. Het laagcalorische gas wordt in Nederland gebruikt in onder andere gebouwde omgeving voor gasfornuizen en cv-ketels. Het hoogcalorische gas wordt geleverd aan elektriciteitscentrales, raffinaderijen en hoogovens, en wordt ook met stikstof gemengd tot de kwaliteit van laagcalorisch gas. In Zeeland lopen er leidingen vanaf Ossendrecht richting Sloe en vanaf Ossendrecht richting Sluiskil, en ook vanuit Zeebrugge naar Zeeuws-Vlaanderen. Schouwen-Duiveland wordt gevoed vanuit regio Rijnmond.

Aan het transportnet aangesloten zijn de regionale distributienetten. Deze worden beheerd door de regionale netbeheerders, in Zeeland is dat Enduris. De distributienetten vormen de haarvaten naar de gebouwde omgeving.

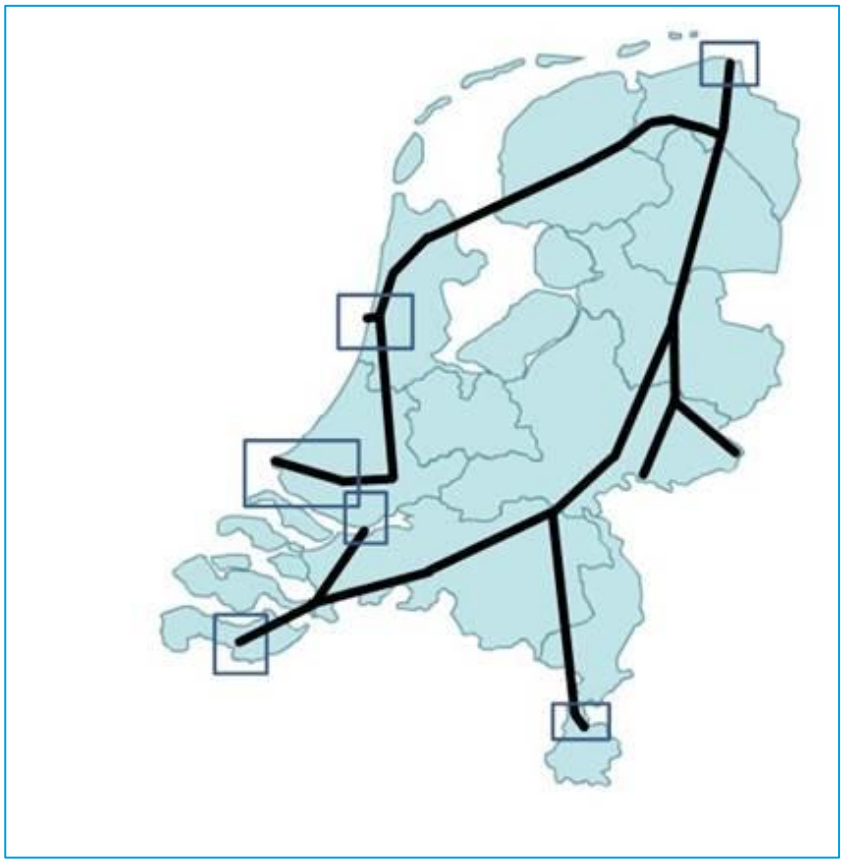
Ten slotte zijn er industriële buisleidingen. In Zeeland gaat het om een groot aantal leidingen, onder andere voor aanvoer van ruwe olie over Zuid-Beveland naar Zeeland Refinery, een naftaleiding tussen Zeeland Refinery en Dow, een waterstofleiding tussen Dow en Yara, en een waterstofleiding van Air Liquide naar België.

Figuur 28 - Gastransportnet GTS

Bron: Gasunie Transport Services.

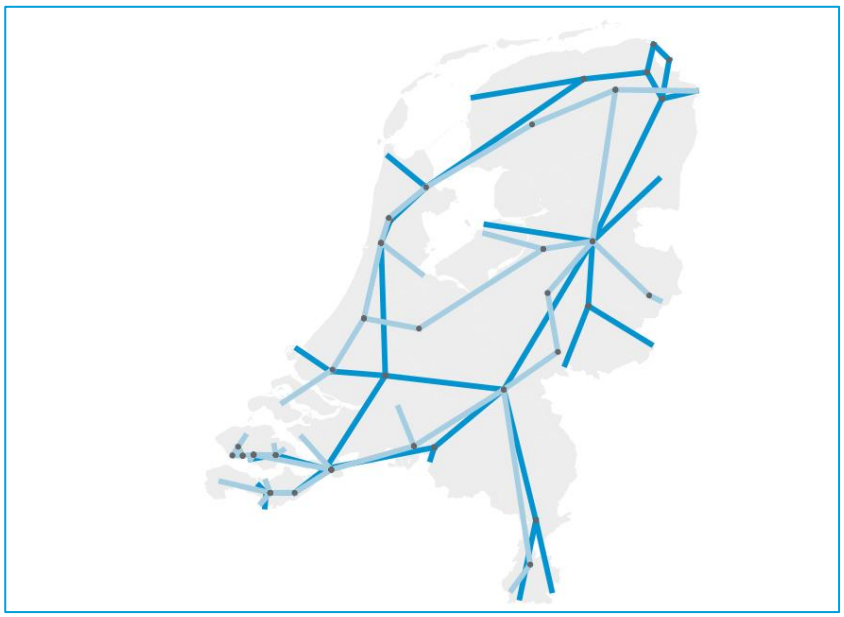
Voor de toekomst voorziet Gasunie een waterstofbackbone naast een methaannetwerk, in plaats van netten voor H-gas en L-gas. Schematisch ziet dit er als volgt uit.

Figuur 29 - Mogelijke waterstofbackbone in 2030



Bron: Gasunie.

Figuur 30 - Mogelijk waterstofnetwerk (donkerblauw) en methaannet (lichtblauw) in 2050



Distributie van waterstof

In met name scenario's Nationale Sturing en Internationale Sturing is waterstof voorzien als vervanger van aardgas voor verwarming van de gebouwde omgeving, al dan niet hybride met een warmtepomp. Enduris heeft voor deze studie onderzocht of het distributienet geschikt kan worden gemaakt voor waterstof.

Waterstof gedraagt zich anders dan methaan, bovendien is voor dezelfde energie bij dezelfde druk drie keer het volume nodig. Men kan ofwel de druk verhogen ofwel het gas met hogere snelheden door het net laten stromen. De eerste optie is niet mogelijk in het gasnet, de tweede optie wel. Kritische factor is niet zozeer de buiscapaciteit, maar de stations en de verliezen in het net.

Enduris heeft drie cases doorgerekend: de stadskern van Middelburg, het polder- en recreatiegebied van Noord-Beveland, en het 8 bar transportnet te Vlissingen en Middelburg. Het heeft dit gedaan met twee datasets: eenmaal met een waterstofvraag energetisch gelijk aan de huidige aardgasvraag, en eenmaal op basis van de dataset uit dit onderzoek. Daarin zijn de specificaties van de verwarmingstechnieken in combinatie isolatie doorgerekend, wat tot een lagere vraag leidt.

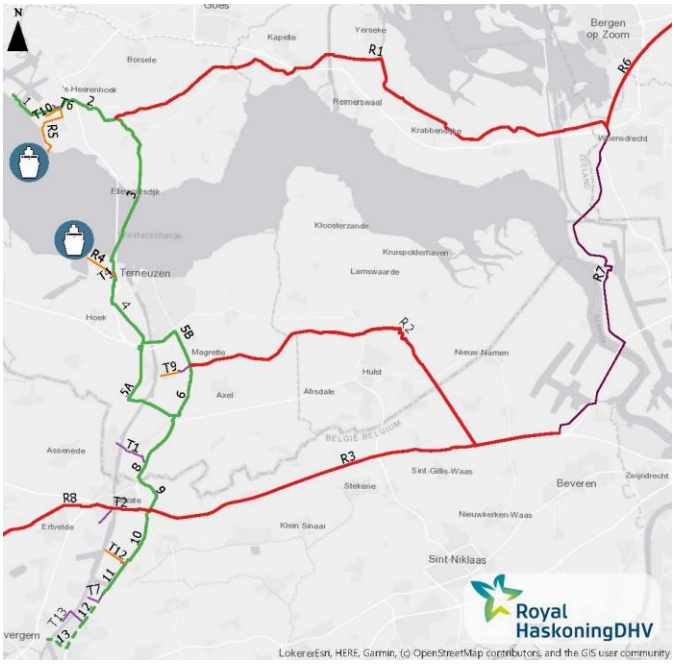
De conclusies van de doorrekening zijn:
- drukverliezen zijn vergelijkbaar met huidige verliezen met aardgas;
- voor 1-3% van leidingwerk zijn de benodigde snelheden buiten huidige ontwerpcriteria, op enkele kritieke trajecten zullen extra leidingen nodig zijn, met name hogedruk transportleidingen of uitgaande distributieleidingen;
- voor 10-50% van distributiestations zijn volumes nodig buiten nominale capaciteit, daar zijn extra of nieuwe stations nodig;
- het meest waarschijnlijk is de onderkant van deze bandbreedtes, want waterstofvraag in gebouwde omgeving zal lager zijn dan huidig gasverbruik omgerekend.

Transport van methaan, waterstof en CO_2

Gasunie heeft berekeningen uitgevoerd aan het gastransportnet. Hier zijn vier gassen relevant: hoogcalorisch aardgas, laagcalorisch aardgas, waterstof en CO_2. De scenario's voor 2050 maken hierin duidelijke keuzes, zodat de benodigde separate buisleidingen en capaciteiten voldoende zullen zijn. Voor 2030 ligt dit anders en is het een kritieke puzzel.

In CUST is een CO_2-tracé voorgesteld wat Vlissingen-Oost verbindt met Terneuzen, Sluiskil en verder zuidelijk naar Vlaanderen. Dit kan op verschillende plekken aangesloten zijn op een groter CO_2-net in verbinding met Rotterdam (Porthos). Mits de regelgeving van het EU ETS wordt aangepast, kan CO_2 ook per schip worden afgevoerd via de havens van Vlissingen en Terneuzen.

Figuur 31 - CO_2-net voorgesteld in CUST



Bron: (Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech; CE Delft, 2019, p. 71).

De scenario's voor de industrie in deze systeemstudie zijn gebaseerd op de CUST-studie. In scenario 2050 Generieke Sturing (of het scenario CCS/CCU in CUST) is inzet van aardgas en CCS voorzien. Hiervoor is het CO_2-net zoals uitgetekend in CUST geschikt. In scenario's 2050 Regionale en Nationale Sturing (Circular Economy en High Renewable Energy in CUST) is er veel elektrificatie respectievelijk waterstof, en is er geen of een zeer beperkt CO_2-net nodig. In scenario 2050 Internationale Sturing is hier uitgegaan van inzet van biogas. Eventueel is CCS/CCU hierbij een optie, die leidt tot negatieve emissies.

Gasunie heeft samen met CE Delft en Royal Haskoning onderzocht welke opties bestaan voor toedeling van gassen aan bestaande buisleidingen, zowel voor 2030 als 2050, en hoe de beschikbare capaciteit zich dan verhoudt tot de volumes van vraag en aanbod in de verschillende scenario's. Verbindingen met Vlaanderen (BE) zijn niet meegenomen in deze analyse. De bevindingen zijn als volgt.

De vraag naar hoog- en laagcalorisch aardgas is in 2030 nog substantieel, zodat Gasunie bestaande hogedrukleidingen nog niet kan vrijspelen. Vervolgens kan men andere bestaande buisleidingen betrekken in de analyse. Indien de huidige afnemers op een andere leiding kunnen worden aangesloten, komen deze beschikbaar voor waterstof of CO_2.
Het gaat allereerst om de volgende buisleidingen:

- Op Zuid-Beveland ligt de Midden-Zeelandleiding. Deze leiding is 10 inch en heeft daarmee een capaciteit voor ongeveer 1,2 GW waterstof (circa 36 PJ per jaar) of voor circa 1,8 Mton CO_2 per jaar (uitgaande van 8.000 vollastuur en 30 bar, waarbij twee-fasenflow van gas en vloeibaar wordt vermeden).
- In Zeeuws-Vlaanderen kan tegen die tijd een Zebraleiding van 28 inch beschikbaar komen, met capaciteit voor ongeveer 8 GW waterstof (230 PJ per jaar) of circa 13,6 Mton CO_2 per jaar;.
- Onder de Westerschelde ligt een naftaleiding tussen Zeeland Refinery en Dow. Deze is deels 6 en deels 8 inch, met een capaciteit van 0,7 GW waterstof (circa 20 PJ per jaar) of circa 1,0 Mton CO_2 per jaar.

Er zijn nu verschillende allocaties en aanvullende oplossingen voorstelbaar, waarvan een aantal schematisch is weergegeven in Figuur 32. Welke benadering de voorkeur verdient, is afhankelijk van de vraag uit de markt naar transportcapaciteit voor CO_2 en waterstof.

- Een eerste benadering begint bij waterstof en beschouwt daarna CO_2. Waterstof kan via de waterstofbackbone, oftewel via Ossendrecht, getransporteerd worden tussen Sloe en Terneuzen. De bovengenoemde Midden-Zeelandleiding en Zebraleidingen zouden dan aan waterstof worden toegewezen, de naftaleiding kan worden aangewend voor transport van CO_2 tussen Zeeuws-Vlaanderen en Zuid-Beveland. Er is dan nog een additionele buisleiding nodig voor aansluiting op Porthos, ofwel vanaf Sloe, ofwel vanaf Axel door Zeeuws-Vlaanderen, ofwel via Vlaanderen (zoals ingetekend in Figuur 31 uit de CUST-studie). In de scenario's Internationale en Generieke Sturing biedt de naftaleiding mogelijk te weinig capaciteit om in het benodigde transport van CO_2 te voorzien.
- Een tweede benadering is om te beginnen bij CO_2 en daarna waterstof te beschouwen. In dit geval kan de naftaleiding samen met ofwel de Midden-Zeelandleiding ofwel de Zebraleiding voorzien in transport van CO_2. Voor waterstof is dan een extra buisleiding nodig zijn ofwel op Zuid-Beveland ofwel op Zeeuws-Vlaanderen.
- Indien afvoer van CO_2 per schip mogelijk wordt, ontstaan extra opties. Daaronder ook hybride opties waarin de CO_2 deels per schip wordt afgevoerd en deels door buisleidingen naar Porthos. Eventueel kunnen nieuwe buisleidingen worden aangelegd.

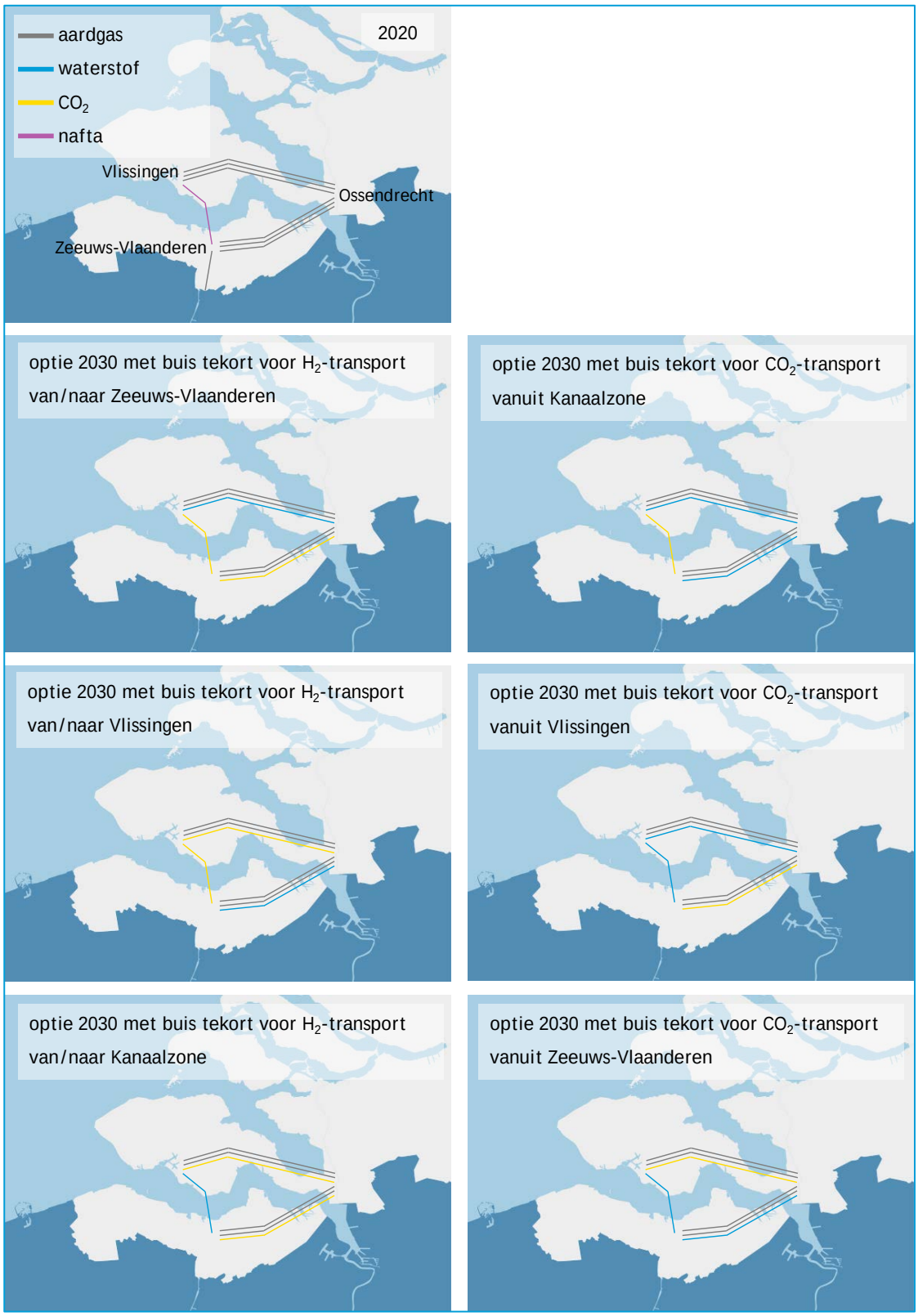
In 2050 is er in alle scenario's voldoende capaciteit. In de scenario's Internationale en Generieke Sturing is het tracé tussen Axel en Terneuzen aangemerkt als aandachtspunt. Daar is dan 80 tot 90% van de capaciteit nodig voor methaan (biogas respectievelijk aardgas). Er zijn echter geen knelpunten, er zijn in elk scenario voldoende leidingen met voldoende capaciteit, zowel voor methaan, waterstof als CO_2, ook voor de aanvoer van waterstof indien elektrolyse plaatsvindt in Borsele. Twee zaken zijn hierin met name van belang: ten eerste dat de scenario's duidelijke keuzes maken tussen energiedragers, ten tweede dat voorzien wordt dat in 2050 geen onderscheid meer is tussen hoog- en laagcalorisch gas.

Het volume van de af te voeren CO_2 kan in 2050 wel een knelpunt geven op de route buiten Zeeland, van Ossendrecht richting Rotterdam. Het gaat om scenario Generieke Sturing, wat uitgaat van gebruik van aardgas met CCS.

Tabel 3 - Overzicht bestaande buisleidingen en mogelijke toedeling van gassen

Buisleiding	Diameter	2020	2030	2050
Zuid-Beveland (Ossendrecht-Sloe)				
GTS A535	20"	G-gas	G-gas	methaan
Zuid-Bevelandleiding	48"	H-gas	H-gas	CO_2
Midden-Zeelandleiding	10"	H-gas	waterstof/CO_2	waterstof
Zeeuws-Vlaanderen (Ossendrecht-Axel/Terneuzen)				
GTS A530	24"	G-gas	G-gas	methaan
GTS A667+A642	48" + 30"	H-gas	H-gas	waterstof
Zebra	28"	H-gas	waterstof/CO_2	CO_2
Westerschelde				
Sloe-Terneuzen	6-8"	nafta	waterstof/CO_2	n.v.t.

Figuur 32 - Schematische weergave van bestaande buisleidingen en mogelijke toedeling van gassen in 2030

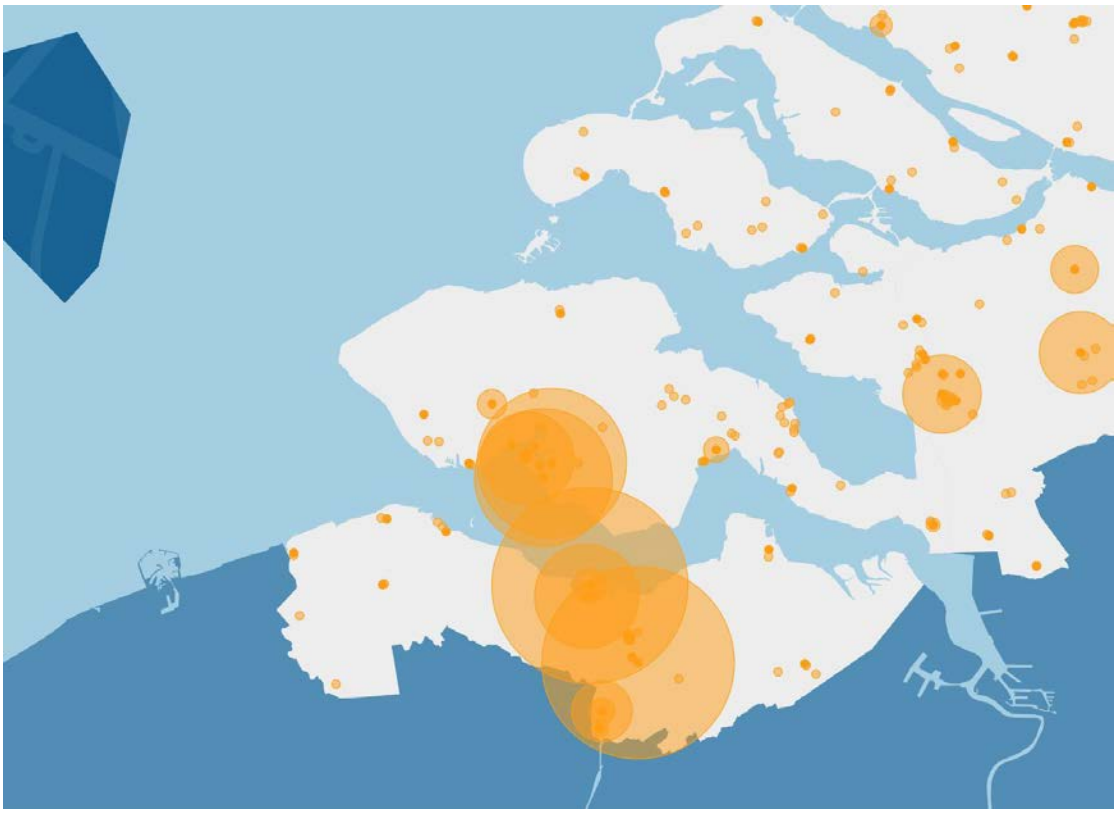


5.5 Warmtenetten

Warmtenetten kunnen een deel van de oplossing vormen voor de transitie van de gebouwde omgeving. Ze zijn geschikt op plekken dicht bij aanbod van warmte, wat de kosten van transport drukt, en met een hoge dichtheid van bebouwing, wat de kosten van distributie drukt. Dit is met name het geval in Middelburg, Vlissingen en Terneuzen.

