



Systeemstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland

Integrale systeemstudie gas,
elektriciteit, CO₂ en warmte;
2020-2030-2050



QUINTEL
INTELLIGENCE



CE Delft

Committed to the Environment

TNO innovation
for life

Systeemstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland

Integrale systeemstudie gas, elektriciteit, CO₂ en warmte;
2020-2030-2050

Dit rapport is geschreven door:

Cor Leguijt, Marijke Meijer, Sjoerd van der Niet, Marianne Teng, Joeri Vendrik, Reinier van der Veen (CE Delft)
Dorine van der Vlies, Roos de Kok, Alexander Wirtz (Quintel)
Sebastiaan Hers, Jasper Donker, Osmar Usmani (TNO)

Delft, CE Delft, januari 2021

Publicatienummer: 21.200140.004

Energievoorziening / Regionaal / Provincies / Vraag / Aanbod / Infrastructuur / Elektriciteit / Waterstof /
Warmte / Aardgas / Duurzame Energie

Opdrachtgevers: Provincie Zuid-Holland, Stedin, Havenbedrijf Rotterdam

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Cor Leguijt](#) (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 ruim 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	15
	1.1 Aanleiding	15
	1.2 Onderzoeksvragen en reikwijdte	15
	1.3 Leeswijzer	16
2	Opzet van het onderzoek	17
	2.1 Organisatie	17
	2.2 Onderzoeksopzet	17
3	De scenario's	21
	3.1 2030: Klimaatakkoord en RES'en	23
	3.2 Scenario 2050 - Regionale Sturing	24
	3.3 Scenario 2050 - Nationale Sturing	24
	3.4 Scenario 2050 - Europese CO ₂ -sturing	25
	3.5 Scenario 2050 - Internationale Sturing	25
	3.6 Scenario's in het EnergieTransitieModel ETM	26
4	Vraag, aanbod en flexibiliteit	27
	4.1 Energievraag	27
	4.2 Aanbod	40
	4.3 Overzichtstabellen van de scenario's	46
	4.4 Flexibiliteit	48
	4.5 Van energievolumes naar vermogens	50
5	Impact op systeem en infrastructuur	53
	5.1 Impact op het systeem	53
	5.2 Huidige (energie)infrastructuren	59
	5.3 Impact op het hoogspanningsnet	65
	5.4 Impact op regionale elektriciteitsnetten	69
	5.5 Impact op de gasnetten (methaan, waterstof en CO ₂)	76
	5.6 Impact op warmtenetten	78
6	Oplossingen voor capaciteitsknelpunten	81
	6.1 Inventarisatie van oplossingsrichtingen	81
	6.2 Inventarisatie van belemmeringen	85
	6.3 Oplossingen bij de gevonden knelpunten	86
7	Ruimtelijke impact en kosten	95
	7.1 Ruimtelijke impact	95
	7.2 (Maatschappelijke) kosten	98



8	Governance	100
9	Conclusies en aanbevelingen	103
	9.1 Conclusies vraag en aanbod van energie	103
	9.2 Conclusies en aanbevelingen over impact	106
	9.3 Aanbevelingen m.b.t. governance van de energietransitie	109
	9.4 Aanbevelingen voor de kortere termijn	110
	Literatuur	111
A	Overzicht bestaande studies	115
B	Deelnemers	116
C	Begrippenlijst	118
D	Gebouwde omgeving	120
	D.1 Uitgangspunten	120
	D.2 Resultaten	121
	D.3 Seizoensopslag van warmte - technische mogelijkheden	124
E	Mobiliteit	126
	E.1 Uitgangspunten	127
	E.2 Resultaten	130
F	Industrie	131
	F.1 Uitgangspunten	132
	F.2 Resultaten	134
G	Land- en tuinbouw	135
H	Energieproductie	137
	H.1 Zon en wind	137
	H.2 Centrales	138
	H.3 Groengas	138
I	Visualisatie knelpunten	139
	I.1 Hoogspanningsnet	139
	I.2 Hoogspanningsnet tabel knelpunten en oplossingen	141
	I.3 Koppelpunten	152

Samenvatting

De energie-infrastructuur is cruciaal in de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem. Deze transitie vindt plaats in een omgeving die zelf ook verandert, bijvoorbeeld door nieuwbouw en door structuurveranderingen in de industrie. Aanleg en wijziging van energie-infrastructuur heeft lange looptijden en het is daarom essentieel om tijdig een beeld te krijgen van de noodzakelijke aanpassingen. Dat zal op een integrale manier moeten gebeuren. Immers, de ontwikkelingen in de energietransitie zijn niet meer traditioneel te scheiden in productie en vraag, of in gas, elektriciteit en warmte. Hoewel er al veel losse deelstudies zijn, ontbrak tot nu toe het integrale beeld, vanuit één coherente dataset. De Systeemstudie energie-infrastructuur 2020-2030-2050 Zuid-Holland voorziet daarin. Dit is een eerste integrale studie, waarbij aan de hand van scenario's inzicht wordt verkregen in de samenhang van het energiesysteem. Onze verwachting is dat er de komende jaren voortschrijdende inzichten zullen ontstaan over de voortgaande systeemintegratie.

De hoofdvragen die in deze systeemstudie worden beantwoord zijn:

*Welke impact heeft de energietransitie op de (huidige) energie-infrastructuur?
Welke oplossingen en ontwikkelingen zijn nodig om in 2030 en 2050 de energietransitie in Zuid-Holland mogelijk te maken?*

Om de hoofdvragen te kunnen beantwoorden is een vijftal scenario's opgesteld, één voor 2030 en vier voor 2050. De scenario's voor 2050 zijn zo gekozen dat ze realistische 'hoekpunten van het speelveld' vormen, teneinde de impact te kunnen bepalen op het energiesysteem. Het zijn nadrukkelijk geen blauwdrukken van hoe het moet, maar verkenningen van mogelijke ontwikkelingen. De scenario's geven invulling aan de transitie naar klimaatneutraal in 2050. De totale vraag naar energie in 2050 varieert per scenario, van 9% krimp tot 27% groei ten opzichte van nu. Binnen die totale energievraag treden grote systeemverschuivingen op. De inzet op CO₂-emissiereductie leidt tot afname in aardgasvraag, die wordt vervangen door andere energiedragers. De vraag naar elektriciteit neemt ondanks de inzet op besparing sterk toe, in alle scenario's, met in totaal een factor 2 tot 3. Dit komt door elektrificatie in de mobiliteit, in de industrie en van een deel van de warmtevraag. In de scenario's is er sprake van een afname van de warmtevraag in de bestaande bouw door verbeterde isolatie. De warmtevraag zal voor een deel worden ingevuld met collectieve warmtenetten, die in de verschillende scenario's aanzienlijk tot sterk toenemen, met name in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Voor de gebouwde omgeving is dat steeds gemodelleerd op basis van kostenoptimalisatie. Ook de vraag naar waterstof neemt sterk toe, afhankelijk van het scenario. Tot slot verandert de productie van elektriciteit ingrijpend, met aanlanding van grote vermogens vanuit wind op zee op de Maasvlakte en met de groeiende inzet van zon-pv en van wind op land. Al deze wijzingen hebben impact op de infrastructuur.

Disclaimer: Dit betreft een scenariostudie, met één scenario voor 2030 en vier 'hoekpunt-scenario's' voor 2050 die gezamenlijk het speelveld opspannen waarbinnen, met de huidige kennis en verwachtingen, de doelen uit het Klimaatakkoord behaald kunnen worden. De scenario's voor 2050 geven de op dat moment ingebrachte kennis, expertise en ontwikkelingen in Zuid-Holland weer en zijn het 2de kwartaal 2020 opgesteld. Voortschrijdend inzicht en recentelijke ontwikkelingen kunnen derhalve aanvullend of afwijkend zijn.

De belangrijkste inzichten over het energiesysteem zijn:

- Richting 2030 zullen de geplande warmtenetten moeten worden aangelegd om de warmtetransitie mogelijk te maken in het afgesproken tempo. Ook de door de net-beheerders reeds geplande investeringen in de elektriciteitsnetten zullen uitgevoerd moeten worden en er zullen oplossingen gekozen moeten worden voor de knelpunten in de elektriciteitsnetten die er daarnaast richting 2030 zullen gaan optreden. Bij de gas-netten zullen richting 2030 investeringen gedaan moeten worden om te voorzien in de geplande levering van verschillende gassen aan verschillende afnemers en gebieden, waarvoor bijvoorbeeld in 2030 al waterstoftransportinfrastructuur nodig is voor de industrie.
- In Zuid-Holland is in de meeste gebieden de impact op de elektriciteitsnetten van toenemende elektriciteitsvraag groter dan de impact van toenemend elektriciteits-aanbod vanuit zonnecellen en wind op land.
- In alle scenario's is er een stijging van de elektriciteitsvraag, ondanks de inzet op besparing. Dit komt door elektrificatie in de mobiliteit, in de industrie en van een deel van de warmtevraag, en door toename van de vraag naar kracht en licht in de gebouwde omgeving. Deze toename van de elektriciteitsvraag kan niet worden opgevangen met de huidige infrastructuur plus de reeds geplande investeringen. Dat effect is al beperkt zichtbaar richting 2030 (dit betreft een aantal specifieke locaties), en wordt aanzienlijk groter richting 2050.
- Er is een duidelijk effect zichtbaar van het toepassen van 'curtailment' op het aanbod van elektriciteit uit zon-pv. In de betreffende gebieden kan 'curtailment' de benodigde netverzwaring flink beperken. Als voorbeeld: curtailment met 33% van het piekvermogen van zon-pv-installaties levert een verlies van 4% van de totale geproduceerde energie (maar heeft daarmee een impact op de businesscase van de installatie).
- De aanlanding van 'wind op zee' op de Maasvlakte zoals aangenomen richting 2050 (2030: 3,5 GW; 2050: 13,4 tot 23,6 GW) kan niet worden opgevangen met de bestaande hoogspanningsinfrastructuur. Ook niet wanneer rekening wordt gehouden met de aangenomen omvang van flexibel in te zetten elektrificatie bij de industrie zoals bijvoorbeeld hybride boilers.
De mogelijke oplossing om grootschalige conversie naar waterstof in te zetten overstijgt de capaciteit van de bestaande gastransportinfrastructuur en vergt realisatie van waterstofinfrastructuur.
- De inzet van warmtelevering in plaats van verwarming met elektrische warmtepompen vermindert de overbelasting van het elektriciteitsnet. Dit effect kan in 2050 oplopen tot 700 MW voor de provincie als geheel. De daarvoor benodigde warmte-infrastructuur moet nog grotendeels worden aangelegd. Dit speelt al richting 2030.
- Aanvullende CO₂-infrastructuur is nodig in de glastuinbouw om warmtelevering aan de glastuinbouw mogelijk te maken.
- Voor gasnetten is gedurende de transitieperiode richting 2050 het leveren van zowel waterstof als methaan een uitdaging. De uitdaging bestaat eruit dat gedurende de transitieperiode beide soorten gas geleverd zullen moeten worden in gebieden. Dit vergt keuzes welke bestaande gasinfrastructuur voor welk type gas gaat worden ingezet. Voor de industrie speelt dit al richting 2030, voor de gebouwde omgeving is dit pas na 2030 aangenomen.
- De balanshandhaving in het energiesysteem vergt een omvangrijke inzet van systeem-flexmiddelen in 2050, waaronder circa 5 GW aan kleinschalige waterstofgasgestookte gascentrales en 15 GW of meer aan systeembatterijen. De omvang en realisatie daarvan vergt aandacht en nader onderzoek.

De belangrijkste conclusies en oplossingsrichtingen vanuit deze systeemstudie zijn (zie Hoofdstuk 6 voor meer detail):

- Het algemeen beeld is dat het energiesysteem richting 2050 behoorlijke uitbreiding van bestaande en aanleg van nieuwe infrastructuur vraagt. Dit betreft uitbreiding/ verzwaring van de elektriciteitsnetten en realisatie van warmte-, CO₂- en waterstof-infrastructuur. Dit gaat gepaard met een ruimtevraag en met investeringen.
- Het elektriciteitsaanbod met geplande elektriciteitsopwek in de RES'en in 2030 kan worden geacommodeerd met de bestaande elektriciteitsnetwerken, op enkele specifieke uitzonderingen na.
- Tref maatregelen om de groei van de piekbelasting van de regionale elektriciteitsnetten te verminderen. Voor de gebouwde omgeving gaat het om aanleg van de beoogde warmtenetten en om hybride warmtepompen in plaats van 'all-electric', in combinatie met isolatie. Voor mobiliteit gaat het om slim laden op momenten dat de lokale infrastructuur dat aankan. Voor de industrie gaat het om de realisatie van flexibele elektrificatie zoals hybride boilers. Voor het aanbod vanuit wind op land en zon-pv gaat het om het toepassen van curtailment. Dit laatste vermindert de belasting van de elektriciteitsnetten (maar heeft ook impact op de businesscase van deze installaties).
- De aanlanding van wind op zee in 2050 op de Maasvlakte levert meer energie dan lokaal nodig is. Dit moet deels worden afgevoerd naar het landelijk koppelnetwerk elektriciteit en deels na elektrolyse als waterstof worden ingevoerd in de beoogde landelijke backbone waterstof en de buisleidingverbindingen tussen de industrieclusters.
- Grootschalige systeemflexibiliteit is nodig voor de benodigde systeembalans. Het betreft onder andere flexibele piek- en back-upcentrales, systeembatterijen, elektrolyzers, waterstofopslag, en warmteopslag. Het overgrote deel van deze technische middelen is er nog niet, en de schaal en functie van deze middelen vragen om nadere studie in landelijk verband.
- Voor de Transitievisies Warmte en de RES'en geldt dat tijdige besluitvorming de benodigde duidelijkheid schept om op tijd te kunnen anticiperen als aanleg of uitbreiding van infrastructuur nodig is.

Samenvattend: het veranderende energiesysteem vraagt meer – en meer diversiteit – aan infrastructuur (en dus investeringen), flexmiddelen vanwege toenemende onbalans, ruimte, en ook innovaties en passende wet- en regelgeving. Bij dit alles moet bedacht worden dat de transitie naar klimaatneutraal in 2050 weliswaar uitgangspunt is in de scenario's, maar ook op zichzelf nog een stevige uitdaging vormt. Uit de scenario's blijkt dat de ontstane knelpunten vooral vraaggestuurd zijn. Alle inspanningen om de groei van energievraag te verminderen, met name elektriciteit, kunnen een aanzienlijke bijdrage leveren om overbelasting te beperken. Besparing is daarom voor alle sectoren de eerste aanbeveling.

Aanbevelingen voor de korte termijn

Voor de korte termijn adviseren we om *in ieder geval* in te zetten op:

- Oplossen van de urgente infrastructuurknelpunten¹ voor 2030, die grotendeels ontstaan door toenemende vraag.
- Organiseren van de governance zoals in dit rapport beschreven, startend met een samenwerking op de systeembenadering als vervolg van deze systeemstudie.
- Aanpak opstellen voor het omgaan met de doorvoerbehoeften van elektriciteit en waterstof tussen tweede Maasvlakte en de landelijke ‘rotondes’ elektriciteit en gas; dit speelt weliswaar pas ná 2030, maar is dan een gevolg van eerdere besluitvorming over wind op zee. Er zijn verschillende oplossingen mogelijk, dit vergt nader onderzoek in landelijk verband².
- Nader uitwerken van het ruimtelijk ontwerp voor de energietransitie, met focus voor de kortere termijn op dichtbebouwde omgeving waar zowel ruimte schaars is als extra infrastructuur nodig is, door combinatie van functies/slim ruimtegebruik.
- Transitievisies Warmte en de RES’en: inzetten op tijdige besluitvorming voor tijdige realisatie van benodigde infrastructuur en rekening houden met de inzichten van deze systeemstudie, zoals het beperken van de piekbelasting van elektriciteitsnetten door alternatieve energiedragers en warmtetechnieken. Voorbereiden (aanpak uitwerken) van de ‘gastransitie’ in de gasinfrastructuren, in samenhang met de Transitievisies Warmte (TVW).
- Uitwerken van de netimpact warmte. Deze netimpact heeft zowel betrekking op het warmtetransportsysteem (integraal ontwerp warmtetransportnet) én de lokale warmte-infrastructuur (RSW & TVW).
- Experimenteren met innovaties, bijvoorbeeld in proeftuin organiseren van een stuur-sigitaal voor inzet van flexmiddelen (zoals slim laden) dat rekening houdt met de (lokale) capaciteit van de infrastructuur.
- Het opstellen van een aanpak, in landelijk verband, voor de benodigde flex en systeem-balancerings.

Nu volgt een bondige samenvatting van de uitgangspunten en analyses van deze studie.