Warmtenetten zijn er nu op beperkte schaal in Vlissingen, Hulst, de wijk Ouverture in Goes, en op de Axelse vlakte voor de glastuinbouw. Op andere plekken geldt dat de gehele infrastructuur hiervoor zou moeten worden aangelegd. Het gaat om transportbuizen van de aanbodlocaties (industrie, centrales, geothermie) naar de wijken, en om distributiebuizen in de wijken. Er zijn steeds buizen nodig voor toevoer van het warme water en retourbuizen terug naar de aanbodlocaties.

Figuur 33 - Warmtebronnen (de grootte is een maat voor de hoeveelheid beschikbare warmte)



6 Analyse van oplossingen

In dit hoofdstuk gaan we verder in op mogelijke oplossingen voor knelpunten die kunnen ontstaan in de energie-infrastructuur. We inventariseren een breed scala aan oplossingen, waarna we ingaan op de belemmeringen hiervoor. Ten slotte zullen we bekijken welke oplossingen het meest geschikt zijn specifiek bij de knelpunten die naar voren zijn gekomen voor Zeeland.

6.1 Inventarisatie van oplossingen

Netverzwaring

De gangbare oplossing voor knelpunten in het elektriciteitssysteem is investeren in verzwaring (c.q. uitbreiding) van de elektrische infrastructuur. De netbeheerder van het betreffende onderdeel van het netwerk is verantwoordelijk voor het net en voor de benodigde investeringen.

Eens in de twee jaar moeten de netbeheerders aan de toezichthouder, de Autoriteit Consument & Markt (ACM), een Investeringsplan afgeven (voorheen Kwaliteits- en Capaciteitsdocument). De netbeheerders inventariseren in het Investeringsplan de knelpunten en oplossingsrichtingen voorzien voor de komende tien jaar en geven hun investeringsplannen aan voor vervanging en uitbreiding van hun netten in de komende drie jaar.

Netverzwaring is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten. Er kunnen echter belemmeringen zijn, zoals ruimtegebrek en tijdigheid, en het kan zijn dat andere oplossingen tot lagere kosten voor de maatschappij leiden.

Aansluiten met lagere zekerheid (N-0)

Netbeheerders moeten zorgen voor voldoende zekerheid voor het transport van elektriciteit, ook in situaties van onderhoud en storing van onderdelen van het net.
Dat betekent dat de netwerken bij normale bedrijfssituaties (geen onderhoud, geen storing) altijd een mate van overdimensionering hebben. Een alternatief voor netverzwaring kan zijn om elektriciteitsproductie-installaties, zoals zon-pv en windenergie, aan te sluiten met lagere zekerheid, een zogenaamde ‘N-0’-aansluiting.

Dit is een mogelijke oplossing bij aanbodknelpunten waar sprake is van lichte overschrijdingen van de beschikbare capaciteit. De consequentie is dat het aanbod niet altijd kan worden opgenomen in het net als er storingen zijn of onderhoud gepleegd wordt, hetgeen de businesscase van de aanbieder negatief kan beïnvloeden. TenneT is momenteel wettelijk verplicht om aangeslotenen ‘N-1’-zekerheid te bieden.

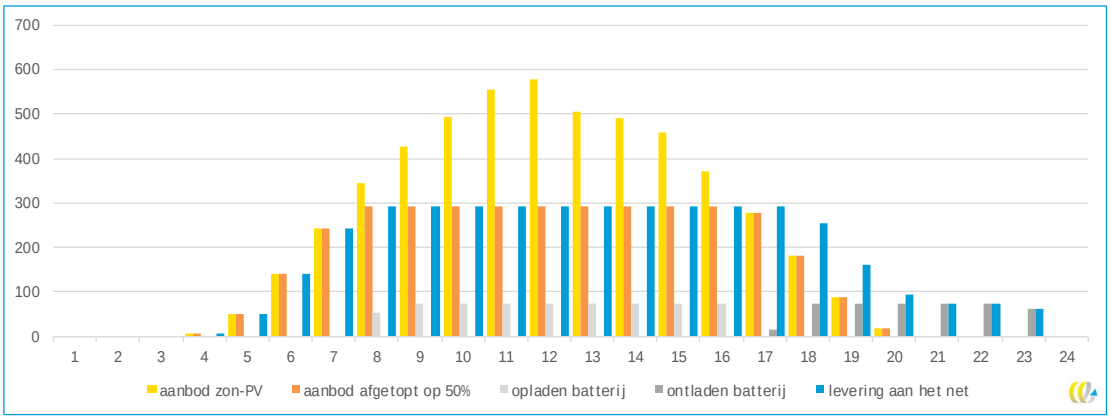
Aansluiten met lagere capaciteit (curtailment en batterijen)

In situaties waarin gedurende een gering aantal uren per jaar veel transportvermogen wordt gevraagd, kan aansluiten met een lagere dan de piekcapaciteit een alternatief zijn voor netverzwaring. Het effect is dat het netwerk niet geschikt hoeft te worden gemaakt voor de volledige piekcapaciteit van een klant. Met inzet van batterijen kan alle aanbod boven deze capaciteit toch geleverd worden aan het net - we werken dit hieronder verder uit. Ook met batterijen kan in specifieke situaties wel curtailment nodig zijn. Het kan voorkomen dat de elektriciteitsprijs hoog is, ook bij groot aanbod van zonne-energie. De markt zal dan geneigd zijn om batterijen te laten ontladen, terwijl er juist schaarste is aan netcapaciteit. Curtailment is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten waar sprake is van kortdurende grote pieken in vraag en/of aanbod. De structuur van de aansluittarieven van de netbeheerders maakt dat het voor een energievrager financieel aantrekkelijk kan zijn om dat op vrijwillige basis te doen. De netbeheerder mag het echter niet afdwingen. Echter, de tariefstructuur voor transport van elektriciteit is zodanig dat een producent geen prikkel heeft, buiten de directe aansluitkosten, om zijn aansluiting te optimaliseren.
Het gevolg is dat de bedrijfstijd van de aansluiting erg laag kan zijn, zeker bij zonneparken, en de netbeheerder hoge kosten moet maken.

Bij zonneparken kunnen batterijen geplaatst worden. Dit dient twee doelen: zowel overschotten van aanbod ten opzichte van elektriciteitsvraag dempen, als het ontlasten van het net. Zonneparken zouden op halve capaciteit aangesloten kunnen worden, zodat ook de piekbelasting op het net gehalveerd wordt. Op jaarbasis is ongeveer 12% van het elektriciteitsaanbod van een zonnepark boven deze grens. Met batterijen kan dit overschot worden verschoven naar momenten waarop het aanbod lager is dan de aansluitcapaciteit.

De batterij maakt dan echter maar weinig cycli, oftewel er is veel opslagcapaciteit nodig die maar weinig wordt gebruikt. Tegenover de investering in opslagcapaciteit staat dus een beperkte afzet aan de elektriciteitsmarkt. Om een betere businesscase te krijgen, kan men kiezen om de batterijen niet te dimensioneren op opname van alle overschotten boven de aansluitcapaciteit, maar op slechts een deel. Met batterijvermogen op 12,5% van het outputvermogen van de geïnstalleerde zon-pv, en opslagcapaciteit gelimiteerd op circa 6 uur laden op vol vermogen, is uiteindelijk 94% van het elektriciteitsaanbod van zon-pv te leveren aan het net. De batterij maakt 680 vollasturen (opgenomen elektriciteit gedeeld door batterijvermogen) en 110 cycli (opgenomen elektriciteit gedeeld door opslagcapaciteit). Figuur 34 toont een voorbeeld van een zomerdag waarop het aanbod van een zonnepark boven de aansluitcapaciteit uitstijgt en batterijen dit overschot verschuiven naar de avond.

Figuur 34 - Illustratie van opwek met zon-pv in combinatie met batterij op alle uren van een zomerdag



Naar ander netvlak brengen

Waar het transport van elektriciteit tot knelpunten leidt, daar kan het al voordeel hebben wanneer er nieuwe koppelstations komen tussen de netvlakken. Op een ander netvlak is misschien wel capaciteit. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat lokaal aanbod van elektriciteit de capaciteit van het middenspanningsnet overschrijdt, maar dat op 150 kV nog wel ruimte is.

Flexibiliteit

Netwerken worden gedimensioneerd op de piekcapaciteit met hoge zekerheid. Netinvesteringen kunnen worden uitgesteld of voorkomen als die pieken kunnen worden afgevlakt, oftewel door flexibiliteit in vraag en aanbod te organiseren. Dat kan op vele manieren, met name met vraagsturing of -beperking, met slim laden en ontladen van batterijen (in huis, in de buurt, in elektrische voertuigen, of bij zonneparken), en met lokale opwek (wkk's).

Flexibiliteit is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten. De potentie om knelpunten te voorkomen is groot en is toepasbaar bij alle situaties met sterk fluctuerende vraag en/of aanbod. Flexibiliteit is niet geschikt om knelpunten op te lossen waarbij de vraag of aanbod structureel gedurende een groot aantal uren de capaciteit van het netwerk overstijgt. Dat betekent dat het voor invoeding van zon en wind geen oplossing is, met uitzondering van de piekmomenten, ook niet voor elektrische vraag met een hoge, moeilijk verschuifbare bedrijfstijd, maar wel geschikt is voor het laden van elektrische voertuigen.

Flexibiliteit organiseren is onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving een marktactiviteit. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving voor de netbeheerders om deze oplossing te realiseren. In de huidige regelgeving en tariefstructuur zijn er evenmin incentives voor marktpartijen om flexibiliteit in te zetten om netwerkknelpunten op te lossen of te voorkomen.

Conversie tussen energiedragers

Wanneer in een bepaald gebied een vraagknelpunt ontstaat, is een mogelijke oplossing om de elektriciteit niet naar het gebied toe te voeren, maar om die ter plekke te produceren. Dat kan bijvoorbeeld met een gasmotor of gasturbine, gevoed met methaan (aardgas, groengas) of waterstof, of met een brandstofcel gevoed met waterstof. Elektriciteitsproductie is onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving een marktactiviteit.

Als er sprake is van een aanbodknelpunt in een gebied, dan is een mogelijke oplossing om het overschot aan elektriciteit met een elektrolyser om te zetten in waterstofgas en dat af te voeren via een waterstofgasnet (of ter plekke op te slaan voor later gebruik). Een ander voorbeeld is omzetting van overschotten aan elektriciteit naar warmte, voor industriële processen of voor de gebouwde omgeving (Power-to-Heat). Ook dit zijn onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving marktactiviteiten. Power-to-Heat is met name toepasbaar in scenario's met weinig elektrificatie, wordt gedreven door de prijs op de spotmarkt (dus niet door congestie) en werkt niet voor langdurige capaciteitsproblemen.

Conversies van moleculen naar elektronen en vice versa kunnen in principe veel van de geïdentificeerde knelpunten oplossen, aangezien er capaciteitsruimte ontstaat in de gasnetwerken. Bij aanbodknelpunten is wel een waterstofnetwerk (of lokale opslag) nodig. De oplossing lijkt met name geschikt bij grote problemen als gevolg van een klein aantal

oorzaken, waarbij elektriciteitsverbindingen over grote afstanden verzwaard zouden moeten worden om toevoer naar of afvoer van een knelpuntgebied te realiseren.
De oplossing lijkt niet geschikt in geval van vraagknelpunten die ontstaan vanuit een groot aantal verschillende oorzaken. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving voor de netbeheerders om deze oplossing te realiseren, en voor marktpartijen zijn er binnen de huidige regelgeving en tariefstructuur evenmin incentives voor conversie.

Aan de vraag voldoen met een andere energiedrager

Vraag naar elektriciteit hoeft niet altijd met elektriciteit te worden ingevuld. In bepaalde gevallen is het ook mogelijk om in de achterliggende behoefte te voorzien met een andere energiedrager vanuit een ander netwerk. Dit kan bijvoorbeeld door een woonwijk niet uit te rusten met elektrische warmtepompen maar met een warmtenetwerk, of door elektrische mobiliteit of transport op te lossen met een brandstofcel.

Dergelijke oplossingen geven varianten op de scenario's zoals hier doorgerekend.
De potentie van deze oplossingen om knelpunten op te lossen vergt nadere studie, immers de alternatieve invulling werkt door op het gehele energiesysteem. Deze oplossingen zijn onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving marktactiviteiten. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving voor de netbeheerders om deze oplossing te realiseren, en voor marktpartijen zijn er binnen de huidige regelgeving en tariefstructuur evenmin incentives om een andere energiedrager af te nemen.

Oplossingen vanuit de ruimtelijke ordening

De locatie waar bijvoorbeeld een nieuwe industrie, datacenter, glastuinbouwbedrijf, nieuwbouwwijk, zonneweide of windpark wordt gerealiseerd kan een knelpunt in de energie-infrastructuur veroorzaken. Inzicht in mogelijke knelpunten levert in principe de mogelijkheid om de ruimtelijke ordening daarop anders in te richten, bijvoorbeeld een realisatie elders waar nog wel ruimte in het netwerk aanwezig is of een andere infrastructuur die in de vraag kan voorzien, of door ontwikkelingen te faseren zodat het knelpunt tijdig wordt weggenomen.

Ruimtelijke ordening is een verantwoordelijkheid van de overheden. Het vormt een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten, maar vraagt altijd uitgebreide studie naar alternatieven. Bij ruimtelijke ordening spelen bovendien altijd een reeks aan andere maatschappelijke en economische belangen mee. In het licht van de uitdagingen van de transitie naar klimaatneutraal dienen overwegingen over de energie-infrastructuur een belangrijkere rol te krijgen.

6.2 Inventarisatie van belemmeringen

Oplossingsrichtingen kennen op hun beurt weer belemmeringen om ze te kunnen realiseren. In deze paragraaf inventariseren we deze belemmeringen.

Reguleringskader remt anticiperen

De huidige regelgeving geeft de netbeheerders een negatieve stimulans om te investeren in netuitbreiding op basis van verwachtingen. Zij mogen wel anticiperen, maar mogen de investeringen niet in hun tarieven verwerken indien deze naderhand niet doelmatig blijken.

De netbeheerders zoeken daarom een hoge mate van investeringszekerheid en acteren doorgaans pas als er een getekende klantvraag ligt. Dit kan ertoe leiden dat een verzwaring later gereed is dan maatschappelijk wenselijk is.

Lange doorlooptijden voor netverzwaring

Het overgrote deel van de doorlooptijd van een netverzwaring zit in de praktijk in de doorlooptijd van de planologische procedures en vergunningsprocedures, bijvoorbeeld voor een wijziging van een bestemmingsplan. De doorlooptijd kan leiden tot vertraging van projecten of zelfs dat deze in het geheel niet van de grond komen. Daarnaast kunnen er regionale verschillen zijn in de vergunningverlening. De nieuwe Omgevingswet kan dit in de hand werken, en verschillen in kennisniveau, bijvoorbeeld ten aanzien van nieuwe energiedragers zoals waterstof, kan zorgen voor verschillen in interpretatie bij vergunningverlening.

Geen fysieke ruimte of milieuruimte beschikbaar

Netverzwaring (of een andere oplossing vanuit een andere energie-infrastructuur) is soms niet mogelijk wegens het ontbreken van fysieke ruimte of milieuruimte. Voor ruimtelijke aanpassingen is bovendien lokaal draagvlak essentieel. Dit kan ertoe leiden dat, ingeval van netverzwaring, een complexere oplossing moet worden gevonden, waardoor de oplossing moeilijker te realiseren is en mogelijk meer tijd kost.

Ouderdom van installaties

Soms is netuitbreiding niet meer mogelijk wegens een verouderde stationsinstallatie. Daardoor kan het nodig zijn om een nieuw (en groter) station te bouwen inclusief verbindingen, bij voorkeur nabij het bestaande station. Het bestaande station moet gedurende die tijd in bedrijf blijven, waardoor de oplossing moeilijker te realiseren is en mogelijk meer tijd kost.

Kosten en split incentives

Het komt voor dat ruimte voor netuitbreiding wel fysiek beschikbaar is, maar (te) kostbaar. Een andere financiële belemmering kan gevormd worden door *split incentives*:

- Investeringen in conversies van elektronen naar moleculen of vice versa of in flexibiliteit hebben mogelijk geen positieve businesscase voor marktpartijen.
  Het is mogelijk dat die oplossing wel tot de laagste kosten voor de maatschappij leidt. De uitgespaarde kosten van een investering in netverzwaring mogen onder de huidige regelgeving niet worden aangewend om een andere aanpak te financieren om het netknelpunt structureel op te lossen.
- De investeringen in een oplossing met een ander netwerk (zoals bijvoorbeeld warmtenetten) hebben mogelijk geen positieve businesscase voor marktpartijen, terwijl die wel tot de laagste kosten voor de maatschappij leidt.

Deze punten behoeven aandacht van de Rijksoverheid, maar de uitwerking van maatregelen die hierop getroffen kunnen worden, valt buiten de scope van deze studie.

Aansluitkosten op maximale capaciteit

In de huidige tariefstructuur betaalt industrie aansluitkosten op maximale capaciteit. Dit staat elektrificatie en met name hybridisatie in de weg. Wkk's geven de mogelijkheid te schakelen tussen gasvraag en elektriciteitsvraag. Als er congestie is op het net of een tekort aan aanbod van elektriciteit, dan kan met wkk in de eigen elektriciteitsvraag worden voorzien met gas. Bovendien kan elektriciteit aan het net worden teruggeleverd. Een wkk kan hiermee ondersteunend zijn aan het netbeheer. Echter, om deze hybride vol te benutten moet op piekcapaciteit worden aangesloten en in de huidige tariefstructuur hangen de aansluitkosten af van deze piekcapaciteit.

Speculatief gedrag

Speculatief gedrag van marktpartijen kan voorkomen bij zowel grondverwerving (bij investeringen in de energie-infrastructuren) als bij capaciteitsclaims (bijvoorbeeld aanvragen voor aansluitingen op het elektriciteitsnetwerk). Dit kan ertoe leiden dat knelpunten zich eerder voordoen en/of ernstiger worden, of oplossingen duurder, dan strikt noodzakelijk.

Geen uitvoeringscapaciteit

De benodigde uitvoeringscapaciteit voor een oplossing is mogelijk niet tijdig voorhanden, wat ertoe kan leiden dat de benodigde werkzaamheden om een knelpunt op te lossen niet kunnen worden uitgevoerd in het maatschappelijk gewenste tempo. Een bekend en belangrijk probleem is dat er momenteel te weinig technisch opgeleid personeel is.

Andere belangen kunnen prevaleren

De mogelijkheid om een optredend knelpunt in het elektriciteitssysteem af te wenden door een andere ruimtelijke ordening van oorzaken toe te passen kan strijdig zijn met andere maatschappelijk of economische belangen. Ook kan een vanuit het energiesysteem gewenste netverzwaring van een bepaald station of bepaalde verbinding vanwege andere belangen niet vergund worden.

6.3 Mogelijke oplossingen bij de gevonden knelpunten

Gezien de knelpunten in de verschillende scenario's enerzijds, en de oplossingsrichtingen en hun belemmeringen anderzijds, welke oplossingen zijn geschikt?

Midden- en laagspanningsnet

Op het midden- en laagspanningsnet is op een aantal plekken verzwaring nodig, ongeacht het scenario, en ook al in 2030. Dan gaat het allereerst om Schouwen-Duiveland en Tholen, die nu gevoed worden over de 50 kV-lus vanaf Zuid-Beveland. Daarnaast gaat het om de omgeving rondom Hulst (Cambron), rondom Terneuzen-Zuid en rondom Oostburg. Ook bij Vlissingen zal voor 2030 het vraagstuk van verzwaring opkomen. Een punt van aandacht is de hoeveelheid werk die op de netbeheerder afkomt en de beschikbaarheid van technici.

Bij elektrificatie in gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie en landbouw zullen de netten en stations tegen maximale belasting komen of overbelast worden. Naast verzwaring zijn

hier andere oplossingen voorstelbaar: uiteraard om niet in te zetten op elektrificatie, maar juist op inzet van gassen (geen elektronen maar moleculen), ook flexibiliteit in de vraag kan ook een bijdrage leveren. Batterijen (thuis- en wijkbatterijen, in elektrische voertuigen) en slim laden van elektrische voertuigen kunnen een aandeel hebben in het creëren van een meer geëgaliseerd vraagprofiel van elektriciteit aan het net over de dag. Tabel 4 geeft de dimensionering weer van batterijen in de diverse scenario's, uitgaande van het idee dat zonneparken op 50% van de capaciteit worden aangesloten, waarbij opwek boven die grens wordt gebruikt om batterijen op te laden waarna de batterijen weer ontladen wanneer de opwek terug onder die grens komt, zoals uitgelegd in Paragraaf 6.1.