Scenario's 2030 en 2050

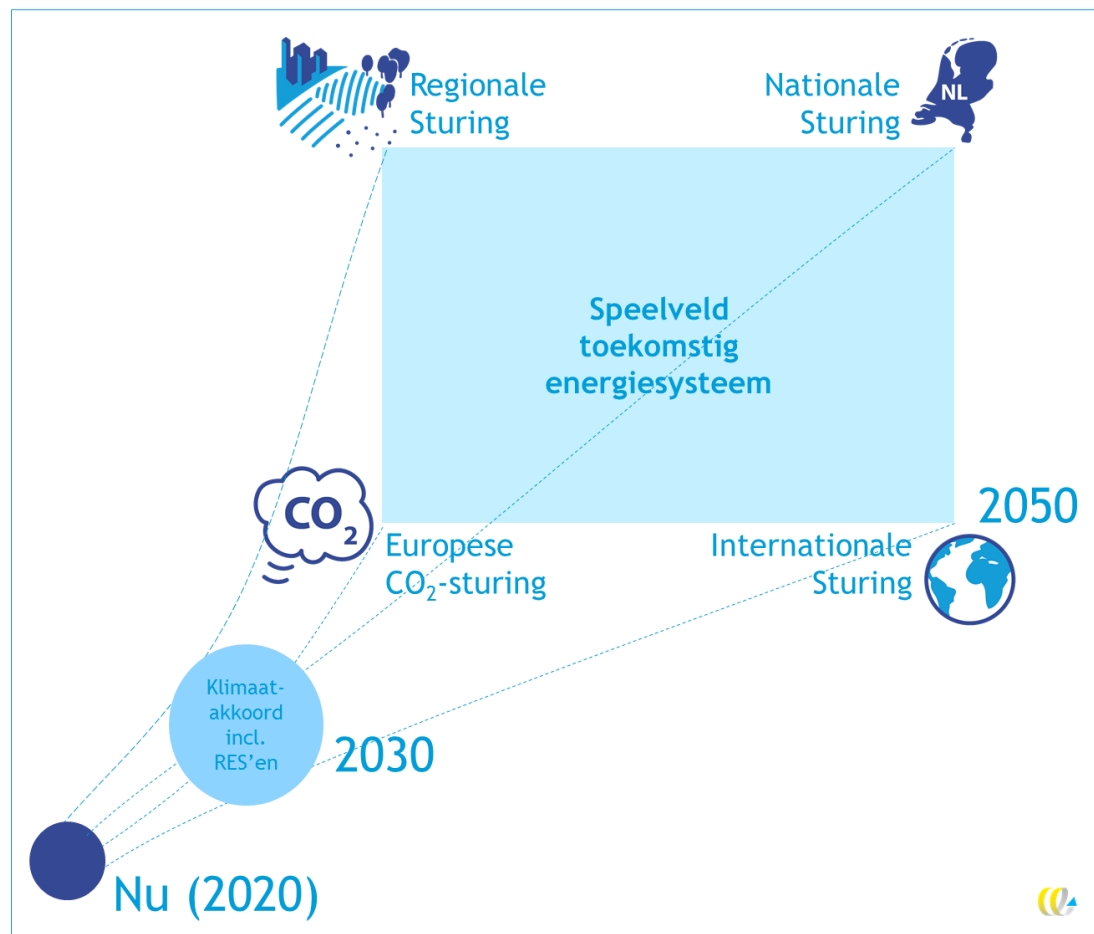
De scope van deze systeemstudie is de infrastructuurgebonden energievoorziening: vraag en aanbod van elektriciteit, gas (methaan en waterstof), warmte en ook CO₂. De inzet van de verschillende energiedragers is in samenhang bepaald, redenerend vanuit de behoeften aan ruimteverwarming, proceswarmte, mobiliteit, kracht en licht, et cetera. De mix van de verschillende energiedragers om in die behoeften te voorzien bepaalt het effect op de energie-infrastructuur. De scenario's voor 2050 spannen zo goed mogelijk de realistisch voorstelbare ‘hoeken van het speelveld’ op, zie Figuur 1. Ze gaan alle wel uit van een klimaatneutrale energievoorziening in 2050. De scenario's zijn nadrukkelijk geen blauwdrukken van hoe het moet, maar verkenningen van mogelijke ontwikkelingen.³

¹ NB: reeds genomen investeringsbeslissingen zijn al verwerkt in de capaciteitsdoorrekeningen en worden al uitgevoerd.

² Relevant hierbij is het recent gestarte VAWOZ-traject (Verkenning Aanlanding Windenergie op Zee).

³ NB: Voor hun concrete investeringsplannen hanteren de netbeheerders soms andere, meer gedetailleerde, uitwerkingen die leidend zijn voor hun investeringen op korte termijn.

Figuur 1 - Opzet van de scenario's: opspannen van 'de hoeken van het speelveld'

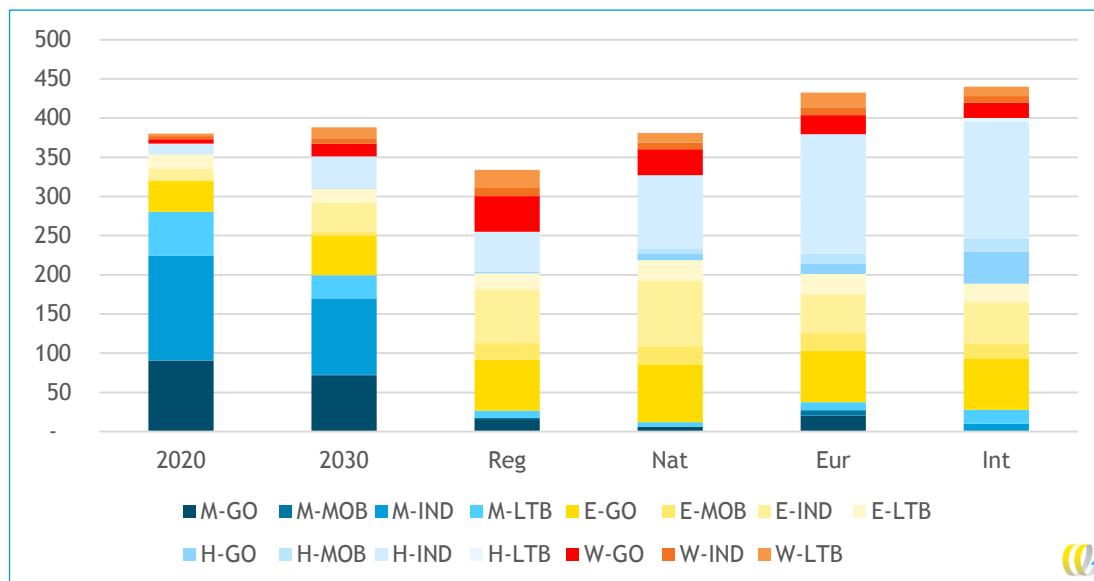


Een overzicht van de scenarioaannames staat in Tabel 1 en Figuur 2.

Tabel 1 - Overzichtstabel van de scenario's, per sector

	2030	2050 Regionale Sturing	2050 Nationale Sturing	2050 Europese CO ₂ -sturing	2050 Internationale Sturing
Gebouwde omgeving	20% van de woningen aardgasvrij	Focus op geothermie, aangevuld met warmterotonde	Focus op all-electric en warmterotonde met restwarmte	Focus op gas: veel hybride met groengas	Focus op waterstof
Mobiliteit personenvervoer (incl. bussen)	Veel elektriciteit, beperkt waterstof, en bijmengen bio-brandstof	Volledige elektrificatie	Beperkttere elektrificatie (95%) en verder waterstof	Beperkte elektrificatie (70%) verder waterstof	Beperkte elektrificatie (50%), verder waterstof en 10% biobrandstof
Mobiliteit vrachtvervoer	Beperkt bio-brandstoffen in vrachtvervoer over de weg en water	Veel waterstof (75%) en elektriciteit (15%) wegtransport. Beperkt waterstof (25%) en elektriciteit (25%) in binnenvaart.	Beperkt waterstof (50%) en meer elektriciteit (25%) in wegtransport. Meer waterstof (30%) en minder elektriciteit (20%) in binnenvaart.	Beperkt waterstof (25%) en elektriciteit (25%) in wegtransport. Meer waterstof (40%) en minder elektriciteit (10%) in binnenvaart.	Beperkt waterstof (25%) en elektriciteit (25%) in wegtransport. Meer waterstof (40%) en minder elektriciteit (10%) in binnenvaart.
Glastuinbouw	(Groen)gas gestookte wkk aangevuld met geothermie, restwarmte en klein deel biomassa en warmtepomp.	Geothermie, aangevuld met (groen)gas-gestookte wkk en biomassa.	Combinatie van geothermie en restwarmte, aangevuld met warmtepomp wko, biomassa en (groen)gas-gestookte wkk.	Warmtepomp aangevuld met geothermie, restwarmte en klein deel biomassa.	Combinatie geothermie, restwarmte, warmtepomp wko, groengas en waterstof in wkk en biomassa.
Industrie	CCS (Porthos), beperkte elektrificatie en waterstof (H-Vision).	Krimp van 1% energievraag met sterke inzet op elektrificatie en beperkt waterstof.	Gelijkblijvende energievraag met sterke inzet op elektrificatie en waterstof.	Groei energievraag. Waterstof aangevuld door elektrificatie en groengas	Hogere groei energievraag. Waterstof aangevuld door elektrificatie en groengas
Opwek elektriciteit	3,8 GW zon (merendeels op dak) 1,0 GW wind land (RES) 3,5 GW wind zee Regelbaar = gas/biomassa	14 GW zon 1,2 GW wind land 14 GW wind zee Regelbaar = H ₂	12 GW zon 2 GW wind land 24 GW wind zee Regelbaar = H ₂	6,5 GW zon 1,0 GW wind land 13 GW wind zee Regelbaar = groengas/gas met CCS	5,8 GW zon 0,5 GW wind land 13 GW wind zee Regelbaar = H ₂

Figuur 2 - Overzicht totale eindgebruik energie in Zuid-Holland (in PJ/jaar) per scenario



* M = methaan, E = elektriciteit, H = waterstof, W = warmte, GO = gebouwde omgeving, MOB = mobiliteit, IND = industrie, LTB = land- en tuinbouw.

De hier gepresenteerde waterstofvraag in de industrie in 2030 is exclusief de waterstof geproduceerd vanuit H-Vision (42 PJ). Die wordt in de industrie meteen lokaal gebruikt en raakt de publieke energie-infrastructuren verder niet.