Tabel 4 - Batterijen bij zonneparken

	2030 Reg	2030 Nat	2030 Int	2030 Gen	2050 Reg	2050 Nat	2050 Int	2050 Gen
Zonneparken (MW)	1.013	459	262	285	2.770	1.108	516	584
Batterijvermogen (MW)	130	60	30	40	350	140	60	70
Opslagcapaciteit (MWh)	770	350	200	220	2.100	840	390	440

Bij industrie en landbouw gaat flexibiliteit om bij- en afschakelen, het wisselen tussen zelf elektriciteit maken (met een gasgestookte wkk) of elektriciteit afnemen van het net, en stoomproductie met elektroboilers of gasgestookt. Dit gaat om ordegrootte 100 MW meer of minder elektriciteitsvraag. Alleen in scenario 2050 Regionale Sturing, waarin grootschalige elektrificatie als uitgangspunt is verondersteld, is ruimte om tot meer dan 300 MW tijdelijk af te schakelen. De grootschalige industrie in Zeeland heeft veelal niet de mogelijkheid haar productieomvang af te stemmen op de beschikbaarheid van energiedragers. Het gaat om zogenoemde *must-run*-capaciteit, die alleen door een afnemende of toenemende marktvraag varieert. Mogelijk gaan hier, bij verandering in kostenstructuur van energiedragers, wel meer mogelijkheden ontstaan.

Bovendien is er wisselwerking tussen elektriciteit, gas en waterstof: om in de waterstof-vraag te voorzien kan worden gekozen voor elektrolysecapaciteit ter plaatse en elek-triciteitsafname, voor een gasvraag gekoppeld aan een SMR, of voor directe waterstof-afname. In scenario Nationale Sturing is er flexibiliteit om waterstof af te nemen in plaats van elektrolyse ter plaatse, in de andere scenario's is er andersom ruimte voor extra opname van elektriciteit voor de productie van waterstof. De maximale hoeveelheid is hier 557 MWe extra voor elektrolyse. Deze waterstof wordt gebruikt als brandstof en als grondstof. De inzet van bestaande SMR's in wisselwerking met elektrolyse of waterstofafname kan ook bijdragen aan flexibiliteit geven (niet opgenomen in Tabel 5). In scenario's Internationale en Generieke Sturing wordt de waterstof alleen als grondstof gebruikt, zodat er geen overlap is met andere flexibele elektriciteitsvraag, anders dan in scenario's Regionale en Nationale Sturing.

Niet al deze flexibiliteitsopties representeren vermogen wat indien gewenst op elk moment meer of minder elektriciteitsvraag kan betekenen. Daarvoor moeten er dubbele voorzieningen zijn, bijvoorbeeld zowel de wkk voor eigen stroom- en stoomproductie, als het grote aansluitvermogen voor elektriciteitsvraag en elektroboiler. Sommige opties representeren veeleer keuzes die eenmaal gemaakt worden: men kiest voor de ene of de andere optie, niet voor beide, en men kan kiezen om een transitie versneld in te voeren of juist uit te stellen.

Tabel 5 - Flexibiliteit in de industrie (MW)

	2020	2030 Reg	2030 Nat	2030 Int	2030 Gen	2050 Reg	2050 Nat	2050 Int	2050 Gen
Meer elektriciteitsvraag	108	128	149	121	121	30	112	121	121
Meer elektriciteitsvraag (i.p.v. waterstofvraag)	310	192	343	557	557	269	141	538	538
Minder elektriciteitsvraag	10	102	126	54	60	340	60	54	61
Minder elektriciteitsvraag (meer waterstofvraag)	10	0	170	0	0	0	104	0	0

Ten slotte, bij aanbodknelpunten kunnen aansluiten op lagere zekerheid (N-0) en op halve capaciteit (in combinatie met een batterij of Power-to-X-installatie) het net ontlasten. Regelgeving, tariefstructuur en de businesscase bij huidige kosten staan dit vooralsnog in de weg of stimuleren het niet.

Hoogspanningsnet

Op het hoogspanningsnet zijn drie typen knelpunten geobserveerd: op 150 kV door grote overschotten van lokale zon en wind, op 150 kV door grote elektrificatie in Zeeuws-Vlaanderen, en op 380 kV in het scenario met uitbreiding van aanlanding van wind op zee naar 6,9 GW.

Het eerste type knelpunt kan op een aantal manieren het hoofd worden geboden. Allereerst zijn er manieren om het net anders in te zetten: het openen van de 150 kV-verbinding Rilland-Woensdrecht kan zorgen voor voldoende capaciteit om aanbod van lokale opwek te transporteren. Verzwaring kan een optie zijn, met name de 150 kV-verbinding Borssele-Goes de Poel een optie zijn. Een andere optie is om een nieuw 380/150 kV koppelpunt in Rilland te installeren, waarmee het 150kV-net is in te delen in kleinere deelnetten achter de 380 kV-stations Borssele en Rilland. Oftewel, dit verandert de topologie zodat lokale overschotten zo snel mogelijk naar het netvlak van 380 kV worden gebracht. Alternatieven zijn aansluiten op lagere zekerheid (N-0), aansluiten op halve capaciteit, grootschalige opslag met batterijen, conversie met een Power-to-X-installatie, of een combinatie hiervan. Ten slotte kan de flexibiliteit van de industrie, zoals bovenstaand reeds besproken, een bijdrage leveren door de elektriciteitsvraag tijdelijk te vergroten. Dit betekent echter nog steeds dat transportcapaciteit nodig is, nu naar de industrie in Zeeland zelf in plaats van Zeeland uit.

Het tweede type knelpunt betreft de industrie in Zeeuws-Vlaanderen. De verbindingen onder de Westerschelde bieden te weinig capaciteit voor grootschalige elektrificatie of elektrolyse in Zeeuws-Vlaanderen. Dit is een kritische factor in de ontwikkeling van de daar gevestigde industrie, zowel vanuit economisch perspectief van de regio en in het licht van de doelen uit het Klimaatakkoord. Grootschalige elektrificatie van de industrie en elektrolyse in Zeeuws-Vlaanderen zouden aanzienlijke verzwaring vereisen. Uitbreiding van de bestaande 150 kV-verbinding onder de Westerschelde wordt door TenneT niet op voorhand als onhaalbaar aangemerkt, maar dit levert te weinig extra vermogen. Het aanleggen van een 380 kV-verbinding naar Zeeuws-Vlaanderen wordt ook niet op voorhand als onhaalbaar aangemerkt, echter enkel als uitloper vanuit station Borssele, niet als opname in de ring tussen Rilland en Borssele.

Nader onderzoek is nodig en zal door TenneT worden geïnitieerd. Een aantal relevante overwegingen daarbij:

- De afstand tussen Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen is minimaal 5 km. Maximale lengte van een gestuurde boring is 1 tot 1,5 km. Maximale lengte van 380 kV-kabel op een kabelhaspel is circa 1 km. Dat betekent dat zijn minimaal vier moflocaties noodzakelijk in de Westerschelde, en deze moflocaties moeten in alle situaties toegankelijk zijn. Dit geeft aanzienlijke hinder voor de scheepvaart door de Westerschelde tijdens aanleg en tijdens onderhoud/storing.
- TenneT doet voor dit type investeringen altijd situationeel onderzoek naar de spanningshuishouding, impact op harmonischen, impact op overspanningen en dynamische stabiliteit. Er wordt in Zeeland (project ZW380 West) al voorwaardelijk een deel 380 kV-kabel toegepast; de voorwaarde is dat eerst ZW380 Oost in bedrijf dient te zijn. Er zal eerst een studie uitgevoerd moeten worden of uitbreiding met 380 kV-kabel in dit deel van het 380 kV-net mogelijk is gelet op genoemde parameters, oftewel spanningshuishouding en stabiliteit.
- Een eerste schatting van TenneT voor de investeringskosten is € 250 tot 500 miljoen.

Een alternatieve oplossing kan zijn om een 380 kV-verbinding te realiseren vanuit Vlaanderen (BE), met name als 380 kV-uitloper en zonder nieuwe interconnector. Een ander scenario is om aan de vraag te voldoen met een ander energiedrager: minder elektriciteit en meer gas. Dat zou echter impliceren dat de industrie beperkt elektrificeert en elektrolyse deels plaatsvindt buiten Zeeuws-Vlaanderen.

Het derde knelpunt betreft het 380 kV-net. Wanneer meer dan 3,5 GW wind op zee aanlandt in Borsele, dan zal dit grotendeels Zeeland uit getransporteerd moeten worden, over het 380 kV-net. In dat geval zou verzwaring nodig zijn, of er moet Power-to-X plaatsvinden. Dit kan op zee of in Borsele, en het kan bijvoorbeeld waterstofproductie met elektrolyse zijn. Aandachtspunt bij elektrolyse is dat dit ook een vragende partij kan zijn op momenten dat het weinig waait, waarvoor dan stroom van buiten Zeeland aangevoerd zou moeten worden. Aanvoer van waterstof via de backbone kan dit elektriciteitstransport voorkomen.

Gasnet (methaan, waterstof en CO_2)

Met name in 2030 zal het gasnet kritiek zijn. Er zijn meerdere gassen waarvoor gelijktijdig capaciteit wordt gevraagd: hoog- en laagcalorisch aardgas, waterstof en CO_2. Een optie is om leidingen in de oplossing te betrekken die nu niet in handen zijn van de netbeheerders. Het gaat met name om de Midden-Zeelandleiding, de Zebraleiding in Zeeuws-Vlaanderen en de naftaleiding tussen Zeeland Refinery en Dow. Dit vereist nader onderzoek en afstemming: kunnen de buizen geschikt gemaakt worden en onder welke condities kunnen ze beschikbaar komen?

Een alternatief kan zijn om nieuwe buisleidingen aan te leggen. Een ander alternatief is om gassen aan te voeren vanuit België. Bijvoorbeeld met elektrolyse bij Rodenhuize, waarbij de zuurstof naar Arcelor Mittal (BE) kan worden getransporteerd en de waterstof naar onder andere Dow en Yara.

Een ander alternatief is elektrolyse op locatie van de industrie zelf, zodat geen waterstof daarnaartoe hoeft te worden getransporteerd, maar elektriciteit. Grootschalige elektrolyse in Zeeuws-Vlaanderen zou echter juist leiden tot extra knelpunten in het hoogspanningsnet. Het omgekeerde, aanvoer van waterstof in plaats van elektrolyse ter plekke, komt eerder in aanmerking gezien de huidige infrastructuren.

Ten slotte kan de transitie van gassen beter gepland worden wanneer de overstap naar waterstof niet wacht op de beschikbaarheid van groene waterstof, maar al in gang wordt gezet met blauwe waterstof. Dit geldt voor het gasnet en ook voor de industrie zelf, waar onder andere branders geschikt gemaakt moeten worden voor waterstof in plaats van aardgas.

Warmtenet

Warmtenetten zouden eerst aangelegd moeten worden. Het alternatief is evident: andere warmtevoorziening, met name elektrisch over het elektriciteitsnet, of met groengas of met waterstof over het gasnet.

7 Conclusies en aanbevelingen

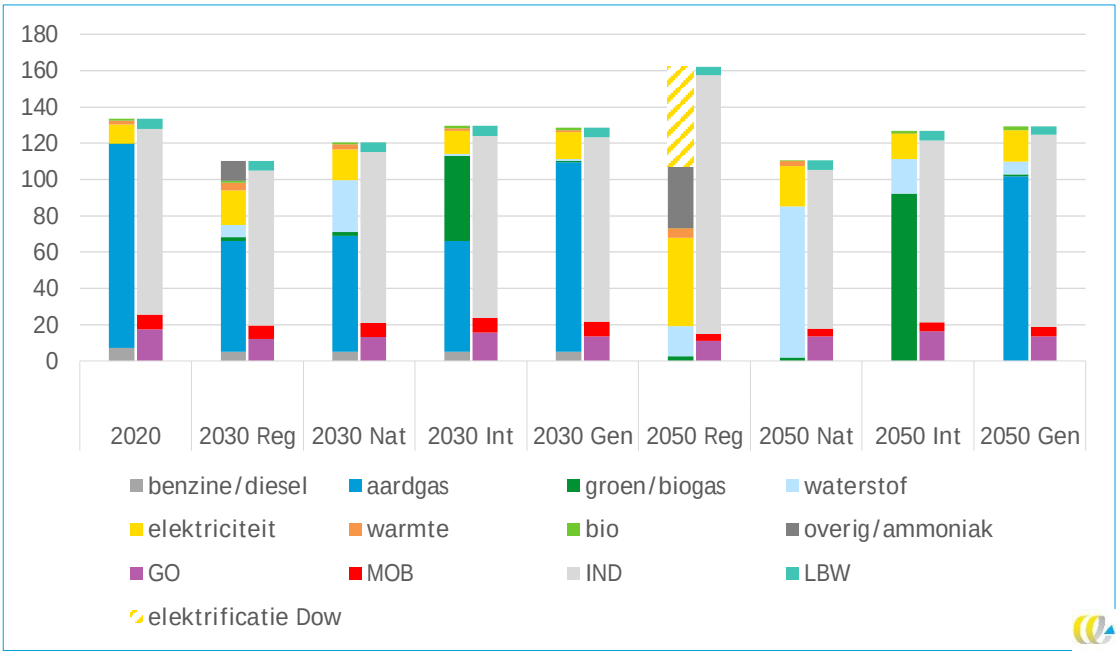
Vraag

Nu bestaat in Zeeland de energievraag - gedefinieerd als de afname aan de poort of aan de meter, wat er geleverd zou moeten worden aan energiedragers via de energie-infrastructuren - grotendeels uit aardgas. Die wordt gebruikt voor verwarming in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw, en in de industrie voor (hogetemperatuur-)warmte en als grondstof. Voor gebruik als grondstof wordt het aardgas eerst omgezet in waterstof. Het totale waterstofgebruik is circa 48 PJ. Elektriciteit wordt nu afgenomen voor kracht en licht, nog nauwelijks voor verwarming.

De energievraag in de gebouwde omgeving en mobiliteit zal afnemen, door besparing en elektrificatie. Dit geldt ook in de industrie en landbouw. De industrie is verantwoordelijk voor het grootste deel van de energievraag, en dan is hier de import van ruwe olie voor bijvoorbeeld Zeeland Refinery nog niet meegenomen.

De vraag naar elektronen zal sterk toenemen. Nu is die 14 PJ, tot 2030 kan die groeien naar 16-24 PJ en tot 2050 naar 23-40 PJ. In een variant met elektrisch kraken bij Dow zou de elektriciteitsvraag meer dan verdubbelen: 2 GW volcontinu komt neer op meer dan 60 PJ. De vraag naar moleculen kan ofwel gelijk blijven en van vorm veranderen (aardgas met CCS, biogas, waterstof, import van ammoniak) ofwel afnemen (elektrificatie van warmte).
Er kan een totale waterstofvraag ontstaan in 2050 van circa 83 PJ.

Figuur 35 - Vraag per sector en per energiedrager (PJ)



Tabel 6 - **Overzicht vraag in alle scenario's** (PJ/jr) *

		2020	2030				2050			
			Reg	Nat	Int	Gen	Reg	Nat	Int	Gen
	Totaal	133	110	120	129	129	107	110	127	129
	Methaan	113	63	66	108	105	2	2	92	103
	Elektriciteit	11	19	17	13	15	49 (+55)	22	14	18
	Waterstof	-	7	29	1	1	17	83	19	7
	Warmte	2	4	3	1	1	5	3	0	-
	Bio	1	1	1	1	1	0	0	1	2
	Overig	7	16	5	5	5	34	-	-	-
	Gebouwde omgeving	17	12	13	16	14	11	13	16	14
	Aardgas	12	2	4	10	8	-	-	-	4
	Groengas	-	2	2	-	-	2	2	0	-
	Elektriciteit	5	6	6	5	6	6	6	5	6
	Waterstof	-	-	-	-	-	-	4	11	4
	Warmte	0	2	2	0	-	3	2	0	-
	Bio	-	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mobiliteit	8	7	8	8	8	4	4	5	5
	Fossiel	7	5	5	5	5	-	-	-	-
	Elektriciteit	0	1	1	1	1	3	2	2	2
	Waterstof	-	0	1	1	1	1	2	3	3
	Groengas	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	Biobrandstof	1	1	1	1	1	-	-	-	-
	Industrie **	103	86	94	100	102	88	88	100	106
	Aardgas	97	57	57	48	95	-	-	-	98
	Biogas	-	-	-	46	-	1	-	92	-
	Elektriciteit	5	10	9	6	7	37 (+55)	13	6	8
	Waterstof	-	7	28	-	-	16	75	2	-
	*- Waterstofgebruik****	*48*	*44*	*65*	*48*	*48*	*19*	*83*	*50*	*48*
	Overig	-	11	-	-	-	34	-	-	-
	Landbouw	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Aardgas	3	2	3	3	2	-	-	-	-
	Groengas	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	Elektriciteit	1	1	1	1	1	2	1	1	2
	Waterstof	-	-	-	-	-	-	3	3	-
	Warmte	2	2	2	1	1	2	1	-	-

* Vraag is hier gedefinieerd als afname aan de poort of aan de meter, wat er geleverd zou moeten worden via de energie-infrastructuren. Dit is anders dan finaal gebruik achter de poort of achter de meter. De cijfers zijn exclusief ruwe olie en andere grondstofstromen. De cijfers zijn exclusief de vraag van centrales voor productie voor de elektriciteitsmarkt.

** Dow, Trinseo en Elsta zijn hier als één vraagpartij opgenomen. Wat onderling wordt uitgewisseld aan stoom, warmte en kraakgassen blijft hier dus buiten beeld. Onder 2050 Regionale Sturing is als variant elektrificatie van Dow opgenomen: 2 GW, circa 60 PJ, waarvan circa 55 PJ additioneel ten opzichte van het reguliere scenario.

*** In afwijking van de andere cijfers geeft deze regel het waterstofgebruik weer (achter de poort), niet de afname aan de poort. Het laat zien dat de huidige industrie een waterstofgebruik kent van 48 PJ.

Aanbod

Nu zijn er drie centrales in Zeeland: Sloe (aardgas), Borssele (kernreactor) en Elsta (aardgas en waterstof uit kraakgassen). Elsta draait om Dow van stroom en warmte te voorzien, en levert ook aan het net. De centrales hebben een gezamenlijke capaciteit van 1,7 GW, er is in 2020 circa 0,4 GW aan zon-pv, 0,6 GW aan wind op land en 0,75 GW aanlanding van wind op zee (kavels Borssele I+II). Daar staat een regionale elektriciteitsvraag tegenover van ca. 400 tot 500 MW, zodat Zeeland veelal elektriciteit de regio uit transporteert. Voor gas is dat andersom: om in de regionale gasvraag te voorzien, ook voor de Sloecentrale en Elsta, wordt dit de provincie in getransporteerd.

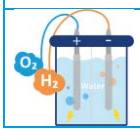
Voor 2030 nemen we aan dat de drie centrales nog operationeel zijn. Voor 2050 zou er een vervanger van de Sloecentrale kunnen zijn (op aardgas met CCS, op biogas of op waterstof); hetzelfde geldt voor Elsta, maar elektrificatie van de warmte voor Dow is ook een optie; en een nieuwe kerncentrale is voorstelbaar maar geen goede combinatie met volatiel aanbod van zon en wind. Kerncentrales kunnen slechts beperkt op- of afgeschakeld worden in reactie op volatiel aanbod, alternatief kunnen ze voor waterstofproductie worden ingezet. De vraag is of dit economisch ook uit kan.

Zon en wind kunnen sterk groeien. In de meest extreme variant (scenario 2050 Regionale Sturing) is 4,1 GW zon-pv en 2,8 GW wind op land opgesteld. Wel realistisch is aanlanding van 3,5 GW wind op zee: kavels Borssele III+IV komen erbij in 2021 en later mogelijk een deel van IJmuiden-VER. Scenario 2050 Nationale Sturing is hierop een extreme variant met 6,9 GW wind op zee.

Wanneer zon en wind sterk groeien, dan kan de elektriciteitsvoorziening veelal zonder centrales. Niettemin zijn centrales dan nog nodig voor momenten waarop er geen zon of wind is. In scenario 2050 Regionale Sturing, met veel volatiel aanbod, is in Nederland dan nog behoefte aan circa 28 GW regelbaar vermogen. Zeeland zou hier een rol in kunnen spelen, vanwege de beschikbaarheid van koelwater.

Met name de grote hoeveelheid wind op zee geeft elektriciteitsoverschotten en die kunnen worden ingezet voor elektrolyse. Bij 3,5 GW wind op zee is ruimte tot 1,6 GWe elektrolyse, afhankelijk van hoe de elektriciteitsvraag zich ontwikkelt. Echter, wat binnen Zeeland een overschot is, hoeft dat binnen de context van de internationale elektriciteitsmarkt niet te zijn. In dat geval zal de stroom van wind op zee via Zeeland verder naar Nederland en Duitsland getransporteerd moeten worden.

Tabel 7 - Overzicht aanbod in alle scenario's

		2020	2030				2050			
			Reg	Nat	Int	Gen	Reg	Nat	Int	Gen
	Gas									
	Groengas (PJ/jr)	0	3	3	3	3	3	3	3	3
	Max potentie waterstof uit wind op zee (PJ/jr)	0	18	22	6	23	10	51	7	22
	CO_2 (kton/jr)	1.500	2.770	2.770	870	930	9.680	2.770	3.070	7.390
	Wind (MW)	1.327	4.708	4.248	2.093	4.093	6.307	8.364	2.460	4.460
	Op land	575	1.206	745	590	590	2.805	1.424	958	958
	Op zee	752	3.503	3.503	1.503	3.503	3.503	6.941	1.503	3.503
	Zon (MW)	373	1.988	942	674	705	4.113	1.646	909	990
	Dak	238	975	483	412	420	1.343	537	393	406
	Veld	135	1.013	459	262	285	2.770	1.108	516	584
	Centrales (MW)	1.724	1.724	1.724	1.724	1.724	870	1.239	1.239	1.724
	Aard/groengas	1.239	1.239	1.239	1.239	1.239	870		1.239	1.239
	Waterstof							1.239		
	Biomassa									485
	Kernenergie	485	485	485	485	485	0	0	0	0
	Elektrolyse (MWe)	0	1.226	1.576	376	1.576	701	3.470	2.051	1.576
	Met wind op zee	0	1.226	1.576	376	1.576	701	3.470	451	1.576
	Met kernenergie								1.600	

7.1 Knelpunten in de infrastructuur

Wat is de impact op de infrastructuur wanneer vraag en aanbod zich ontwikkelen zoals in deze scenario's? In hoeverre kunnen die ontwikkelingen met huidige infrastructuur worden gefaciliteerd en waar en wanneer ontstaan er knelpunten? Dit is doorgerekend door de netbeheerders Enduris, TenneT en Gasunie.