Impact op de infrastructuur

Wijzigingen in het gebruik en productie van energie hebben hun weerslag op de benodigde capaciteit van de infrastructuur. De netbeheerders van de gas- en elektriciteitsnetwerken in Zuid-Holland hebben de effecten van de scenario's doorgerekend voor hun *huidige* netwerken, inclusief reeds goedgekeurde investeringen. Waar sprake is van flinke groei van gebruik of aanbod worden capaciteitsknelpunten zichtbaar, in het rapport verder kortweg 'knelpunt' genoemd. Dat wil zeggen punten waar de *huidige* infrastructuur niet toereikend is om in de toekomstige belasting te voorzien. Een knelpunt in deze context is niet automatisch een 'probleem', immers: het doen van net-investeringen is dagelijkse praktijk voor de netbeheerders, maar vergt wel aandacht en actie. Naast capaciteitsknelpunten kunnen er ook andere knelpunten optreden, zoals ruimtelijke, financiële en organisatorische. Als het knelpunt bijvoorbeeld pas in 2050 optreedt, betekent het in dat geval een aandachtspunt waarvoor tijdig actie moet worden gepland, rekening houdend met de soms lange doorlooptijden tot tien jaar en langer van aanpassingen van energie-infrastructuur. Netbeheerders wachten mede om die reden ook niet tot de belasting daadwerkelijk de maximale belastbaarheid van de infrastructuur nadert maar ondernemen al eerder actie.

Bij warmtenetten is de situatie anders dan bij gas en elektriciteit. In Figuur 2 is zichtbaar dat de rol van warmtelevering in het energiesysteem toeneemt, met de grootste toename in het scenario Regionale Sturing. De bijbehorende lokale en regionale warmtenetten zijn er nog niet, en konden dus ook niet worden doorgerekend op knelpunten op basis van de toekomstige vraag, zoals bij de elektriciteits- en methaannetten. De uitdaging bij de warmtenetten ligt in de tijdige realisatie. Hoe dat precies zal gaan is het onderwerp van de Transitievisies Warmte, en het Integraal Ontwerp Warmtetransportnet dat begin 2021 gereed zal komen.

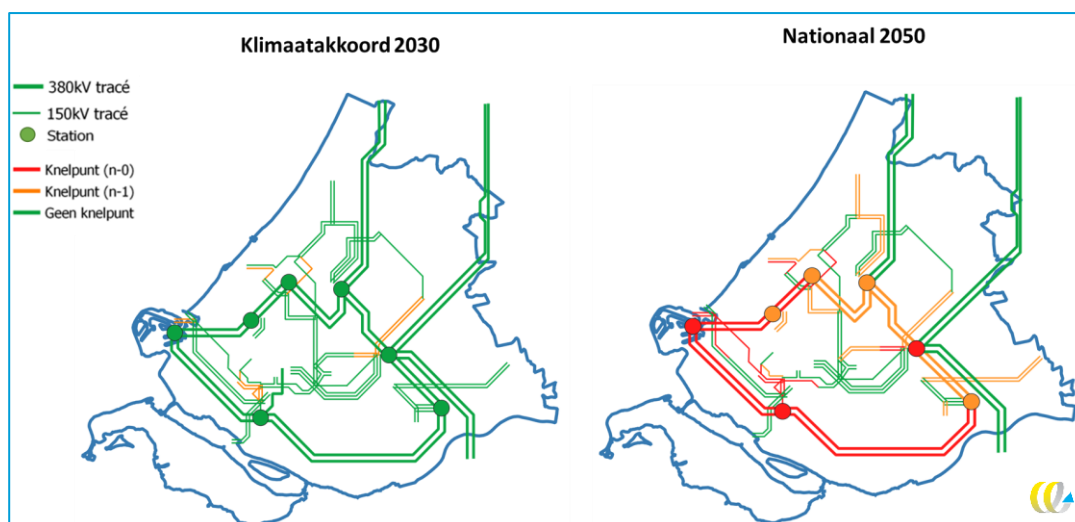
De huidige gasnetten zijn doorgerekend voor de situatie in 2050 waarbij er rekening mee is gehouden dat er dan zowel een netwerk voor waterstof als een netwerk voor methaan nodig is. De uitdaging bij de gasnetten zit vooral in de organisatie van de overgang van de huidige situatie naar de toekomstige. De vraag hoe die ‘gastransitie’ precies zijn beslag kan krijgen is nog niet beantwoord.

Om het energiesysteem gereed te maken voor de toekomst, moet de huidige infrastructuur op alle fronten worden aangepast. Het elektriciteitsnet moet worden verzwaaard, het gasnet moet geschikt worden gemaakt voor waterstof en de warmtenetten en het CO₂-net moet worden aangelegd en uitgebreid.

Hoogspanningsnet (TenneT)

Het hoogspanningsnet, onder beheer van TenneT, omvat het 380 kV-net en het 150 kV-net. In 2030 zijn op het 380 kV-net nog geen knelpunten te zien. Op het 150 kV-net zijn wel enkele knelpunten zichtbaar in 2030, zie Figuur 3.

Figuur 3 - Visualisatie belasting hoogspanningsnet in scenario's 2030 Klimaatakkoord en 2050 Nationale Sturing⁴



In alle scenario's voor 2050 nemen de knelpunten toe in aantal en in mate en duur van capaciteitsoverschrijding. Het 380 kV-net zal vooral dienstdoen voor transport vanaf centrales en vanaf de voorziene grote aanlanding van wind op zee op de Maasvlakte. De transporten gaan naar de rest van Nederland en mogelijk ook België en Duitsland. In scenario Nationale Sturing is – in navolging van de landelijke II3050-studie – verondersteld dat er 24 GW wind op zee aanlandt op de Maasvlakte, met daartegenover 19 GW aan elektrolyzers op die locatie. Dan is er nog altijd tenminste 5 GW te transporteren vermogen en dat overschrijdt de beschikbare capaciteit. In de andere 2050-scenario's zijn de overschrijdingen minder groot, maar wel aanwezig.

⁴ Zie de uitleg in de tekstbox in Paragraaf 5.3 (Pagina 66 e.v.) over de technische begrippen N-0 en N-1.

Op het 150 kV-net worden de knelpunten rond de Rotterdamse haven heviger tussen 2030 en 2050. Elektrificatie van de industrie leidt tot grote toename van de elektriciteitsvraag en het huidige 150 kV-net is daar niet op berekend. Ter illustratie: Botlek-Theemsweg zou in scenario 2050 Nationale Sturing tot bijna 600% belast worden.

Verder zijn er in 2050 knelpunten rond de stedelijke gebieden van Den Haag, Rotterdam, Gouda, Zoetermeer en Leiden. Ook dit zijn knelpunten door toename van de vraag. Elektrificatie van vervoer en van gebouwverwarming leidt via doorwerking vanaf netvlakken met lagere spanning tot knelpunten op het 150 kV-net, ondanks dat in een deel van de warmtevraag wordt voorzien door warmtenetten.

Ten slotte kunnen in 2050 enkele knelpunten in het 150 kV-net ontstaan door toename van aanbod van zon en wind op land, bij Goeree-Overflakkee, rond Alblasterdam, Arkel, en bij Sassenheim. Dit zijn gebieden met relatief veel potentie voor zulke decentrale opwek. Deze aanbodknelpunten zijn er nog niet in 2030.

Elektriciteitsnet regionale netbeheerders

De sterke groei van de elektriciteitsvraag overstijgt de capaciteit van de huidige netten. Dit speelt met name op het tussenspanningsniveau, maar ook bij de middenspanningsnetten en het laagspanningsnet, ook in 2030. Dit vraagt intensieve afstemming tussen de regionale netbeheerders (Stedin, Westland Infra, Liander) en samenwerking met lokale overheden.

Flexibiliteitsoplossingen zoals curtailment, die op *aanbod*knelpunten zijn gericht, zijn technisch relatief makkelijk implementeerbaar, ten opzichte van flexibiliteitsoplossingen bij *vraag*knelpunten. In Zuid-Holland zijn de knelpunten vooral *vraag*knelpunten. In dat geval hebben flexibiliteitsoplossingen ten eerste minder potentieel, en zijn ze ten tweede moeilijker implementeerbaar dan die voor aanbodknelpunten. Het gaat dan om vraag-verschuiving in de tijd waarbij gelijktijdige actie van vele gebruikers nodig is, zoals slim laden van elektrische auto's en slim aan- en uitzetten van apparaten. Uit de doorrekeningen blijkt dat flexibiliteit zelfs vraagknelpunten kan versterken, indien de inzet van de flextechnieken geen rekening houdt met de capaciteitsruimte op de lokale netten.

In de doorrekeningen van de verschillende spanningsniveaus valt op dat het percentage stations met knelpunten minder wordt van koppelstationniveau naar laagspanningsniveau. Dat geldt zowel in 2030 als in 2050. Relevant is dat de percentages weliswaar afnemen naarmate het spanningsniveau afneemt, maar dat de aantallen in absolute zin toenemen. Dit laatste omdat er in Zuid-Holland 29 koppelstations zijn, en bijna 16.000 MS-LS-stations.