Elektriciteitsnet regionale netbeheerder

Op laagspanningsniveau is er elektriciteitsvraag van gebouwde omgeving en mobiliteit, en aanbod van zon op dak. Op middenspanningsniveau komt daar elektriciteitsvraag van de meeste industrie bij, en aanbod van zon op veld en wind op land. Regionale netbeheerder Enduris beheert bovendien een aantal tracés tussenspanning (50 kV), als tussenstap tussen hoog- en middenspanning.

Knelpunten door toename van de vraag komen in alle scenario's, ook in 2030, voor op de 50 kV-lus van Goes over Schouwen-Duiveland en Tholen naar Kruiningen, en ook bij Hulst (Cambron), Terneuzen-Zuid en Oostburg. Bij Vlissingen zal in 2030 de huidige capaciteit vrijwel maximaal worden aangewend. We zien zowel vraagknelpunten ontstaan door elektrificatie van verwarming in de gebouwde omgeving als door groei van laden voor mobiliteit. Elektrificatie in de industrie kan in Sas van Gent al voor 2030 tot knelpunten leiden.

Knelpunten door toename van aanbod (lokale opwek met zon en wind) ontstaan met name in scenario's Regionale Sturing en in mindere mate Nationale Sturing en meest in 2050. Deze aanbodknelpunten kunnen overal ontstaan. Sommige stations vervullen een centrale

functie voor een groter gebied, zoals Middelburg voor Walcheren, Zierikzee voor Schouwen-Duiveland en Oostburg voor het westelijk deel van Zeeuws-Vlaanderen.

Hoogspanningsnet

Op hoogspanningsniveau komt alles samen. Ten opzichte van lagere niveaus komt de grote industrie erbij aan de vraagzijde, en centrales, aanlanding van wind op zee en enkele grote wind- en zonneparken aan de aanbodzijde. Er is een 150 kV-netwerk vanaf Rilland over Zuid-Beveland en in Zeeuws-Vlaanderen, met een 150 kV-verbinding onder de Westerschelde. De 380 kV-verbinding van Borssele naar Rilland is vooral bedoeld voor transport van aanbod van centrales en wind op zee.

Er ontstaan knelpunten in het 150 kV-net door aanbod van lokale opwek (wind op land, zon-pv). In 2030 is dit vrijwel uitsluitend het geval in scenario Regionale Sturing, oftewel bij sterke groei van het aanbod. In 2050 is in alle scenario's de lokale opwek gegroeid ten opzichte van 2030 en ontstaan in alle scenario's knelpunten.

De groeiende elektriciteitsvraag kan in principe gefaciliteerd worden over het 150 kV-net, behalve bij een sterke elektrificatie en/of elektrolyse in de industrie in Zeeuws-Vlaanderen. De verbindingen onder de Westerschelde bieden daarvoor te weinig capaciteit.

De 380 kV-verbinding Borssele – Rilland voldoet voor transport van elektriciteit van 3,5 GW wind op zee en de centrales. Alleen in het scenario Nationale Sturing met 6,9 GW wind op zee ontstaat hier een knelpunt.

Gasnet (methaan, waterstof en CO_2)

In 2050 is er ofwel veel waterstof, ofwel veel groengas/biogas, ofwel veel aardgas en afvoer van CO_2. In al deze scenario's is er voldoende capaciteit in het net voor gastransport, enkel 3,5 GWe waterstofproductie in Borsele kan een knelpunt geven.

2030 is spannender, omdat midden in de transitie mogelijk alle vormen van gas naast elkaar bestaan: hoog- en laagcalorisch aardgas, waterstof en CO_2. Dit vraagt gelijktijdige capaciteit in meerdere buisleidingen. In 2030 is, gezien de huidige gasleidingen, een buis te weinig in zowel Zuid-Beveland als Zeeuws-Vlaanderen. Bovendien, wanneer het wisselen tussen buizen nodig is, dan ontstaat een tijdelijk knelpunt.

Het distributienet naar de gebouwde omgeving kan geschikt worden gemaakt voor waterstof. Dit zal met hogere snelheden door de leidingen moeten gaan. Om hierin te kunnen voorzien zal versterking van 10-20% van de distributiestations nodig zijn en kunnen op enkele kritieke trajecten extra leidingen nodig zijn (tot circa 3%).

Warmtenet

De Zeeuwse industrie en centrales vormen warmtebronnen om de gebouwde omgeving mee te verwarmen. De meeste potentie, gezien nabijheid van bronnen en dichtheid van bebouwing, is er in Vlissingen, Middelburg en Terneuzen. Daarvoor zouden de warmtenetten wel eerst aangelegd moeten worden. Dit vormt een alternatief voor ombouw van het gasnet of verzwaring van het elektriciteitsnet ten behoeve van verwarming. De glastuinbouw op de Axelse vlakte is voorzien van een warmtenet, andere gebieden met kassen zijn hiervoor niet gunstig gelegen.

7.2 Opgaven en aanbevelingen

Wat zijn de mogelijke oplossingen voor deze knelpunten, oftewel wat zijn de opgaven voor de energie-infrastructuur in Zeeland? En wat voor aanbevelingen kunnen we doen over meer of minder geschikte oplossingen en te ondernemen stappen?

Elektriciteitsnet regionale netbeheerder

Verzwaring van de elektriciteitsvoorziening naar Schouwen-Duiveland en Tholen is nodig om de groeiende vraag zowel als aanbod te faciliteren. In 2030 zijn hier al knelpunten voorzien, deze treden in alle scenario's op. Hetzelfde geldt voor de omgeving rondom Hulst (Cambron), rondom Terneuzen-Zuid en rondom Oostburg. Bij Vlissingen zal in 2030 de huidige capaciteit vrijwel maximaal worden aangewend en daar zal rond 2030 verzwaring nodig zijn. Elektrificatie van de industrie kan in Sas van Gent al voor 2030 tot knelpunten leiden.

Wanneer de warmtevraag van de gebouwde omgeving wordt geëlektrificeerd, dan kan verzwaring van het netwerk noodzakelijk worden. Hetzelfde geldt voor elektrificatie van mobiliteit. Slim laden kan de noodzaak voor verzwaring vanuit mobiliteit verlichten. Alternatieven zijn verwarming met groengas of waterstof, en mobiliteit met waterstof. Kiest men voor elektrificatie, dan is voorbereiding van verzwaring van midden- en laag-spanningsnet met de regionale netbeheerder noodzakelijk, ook al voor 2030.
Dit vraagt intensieve afstemming tussen Enduris en lokale overheden.

Er is meer potentie voor lokale opwek dan nu door de netten kan worden verwerkt. Bij groei boven de huidige ambities van de RES zal flexibiliteit een deel van de oplossingen moeten vormen. Aansluiting op lagere zekerheid, waar in geval van een storing de afname niet meer verzekerd is, vormt een eerste alternatief voor verzwaring. Deze optie is momenteel nog niet in de netcode vastgelegd. Kleinere aansluitingen in combinatie met batterijen kan het aanbod van zonneparken spreiden over de tijd. Dit kan maatschappelijk zinvol zijn, maar wordt door de huidige structuur van nettarieven niet gestimuleerd.

Hoogspanningsnet

Het 150 kV-net geeft aanbodknelpunten bij een sterke groei van lokale opwek. Het is zaak voor TenneT om hier, samen met regionale netbeheerder Enduris, de vinger aan de pols te houden. Aansluiting op lagere zekerheid of kleinere capaciteit dan piekvermogen kunnen ook op het hoogspanningsnet bijdragen om knelpunten te voorkomen. Bij windparken vormen (kleine) installaties voor conversie naar waterstof of warmte (Power-to-X) nog een alternatief.

Daarnaast zullen er vraagknelpunten ontstaan in Zeeuws-Vlaanderen. Dit is een kritische factor in de verduurzaming van de daar gevestigde industrie. Grootschalige elektrificatie van de industrie en elektrolyse in Zeeuws-Vlaanderen zouden aanzienlijke verzwaring vereisen. Uitbreiding van de bestaande 150 kV-verbinding onder de Westerschelde wordt niet op voorhand als onhaalbaar aangemerkt. Dit geldt ook voor het aanleggen van een 380 kV-verbinding naar Zeeuws-Vlaanderen als uitloper vanuit station Borssele (niet als opname in de ring tussen Rilland en Borssele). Nader onderzoek is nodig, waarover afspraken worden gemaakt door TenneT in overleg met andere relevante partijen.

Het advies is om daarnaast naar andere oplossingen te kijken. Een alternatief is verbinding via Vlaanderen (BE), met name als 380 kV-uitloper en zonder nieuwe interconnector.

Een ander scenario is om aan de vraag te voldoen met een andere energiedrager: minder elektriciteit en meer gas. Dat zou echter impliceren dat de industrie beperkt elektrificeert en elektrolyse deels plaatsvindt buiten Zeeuws-Vlaanderen.
De ruimte voor flexibiliteit in de industrie zal groeien tot enkele honderden megawatts. Bij elektrolyse op locatie biedt schakelen naar waterstofafname extra ruimte, maar dit vereist aanbod uit de waterstofbackbone of lokale opslag. Ook de bestaande SMR's kunnen tot op een bepaalde hoogte flexibel worden ingezet. Flexibiliteit kan bijdragen tijdelijke knelpunten te voorkomen, bijvoorbeeld overschotten uit lokale opwek of vraagpieken in andere sectoren bij windstilte. Structurele knelpunten worden niet voorkomen met flexibiliteit.

De 380 kV-verbinding van Borssele naar Rilland voldoet bij 3,5 GW aanlanding wind op zee in Borssele, maar is als knelpunt aangemerkt wanneer daar 6,9 GW wind op zee is aangesloten (scenario 2050 Nationale Sturing). Dergelijke grote aanlanding zou extra mogelijkheden bieden voor elektrolyse ten behoeve van industriële vraag naar waterstof. Echter, wanneer elders in Nederland de elektriciteit gevraagd is, zal transportcapaciteit nodig zijn. Dat roept de vraag op hoe aanlanding van wind op zee in Zeeland meer dan 3,5 GW zich verhoudt tot andere locaties.

De business case voor waterstofproductie in de regio dient in samenhang te worden onderzocht met zowel de lokale vraag naar waterstof en zuurstof, als de nationale elektriciteitsmarkt, alsook transportcapaciteit van elektriciteitsnet en gasnet. Potentiële locaties - Borsele, Zeeuws-Vlaanderen en eventueel Rodenhuize (BE) – kunnen hierop worden vergeleken. Inzichten uit deze studie zijn meegegeven aan het lopende onderzoek naar 1 GW elektrolyse binnen Smart Delta Resources.

Gasnet (methaan, waterstof en CO_2)

Lokale overheden en bewoners staan voor keuzes omtrent de gebouwde omgeving: verwarmen met groengas of waterstof, met warmtepompen, of warmtelevering?
En dus via het gasnet, het elektriciteitsnet, of een warmtenet? Voor het gasnet voor distributie betekent dit gecontinueerd gebruik, ombouw of amoveren.

Voor het transportnet van gassen is capaciteit niet het voornaamste probleem, wel de planning. In een overgangsperiode is er vraag naar transport van vier gassen: hoogcalorisch en laagcalorisch aardgas, waterstof en CO_2. Dit vraagt gelijktijdige capaciteit in meerdere buisleidingen. In 2030 is, gezien de huidige gasleidingen, een buis tekort in zowel Zuid-Beveland als Zeeuws-Vlaanderen. Oplossingen zijn eerst te zoeken in inzet van andere bestaande buisleidingen, en alternatief in transport door Vlaanderen, transport per schip, nieuwe aanleg of een mix hiervan.

Om de transitie goed te laten verlopen en partijen niet voor voldongen feiten te stellen, is coördinatie nodig tussen partijen die transportcapaciteit vragen (gemeenten, industrie) en partijen die buisleidingen beschikbaar hebben (Gasunie, industrie en andere). Vervolgens zal ombouw gedaan moeten worden bij de overgang naar waterstof of CO_2. Buisleidingen, hun capaciteit en de vraag zijn nu in beeld voor 2030 en 2050, en de vervolgstap is om vast te stellen: welk commitment kan worden afgegeven voor de vraag, kunnen buizen geschikt gemaakt worden voor toekomstige gassen, en wanneer en onder welke condities kunnen ze beschikbaar komen? Daarbij dient naast groene waterstof ook gekeken te worden naar blauwe waterstof. In de industrie wordt veel waterstof gebruikt als grondstof, en gebruik als brandstof kan een alternatief zijn voor elektrificatie.

Warmtenet

Er is potentie voor warmtenetten in Vlissingen, Middelburg en Terneuzen, gezien de nabijheid van bronnen en de dichtheid van bebouwing. De glastuinbouw op de Axelse vlakte is voorzien van een warmtenet, andere gebieden met kassen zijn hiervoor minder gunstig gelegen. Warmtenetten vereisen aanleg van infrastructuur voor transport en distributie, en governance over levering en afname. Expertise moet verder worden opgebouwd voor besluitvorming op hetzelfde niveau als bij gas- en elektriciteitsnetten. Dit is mede afhankelijk van de ontwikkeling van de Warmtewet 2.0.

Governance van de transitie

Deze systeemstudie maakt duidelijk dat, met de energietransitie naar klimaatneutraal, de vraag aan energie-infrastructuren zal veranderen en welke vraagstukken specifiek ontstaan in een viertal scenario's. Overleg en coördinatie zijn nodig om de transitie steeds verder uit te tekenen, belemmeringen tijdig in beeld te krijgen en partijen niet voor voldongen feiten te stellen. Het gaat dan om zowel vraagpartijen, aanbodpartijen alsook netbeheerders Enduris, TenneT en Gasunie, en overheden. Met name de elektriciteitsverbinding van Zeeuws-Vlaanderen is kritiek voor ontwikkeling van daar gevestigde industrie.

De aanbeveling is de transitie langs twee sporen te begeleiden:

1. Vanuit de RES, met Enduris. Focus op distributie van elektriciteit, gassen en warmte; focus op de sectoren gebouwde omgeving, mobiliteit en lokale opwek.
2. Vanuit SDR, met TenneT en Gasunie. Focus op transport van elektriciteit, gassen en CO_2; focus op de sectoren industrie, centrales en wind op zee. Het is aanbevolen om partijen uit België uit te nodigen hieraan bij te dragen, ten behoeve van integrale afweging van de Kanaalzone en eventuele verbindingen van Zeeuws-Vlaanderen met Vlaanderen.

Afstemming met het Rijk is nodig om provinciale ontwikkelingen en nationaal beleid met elkaar in de pas te laten lopen en belemmeringen te adresseren ten aanzien van investeringen in het net en regelgeving rondom flexmaatregelen. Hier is een centrale rol weggelegd voor de provincie.

Om dit doorgaande proces met feiten te ondersteunen, is het van nut om het energiesysteem bij herhaling integraal door te rekenen. Dit onderzoek en de bijbehorende dataset kunnen als basis dienen voor 'levende' datasets over 2030 en 2050, om daarop partijen uit te nodigen hun gegevens periodiek te updaten met de meest recente plannen - een levend en actueel toekomstbeeld van het energiesysteem.

A Literatuur

ACM, 2018. *Besluit maximumprijs levering warmte 2019.* [Online]
Available at: https://www.acm.nl/nl/publicaties/besluit-maximumprijs-levering-warmte-2019
[Geopend 2019].

CBS, 2016. *Kerncijfers wijken en buurten.* sl:sn

CE Delft en Generation.Energy, 2019. *Analysekaarten NP RES : verantwoording bronnen en methoden.* [Online]
Available at: https://www.regionale-energiestrategie.nl/toolbox/analysekaarten+np+res/default.aspx
[Geopend 2019].

CE Delft, 2015. *Visie 2030 Glastuinbouw : Energie en Klimaat ; rapportage fase 1,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017a. *Net voor de Toekomst,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017b. *Net voor de Toekomst : Achtergrondrapport,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017c. *Net voor de toekomst,* https://www.ce.nl/publicaties/2030/net-voor-de-toekomst: Netbeheer Nederland.

CE Delft, 2018. *Elektrificatiepotentieel SDR-bedrijven in de Kanaalzone : Verkenning van de mogelijke lange termijn ontwikkelingen in industriële elektriciteitsbehoefte bij verschillende beleidsontwikkelingen,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018. *Roadmap towards a climate neutral industry in the Delta region,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2019. *CELINE rekenmodel Laadbehoefde elektrische auto's,* Delft: CE Delft.

DES BV, 2019. *Samenwerkingsverband telers in Sirjansland realiseert een uniek duurzaam energie project.* [Online]
Available at: http://www.des-bv.nl/home/
[Geopend 2019].

DOW, sd *De ELSTA centrale behoort tot de schoonste gasgestookte centrales van Europa.* [Online]
Available at: https://www.elstacogen.nl/
[Geopend 2019].

ECN, 2013. *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector,* sl: sn

EPZ, sd *Kerncentrale.* [Online]
Available at: https://epz.nl/themas/kerncentrale
[Geopend 2020].

Gasunie TenneT, 2019. *Infrastructure Outlook 2050,* sl: sn

Gasunie, 2018. *Verkenning 2050,* sl: sn

Gemini , lopend. *Gemini : About Gemini wind park.* [Online]
Available at: https://www.geminiwindpark.nl/about-gemini-wind-park.html
[Geopend 2019].

Klimaatakkoord.nl, 2019. *Klimaatakkoord,* Den Haag: Rijksoverheid.

Meijer Energie & Milieumanagement B.V, 2008. *SWING,* Den Haag: Meijer Energie & Milieumanagement B.V.

Ørsted, sd *Borssele 1+2 : Algemene informatie windpark Borssele 1+2.* [Online]
Available at: https://orsted.nl/Onze-windparken/Borssele-1-and-2
[Geopend 2019].

Over Morgen, 2019. *Factsheets Prognose Elektrisch Vervoer per Gemeente (Provincie Zeeland) ,* sl: sn

PBL, 2019a. *Effecten ontwerp klimaatakkoord,* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2019b. *Achtergronddocument Effecten Ontwerp Klimaatakkoord: Elektriciteit,* https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-achtergrondrapport-effecten-ontwerp-klimaatakkoord-elektriciteit_3685.pdf: PBL.

Provincie Zeeland, lopend. *Zeeland land in zee : Open Data portaal Zeeland.* [Online]
Available at: https://dataportaal.zeeland.nl/dataportaal/srv/dut/catalog.search#/home
[Geopend 2020].

Rijksoverheid, sd *Emissieregistratie.* [Online]
Available at: http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/selectie/criteria.aspx
[Geopend 15 oktober 2019].

Rijksoverheid, sd *Noordzeeloket, functies en gebruik : Windenergie op zee.* [Online]
Available at: https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/windenergie-zee/
[Geopend 2019].

Rijkswaterstaat, lopend a. *Klimaatmonitor: Landbouw, Bosbouw en Visserij (fysieke eenheden) 2018 : Gemeenten van Zeeland.* [Online]
Available at: https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive?workspace_guid=7c008637-4f3a-46e1-80b0-3d14e665c1c7
[Geopend 2019].

Rijkswaterstaat, lopend g. *Vermogen geregistreerde zonnepanelen 2018 : Gemeenten van Zeeland.* [Online]
Available at: https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive?workspace_guid=3fe005a5-fd10-4e14-8e81-fd9838b86cde
[Geopend 2019b].

Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech ; CE Delft, 2019. *Onderzoek Clean Underground Sustainable Transport (CUST) : Verkenning naar de haalbaarheid, vormgeving en realisatie van grootschalige pijpleidinginfrastructuur voor klimaatneutrale industrie in North Sea Port,* Amersfoort: HaskoningDHV Nederland BV.

Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech; CE Delft, 2019. *Onderzoek Clean Underground Sustainable Transport (CUST): Verkenning naar de haalbaarheid, vormgeving en realisatie van grootschalige pijpleidinginfrastructuur voor klimaatneutrale industrie in North Sea Port,* Amersfoort: HaskoningDHV Nederland BV.

RVO, 2018a. *Monitor Wind op Land 2017,* Utrecht: RVO.

RVO, 2018b. *Windsnelheid per gemeente SDE+.* [Online]
Available at:
https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/12/Windsnelheid%20per%20gemeente%20SDE%20december%202018.pdf
[Geopend 2019].

RVO, lopend. *EPBD.* [Online]
Available at: https://www.ep-online.nl/ep-online/
[Geopend 2019].

Sloecentrale, sd *Our Power, Your Energy.* [Online]
Available at: https://www.sloecentrale.nl/nl/#Home
[Geopend 2019].

Sunvest, 2019. *Energiepark Duurkenakker.* [Online]
Available at: https://sunvest.nl/energiepark-duurkenakker/
[Geopend 2019].

TNO; EBN, 2018. *Ondergrondse Opslag in Nederland: Technische verkenning,* Utrecht: TNO.

Van Oord, 2018. *Borssele III/IV van Blauwwind consortium bereikt Financial Close.* [Online]
Available at: https://www.vanoord.com/nl/nieuws/2018-borssele-iiiiv-van-blauwwind-consortium-bereikt-financial-close
[Geopend 2019].

Velden, N. v. d., Smit, P. & Buurma, J., 2018. *Prognoses CO2-emissie glastuinbouw 2030,* Wageningen: Wageningen Economic Research.

WamCO2, 2018. *Duurzame glastuinbouw door gebruik van restwarmte en rest CO2.* [Online]
Available at: https://www.warmco.nl/page/warmco/
[Geopend 2019].

WK2020, 2013. *WoningKwaliteit 2020 Factsheet 7.5 : Verschil tussen theoretisch en werkelijk energiegebruik voor woningverwarming.* [Online]
Available at: http://www.wk2020.nl/documents/Factsheet7.5.pdf
[Geopend 2019].