Gasnetten (methaan, waterstof en CO₂)

De gastransportnetten vertonen in 2050 enkele knelpunten in de doorrekeningen van Gasunie. Die zijn terug te voeren op de aannames die bij die doorrekeningen zijn gemaakt en betreft met name de omvang van 19 GW elektrolyzers op de Maasvlakte in scenario 2050-Nationale Sturing. In de transitieperiode tussen nu en 2050 moet het huidige aardgastransportsysteem worden omgezet naar een systeem voor transport van waterstof en methaan-gas. Het waterstofnetwerk komt geleidelijk in bedrijf. Het mogelijk maken van die 'gas-transities' waarbij in de transitieperiode meerdere verschillende gassen worden getransporteerd vergt extra gastransportinfrastructuur.

De regionale gasdistributienetten vertonen geen knelpunten in de doorrekeningen. Wel zal, net als bij de transportnetten, ook in die distributienetten een transitie worden doorgevoerd van de huidige aardgasdistributie, naar distributie van waterstof en groengas in 2050. Dit vergt het maken van logische keuzes in de Transitievisies Warmte. Daar waar in de

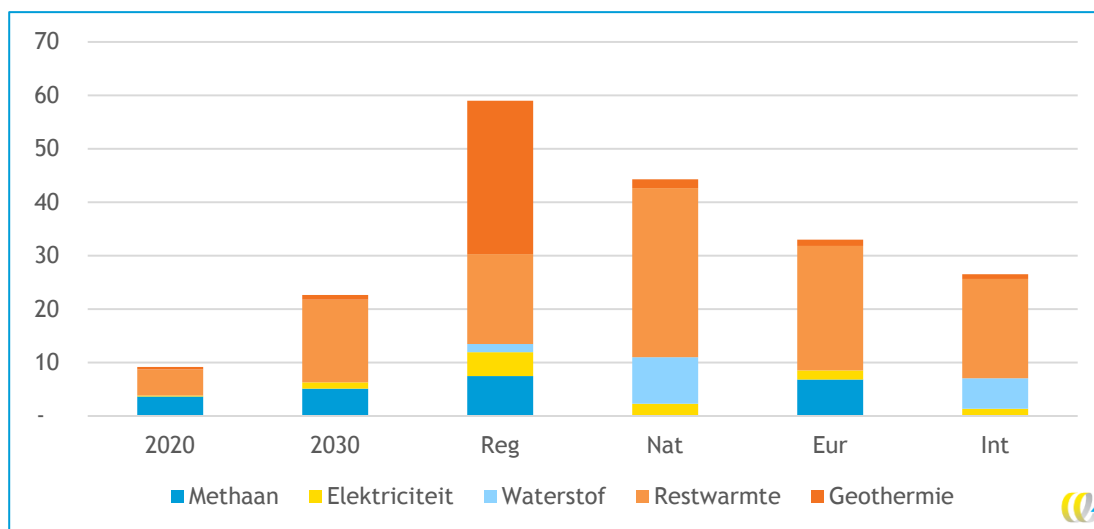
toekomst geen gebruik meer wordt gemaakt van methaan- of waterstofgas zal de bestaande gasinfrastructuur naar verwachting worden verwijderd ('geamoveerd'). Lokaal kunnen zogenaamde 'boosterstations' nodig zijn om lokaal geproduceerd groengas indien nodig naar gasnetten met een hoger drukniveau over te hevelen.

Naast behoefte aan leidingen voor methaan en waterstof is er nog behoefte aan (extra) buisleidingen voor transport van CO₂. Dit dient zowel voor afvoer van afgevangen CO₂ naar lege aardgasvelden onder de Noordzee, als om de glastuinbouw van CO₂ te voorzien. Dat laatste is het gevolg van de systeemwijziging van de glastuinbouw van het huidige aardgas, naar warmte uit geothermie en restwarmte, waardoor er geen eigen lokale CO₂-productie meer is.

Warmtenetten

Warmtenetten nemen toe in alle scenario's, en leveren aan de sectoren gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie. De toename gaat van een totale leveringsomvang aan de deze drie sectoren van 15 PJ in 2020, via 40 PJ in 2030 tot een range van 40 tot 82 PJ in de 2050-scenario's. De warmtebronnen variëren per scenario, zie ook Figuur 4.

Figuur 4 - Verdeling over de bronnen van warmteproductie voor de warmtelevering aan de gebouwde omgeving in de scenario's, inclusief brandstoffen voor de productie van piekwarmte, en de elektrische energie voor pompen



Nadere informatie over de benodigde capaciteit aan warmtenetten is begin 2021 beschikbaar in het Integraal Ontwerp Warmtetransportnet.

In deze systeemstudie zijn het gebruiken de productie van de warmte in kaart gebracht voor elk scenario. De bijbehorende warmtenetten (transport én distributie) zijn er nog niet, en konden dus ook niet worden doorgerekend op knelpunten op basis van de toekomstige vraag, zoals bij de elektriciteits- en methaannetten. De uitdaging bij de warmtenetten ligt in de tijdige realisatie.

Hoe dat precies zal gaan is het onderwerp van de Transitievisies Warmte, en het genoemde Integraal Ontwerp Warmtetransportnet.

De scenariokeuze voor levering van warmte ter invulling van de warmtebehoefte heeft een impact op het systeem als geheel. Als we kijken naar de piekvermogensvraag elektriciteit

vanuit de gebouwde omgeving in 2050 dan is het verschil tussen scenario Nationale Sturing (met focus op elektriciteit) en scenario Regionale Sturing (met focus op warmtelevering) 700 MW⁵. Warmtelevering in plaats van elektrificatie in de gebouwde omgeving beperkt daarmee de toename van het gevraagde piekvermogen elektriciteit tot 2050 met één derde in de scenario's.

De levering van warmte aan de glastuinbouw zal gepaard gaan met levering van CO₂ aan die glastuinbouw, waarvoor ook (extra) infrastructuur nodig is.

Ruimtebeslag

Extra infrastructuur vergt extra ruimte. In deze systeemstudie is een eerste en nog onvolledige aanzet gegeven om dat extra ruimtebeslag te bepalen. Dat was ten eerste mogelijk voor zonneparken en wind op land, met daarbij de kanttekening dat dat ruimtebeslag andersoortig ruimtegebruik niet uitsluit. Ten tweede was dat mogelijk voor elektriciteitsstations en systeemflexmiddelen, per spanningsniveau. In dat geval met de kanttekening dat het ontwerpen van de benodigde nieuwe infrastructuur buiten scope van deze systeemstudie valt. Het ruimtebeslag van een station is van een geheel andere aard dan dat van bijvoorbeeld een windpark, een vergelijking op basis van alleen oppervlaktes is daarom niet zinvol. In de uitwerking van de energietransitie zal de ruimtelijke inpassing van de extra energie-infrastructuur een belangrijke rol spelen. Dat geldt niet alleen de zon- en windparken of de elektriciteitsstations, maar ook de warmtenetten, gasnetten, elektriciteitskabels, en de flexmiddelen. Zie ook de aanbevelingen over governance.

Aanbevelingen over governance van de transitie

Gezien de veelheid aan oplossingen die nodig zijn in alle energienetten en de keuzes die voorliggen in verschillende sectoren, adviseren we een strategische samenwerking aan te gaan tussen de direct betrokken partijen. De sectorale keuzes bepalen de betaalbaarheid, efficiëntie en inpassing van het energiesysteem en impact buiten het energiedomein (zoals ruimtelijke effecten) en zijn daarom van groot belang voor de energietransitie. Ook zal vice versa het energiesysteem keuzes voor sectoren kunnen bepalen. Enerzijds betreft het hoofdinfrastructuur, anderzijds gaat het om het meer lokale/regionale energiesysteem (electriciteit, distributie waterstof, warmtenetten).

We zien vier belangrijke randvoorwaarden om de noodzakelijke aanpassingen van de energie-infrastructuur zoals die in deze systeemstudie zijn beschreven, goed te laten verlopen:

1. Samenwerking: start een samenwerkingsplatform waarin gewerkt wordt aan een gezamenlijke visie voor de tijdige realisatie van het integrale energiesysteem.
2. Blijvend en gedeeld inzicht: het advies is een koppeling te maken tussen de regionale partners en data en het landelijke II3050-traject⁶ voor integrale infrastructuurverkenningen.
3. Regelgeving en experimenteerterruimte: Organiseer en experimenteer met mitigerende maatregelen inclusief flex, en zet waar nodig een gezamenlijke lobby op voor aanpassing van wet- en regelgeving.
4. Maak een vertaling naar ruimtelijke implicaties.

⁵ In de scenario's met plaatsgebonden flex is dat vermogensverschil minder, als gevolg van de scenarioaannames over de inzet van warmtepompen.

⁶ Binnen II3050 wordt uitgegaan van een update eens in de twee jaar.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nederland heeft de ambitie om de CO₂-emissies in 2030 en 2050 met respectievelijk 49 en 95% te reduceren ten opzichte van 1990. Om deze doelstellingen te halen is ook in Zuid-Holland een energietransitie nodig in alle sectoren: gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie, land- en glastuinbouw, en elektriciteitsproductie.

Keuzes in de ene sector zijn van invloed op die in andere sectoren. Ook zijn keuzes in de ene regio van invloed op de keuzes in omliggende regio's. Bovendien is infrastructuur een belangrijke factor: er ontstaan andere of grotere energiestromen, terwijl verzwaring van bestaande en aanleg van nieuwe infrastructuur veel tijd, geld, ruimte en voorbereiding vergt.

Het is daarom van belang om inzicht te krijgen hoe het energiesysteem er, vanuit de verwachte ontwikkeling van de sectoren geredeneerd, uit kan gaan zien. Van 2020 tot 2030 tot 2050. Nu bestaan er veel factoren die het toekomstbeeld van het energiesysteem beïnvloeden. Het beeld tot 2030 zal aan de hand van concrete initiatieven langzamerhand steeds duidelijker worden, maar met name voor de periode tussen 2030 en 2050 zijn er nog veel grote onzekerheden. Juist in die periode worden de grote systeemveranderingen voorzien. Het is daarom niet wenselijk om één blauwdruk te geven voor de toekomst, maar een proces te organiseren waardoor iteratief het beeld van het integrale energiesysteem steeds verder aangescherpt wordt.

1.2 Onderzoeksvragen en reikwijdte

De Systeemstudie energie-infrastructuur 2020-2030-2050 Zuid-Holland heeft als hoofdvragen:

*Welke impact heeft de energietransitie op de (huidige) energie-infrastructuur?
Welke oplossingen en ontwikkelingen zijn nodig om in 2030 en 2050 de energietransitie in Zuid-Holland mogelijk te maken?*

Het gaat om een scenariostudie naar het energiesysteem van Zuid-Holland in 2030 en 2050, waarin de impact van de energietransitie in de gebouwde omgeving, haven en industrie, landbouw en landgebruik, mobiliteit en elektriciteit wordt berekend en impacts op de energie-infrastructuren worden bepaald. Hierbij moet worden gemeld dat in deze eerste integrale systeemstudie de impact op warmtenetten nog niet bepaald kon worden.

De volgende **onderzoeksvragen** geven daar invulling aan:

- Hoe ziet het energiesysteem eruit in termen van vraag, aanbod, transport en opslag, in 2020, in de meeste aannemelijke ontwikkeling naar 2030, en in scenario's voor 2050?
- Wat zijn de gevolgen van de verschillende scenario's voor de energietransitie op de infrastructuur? Waar ontstaan knelpunten, en hoe kan het ene net het andere helpen ontzien?
- Wat is de ruimtelijke impact van de energietransitie?
- Welke keuzes komen naar voren over de infrastructuur in het licht van het energiesysteem en de transitie die gemaakt zal gaan worden?

De **reikwijdte** van de systeemstudie is langs verschillende lijnen bepaald:

- geografisch: provincie Zuid-Holland, inclusief aanlanding van wind op zee;
- zichtjaren: 2020, 2030 en 2050;
- energiedragers: elektriciteit, gas (methaan (waaronder het huidige aardgas) en waterstof), warmte en – hoewel geen energiedrager – CO₂;
- vraagsectoren: gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie, datacenters, en landbouw (glastuinbouw);
- aanbodsectoren: duurzame opwek uit zon en wind, warmte, centrales, wkk's, biomassa en groengas;
- infrastructuur: het regionale elektriciteitsnet (tussen-, midden- en laagspanning), het hoogspanningsnet (380 en 150 kV), het gasdistributienet, het gastransportnet, warmtenetten, CO₂-net, en -opslag en -conversie.

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 impact op het systeem weer en de resultaten 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 Zuid-Holland;
- Hoofdstuk 7 geeft de ruimtelijke impact weer van decentrale opwek en de energie-infrastructuren;
- Hoofdstuk 8 geeft een voorzet voor governance van tijdige ontwikkeling van de energie-infrastructuur;
- Hoofdstuk 9 zet de conclusies en aanbevelingen op een rij;
- Tot slot is er een aantal bijlagen met verantwoording van bronnen en methode, vergelijking met andere scenariostudies, en nadere details.

Degene die het gehele rapport van voor tot achter doorleest zal merken dat er af en toe sprake is van herhalingen in de teksten. Dat is een bewuste keuze die is gemaakt omwille van de leesbaarheid van dit omvangrijke rapport. De achterliggende reden is dat 'het systeem' vanuit verschillende invalshoeken wordt beschreven en dat dat ook noodzakelijk is voor een goed begrip van de materie. Soms is die insteek de verschillende sectoren, soms is die insteek de verschillende infrastructuur met de bijbehorende energiedragers.

Disclaimer: Dit betreft een scenariostudie, met één scenario voor 2030 en vier 'hoekpunt-scenario's' voor 2050 die gezamenlijk het speelveld opspannen waarbinnen, met de huidige kennis en verwachtingen, de doelen uit het Klimaatakkoord behaald kunnen worden. De scenario's voor 2050 geven de op dat moment ingebrachte kennis, expertise en ontwikkelingen in Zuid-Holland weer en zijn het 2de kwartaal 2020 opgesteld. Voortschrijdend inzicht en recentelijke ontwikkelingen kunnen derhalve aanvullend of afwijkend zijn.

2 Opzet van het onderzoek

2.1 Organisatie

De voortgang van het onderzoek is verlopen in samenspraak met de projectgroep. Hierin waren vertegenwoordigd:

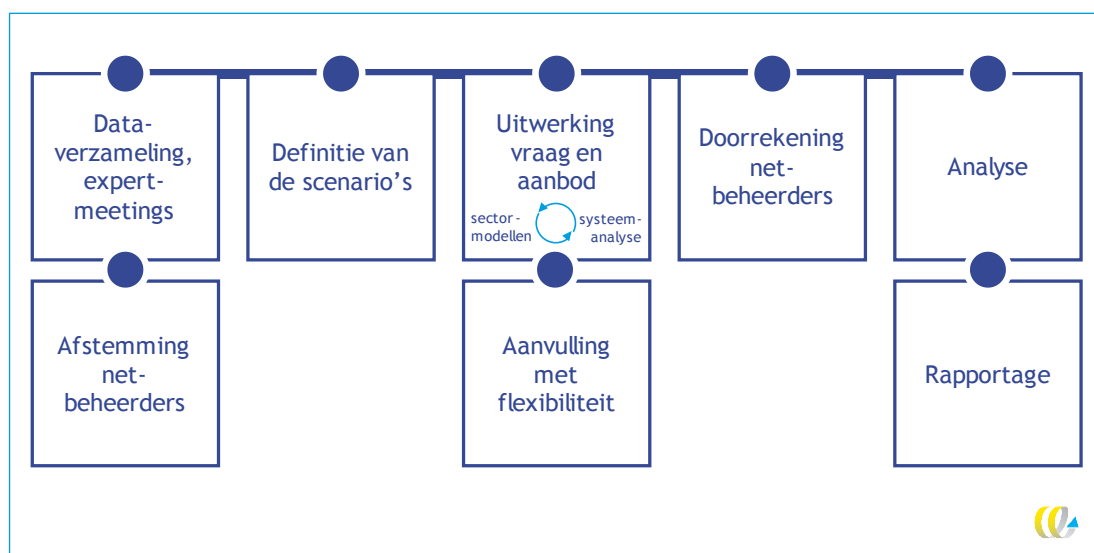
- provincie Zuid-Holland;
- vertegenwoordiging namens alle zeven RES'en in Zuid-Holland;
- Havenbedrijf Rotterdam;
- Stedin;
- Liander;
- Westland Infra;
- TenneT;
- Gasunie Transport Services.

Een complete lijst van personen die hebben bijgedragen aan de studie is opgenomen in Bijlage B.

2.2 Onderzoeksopzet

De opzet van het onderzoek is schematisch weergegeven in Figuur 5. In de verdere paragrafen gaan we nader in op elk onderdeel.

Figuur 5 - Opbouw van de studie (de tijdlijn loopt van links naar rechts)



Dataverzameling en expertmeetings

De studie is opgebouwd vanuit bestaande onderzoeken. De nog lopende landelijke scenario-studie integrale infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050⁷) is de voornaamste bouwsteen geweest⁸. Een lijst met bronmateriaal specifiek over Zuid-Holland is aangeleverd door de projectgroep. Bij de netbeheerders, de RES'en en andere organisaties en experts zijn aanvullende data gevraagd. Voor de industrie is gewerkt met data van DCMR, die door ons kwalitatief zijn verbeterd zodat ze gebruikt konden worden als grondslag voor de industrie-scenario's. Tot slot is gebruik gemaakt van de grote hoeveelheid parate kennis binnen het consortium.

Er is een aantal expertmeetings georganiseerd met deskundigen inzake de relevante ontwikkelingen in de provincie. De meetings gingen in op de lessen die in de systeemstudie een plek konden krijgen, rond drie thema's:

- gebouwde omgeving en mobiliteit;
- industrie en energie;
- systeem.

Daarnaast is afgestemd met de RES'en-in-woording, en heeft provincie Zuid-Holland afgestemd in interne klankbordgroepen.