Zeeuws Energieakkoord, 2019a. *Parijs op z'n Zeeuws.* [Online]
Available at: https://www.zeeuwsenergieakkoord.nl/
[Geopend 2019].

Zeeuws Energieakkoord, 2019b. *Bouwsteen RES Zeeland Gebouwde Omgeving (concept),* sl: Zeeuws Energieakkoord.

Zeeuws Energieakkoord, 2019c. *Bouwsteen RES Zeeland Mobiliteit (concept),* sl: Zeeuws Energieakkoord.

Zeeuws Energieakkoord, 2019d. *Bouwsteen RES Zeeland Elektriciteit (concept),* sl: Zeeuws Energieakkoord.

B Deelnemers

De begeleidingsgroep bestond uit:

Leo Leynse	Provincie Zeeland
John Jansen	Provincie Zeeland
Marcel Aanen	Vereniging van Zeeuwse Gemeenten
Maarten den Dekker	North Sea Port
Daniel Goedhuis	Smart Delta Resources
Martin Martens	Enduris
Peter Kwakman	TenneT
Piet Nienhuis	Gasunie

Daarnaast hebben de volgende mensen input geleverd of meegewerkt aan deze studie:

Jaap Moerland	Enduris
Cyriel Schut	Enduris
Frits Raas	Enduris
Ron de Bruijn	Provincie Zeeland
Louis Engelbert	Provincie Zeeland
Joop van de Vrie	Provincie Zeeland
Luuk Klinkert	Gasunie
Jarig Steringa	Gasunie
Mark Derksen	TenneT
Jorim de Boks	PZEM
Piet Keim	Eastman
Wim Versteele	Yara

C Begrippenlijst

Maattermen	
kilo	duizend, 1.000 (10^3)
Mega	miljoen, 1.000.000 (10^6)
Giga	miljard, 1.000.000.000 (10^9)
Tera	biljoen, 1.000.000.000.000 (10^{12})
Peta	biljard, 1.000.000.000.000.000 (10^{15})
bcm	*billion cubic meters*: miljard kubieke meter
ha	hectare, oppervlak van 100 x 100 meter

Vermogen	
W	Watt: maat voor vermogen om energie te leveren
kW	kilowatt: 10^3 Watt aan vermogen
MW	megawatt: 10^6 Watt aan vermogen
GW	gigawatt: 10^9 Watt aan vermogen
MWe, GWe	megawatt of gigawatt vermogen specifiek aan de elektrische zijde van een installatie, bijvoorbeeld het outputvermogen van een centrale of het inputvermogen van een elektrolyser

Energie	
J	Joule: maat voor energie, 1 J = 1 W vermogen gedurende 1 seconde
GJ	gigajoule: 10^9 Joule aan energie
TJ	terajoule: 10^{12} Joule aan energie
PJ	petajoule: 10^{15} Joule aan energie
Wh	Wattuur: maat voor energie, 1 Wh = 1 W vermogen gedurende 1 uur = 3.600 J
MWh	megawattuur: 10^6 Wh aan energie
GWh	gigawattuur: 10^9 Wh aan energie
TWh	terawattuur: 10^{12} Wh aan energie

Categorieën	
GO	Gebouwde omgeving
MOB	Mobiliteit
IND	Industrie
LBW	Landbouw inclusief glastuinbouw
E	Elektriciteit
CH_4	Methaan
H_2	Waterstof
WOZ	Wind op zee
WOL	Wind op land
ZON	Zon-pv
Z+W	Zonne- en windenergie
W	Warmte
B	Biomassa

Technische termen en afkortingen	
STEG	Stoom- en gasturbine: voor elektriciteitsproductie
Wkk	Warmtekrachtkoppeling: bij het maken van warmte ook elektriciteit maken, bijvoorbeeld door met de hete stoom een turbine aan te drijven
COP	*Coefficient Of Performance*: maat voor efficiëntie, hoeveel nuttige energie er geproduceerd wordt per deel aangeleverde energie als input. Bijvoorbeeld een warmtepomp heeft een COP groter dan 1, want die haalt meer warmte uit de omgeving dan die daarvoor aan elektriciteit nodig heeft.
Residual load	Vraag min niet regelbaar aanbod, bijvoorbeeld uit zon en wind. De residual load kan zowel positief zijn (meer vraag dan aanbod) als negatief (meer aanbod dan vraag). Een positieve residual load vraagt om tekortflexibiliteit, met name van centrales. Een negatieve residual load vraag om overschotflexibiliteit, bijvoorbeeld Power-to-Gas, Power-to-Heat of batterijen.
Power-to-Heat (P2H)	Conversie van elektriciteit in warmte. Dit kan wenselijk zijn om het elektriciteitsnet te ontlasten, om in warmtevraag te voorzien of voor seizoensopslag, aangezien warmte goed is op te slaan.
Power-to-Gas (P2G)	Conversie van elektriciteit naar een gas, met name waterstof. Dit kan wenselijk zijn om het elektriciteitsnet te ontlasten, om in waterstofvraag te voorzien of voor seizoensopslag van de energie, aangezien een gas goed is op te slaan.
CCS	*Carbon Capture and Storage*: afvang en opslag van CO_2
CCU	*Carbon Capture and Usage*: afvang en hergebruik van CO_2
Methaan	Aardgas bestaat voor circa 90% uit methaan. Biogas is een mengsel van methaan en koolstofdioxide uit vergisting van biogene bronnen. Groengas is biogas wat op dezelfde kwaliteit is gebracht als aardgas. Netbeheerders mogen geen biogas transporteren.
LHV	*Lower Heating Value*: onderwaarde, de energie die vrijkomt bij verbranding zonder de energie die daarbij nog gehaald kan worden uit condensatie van restproducten. Voor aardgas is de onderwaarde 31,65 MJ/m^3.
HHV	*Higher Heating Value*: bovenwaarde, de energie die vrijkomt bij verbranding inclusief de energie uit condensatie van restproducten. Voor aardgas is de bovenwaarde 35,17 MJ/m^3.
Grijze waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie
Blauwe waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie met CCS
Groene waterstof	Waterstof geproduceerd uit duurzame energie, dus zonder enige CO_2
Elektrolyse	Productie van waterstof uit water en elektriciteit
SMR	Stoommethaanreform: productie van waterstof uit stoom en methaan
RES	Regionale Energiestrategie
Weq	Woningequivalent: 1 weq is gedefinieerd als 1 woning of 150 m^2 utiliteitsbouw

D Gebouwde omgeving

D.1 Uitgangspunten

2020

De huidige energievraag van de gebouwde omgeving is bepaald op buurtniveau (CBS, 2016). Per buurt zijn de gebouwaantallen en oppervlakten naar bouwperiode en gebruiksfunctie gesommeerd vanuit de BAG, t/m bouwjaar 2017. We onderscheiden de vraag naar warmte, naar warmtapwater, en naar kracht en licht.

Het huidige elektriciteits- en aardgasverbruik van de woningen voor een buurt is berekend aan de hand van het gemiddeld elektriciteits- dan wel aardgasverbruik per woning, zoals beschikbaar in de 'Kerncijfers wijken en buurten 2016' van het CBS.
Indien de verbruiksdata ontbreken, is voor elektriciteit het gemiddelde voor heel Nederland aangehouden (2.910 kWh/woning/jr) en voor aardgas het gemiddeld verbruik per m^2 naar huidig energielabel van de woningen (WK2020, 2013). Hierbij is rekening gehouden met het aandeel woningen in de buurt dat is aangesloten op stadsverwarming, wat ook onderdeel is van de CBS-data op buurtniveau.

Het huidige warmteverbruik van de woningen is ingeschat door het gemiddelde aardgas-verbruik in de buurt om te rekenen naar de warmtevraag, indien het aandeel stads-verwarming kleiner is dan 60%. Bij deze omrekening is uitgegaan van een hr-ketel met de rendementen en een vraagverdeling warmtapwater/ruimteverwarming zoals gebruikt in berekening van de maximumprijs warmtetarieven (ACM, 2018). Indien het aandeel stads-verwarming hoger is dan 60%, is uitgegaan van het gemiddeld verbruik op basis van het gemiddelde energielabel in de buurt. Het gemiddeld energielabel van de woningen in een buurt is bepaald door de energielabels uit de RVO-database (RVO, lopend) te combineren met de BAG-gegevens per buurt.

De warmtevraag van de utiliteitsgebouwen in een buurt is bepaald met behulp van ken-tallen per functie, bruto vloeroppervlak en bouwperiode voor ruimteverwarming, afkomstig uit de studie 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2013) en kentallen per functie en bruto vloeroppervlak voor warmtapwater, afkomstig uit SWING (Meijer Energie & Milieumanagement B.V, 2008). De warmtevraag is omgerekend naar een aardgasverbruik door uit te gaan van een hr-ketel en te corrigeren voor het aandeel stadsverwarming vanuit de CBS-buurtdata. De vraag naar koude, ventilatie, apparatuur en hulpenergie is ook bepaald aan de hand van kentallen per functie en bruto vloeroppervlak (SWING). Deze zijn omgerekend naar een elektriciteitsverbruik door uit te gaan van een splitsysteem met een rendement van 3 voor koude en een mechanisch ventilatiesysteem met een rendement van 0,8 voor ventilatie.

2030 en 2050

Voor 2030 en 2050 zijn vier scenario's opgesteld. Zie Tabel 8 voor een korte toelichting per scenario.

Tabel 8 - Beschrijving **scenario's**

Scenario	Beschrijving
Regionale Sturing	Veel warmtenetten (restwarmte en geothermie) en all-electric Beperkingen op beschikbaarheid groengas (alleen Nederlands potentieel) Geen import van vaste biomassa, alleen lokaal potentieel Geen waterstofdistributie Minimaal schillabel C
Nationale Sturing	Veel hybride warmtepompen op waterstof en op groengas Beperkingen op beschikbaarheid groengas (alleen Nederlands potentieel) Geen import van vaste biomassa, alleen lokaal potentieel Waterstof wordt grootschalig en centraal geproduceerd
Internationale Sturing	Veel hybride warmtepompen op waterstof en op groengas Import van houtpellets, groengas en waterstof Milde beperkingen op beschikbaarheid groengas en vaste biomassa
Generieke Sturing	Mix van individuele opties op gebouwniveau Geen grote collectieve warmtesystemen

Specifiek voor de warmtevraagontwikkeling per buurt van de bestaande bouw gebruiken we het CEGOIA-model.

CEGOIA
Het CEGOIA-rekenmodel is ontwikkeld om berekeningen te maken van de totale ketenkosten van een klimaatneutrale warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. De berekeningen worden gemaakt op CBS-buurtniveau. Met CEGOIA worden per buurt alle mogelijke combinaties doorgerekend voor schilisolatie van de gebouwen en de techniek voor verwarming, inclusief de daarbij behorende kosten van energie-infrastructuur. Vervolgens wordt over de gehele regio aan elke buurt een van de opties toegekend zodanig dat het geheel de laagst mogelijke kosten heeft terwijl het voldoet aan een reeks randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden in de kostenoptimalisatie verschillen per scenario.

CEGOIA geeft geen blauwdruk van hoe de warmtetransitie moet, maar geeft een indicatie van hoe deze eruit ziet bij de laagste kosten over de keten. Het model is door CE Delft ontwikkeld om een uitspraak te doen over het eindbeeld en de mogelijke ontwikkeling van het energievraagstuk in de gebouwde omgeving en de gevolgen die dat heeft voor de fysieke (infra)structuren. Het model is onder meer gebruikt in projecten voor GasTerra, Gasunie, Eneco, Alliander, Stedin, de gemeenten Nijmegen, Den Haag, Helmond, Arnhem en provincies Overijssel, Noord-Holland, Limburg, Drenthe en Zeeland.

De randvoorwaarden die zijn gesteld aan de scenario's zijn in Tabel 9 weergegeven.

Tabel 9 - **Input energiedragers voor de scenario's**

Scenario	Regionale Sturing		Nationale Sturing		Internationale Sturing		Generieke Sturing	
Jaar	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Limiet methaan	3,50 PJ	1,75 PJ	5,61 PJ	1,75 PJ	Onbeperkt	3,86 PJ	7,73 PJ	3,86 PJ
Kostprijs methaan	15 €/GJ	21 €/GJ	15 €/GJ	21 €/GJ	15 €/GJ	21 €/GJ	15 €/GJ	21 €/GJ
Limiet waterstof	0	0	0	3,86 PJ	0	Onbeperkt	0	3,86 PJ
Kostprijs waterstof	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	22,9 €/GJ	N.v.t.	20,4 €/GJ	N.v.t.	20,4 €/GJ
Limiet biomassa	0,29 PJ	0,29 PJ	0,29 PJ	0,29 PJ	0,64 PJ	0,64 PJ	0,64 PJ	0,64 PJ
Geothermie	Geen	Toestaan	Geen	Toestaan	Geen	Toestaan	Geen	Geen
HT-warmte	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Geen	Geen
LT-Warmte	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan
Minimaal Schillabel	C	C	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen

In 2050 wordt verondersteld dat alle energiedragers klimaatneutraal zijn. Methaan bestaat dan geheel uit groengas. Voor de prijsstelling hanteren we het WLO-HOOG-scenario van PBL/CPB voor de aardgasprijsontwikkeling, waarin we aannemen dat de mix richting 2050 lineair wijzigt naar 100% groengas met bijbehorende prijs. Het binnenlands potentieel groengas (in 2050) is naar verwachting 68 PJ/jr (Gasunie, 2018) voor de gebouwde omgeving. Voor de toedeling van het nationale potentieel aan schaars groengas aan Zeeland hanteren we de ratio van het huidig aardgasgebruik van de gebouwde omgeving in het gebied t.o.v. het landelijk totaal van de gebouwde omgeving (i.e. 15 bcm/jr).

Voor 2030 veronderstellen we dat er nog geen waterstof en geothermie beschikbaar is. Voor de beschikbaarheid van geothermie gaan we uit van de laatste ThermoGIS-kaart van TNO.

De elektriciteitsvraag voor kracht en licht wordt gelijk gehouden met de huidige vraag in alle scenario's.

Voor nieuwbouw is de aanname is dat deze all-electric zullen zijn, met een lucht-waterwarmtepomp. De praktijk zal waarschijnlijk anders zijn, waarbij een deel van de nieuwe woningen een bodem-waterwarmtepomp zal krijgen (die heeft minder impact op het elektriciteitsnet), een deel een biomassaketel (bijvoorbeeld in buitengebieden), en ook een deel op een stadswarmtenet zal worden aangesloten (bijvoorbeeld bij inbreiding in een stadswarmtegebied). De aanname dat het allemaal all-electric wordt met een lucht-waterwarmtepomp, is geschikt om de maximale impact op het elektriciteitsnet in beeld te krijgen. De nieuwbouwcijfers, zoals ontvangen van de provincie Zeeland, zijn op gemeente-niveau verwerkt. Voor utiliteitsbouw wordt uitgegaan van de huidige voorraad vanuit de BAG.

D.2 Uitkomsten

2030

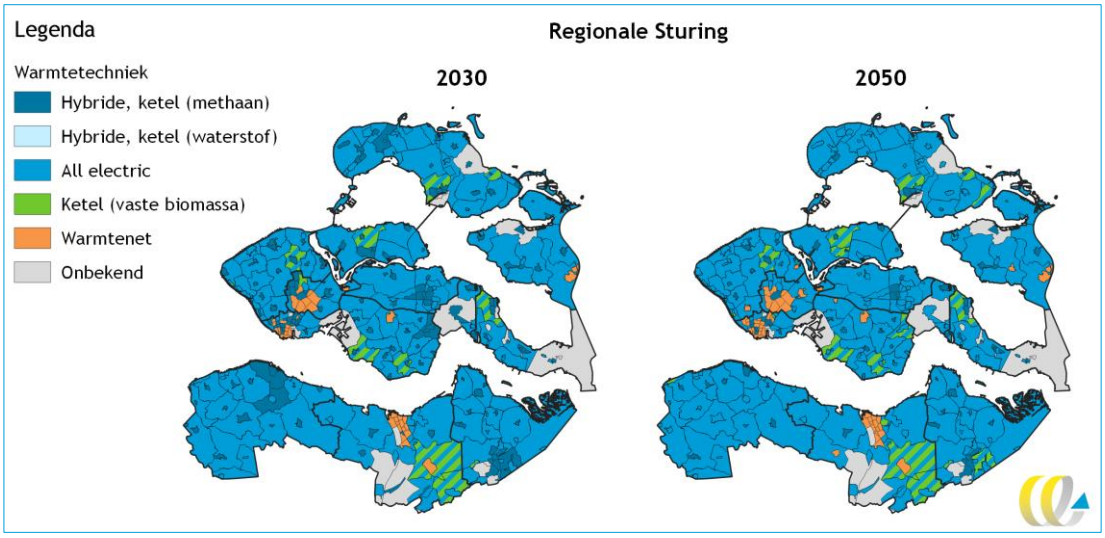
In 2030 wordt het merendeel van de gebouwde omgeving verwarmd met een mix van aardgas en groengas. In Internationale Sturing domineert de hr-ketel nog, maar in de andere scenario's is de hybride warmtepomp dominant. In Regionale Sturing en Nationale Sturing zijn ook al een deel van de woningequivalenten aangesloten op een warmtenet en is een klein deel all-electric.

2050

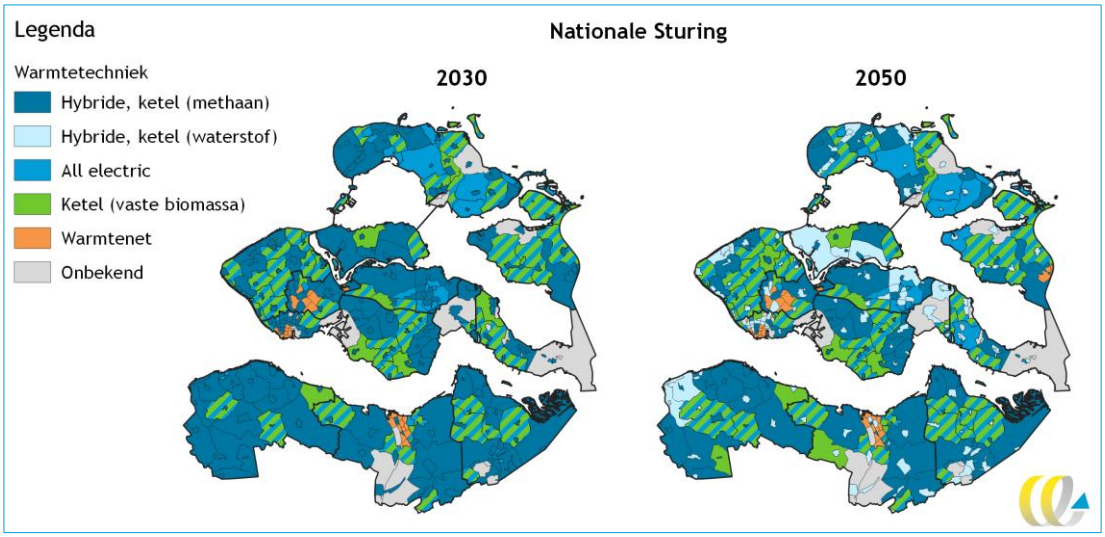
In Regionale Sturing komen de meeste woningequivalenten uit op een hogetemperatuur warmtenet, geconcentreerd in Vlissingen, Middelburg en Terneuzen. Daarnaast wordt veelal de hybride of luchtwarmtepomp ingezet. In Nationale Sturing neemt, door de beschikbaarheid van waterstof, het aandeel warmtenetten en all-electric af en wordt in plaats daarvan de hybride warmtepomp op waterstof gebruikt. Bij Internationale Sturing domineert de hr-ketel op waterstof het eindbeeld, door de onbeperkte beschikbaarheid van waterstof. Tot slot wordt bij het Generieke Sturing vooral de hybride warmtepomp ingezet op zowel groengas als waterstof.

In Figuur 36 t/m Figuur 39 zijn per scenario de kaartbeelden van de warmtetechniek per buurt weergegeven.

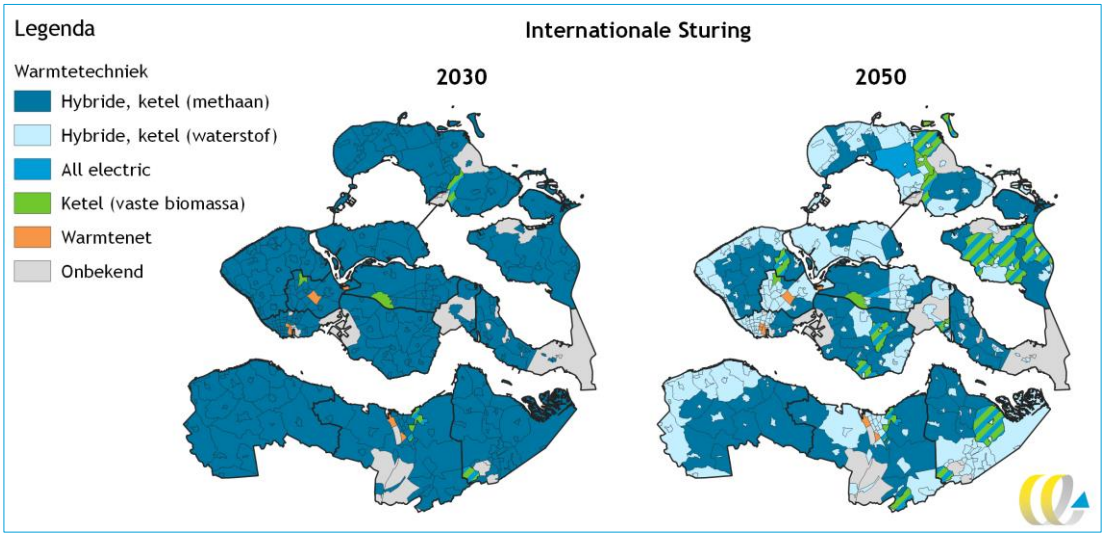
Figuur 36 - Warmtetechniek per buurt voor woningen en utiliteit in het scenario Regionale Sturing



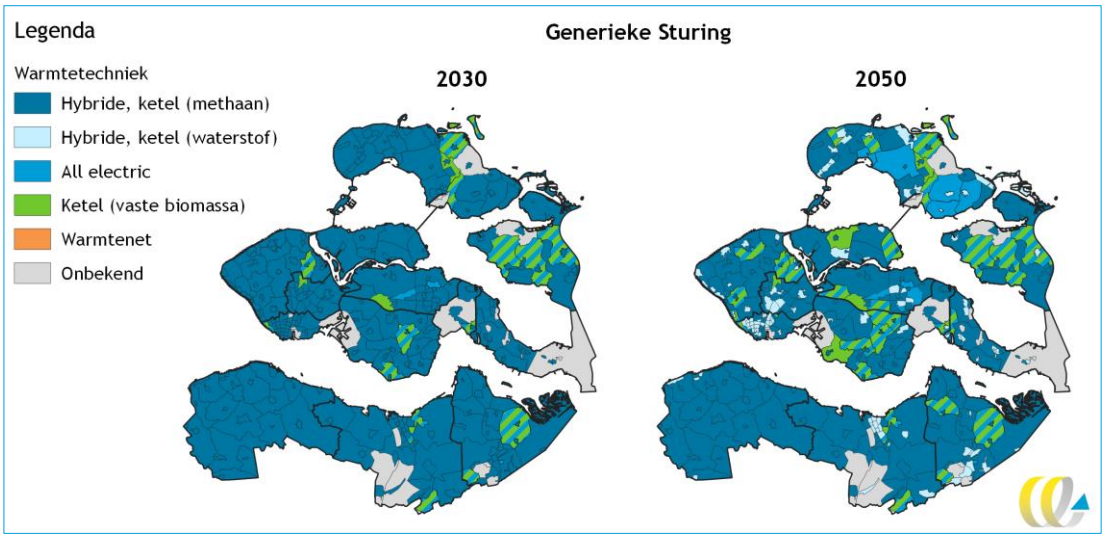
Figuur 37 - Warmtetechniek per buurt voor woningen en utiliteit in het scenario Nationale Sturing



Figuur 38 - Warmtetechniek per buurt voor woningen en utiliteit in het scenario Internationale Sturing



Figuur 39 - Warmtetechniek per buurt voor woningen en utiliteit in het scenario Generieke Sturing



Tabel 10 geeft het aantal woningequivalenten per warmtetechniek en Tabel 11 de bijbehorende verdeling van het energiegebruik per energiedrager voor ieder scenario.

Tabel 10 - Aantal woningequivalenten per warmtetechniek in duizenden

	2020	2030				2050			
Scenario		Reg	Nat	Int	Gen	Reg	Nat	Int	Gen
Aardgas/groengas (ketel, hybride)	235,1	128,9	179,6	226,7	228,4	67,1	58,3	8,6	122,1
Waterstof (ketel, hybride)	0	0	0	0	0	0	118,3	216,8	102,7
All-electric	0	52,6	19,1	5,9	6,8	99,9	17,9	6,1	9,6
Vaste biomassa	0	0,5	4,3	0,1	0,9	1,5	4,6	0,9	1,8
Warmtenet	1,1	54,2	33,2	3,5	0	67,7	37,1	3,8	0

Tabel 11 - Energiegebruik per energiedrager in PJ/jr

	2020	2030				2050			
Scenario		Reg	Nat	Int	Gen	Reg	Nat	Int	Gen
Gas	12,45	3,50	5,61	10,33	7,73	1,75	1,75	0,35	3,86
Elektriciteit	4,87	6,14	5,92	5,27	5,89	6,40	5,88	5,13	5,83
Waterstof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86	10,53	3,86
Warmte	0,07	2,34	1,52	0,19	0,00	2,90	1,70	0,21	0,00
Vaste biomassa	0,00	0,02	0,27	0,01	0,06	0,07	0,29	0,06	0,12
Totaal	17,4	12,0	13,3	15,8	13,7	11,1	13,5	16,3	13,7

E Mobiliteit

E.1 Uitgangspunten

Binnen mobiliteit onderscheiden we de volgende modaliteiten:
- personenauto's;
- bestelauto's;
- ov-bussen;
- vrachtauto's;
- treinen;
- schepen.

Verder nemen we aan dat bij de transitie naar een klimaatneutrale mobiliteitssector er gebruik gemaakt gaat worden van de volgende energiedragers:
- elektriciteit;
- waterstof;
- cng/lng (groengas);
- biobrandstof (biodiesel).

Daarbij nemen we aan dat cng/lng en biobrandstof worden uitgefaseerd, zodat in 2050 alleen elektriciteit en waterstof worden gebruikt in de mobiliteitssector.

Tot slot maken we bij elektriciteit een onderscheid tussen verschillende types laadstation:
- private laadstations;
- publieke laadstations;
- snellaadstations.

De energievraag van mobiliteit is dus berekend per voertuigtype, energiedrager en type laadstation. Dit is eerste gedaan voor de provincie Zeeland als geheel, en vervolgens is de energievraag verdeeld over de Zeeuwse gemeenten naar rato van het aantal geregistreerde voertuigen van het betreffende voertuigtype. Omdat het aantal geregistreerde personenauto's de gemaakte kilometers van forenzen en toeristen die naar of in Zeeland reizen buiten beschouwing laat, terwijl er jaarlijks meer dan twee miljoen toeristen naar Zeeland komen en dit tot een hogere energievraag leidt in met name de vakantieperioden, zijn deze groepen apart berekend en toegevoegd. Voor de bepaling van de laadcapaciteit is voor deze groep een laadprofiel gebruikt die sterk piekt in de vakantieperioden. De totale laadvraag is over de gemeenten verdeeld naar rato van het aantal overnachtingen door toeristen per gemeente.

De mobiliteitsvraag in 2020 (huidige situatie) per gemeente is bepaald aan de hand van CBS-data van het aantal geregistreerde elektrische, waterstof verbruikende en conventionele personenauto's, bestelauto's, bussen en vrachtauto's per gemeente, in combinatie met kentallen van het energieverbruik per voertuigtype en energiedrager en van het jaarkilometrage per voertuigtype.

Voor de inschatting van de elektriciteitsvraag van personen- en bestelauto's bij private laadstations, publieke laadstations en snellaadstations is gebruik gemaakt van het CELINE-model van CE Delft (2019). CELINE is een rekenmodel dat de energievraag voor het laden van alle elektrische voertuigen bepaalt, en dan afpelt hoe deze energievraag wordt bediend door verschillende typen laadpunten. Het model werkt met gemiddelden die van toepassing zijn voor Nederland. We hebben de verwachting van het aantal elektrische personen- en

bestelauto's in Nederland voor de verschillende jaren ingevoerd. De resulterende laad-energiehoeveelheden per type laadstation (GJ/jaar) hebben we vervolgens geschaald naar Zeeland en verdeeld over de gemeenten naar rato van het aantal geregistreerde personenauto's in de gemeenten.

De vier 2050-scenario's zijn gebaseerd op de studie Net voor de Toekomst. Een belangrijke aanpassing ten opzichte van deze scenario's is dat groengas geen aandeel meer heeft in de energiemix in 2050. Voor de vier 2030-scenario's zijn de 2050-waarden lineair terug-gebracht. De resulterende waarden voor 2030 liggen in de buurt van de verwachtingen voor Zeeland die voortkomen uit de RES Zeeland Mobiliteit. Uitzondering daarop is de verwachte energiemix voor ov-bussen. In 2030 zullen alle ov-bussen in Zeeland al zero-emissie zijn. De aandelen energiedragers voor ov-bussen in de scenario's zijn hierop aangepast.

E.2 Uitkomsten

Tabel 12 - Mix van energiedragers in mobiliteit per scenario

	2020	2030 Reg	2030 Nat	2030 Int	2030 Gen	2050 Reg	2050 Nat	2050 Int	2050 Gen
Elektriciteit									
Personenauto's	0,8%	34%	26%	17%	17%	100%	75%	50%	50%
Bestelauto's	0,2%	33%	25%	17%	17%	100%	75%	50%	50%
ov-bussen	0,5%	75%	75%	75%	75%	100%	75%	50%	50%
Vrachtauto's	0,2%	25%	25%	25%	25%	75%	75%	75%	75%
Treinen	84%	84%	84%	84%	89%	84%	84%	84%	100%
Waterstof									
Personenauto's	0,0%	0%	8%	17%	17%	0%	25%	50%	50%
Bestelauto's	0,0%	0%	8%	17%	17%	0%	25%	50%	50%
ov-bussen	0,0%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	50%	50%
Vrachtauto's	0,0%	8%	8%	8%	8%	25%	25%	25%	25%
Treinen	0,0%	5%	5%	5%	0%	16%	16%	16%	0%
cng/lng (groengas)									
Personenauto's	0,1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bestelauto's	0,4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ov-bussen	3,3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Vrachtauto's	0,1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Treinen	0,0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biobrandstof (biodiesel)									
Personenauto's	10%	7%	7%	7%	7%	0%	0%	0%	0%
Bestelauto's	10%	7%	7%	7%	7%	0%	0%	0%	0%
ov-bussen	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Vrachtauto's	10%	7%	7%	7%	7%	0%	0%	0%	0%
Treinen	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fossiel (benzine en diesel)									
Personenauto's	89%	59%	59%	59%	59%	0%	0%	0%	0%
Bestelauto's	90%	60%	60%	60%	60%	0%	0%	0%	0%
ov-bussen	87%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Vrachtauto's	90%	60%	60%	60%	60%	0%	0%	0%	0%
Treinen	16%	11%	11%	11%	11%	0%	0%	0%	0%

F Industrie

F.1 Grootste bedrijven

Op basis van de emissieregistratie (Rijksoverheid, sd) zijn de grootste industriële vestigingen in de provincie geselecteerd. Voor elk afzonderlijk is geanalyseerd wat de activiteiten zijn, hoe de grondstoffenvraag en energievraag zijn opgebouwd, en wat de resulterende vraag is per energiedrager.

Vervolgens zijn hier alternatieven voor opgesteld in lijn met de centrale ideeën van de scenario's in deze studie en voortbouwend op de analyses en scenario's die zijn opgesteld in het kader van CUST (Royal HaskoningDHV; M-tech; sitech; CE Delft, 2019). Leidraad hierbij was dat scenario Regionale Sturing het beste overeenkomt met de principes van scenario Circular Economy in CUST, scenario Nationale Sturing met scenario High Renewable Energy, en scenario Generieke Sturing met scenario CCU/CCS. Scenario Internationale Sturing is een mix van High Renewable Energy en CCU/CCS, met veel biogas in plaats van waterstof dan wel in plaats van aardgas met CCS.

Vanwege bedrijfsgevoelige gegevens zijn de data zelf hier niet gepresenteerd, wel is hier per bedrijf de invulling kwalitatief te vinden.

F.1.1 Zeeland Refinery N.V.

Essentie activiteiten	– Via verschillen in kookpunt scheiden van verschillende aardoliefracties. – Nabehandeling van afgescheiden fracties met lagere kookpunten (nafta, benzine, kerosine, diesel/gasolie) door hydrotreating/ontzwaveling en (benzine) reforming. – Hydrocracking van zwaardere dstillatieproducten uit eigen en andere raffinaderijen tot fracties met lagere kookpunten.
Grondstoffen	Ruwe aardolie, zware fracties overige raffinaderijen.
Alternatieve grondstoffen	Biomassa en afgeleide producten en pyrolyse achtige stoffen uit chemisch gerecyclede plastics.
Energiegebruiken	– Ondervuring procesfornuizen met raffinaderijgas en aardgas. – Stoomproductie op basis van raffinaderijgas en aardgas. – H_2-productie op basis van aardgas.

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers
Regionale Sturing	Inzet van pyrolyse achtige stoffen uit chemisch gerecyclede plastics in combinatie met CCS, groene H_2 als grondstof, kraakgassen worden gebruikt als basis voor olefine productie.	Gas -> elektrisch, elektrisch naar hernieuwbaar en raffinaderijgas met CCS.
Nationale Sturing	Inzet van conventionele nafta en regionaal geproduceerde groene H_2 als grondstof.	Gas -> waterstof, elektrisch naar hernieuwbaar en raffinaderijgas met CCS
Internationale Sturing	Inzet van nafta-achtige grondstoffen uit biomassa, en biogas als grondstof voor H_2.	Gas ->biomassa, elektrisch naar hernieuwbaar.
Generieke Sturing	Inzet van aardolie en waterstof uit SMR als grondstof in combinatie met CCS.	Aardgas en raffinaderijgas in combinatie met CCS.

F.1.2 Dow Terneuzen

Essentie activiteiten	– Kraken van nafta, aardgascondensaat, lpg en vergelijkbare koolwaterstoffen tot olefinen, aromaten en als brandstof afgezette residuele fracties. – Gedeeltelijke onsite conversie van olefinen en aromaten.
Grondstoffen	Nafta, aardgascondensaat, lpg.
Alternatieve grondstoffen	Op nafta, aardgascondensaat en lpg lijkende grondstoffen uit chemische recycling of geproduceerd op basis van biomassa.
Energiegebruiken	– Ondervuring procesfornuizen met productgas uit stoomkraken. – Stoomproductie door Elsta op basis van productgas en aardgas. – Productgas en aardgas ondervuurde oververhitters.

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers
Regionale Sturing	Inzet van nafta-achtige grondstoffen uit chemisch gerecycled plastics en kraakgassen nabijgelegen raffinaderij.	Gas -> elektrisch, kraakgas in combinatie met precombustion CCS, elektrisch naar hernieuwbaar.
Regionale Sturing alternatief	Inzet van nafta-achtige grondstoffen uit chemisch gerecycled plastics en kraak-gassen nabijgelegen raffinaderij.	Elektrificatie van het kraken.
Nationale Sturing	Inzet van nafta -achtige grondstoffen uit staalgassen (CO) en nationaal geproduceerde groene H_2.	Gas -> waterstof. Kraakgas in combinatie met precombustion CCS, elektrisch naar hernieuwbaar
Internationale Sturing	Inzet van nafta-achtige grondstoffen uit biomassa.	Gas -> biomassa, elektrisch naar hernieuwbaar.
Generieke Sturing	Inzet van conventionele nafta als grondstof.	Aardgas en kraakgas in combinatie met precombustion CCS.

F.1.3 Trinseo

Essentie activiteiten	– Productie van ethylbenzeen uit etheen en benzeen. – Dehydrogenatie van ethylbenzeen tot styreen. – Op locatie verwerken van styreen tot PS, Latex, ABS/SAN. – Compounding van PS met polycarbonaat en/of polypropeen.
Grondstoffen	Etheen, benzeen.
Alternatieve grondstoffen	Op nafta, aardgascondensaat en lpg lijkende grondstoffen uit chemische recycling of geproduceerd op basis van biomassa.
Energiegebruiken	– Geen aardgas alleen kraakgas voor stoomproductie, hot oil-fornuizen en naverbranders. – Verstoken van vloeibare restproducten op ketels/fornuizen.

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers
Regionale Sturing	Inzet van nafta-achtige grondstoffen uit chemisch gerecyclede plastics en kraakgassen nabijgelegen raffinaderij.	Kraakgas in combinatie met precombustion CCS, elektrisch naar hernieuwbaar.
Nationale Sturing	Inzet van nafta -achtige grondstoffen uit staalgassen (CO) en nationaal geproduceerde groene H_2.	Kraakgas in combinatie met precombustion CCS, elektrisch naar hernieuwbaar.
Internationale Sturing	Inzet van nafta-achtige grondstoffen uit biomassa.	Biogas als vervanging van fossiel kraakgas dus geen CCS , elektrisch naar hernieuwbaar.
Generieke Sturing	Inzet van conventionele nafta als grondstof.	Kraakgas in combinatie met precombustion CCS.

F.1.4 Yara Sluiskil B.V.

Essentie activiteiten	– Produceert ammoniak uit aardgas via vergassing in twee stappen (SMR-reactie gevolgd door autotherme vergassing met lucht (voor N_2)), watergasshift- en Haber-Bosch-reactie. – Ammoniak wordt op locatie verder verwerkt tot salpeterzuur en afgeleide producten en tot ureum en afgeleide producten. – Voor ureumproductie benodigde CO_2 wordt onttrokken aan synthesegas na watergasshiftreactie.
Grondstoffen	Aardgas
Alternatieve grondstoffen	Extern betrokken H_2, extern betrokken CO_2, N_2 uit luchtscheiding Extern betrokken NH_3
Energiegebruiken	Aardgas voor stoomproductie.

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers
Regionale Sturing	NH_3-productie o.b.v. import NH_3/uit mestverwerking, bio-CO_2 vanaf elders.	Gas → elektrisch, elektrisch naar hernieuwbaar.
Nationale Sturing	NH_3-productie o.b.v. nationaal geproduceerde groene H_2, certificaten van CO_2 uit biomassa.	Gas → waterstof, elektrisch naar hernieuwbaar.
Internationale Sturing	Aardgas naar biogas.	Gas→ biogas, elektrisch naar hernieuwbaar.
Generieke Sturing	Aardgas in combinatie met CCS, certificaten van CO_2 uit biomassa.	Aardgas in combinatie met CCS.

F.1.5 Cargill B.V. Sas van Gent

Essentie activiteiten	Verwerking maïs en tarwe tot zetmeel voor industriële doeleinden via scheidings-processen in water, gevolgd door drogen van de afgescheiden fracties.
Grondstoffen	Maïs en tarwe.
Alternatieve grondstoffen	N.v.t.
Energiegebruiken	Productie van warm water, stoom en drooglucht.

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers
Regionale Sturing	N.v.t.	Gas -> elektrisch, elektrisch naar hernieuwbaar.
Nationale Sturing	N.v.t.	Gas -> waterstof, elektrisch naar hernieuwbaar.
Internationale Sturing	N.v.t.	Biomassagestookte stoomketel en drooglucht verhitting.
Generieke Sturing	N.v.t.	Precombustion CCS.

F.1.6 J.G. Timmerman Groenvoederdrogerij

Essentie activiteiten	Drogen van lupinen.
Grondstoffen	Lupinen
Alternatieve grondstoffen	N.v.t.
Energiegebruiken	Verhitten drooglucht.

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers.
Regionale Sturing	N.v.t.	Elektrische luchtverhitting.
Nationale Sturing	N.v.t.	H_2 als brandstof voor luchtverhitting.
Internationale Sturing	N.v.t.	Biomassa verbrandingsinstallatie voor verhitten drooglucht.
Generieke Sturing	N.v.t.	CCS

F.1.7 Eastman Chemical Middelburg BV

Essentie activiteiten	Productie en bewerking van kunstharsen op basis van stoomkraak producten (harsolie) en natuurhars van dennen (rosins).
Grondstoffen	Stoomkraak producten (harsolie) en natuurhars van dennen (rosins).
Alternatieve grondstoffen	100% natuurharsen.
Energiegebruiken	Aardgas voor stoomproductie, waterstofproductie, hot oil-fornuizen en naverbrander.

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers
Regionale Sturing	100% natuurhars/ hars uit restproducten	H_2 of elektriciteit als aardgassubstituut.
Nationale Sturing	100% natuurhars	Waterstof als aardgassubstituut.
Internationale Sturing	100% natuurhars	Biomassa als vervanging van aardgas.
Generieke Sturing	100% natuurhars	CO_2-afvang op grootste fornuizen/ketels, verder elektriciteit (warmtepomp, ketels).

F.1.8 Wkc Kruiningen, Lamb Weston

Essentie activiteiten	Verwerking aardappelen, productie voorgebakken producten.
Grondstoffen	Aardappelen
Alternatieve grondstoffen	N.v.t.
Energiegebruiken	Verhitting en invriezing

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers.
Regionale Sturing	N.v.t.	H_2 of elektriciteit voor stoomproductie.
Nationale Sturing	N.v.t.	H_2 als brandstof voor stoomproductie.
Internationale Sturing	N.v.t.	Biomassagestookte stoomketel.
Generieke Sturing	N.v.t.	CCS

F.1.9 McCain Foods Holland B.V., Lewedorp

Essentie activiteiten	Verwerking aardappelen, productie voorgebakken producten.
Grondstoffen	Aardappelen
Alternatieve grondstoffen	N.v.t.
Energiegebruiken	Verhitting en invriezing

	Invulling scenario's voor grondstoffen	Invulling scenario's voor energiedragers
Regionale Sturing	N.v.t.	H_2 of elektriciteit voor stoomproductie.
Nationale Sturing	N.v.t.	H_2 als brandstof voor stoomproductie.
Internationale Sturing	N.v.t.	Biomassagestookte stoomketel.
Generieke Sturing	N.v.t.	CCS.

F.2 Overige industrie

De overige industrie is ingevuld op basis van de Klimaatmonitor en met behulp van de emissieregistratie. De energievraag is klein ten opzichte van de grootste bedrijven, maar is in het gehele energiesysteem en zeker op sommige locaties geen te verwaarlozen factor. Omdat de Klimaatmonitor niet volledig is - anders zouden bedrijfsgevoelige gegevens over de grote bedrijven te herleiden zijn - maar er wel overlap kan zijn met de grootste bedrijven, heeft Enduris een check uitgevoerd op de totale elektriciteitsvraag per station. De belasting in scenario 2020 is vergeleken met de huidige, werkelijke waarden. Op de stations Terneuzen en Westdorpe was de belasting aanvankelijk te groot. Hierop is de elektriciteitsvraag van de overige industrie aangepast.

F.3 Flexibiliteit

Ten slotte is per scenario voor de grootste bedrijven geanalyseerd wat de flexibiliteit is in de geprognosticeerde elektriciteitsvraag. Deze flexibiliteit zou ingezet kunnen worden om vraag in de pas te houden met volatiel aanbod, en om pieken in capaciteitsvraag te verminderen om zo congestie op het net te voorkomen.

De grootschalige industrie in Zeeland draait grotendeels volcontinu. Er is niet de mogelijkheid om de productieomvang af te stemmen op beschikbaarheid van energiedragers. Het gaat om zogenoemde '*must run*'-capaciteit, die alleen door een afnemende of toenemende marktvraag varieert.