Afstemming met netbeheerders

Daarnaast is met netbeheerders hun doorrekening van de infrastructuur voorbereid. Belangrijk is de definitie van het template waarin alle data kunnen worden vervat voor vraag, aanbod en flex. Het vormt de schakel tussen het onderzoekswerk van CE Delft, Quintel en TNO enerzijds en de netbeheerders anderzijds. Het template komt hierop neer: voor een reeks categorieën van vraag, aanbod en flex is voor elk scenario een dataset opgesteld op CBS-buurniveau. De data bevatten de energie (GJ/jr) en de verwijzing naar een profiel, dat de verdeling over de 8.760 uren in het jaar weergeeft en daarmee informatie behelst over vermogens. Profielen zijn sterk weersafhankelijk en verschillen daarom van jaar tot jaar. Er is gekozen om te rekenen met profielen over 2015, gecombineerd met data van energiegebruik en -aanbod van 2017. De cijfers van gebruik en aanbod waren de meest recent beschikbare op het benodigde detailniveau. De keuze voor 2015-profielen is gemaakt om aan te sluiten bij de landelijke parallel lopende studie II3050, waarin op dat moment voor 2015 was gekozen⁹.

Definitie van de scenario's

De zichtjaren voor de scenario's zijn 2020, 2030 en 2050. 2020 is geënt op de huidige situatie, en 2030 op het Klimaatakkoord inclusief RES'en. Voor 2050 zijn vier scenario's opgesteld op basis van de nog lopende landelijke II3050-scenariostudie van de netbeheerders. Deze zijn waar nodig aangepast aan de specifieke context van Zuid-Holland gezien de inzichten uit de expertmeetings en kennis binnen het consortium.

⁷ www.netbeheernederland.nl/dossiers/toekomstscenarios-64

⁸ Afwijkingen van II3050 zijn beschreven in de bijlages, per sector. Het gaat dan bijvoorbeeld om andere percentages bij een bepaalde ontwikkeling, gebaseerd op de in deze systeemstudie ingebrachte lokale kennis van de ontwikkelingen in Zuid-Holland. En later aangebrachte wijzigingen aan de iNET-scenario's en flex-berekeningen.

⁹ Later is binnen II3050 gekozen om alsnog te rekenen met weerjaar 1987 (een zeer koude winter) met enige aanpassingen daarop.

Uitwerking vraag en aanbod

De scenario's zijn verder ontwikkeld in enkele iteraties van uitwerking en review:

1. De input uit I13050 en de expertmeetings zijn naar de **sectormodellen** gebracht. De sectormodellen behelzen aan de vraagzijde gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie en land- en tuinbouw. En aan de aanbodzijde elektriciteitsproductie (decentrale opwek, centrales en wkk's), productie van groengas, productie van waterstof en warmtebronnen (industriële, lokale warmtebronnen, geothermie, aquathermie, RZI's). Ook CO₂ is meegenomen: vraag als onderdeel van de glastuinbouw, aanbod als onderdeel van de industrie.
2. Vervolgens is de output van de sectormodellen samengebracht in het Energietransitie-model. Deze **systeemanalyse** laat zien of vraagsectoren onderling en met aanbodsectoren in overeenstemming zijn, zowel voor baseload als voor piekuren.
3. De resultaten zijn teruggelegd bij experts en projectgroep. Deze **review** gaf aanleiding tot aanpassingen (terug naar Stap 1).

Aanvulling met flexibiliteit

De dataset over vraag en aanbod is ten slotte aangevuld met flexibiliteit. Die kan zorgen voor bijvoorbeeld andere profielen (opslag, vraagspreiding en -verschuiving) of vraag naar andere energiedragers (conversie). De aanvulling is gedaan in overeenstemming met I13050 en maakt onderscheid tussen plaatsgebonden flexibiliteit en systeemflexibiliteit.

Flexibiliteit is aangebracht binnen het elektriciteitssysteem als tussen energiedragers. Bij dat laatste bedoelen we technieken als power-to-heat en power-to-gas. Bij gas (methaan en waterstof) heeft Gasunie rekening gehouden met gasopslag in het landelijk gassysteem. Flex in het warmtesysteem is wel beschouwd (zoals hogetemperatuur-warmteopslag) maar nog niet doorgerekend als effect op de warmte-infrastructuur.

De plaatsgebonden voorzieningen (*curtailment*, *power-to-heat* en warmteopslag, gedrag van hybride ketels en warmtepompen, slim laden van EV's, en OPAC¹⁰) zijn ingevuld vanuit deze studie op analoge wijze als in I13050. De systemische voorzieningen (centrales, *power-to-gas* en gasopslag, batterijen, *vehicle-to-grid*) zijn direct overgenomen uit I13050. Meer informatie over flexibiliteit volgt in Paragraaf 4.4.

Alle flexvoorzieningen zijn opgenomen in de respectievelijke scenario's in ETM, waarin hun inzet wordt doorgerekend. Dit resulteert in een tweede dataset, die samen met de eerste dataset, waar geen flex in zat, aan de netbeheerders is gestuurd.

Doorrekening infrastructuur door netbeheerders

De impact van de scenario's op de energie-infrastructuur is doorgerekend door de regionale netbeheerders Liander, Stedin en Westland Infra, door de landelijke netbeheerders TenneT en Gasunie, en voor het warmtenet door WarmtelinQ.

- De regionale netbeheerders **Liander, Stedin en Westland Infra** hebben de impact op hun netten doorgerekend. Het betreft allereerst de koppelstations aan het hoogspanningsnet en hun eventuele substations van tussenspanning naar middenspanning (TS/MS). Vervolgens hebben ze transformatoren op middenspanning (MS-MS) en van midden- naar laagspanning (MS-LS) doorgerekend, en Stedin bovendien ook laag- en

¹⁰ OPAC is onderdeel van de flexopties in I13050 maar niet in Zuid-Holland.

middenspanningskabels. Voor hun gasnetten hebben ze geanalyseerd hoe de piek-volumes zich verhouden tot de huidige capaciteit en hoeveel eventueel in aanmerking komt om te amoveren.

- **TenneT** heeft *loadflow*berekeningen gedaan aan het hoogspanningsnet. 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. De berekeningen gaan voor vraag en aanbod in Zuid-Holland uit van de data uit deze studie en voor de rest van Nederland uit de corresponderende scenario's uit II3050.
- **Gasunie** heeft een vergelijkbare analyse gedaan voor het gasnet. Het gaat om de stromen aan methaan¹¹ en waterstof.
- **WarmtelinQ** heeft een analyse gedaan van het warmtetransport en de infrastructuur die daarvoor nodig zou zijn. Die scope is beperkt. Momenteel wordt gewerkt aan het Integraal Ontwerp Warmtetransportnet, dat begin 2021 beschikbaar is, en veel meer inzicht zal gaan geven. In dat ontwerp wordt echter niet ingegaan op de interactie en samenhang met elektriciteit en gas. Kortom, er is een verder vervolg nodig waarin impact en samenhang van warmte (Integraal Ontwerp) met elektriciteit en gas tot z'n recht komt. Oorspronkelijk zou dat integraal ontwerp al in medio 2020 gereed zijn en dan als input hebben gediend voor deze Stroomstudie.

Analyse

De analyse omvat een aantal stappen:

- 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.
- Daarna is bekeken in welke mate de **flexibiliteit** de knelpunten kan ondervangen en welke andere **oplossingen** in aanmerking komen.
- Een belangrijk criterium voor Zuid-Holland is de **ruimtelijke impact**. Deze is per scenario in eerste aanzet in kaart gebracht.
- Ten slotte zijn de **lessen voor het energiesysteem** geëvalueerd: met welke verbanden moet rekening worden gehouden bij het vormgeven van de energietransitie in Zuid-Holland? Het gaat om verbanden tussen vraagsectoren onderling, tussen vraag en aanbodtussen, en tussen regio's (buurten, gemeenten, RES'en, provincie en Nederland).

Rapportage

Ten slotte zijn alle bevindingen in dit rapport verrat. Daarnaast wordt door provincie Zuid-Holland een online omgeving ingericht, waarin de uitkomsten op toegankelijke wijze op de kaart zijn gezet. Zie: <https://systeemstudie-pzh.hub.arcgis.com/>

¹¹ Er is bij de doorrekening geen onderscheid gemaakt tussen enerzijds hoog- en laagcalorisch aardgas en anderzijds groengas.