De flexibiliteit die er is, bestaat uit flexibiliteit in de inzet van energiedragers in de utiliteitproductie en gebruik van waterstof als grondstof. Daarbij wordt er voor 2020 uitgegaan van de huidige productiemiddelen en voor 2030 en 2050 van de productiemiddelen die in het betreffende scenario nodig zijn om te kunnen produceren.
De resultaten zijn weergegeven in Tabel 13.

Er zijn verschillende manieren om in waterstof als grondstof te voorzien:
- levering van methaan, SMR op locatie, en eventueel CCS;
- levering van elektriciteit en elektrolyse bij de industrie op locatie;
- centrale elektrolyse, met name gekoppeld aan wind op zee, en levering van waterstof;
- import van waterstof en levering van waterstof aan de industrie.

In de scenario's is steeds uitgegaan van een van deze opties. Er ontstaat meer flexibiliteit wanneer men kan schakelen tussen bijvoorbeeld de derde en vierde optie. Ook opslag kan bijdragen aan flexibiliteit, want elektrolysers hoeven dan niet aan op momenten van elektriciteitsaanbod om toch in waterstof te voorzien.

Tabel 13 - Flexibiliteit in de industrie (MW)

	2020	2030 Reg	2030 Nat	2030 Int	2030 Gen	2050 Reg	2050 Nat	2050 Int	2050 Gen
Meer elektriciteitsvraag	108	128	149	121	121	30	112	121	121
Meer elektriciteitsvraag (i.p.v. waterstofvraag)	261	162	313	243	243	266	141	227	227
Minder elektriciteitsvraag	10	102	165	54	60	74	104	54	61
Minder elektriciteitsvraag (meer waterstofvraag)	0	0	170	0	0	0	104	0	0

G Landbouw en glastuinbouw

2020

Binnen de landbouw richten we ons op de glastuinbouw, die een energievraag (en -aanbod) kent die relevant is voor deze studie. Data voor deze sector zijn vaak onzeker en dat geldt hier ook, zowel voor de arealen als voor de energievraag. De cijfers waarmee uiteindelijk is gerekend, zijn afgestemd met de provincie Zeeland.

Voor de arealen zijn data van CBS vergeleken met dataportaal Zeeland (Provincie Zeeland, lopend), maar die lopen sterk uiteen. Met de provincie is dit uitgezocht. Het heeft grotendeels te maken met nieuwe glastuinbouw in Westdorpe en Kapelle en beschikbare maar nog niet ontwikkelde arealen voor glastuinbouw. We komen op 377 ha glastuinbouw nu, met groei naar 444 ha.

Cijfers over de afgenomen energie volgens de Klimaatmonitor (Rijkswaterstaat, lopend a) en de Energiemonitor van de glastuinbouw (Velden, et al., 2018) lopen ook uiteen: 627 tot 1.216 MJ/m^2 gasverbruik, en 115 tot 350 MJ/m^2 netto elektriciteitsgebruik. Hierin is al rekening gehouden met verschillen tussen bloemkwekerij, boomkwekerij, fruit en glas-groenten. Bovendien houden we rekening met WarmCO_2 (2018) (1.800 TJ) en de biomassa-installatie van Sirjansland (DES BV, 2019) (227 TJ).

Met toepassing van kengetallen uit de Energiemonitor van de glastuinbouw komen we nu op 2,5 PJ aan methaanvraag, 0,8 PJ aan elektriciteitsconsumptie en 0,9 PJ aan elektriciteits-productie met wkk's. Per saldo is er een elektriciteitsafname van 0,5 PJ en levering aan het net van 0,5 PJ.

2030

Tussenpunten tussen 2020 en de vier corresponderende scenario's voor 2050. Er is aan-genomen dat er nog geen waterstof beschikbaar is, in plaats daarvan methaan (aardgas of groengas).

2050

Er is 25% efficiëntiewinst aangenomen in de elektriciteitsconsumptie. Hoe de warmtevraag wordt voorzien, verschilt per scenario.

Tabel 14 - **Verwarmingstechnieken glastuinbouw in scenario's 2050**

Scenario	Wkk methaan	Wkk waterstof	All-electric	Bioketel	Warmte
Regionale Sturing			50%		50%
Nationale Sturing		65%	10%		25%
Internationale Sturing		65%	10%	25%	
Generieke Sturing	20%		40%	40%	

Minder wkk's betekent minder elektriciteitsproductie, terwijl de warmtevraag deels elektrisch wordt ingevuld. De elektriciteitsafname per saldo van het net groeit dan sterk: van 0,4 PJ in 2020 tot 2,3 PJ in 2050 Regionale Sturing.

In 'Visie 2030 glastuinbouw' heeft CE Delft verschillende ontwikkelingsrichtingen voor de glastuinbouw uitgetekend (CE Delft, 2015). Centraal staan ontwikkeling naar all-electric (met aanvoer van elektriciteit en CO_2) en naar flexibiliteit (met aanvoer en levering van elektriciteit, CO_2, groengas en warmte). Aangegeven wordt ook dat de ontwikkeling samenhangt met de teelt van andere gewassen, met name een verschuiving van traditionele producten naar specialistischer producten. Het energiesysteem is medebepalend voor de ontwikkeling van de glastuinbouw.

H Elektriciteit

H.1 Zon-pv

2020

Hier is uitgegaan van de Klimaatmonitor (Rijkswaterstaat, lopend g) met een trendlijn naar 2020. Dit geeft voor zon op dak (<15 kW) 149 MW en voor zon op dak (>15kW) 89 MW. Voor zon op veld heeft Enduris data aangeleverd.

2030

De data voor 2030 zijn opgesteld als tussenpunten tussen 2020 en de scenario's voor 2050, met medeneming van reeds bekende SDE-projecten (RVO, 2018b). Een lineaire interpolatie zou de tussenpunten definiëren als 2/3 van 2020 en 1/3 van 2050. Zon op dak (>15 kW) zou dan maximaal uitkomen op 342 MW, lager dan 500 MW zoals voorzien in de RES (Zeeuws Energieakkoord, 2019d). De ontwikkeling van zon op dak is al behoorlijk op weg op de S-groeicurve en gaat waarschijnlijk de komende jaren nog versnellen om daarna af te vlakken. Voor zon op dak is daarom 1/3 van 2020 genomen en 2/3 van 2050. Dit geeft zon op dak (>15kW) tot maximaal 595 MW en minimaal wat er al ligt plus wat er aan SDE-aanvragen is gehonoreerd, oftewel 301 MW.

Ook voor zon op dak (<15 kW) is een interpolatie gemaakt met 2/3 van 2020 en 1/3 van 2050. Dit geeft waarden tussen 380 MW en 111 MW.

Zon op veld is nu net in opkomst. Met de lineaire interpolatie komt dit in 2030 Regionale Sturing tot 1.013 MW. Het scenario Internationale Sturing heeft de minste hoeveelheid zon-pv en komt in 2030 op 262 MW.

2050

Het totale potentieel voor Nederland is 87 GW, berekend in NP RES (CE Delft en Generation.Energy, 2019). De scenario's in Net voor de Toekomst komen voor heel Nederland op 84 GW, 34 GW, 16 GW en 18 GW. Dat komt neer op benutting van 96%, 39%, 18%, 20%. Dit percentage is aangehouden voor elke Zeeuwse gemeente. Bij zon op dak (>15 kW) is als minimum de bestaande hoeveelheid plus de SDE-aanvragen gehanteerd.

H.2 Wind op land

Zelfde methode als zon, met gebruik van de Monitor wind op land 2018 (RVO, 2018a). Hier komen de scenario's Internationale Sturing en Generieke Sturing lager uit dan wat er in 2020 al is. Daar is de aangenomen dat minimaal de huidige molens blijven staan en bij einde levensduur worden vervangen door nieuwe varianten met een groter vermogen (van 3 naar 5 MW).

H.3 Wind op zee

2020

Borssele I+II gerealiseerd: 752 MW. De stroom landt aan in Borsele (Ørsted, sd).

2030

Borssele I-V zijn gerealiseerd: 1.503 MW (Van Oord, 2018). Daarnaast zou 2 GW van IJmuiden-VER kunnen aanlanden in Borsele (Rijksoverheid, sd). Dit is aangenomen in de scenario's Regionale, Nationale en Generieke Sturing. Het totaal komt daar uit op 3,5 GW. In scenario Internationale Sturing is aangenomen dat het vermogen op 1,5 GW blijft, bijvoorbeeld omdat de 2 GW van IJmuiden-VER aanlandt bij Geertruidenberg in plaats van Borsele.

2050

Voor Nederland zijn in de scenario's van Net voor de Toekomst 26 GW, 53 GW, 6,3 GW en 4,6 GW voorzien. Wat is het aandeel dat aanlandt in Zeeland? Een eerste benadering is dat Borssele I-V 13% uitmaken van de doelstelling van 11,5 GW in het Klimaatakkoord, wat geprojecteerd kan worden op toekomstige uitbreiding. Een andere overweging is dat er niet veel extra ruimte is voor windparken voor de Zeeuwse kust, of voldoende nabij voor aanlanding in Zeeland. Voor scenario's Regionale en Generieke Sturing is 3,5 GW aangenomen en voor Internationale Sturing 1,5 GW, hetzelfde als in 2030. Voor scenario Nationale Sturing is verdere groei voorzien naar 6,9 GW. Die zou kunnen voortkomen uit een (internationaal) netwerk van windparken met aanlanding op meerdere plekken, waaronder in Zeeland.

Tabel 15 - Opgesteld vermogen wind- en zonenergie per scenario (MW)

Categorie	2020	2030				2050			
		Reg	Nat	Int	Gen	Reg	Nat	Int	Gen
Wind op land	575	1.206	745	590	590	2.805	1.424	958	958
Wind op zee	752	3.503	3.503	1.503	3.503	3.503	6.941	1.503	3.503
Zon op dak klein	149	380	182	111	119	495	198	92	104
Zon op dak groot	89	595	301	301	301	848	339	301	301
Zon op veld	135	1.013	459	262	285	2.770	1.108	516	584

H.4 Ruimtebeslag

Op basis van de opgestelde vermogens is een inschatting gemaakt van het ruimtebeslag. Voor de dichtheid is gekeken naar de huidige praktijk. Het ruimtebeslag van windmolens heeft te maken met beperkingen die hier gelden vanwege de windmolens, maar sluit niet uit dat deze ruimte ook nog een andere functie kan hebben.

Voor wind op zee is het ruimtebeslag overgenomen van park Gemini (Gemini , lopend); voor wind op land van analysekaarten waaruit gemiddeld 4,48 turbines (3 MW) per km^2 naar voren komt (CE Delft en Generation.Energy, 2019); voor zon op veld van 1 MW per hectare (zie bijvoorbeeld (Sunvest, 2019)); voor zon op dak van panelen van 1,6 m^2 met 300 Wp.

Tabel 16 - Kentallen ruimtebeslag (MW per km^2)

Categorie	2020	2030	2050
Wind op land	13,4	13,4	13,4
Wind op zee	8,8	8,8	8,8
Zon op dak klein	187	187	187
Zon op dak groot	187	187	187
Zon op veld	100	100	100

Tabel 17 - Ruimtebeslag (km^2)

Categorie	2020	2030				2050			
		Reg	Nat	Int	Gen	Reg	Nat	Int	Gen
Wind op land	43	90	56	44	44	210	106	72	72
Wind op zee	86	398	398	171	398	398	789	171	398
Zon op dak klein	0,8	2,0	1,0	0,6	0,6	2,6	1,1	0,5	0,6
Zon op dak groot	0,5	3,2	1,6	1,6	1,6	4,5	1,8	1,6	1,6
Zon op veld	1,3	10,1	4,6	2,6	2,8	27,7	11,1	5,2	5,8

H.5 Centraal en/of regelbaar productievermogen

2020

Er is de kerncentrale van Borssele, met 485 MW vermogen en circa 8.000 vollasturen (EPZ, sd). Daarnaast is er de Sloecentrale (Sloecentrale, sd), die werkt op aardgas. Deze centrale bestaat uit twee units met samen 870 MW vermogen. Ten slotte is er Elsta bij DOW, met 459 MWe (en 92 MWth). Deze centrale gebruikt aardgas en waterstof uit kraakgassen van DOW (DOW, sd).

Decentraal regelbaar vermogen is er in de vorm van wkk's. Voor hoge temperatuur is er 102 MWe opgesteld vermogen. Voor lage temperatuur is er, uitgaande van een lijst aangeleverd door Enduris, in totaal 126 MWe opgesteld vermogen.

2030

De centrales van Borssele, Sloe en Elsta draaien zoals nu op respectievelijk kernenergie, aardgas en een mix van aardgas en waterstof.

2050

Voor 2050 zal er verandering zijn. De opgave hier is om enerzijds aan te sluiten bij wat er in Net voor de Toekomst (CE Delft, 2017c) aan nationaal elektriciteitspark is voorzien in de verschillende scenario's, en anderzijds bij de huidige centrales, hun type en locaties. Dit geeft de volgende scenario's specifiek voor Zeeland.

De kerncentrale van Borssele zal tot 2033 openblijven. In de scenario's Regionale Sturing en Nationale Sturing is geen vervanging voorzien in 2050. Er is immers groot elektriciteits-aanbod vanuit zon en wind. Bovendien is een kerncentrale nauwelijks flexibel in het geleverde vermogen, wat juist wenselijk is naast het fluctuerende aanbod vanuit zon en wind. In het scenario Internationale Sturing hebben we een nieuwe kerncentrale voorzien.

Een overweging kan zijn om met een kerncentrale aan de baseloadwaterstofvraag te voldoen uit de industrie. We benadrukken dat dit geen voorspelling of aanbeveling is. Een nieuwe kerncentrale zal circa 1,5 GW vermogen hebben en beter regelbaar zijn dan nu, hoewel het regelbaar vermogen dan nog altijd beperkt is tot circa 100 MW. In het scenario Internationale Sturing is een centrale voorzien gebaseerd op bioraffinage in samenhang met Zeeland Refinery.

De Sloecentrale heeft een levensduur tot 2037. In alle scenario's is een opvolger voorzien: in scenario Regionale Sturing op groengas, in scenario Nationale Sturing op waterstof en in de twee scenario Internationale Sturing op aardgas met CCS (pre-/postcombustion). Omdat in Nationale Sturing veel wind op zee is voorzien, dienen de centrales daarin enkel als back-up en niet voor baseload. We gaan uit van een opvolger met hetzelfde vermogen als nu, namelijk 870 MW.

Elsta levert stoom en elektriciteit aan Dow en Trinseo en kan ook elektriciteit leveren aan het net. Voor 2050 is voorzien dat Elsta in scenario Regionale Sturing geen elektriciteit meer levert, maar enkel voorziet in stoom voor de industrie. In scenario Nationale Sturing draait Elsta volledig op waterstof, in scenario Internationale Sturing op biogas en in scenario Generieke Sturing op aardgas met CCS. Het vermogen is gelijk verondersteld met het huidige, te weten 459 MWe.

In de doorrekening door de netbeheerders is aangenomen dat de productie van Elsta minimaal gelijk is aan de vraag van Dow en Trinseo. Daarboven kan Elsta produceren voor de markt en leveren aan het net.

H.6 Potentie voor elektrolyse op basis van lokale overschotten

Het potentieel voor elektrolyse is berekend binnen Zeeuwse context en in de context van de (inter-)nationale elektriciteitsmarkt. Binnen de Zeeuws context wordt elektrolyse ingezet wanneer er lokaal een elektriciteitsoverschot is. Oftewel, er is de elektriciteits-vraag in Zeeland en we zetten daar zon-pv, wind op land, productie van Elsta voor Dow en Trinseo, eventueel de kerncentrale van Borssele en ten slotte wind op zee tegenover. Deze som heet de *residual load*. Deze kan positief zijn (meer vraag dan aanbod, centrales springen bij), maar ook negatief (meer aanbod dan vraag).

Voor zover de wind op zee een elektriciteitsoverschot genereert, nemen we aan dat elektrolyse wordt ingeschakeld. De elektrolysers zijn zo gedimensioneerd dat ze 5.000 vollasturen maken, wat betekent dat niet altijd alle elektriciteitsoverschotten naar water-stofproductie gaan (de elektriciteit kan naar vraag elders worden getransporteerd of er kan curtailment plaatsvinden).

De vraag is of we de productie van de kerncentrale van Borssele moeten opnemen in de *residual load* van de provincie Zeeland of moeten beschouwen als productie voor de Nederlandse of internationale markt - beide zijn abstracties, maar zo krijgen we zicht op een bandbreedte voor elektrolyse. Hiermee komen we tot waterstofproductie zoals weergegeven in Tabel 18.[4]

[4] Er zijn meer constructies voorstelbaar. Ten eerste kan waterstof als seizoensopslag dienen. De waterstof kan later terug omgezet worden in elektriciteit of in warmte. Dit kan met brandstofcellen, een H_2-STEG/wkk, en ook met SOEC-elektrolysers. Deze zijn reversibel. Ten tweede kunnen batterijen naast elektrolysers dienen om momentane fluctuaties in de residual load te vereffenen, door op te laden en te ontladen, zodat de elektro-lysers een groter deel van de overschotten uit de residual load kunnen converteren bij gelijk vermogen.

Tabel 18 - Potentie voor waterstofproductie in connectie met wind op zee in 2030 *

	2030 Reg		2030 Nat		2030 Int		2030 Gen	
Wind op zee (GW)	3,5		3,5		1,5		3,5	
Overschotten naar elektrolysers	58%	78%	69%	83%	44%	83%	70%	83%
Elektrolysers (GWe)	1,2	1,9	1,6	2,1	0,4	0,9	1,6	2,1
Waterstofproductie (PJ)	18	28	22	31	6	13	23	31
Waterstofafname (PJ)	7		29		1		1	

* Links is de productie van de kerncentrale van Borssele niet opgenomen in de residual load, rechts wel.

Te zien is dat in potentie tot circa 30 PJ waterstof geproduceerd kan worden. Er kan een vraag van vergelijkbare omvang ontstaan in Zeeland in 2030, maar dit is onzeker. Anders vindt export plaats, ofwel in de vorm van elektriciteitstransport, ofwel in de vorm van waterstof. Verder zien we dat de potentie afhangt de hoeveelheid windparken op zee verbonden met Zeeland en dat de elektrificatie in het scenario Regionale Sturing doorwerkt in kleinere overschotten en lagere potentie voor elektrolysers.

Dezelfde analyse is gedaan voor 2050. Hierin is de kerncentrale van Borssele geen factor meer.

Tabel 19 - Potentie voor waterstofproductie in connectie met wind op zee in 2050

	2050 Reg	2050 Nat	2050 Int	2050 Gen
Wind op zee (GW)	3,5	6,9	1,5	3,5
Overschotten naar elektrolysers	35%	74%	50%	69%
Elektrolysers (GWe)	0,7	3,5	0,5	1,6
Waterstofproductie (PJ)	10	51	7	22
Waterstofafname (PJ)	17	83 *	19	7

* Deze waterstofvraag is exclusief eventuele vraag voor elektriciteitsproductie voor het net.

Te zien is allereerst dat de grote hoeveelheid wind op zee in het scenario 2050 Nationale Sturing nog niet tot een structureel overschot aan waterstof leidt. Er is een grote vraag en er moet per saldo nog import plaatsvinden. Verder blijkt dat in Regionale en Generieke Sturing dezelfde hoeveelheid wind op zee toch tot verschillende hoeveelheden elektrolyse leidt. Dit komt door de grotere elektriciteitsvraag in het scenario Regionale Sturing, zodat minder resteert voor conversie naar waterstof. Tegelijk is er in het scenario Generieke Sturing een kleinere waterstofvraag, omdat er meer met aardgas en biogas wordt opgelost. In dat scenario vindt per saldo export van waterstof plaats.

I Resultaten PowerFlex

Met het model PowerFlex van CE Delft is de elektriciteitsmarkt gesimuleerd voor verschillende scenario's. Dit brengt de jaarduurkromme voor elektriciteitsprijzen in beeld, de behoefte aan regelbare centrales, en de potentie voor flexibiliteitsopties in de context van de Nederlandse en Duitse markt.

Er zijn drie scenario's gesimuleerd. Allereerst 2029: een situatie zoals geschetst in het Klimaatakkoord, net voordat in 2030 de kolencentrales sluiten. Dat moment vormt een duidelijk kantelpunt voor de energiemarkt. Voor 2050 hebben we Regionale Sturing (veel elektrificatie, veel aanbod van zon en wind) en Internationale Sturing (veel waterstof) onderzocht.

PowerFlex simulates the dynamic operation of the electricity system via the price driven dispatch of power plants, storage units and Power-to-Heat installations. The assets are dispatched to achieve lowest overall system costs, reflecting relevant constraints.

The peculiar characteristics of the Dutch electricity system (including the large and partly flexible CHP fleet) are well-represented in the model, yielding very favourable simulation results without the need for 'mark-up' factors, like other models (e.g. PLEXOS).

The model includes per generating unit: quadratic efficiency curves, must run, CHP, heat demand time curves, minimum up/down times and start costs, and for balancing/short-term dispatch: ramping capabilities.

The heart of the model is the solver. The solver employs the technique dynamic economic dispatch using Lagrangian relaxation. This algorithm is well documented in literature; the advantage is limited computing time, allowing for doing numerous simulations and sensitivity tests in a short-time span. That is valuable for using the model in a policy research context.

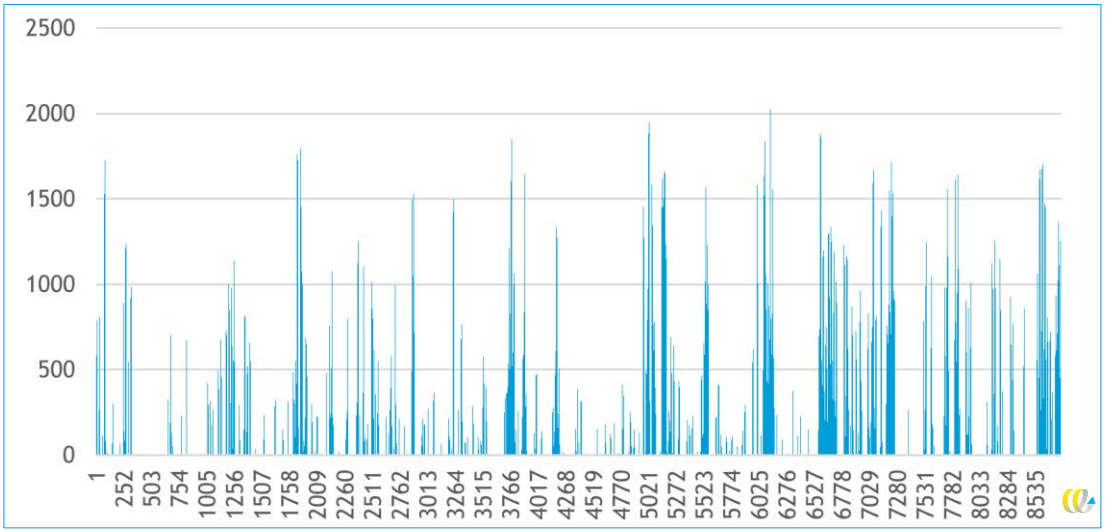
I.1 Scenario 2029 Klimaatakkoord

Dit scenario is volledig gebaseerd op het voorgenomen beleid uit het Klimaatakkoord, zoals deze door PBL is doorgerekend (PBL, 2019a; PBL, 2019b). Hierin zijn alle kolencentrales gesloten en beschikken we nog over enkele gascentrales en biomassacentrales. De centrales in Zeeland blijven zoals ze nu zijn. De toerekening van zon en wind aan Zeeland is conform de RES gedaan.

Uit de resultaten van de simulatie van dit scenario volgt dat in Nederland ruim 54% van de elektriciteit geproduceerd wordt door hernieuwbare bronnen. De gemiddelde elektriciteitsprijs is circa 40 €/MWh.

Gedurende ongeveer 1.960 uren per jaar zijn er overschotten, zie Figuur 40. Op deze uren kunnen Power-to-Heat, Power-to-H_2 (elektrolysers) of andere opties voor overschotflexibiliteit ingezet worden. Omgerekend naar de pieken betreft het 480 vollasturen per jaar. Voor Zeeland gaat het om overschotten tot circa 1 GW (210 GWh) door zon-pv, die vooral impact hebben op het laag- en middenspanningsnet. Voor circa 2 GW (770 GWh) gaat het om overschotten door windenergie, wat vooral impact heeft op de midden- en hoogspanningsnetten in Zeeland.

Figuur 40 - Elektriciteitsoverschotten toegerekend aan Zeeland over alle uren van het jaar 2029 (MW)



In Tabel 20 zijn de productiecijfers van het opgestelde regelbaar vermogen in Zeeland weergegeven. De kerncentrale van Borssele draait bijna het hele jaar op vol vermogen en levert dus geen aanbodflexibiliteit, wat kenmerkend is voor een (oudere) kerncentrale. De andere centrales in Zeeland, op gas, leveren wel een bijdrage aan tekortflexibiliteit. Met tenminste 2.300 vollasturen worden de centrales geregeld ingezet en niet alleen op de prijspiek waar piekcentrales nodig zijn om in tekortflexibiliteit te voorzien.

Tabel 20 - Productiecijfer opgesteld regelbaar vermogen Zeeland ten opzichte van totaal Nederland

Centrale	Brandstof	Opgesteld vermogen model (GW)	Productie (GWh)	Vollasturen	Vermogen t.o.v. NL	Productie t.o.v. NL
Borssele	Kernenergie	0,50	4.000	8.000	2%	6%
Sloe 10	Gas	0,44	1.000	2.300	2%	1%
Sloe 20	Gas	0,44	1.300	2.900	2%	2%
Elsta	Gas/wkc	0,39	1.100	2.900	2%	2%
Totaal		1,76	7.400	4.200	8%	11%

I.2 Scenario 2050 Regionale Sturing

In dit scenario is aanzienlijk meer hernieuwbare opwekvermogen opgesteld dan in de andere scenario's. Het merendeel van de centrales produceert elektriciteit uit CO_2-neutraal gas of waterstof. Ook zijn er extra piekcentrales op waterstof toegevoegd om te voorzien in de tekortflexibiliteit. Hier doet zich de vraag voor of die dan op de plek van de huidige Borsselecentrale kan worden geplaatst, waar in eerste instantie in dit scenario geen nieuwe centrale is voorzien, maar wat wel een geschikte locatie zou kunnen zijn.

Uit de simulatie van dit scenario blijkt dat hernieuwbare bronnen in Nederland het grootste deel van het jaar, ruim 5.000 uur per jaar, aan de gehele elektriciteitsvraag kunnen voldoen. In totaal produceren ze meer dan de elektriciteitsvraag, alleen niet altijd op het juiste moment.

Er is ruim 5.200 uur per jaar een aanbodsoverschot, maar de grootte van het overschot fluctueert sterk, zodat het overschot neerkomt op 1.300 vollasturen. De overschot-flexibiliteit in Zeeland kan onder andere geleverd worden door Power-to-H_2, oftewel elektrolysers. In het licht van een rendabele investering kan de elektrolyser worden gedimensioneerd op 25% van het piekvermogen van het overschot. Met 3,5 GW wind op zee gekoppeld aan Zeeland, is er ruimte voor een 1,4 GWe elektrolyser. Deze kan 72% van de overschotten opnemen en komt uit op een bedrijfstijd van 3.700 vollasturen en 15 PJ waterstofproductie. Het resterende aanbodsoverschot kan worden opgevangen met Power-to-Heat en batterijen.

Er is een grote hoeveelheid aan nieuw regelbaar vermogen nodig. We nemen voor Zeeland aan dat Sloe en Elsta zullen overgaan op CO2-neutraal gas of waterstof. In totaal is in Nederland nog 26 GW aan additionele (piek-)capaciteit nodig. De vraag is of de locatie van de huidige Borsselecentrale hiervoor geschikt zou kunnen zijn. Door plaatsing van centrales nabij aanlanding van wind op zee kunnen ze gebruik maken van dezelfde netcapaciteit als die voor de wind op zee nodig is. De centrales fungeren immers als back-up voor als het niet waait. Bovendien is Borsele geschikt voor thermische centrales vanwege de beschikbaarheid van koelwater.

De gemiddelde elektriciteitsprijs voor de uren dat er geen overschotten aan zon en wind zijn (circa 3.000 uur per jaar), is circa 130 €/MWh. Voor de overschotmomenten zullen de producenten andere mechanismen moeten ontwikkelen om een prijs te bepalen, waarschijnlijk een kostprijsgerelateerd systeem (ordegrootte € 40/MWh).

Tabel 21 geeft de productie weer per type centrale. Het scenario 2050 Regionale Sturing heeft als vertrekpunt dat Sloe en Elsta van het type CO2-vrij gas zijn.

Tabel 21 - Productiecijfers regelbaar vermogen

Type centrale	Opgesteld vermogen NL (GW)	Productie (GWh)	Vollasturen	Aandeel naar vermogen (%)	Aandeel naar productie (%)
CO_2-vrij gas	27	30.277	1.137	46%	92%
Waterstof normaal	4	930	219	7%	3%
Waterstof piekcentrale	26	1.676	63	46%	5%

I.3 Scenario 2050 Internationale Sturing

In dit scenario is de elektriciteitsvraag ongeveer gelijk aan 2030, en hetzelfde geldt voor het aanbod van zon en wind. De huidige centrales worden vervangen door waterstof-centrales van dezelfde capaciteit en met hoog rendement. In afwijking van wat in de uitwerking van dit scenario voor Zeeland is aangenomen (zie Paragraaf 4.2), zijn in de simulatie met PowerFlex ook de Sloecentrale en Elsta verondersteld volledig over te gaan op waterstof. De huidige wkk's in Nederland worden vervangen door brandstofcellen op waterstof. De benodigde waterstof waar de waterstofcentrales op draaien wordt geïm-porteerd vanuit het buitenland. Tot slot wordt de kerncentrale in Borssele vervangen door een nieuwe kerncentrale (1,5 GW) die wordt ingezet om volcontinu waterstof te produ-ceren. De kerncentrale zou eventueel bij grote stroomtekorten kunnen leveren aan het elektriciteitsnet om te voorzien in tekortflexibiliteit, maar dit is niet opgenomen als optie in de simulatie.

Er zijn overschotten van aanbod gedurende ongeveer 1.960 uren per jaar, vergelijkbaar met 2029. Voor Zeeland gaat het om 600 GWh overschot. Dit kan met 0,3 GWe elektrolyse voor 65% worden opgenomen, waarmee dan 1 PJ waterstof wordt geproduceerd. De resultaten voor tekortflexibiliteit verschillen door de aanpassingen in het productiepark wel ten opzichte van het scenario 2029 Klimaatakkoord. In Tabel 22 zijn de productiecijfers van het opgestelde regelbaar vermogen in Zeeland weergegeven. De kerncentrale van Borssele draait bijna het hele jaar op vol vermogen voor waterstofproductie. De andere centrales in leveren een bijdrage aan de flexibiliteit van het aanbod. Met tenminste 1.200 vollasturen worden de centrales geregeld ingezet en niet alleen op de prijspiek, waar piekcentrales nodig zijn om in tekortflexibiliteit te voorzien.

Uit de simulatie van dit scenario volgt dat in Nederland 57% van de elektriciteit geproduceerd wordt door hernieuwbare bronnen. De gemiddelde elektriciteitsprijs is circa 120 €/MWh voor de uren dat er geen overschotten zijn (circa 7.500 uur per jaar).

Tabel 22 - Productiecijfers regelbaar vermogen Zeeland 2050 waterstofscenario

Centrale	Type centrale	Opgesteld vermogen model (GW)	Productie (GWh)	Vollasturen	Relatief aandeel vermogen	Relatief aandeel productie
Borssele	Kerncentrale	1,50	*Alleen waterstofproductie*			
Sloe 10	H_2 STEG	0,44	690	1.570	2%	1%
Sloe 20	H_2 STEG	0,44	530	1.220	2%	1%
Elsta	H_2 brandstofcel	0,39	1.800	4.650	2%	1%
Totaal		1,26	3.020	7.430	5%	4%

I.4 Tabellen vermogen, productie en jaarduurkrommes

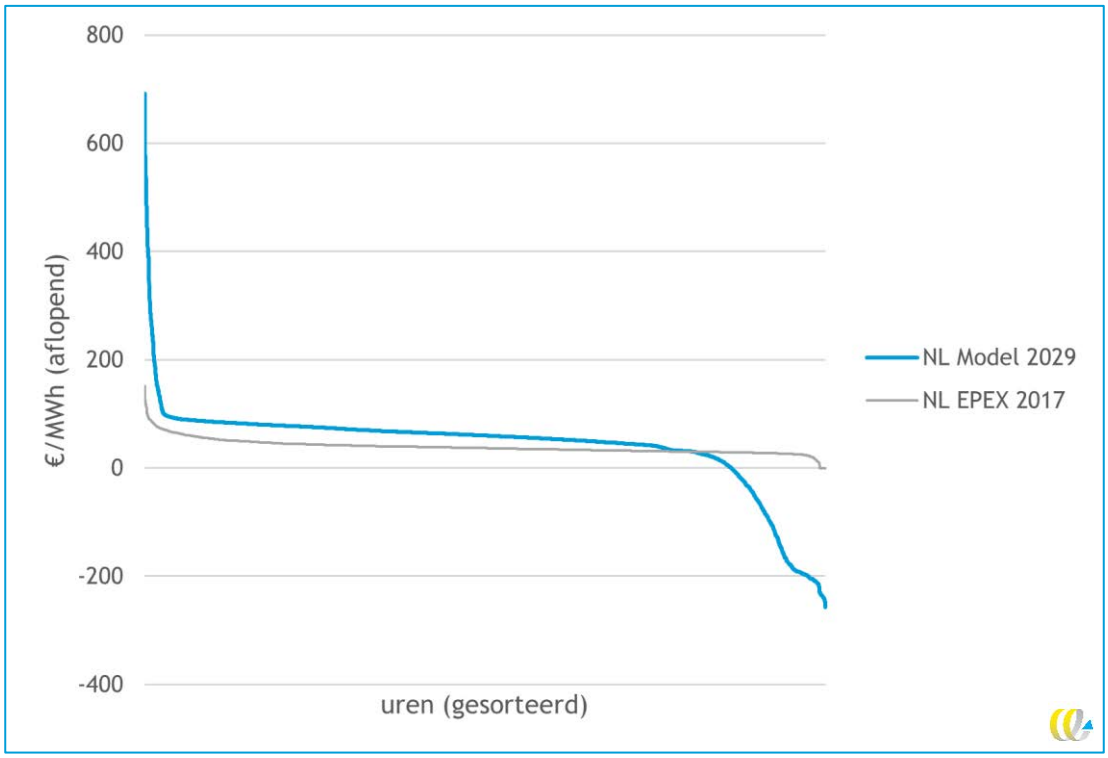
Productiepark in scenario 2029 Klimaatakkoord (GW)

	Nederland	Duitsland
Kolen	3	10
Bruinkool	0	8
Gas	15	41
Waterstof	0	0
Waarvan STEG	0	0
Waarvan brandstofcel	0	0
Biomassa	1	7
Afval	1	2
Hoogovengas	1	1
Kernenergie	1	0
Geothermie	0	0
Olie	0	1
Totaal regelbaar vermogen	21	70
Zon	19	91
Wind op land	9	82
Wind op zee	12	17
Water (run of river)	0	6
Totaal hernieuwbaar vermogen	40	195
Waterkracht pompcentrales (opslag, productievermogen)	0	15
Totaal opgesteld vermogen	61	280

Productie in scenario 2029 Klimaatakkoord (TWh)

	Nederland	Duitsland
Kolen	18	46
Bruinkool	0	40
Gas	40	102
Biomassa, afval	5	37
Hoogovengas	4	4
Kernenergie	4	0
Geothermie	0	0
Olie	0	1
Waterstof	0	0
Waarvan STEG	*0*	*0*
Waarvan brandstofcel	*0*	*0*
Totale conventionele productie	70	230
Zon	19	86
Wind	64	221
Water (run of river)	0	22
Totale hernieuwbare productie	83	329
Waterkracht pompcentrales (opslag, productie)	0	16
Totale productie	153	576

Jaarduurkromme in scenario 2029 **Klimaatakkoord (€ per MWh)**



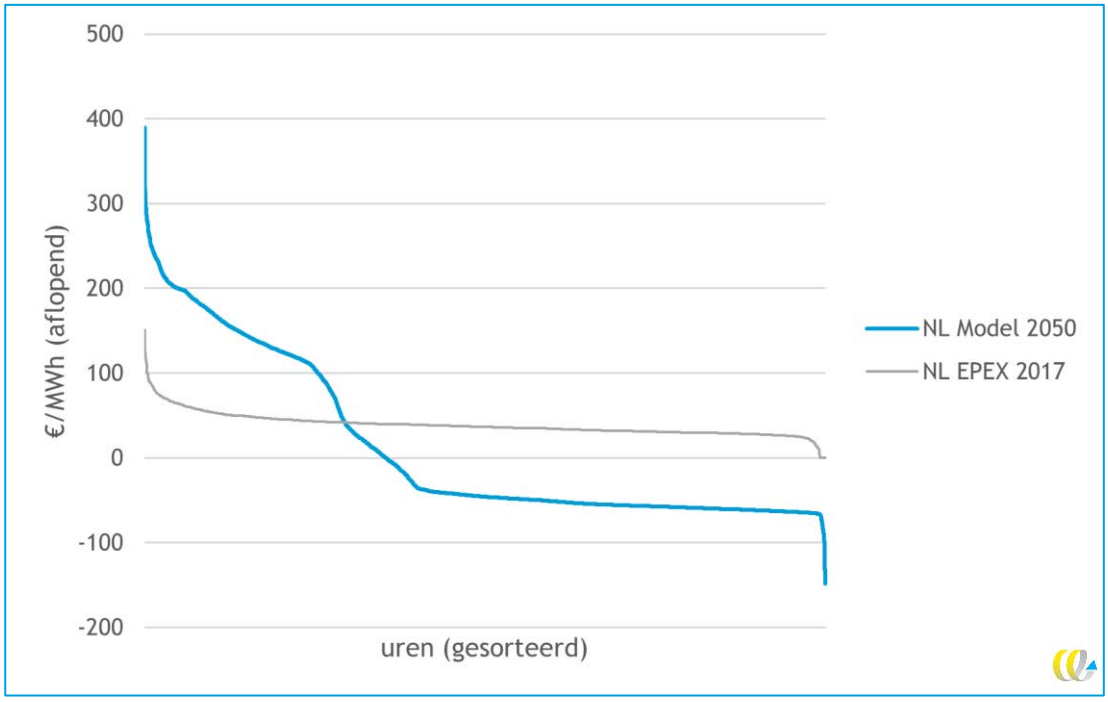
Productiepark in scenario 2050 Regionale Sturing (GW)

	Nederland	Duitsland
Kolen	0	0
Bruinkool	0	0
CO_2-neutraal gas	27	36
Waterstof	31	147
Waarvan normaal	4	17
Waarvan piekvermogen	26	130
Biomassa	0	2
Afval	0	0
Hoogovengas	0	0
Kernenergie	0	0
Geothermie	0	0
Olie	0	0
Totaal regelbaar vermogen	57	191
Waarvan regelbaar piekvermogen	26	130
Zon	84	600
Wind op land	16	210
Wind op zee	26	64
Water (run of river)	0	6
Totaal hernieuwbaar vermogen	127	880
Waterkracht pompcentrales (opslag, productievermogen)	0	5
Totaal opgesteld vermogen	184	1.070
Waarvan regelbaar piekvermogen	26	130
Totaal regelbare piekvraag	80	611
Waarvan Power-to-X	80	376
Waarvan Batterijopslag	0	230
Waarvan Waterkrachtcentrale (opslag)	0	5

Productie in scenario 2050 Regionale Sturing (TWh)

	Nederland	Duitsland
Kolen	0	0
Bruinkool	0	0
CO_2-neutraal gas	30	40
Biomassa, afval	0	4
Hoogovengas	0	0
Kernenergie	0	0
Geothermie	0	0
Olie	0	0
Waterstof	3	15
Totale conventionele productie	33	59
Zon	84	585
Wind	137	741
Water (run of river)	0	21
Totale hernieuwbare productie	221	1.347
Waterkracht pompcentrales (opslag, productie)	0	1
Totale productie	254	1.407

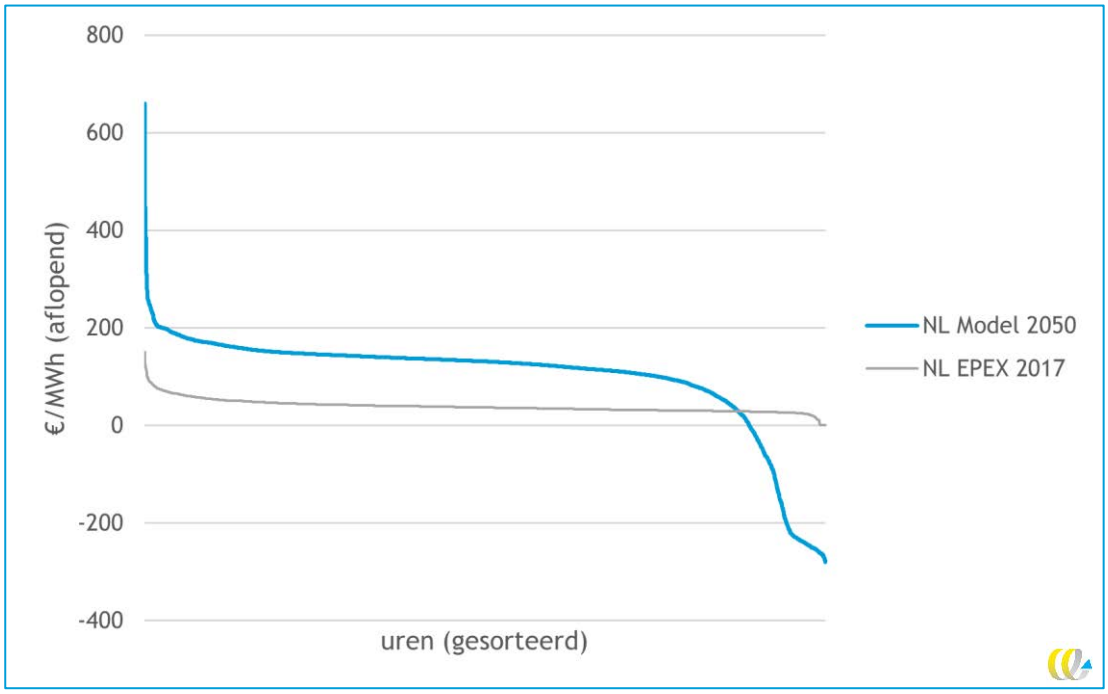
Jaarduurkromme in scenario 2050 Regionale Sturing **(€ per MWh)**



Productiepark in scenario 2050 Internationale Sturing (GW)

	Nederland	Duitsland
Kolen	0	0
Bruinkool	0	0
Gas	0	0
Waterstof	22	67
Waarvan STEG	17	67
Waarvan brandstofcel	5	0
Biomassa	1	7
Afval	1	2
Hoogovengas	1	1
Kernenergie	0	0
Geothermie	0	0
Olie	0	0
Totaal regelbaar vermogen	24	76
Zon	19	91
Wind op land	9	82
Wind op zee	12	17
Water (run of river)	0	6
Totaal hernieuwbaar vermogen	40	195
Waterkracht pompcentrales (opslag, productievermogen)	0	15
Totaal opgesteld vermogen	64	286

Productie in scenario 2050 Internationale Sturing (TWh)

	Nederland	Duitsland
Kolen	0	0
Bruinkool	0	0
Gas	0	0
Biomassa, afval	1	23
Hoogovengas	6	6
Kernenergie	0	0
Geothermie	0	0
Olie	0	1
Waterstof	55	216
Waarvan STEG	*30*	*216*
Waarvan brandstofcel	*25*	*0*
Totale conventionele productie	62	245
Zon	19	86
Wind	64	221
Water (run of river)	0	22
Totale hernieuwbare productie	83	329
Waterkracht pompcentrales (opslag, productie)	0	2
Totale productie	145	576

Jaarduurkromme in scenario 2050 Internationale Sturing **(€ per MWh)**