3 De scenario's

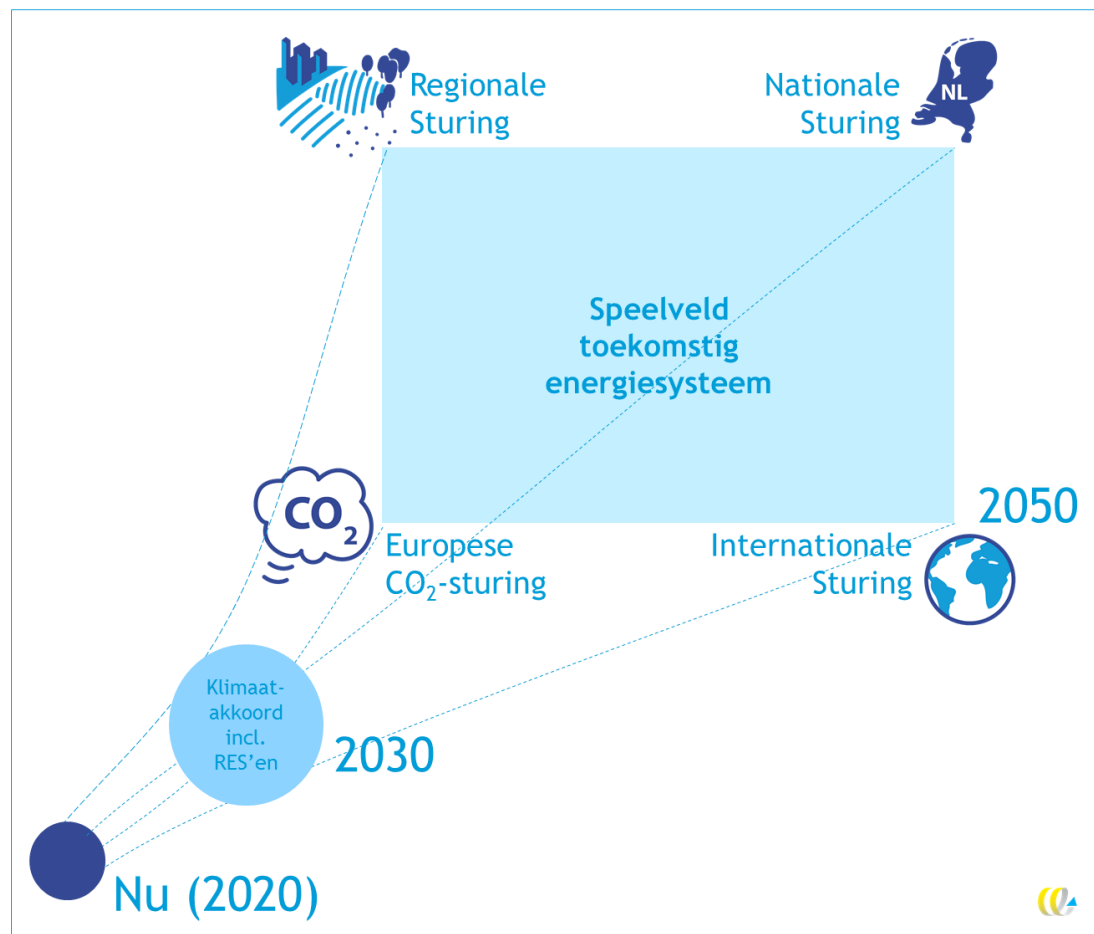
Er zijn in totaal zes scenario's uitgewerkt. Het 'scenario' voor 2020 is gebaseerd op de huidige situatie en het scenario voor 2030 op realisatie van het Klimaatakkoord en de RES'en. De vier scenario's voor 2050 zijn gebaseerd op de nog lopende landelijke scenario-verkenning II3050, waarbij op onderdelen bewust is afgeweken van II3050 om recht te doen aan de in deze regionale integrale systeemstudie verzamelde inzichten over de ontwikkeling van het energiesysteem in Zuid-Holland. Hieronder geven we de centrale gedachten weer die het vertrekpunt vormen in deze toekomstbeelden.

Alle vier scenario's voor 2050 zijn zo opgesteld dat het energiesysteem klimaatneutraal is in 2050, maar ze geven daar op verschillende manieren invulling aan. Daardoor ontstaat een 'speelveld', waarvan de scenario's de hoeken opzoeken. Zie Figuur 6. Dát het energiesysteem klimaatneutraal is in 2050 is weliswaar een doelstelling, maar is nog een stevige uitdaging om te realiseren. In de vier II3050-scenario's komt kernenergie niet voor en, in aansluiting daarop, ook niet in deze systeemstudie.

We benadrukken dat deze scenario's niet zijn bedoeld als blauwdrukken voor de toekomst, maar juist als uiteenlopende beelden van hoe de toekomst eruit zou kunnen zien, elk met een eigen onderliggend wereldbeeld. Hiermee kunnen de netbeheerders in kaart brengen wat er eventueel gevraagd wordt van de capaciteit van de infrastructuur.

Het kunnen doorrekenen van de netinfrastructuur vereist dat de scenario's zijn uitgewerkt tot gedetailleerde cijfermatige datasets met de verschillende soorten vraag en aanbod, waarbij alle vraag en aanbod ook een duidelijke locatie heeft. Voor de RES'en hebben we die vertaling zelf gedaan op basis van de in juni 2020 beschikbare informatie vanuit de RES-processen. De getalsmatige uitwerking van de scenario's is beschreven in Hoofdstuk 4.

Figuur 6 - Opzet van de scenario's: opspannen van 'de hoeken van het speelveld'



Relatie tussen deze systeemstudie Zuid-Holland en de investeringsplannen van de netbeheerders:

De systeemstudie gaat uit van scenario's voor 2050 met een aantal uitgangspunten rondom flex, regionalisatie, etc. Deze systeemstudie kan niet één op één verbonden worden met een investeringsplan. Het plannen van de investeringen gaat tot 2030 en wordt gebaseerd op meer informatie dan alleen deze scenario's. Het gaat dan zeker aan de oplossingenkant om het combineren van ontwikkelingen (capaciteit omliggende stations, asset-levensduur) om te komen tot een uiteindelijke investering. Deze oplossingen worden uitgewerkt in een masterplanstudie, een gedetailleerde studie waar via een alternatievenstudie meerdere varianten tegen elkaar afgewogen worden. Als voorbeeld wordt hieronder de relatie met Scenariostudie Holland Rijnland toegelicht. Situaties zoals beschreven voor Holland Rijnland gelden ook voor de andere netbeheerders

Relatie tussen deze Systeemstudie Zuid-Holland en de meer gedetailleerde Scenariostudie Holland Rijnland

Liander en regio Holland Rijnland hebben in 2019 gezamenlijk een studie uitgevoerd, de Scenariostudie Holland Rijnland. Via scenario's is gekeken hoe de vraag naar elektriciteit zich in de toekomst gaat ontwikkelen en welk effect dit heeft op het elektriciteitsnet in de regio. Hieruit blijkt dat het elektriciteitsnet in Holland Rijnland te weinig capaciteit heeft om aan de groeiende vraag naar elektriciteit te kunnen voldoen. Het gevolg is dat binnen vijf jaar het net op veel plekken overbelast is.

Liander heeft, op basis van de Scenariostudie, samen met de gemeenten en de landelijke netbeheerder TenneT in 2019 een investeringsroute vastgesteld om extra capaciteit in het net te creëren. De uitvoering van deze investeringsroute is al volop in gang. Zo zorgen de netbeheerders ervoor dat iedereen in Holland Rijnland

in de toekomst toegang kan houden/krijgen tot elektriciteit en werken we vanuit onze maatschappelijke rol aan een toekomstbestendig energienet.

In de Scenariostudie Holland Rijnland zijn specifiek voor de regio ontwikkelingen op elektriciteitsvraag en/-aanbod onderzocht. Verschillen in uitkomst tussen de Systeemstudie en de Scenariostudie zitten vooral op de kortetermijnprognoses. De Scenariostudie bevat de individuele ontwikkelingen die de komende jaren zullen gaan spelen in de verschillende gemeenten. De systeemstudie heeft een globalere aanpak. Voor specifieke netgerelateerde investeringen in Holland Rijnland is hierom de Scenariostudie leidend en wordt deze gebruikt als belangrijkste input voor de RES Holland Rijnland.

De systeemstudie en Scenariostudie zijn complementair, beide studies laten dezelfde orde grootte belasting zien op het elektriciteitsnet in 2050. Dit geeft aan dat er meerdere routes mogelijk zijn naar een CO₂-neutrale regio en dat de belasting op het elektriciteitsnet fors zal stijgen richting 2050 ongeacht welke route ook belopen zal worden.

3.1 2030: Klimaatakkoord en RES'en

Voor 2030 is één scenario uitgewerkt. Daarin is ervan uitgegaan dat het Klimaatakkoord en de RES'en succesvol worden uitgevoerd. We gaan uit van de concept-RES'en op peildatum juni 2020. Voor de RES'en hebben we zelf de vertaling gemaakt naar de concrete cijfers en locaties die de netbeheerders nodig hebben voor hun doorrekeningen, op basis van de in juni 2020 beschikbare informatie vanuit de RES-processen. Dit scenario vormt de basis van de scenario's voor 2050.

De belangrijke ingrediënten van het 2030-scenario zijn:

- Nederland reduceert de CO₂-uitstoot met 49% in 2030 ten opzichte van 1990¹².
- De gaswinning uit de grote gasvelden in Groningen is in 2030 geheel gestopt.
- Kolencentrales in Nederland zijn in 2030 inmiddels gesloten.
- Er is groei van wind op zee en decentrale opwek. Voor decentrale opwek zijn de concept-RES'en gevolgd.
- Gemeenten werken met de buurtaanpak aan aardgasvrije woningen, 20% van de woningen is aardgasvrij in 2030 (met name door warmtenetten).
- Er is een groeiend aandeel van elektrische voertuigen.
- De industrie beperkt de broeikasgasuitstoot, gestimuleerd door onder andere ETS en een Nederlandse CO₂-heffing.
- Conform H-Vision en Porthos wordt blauwe waterstof gemaakt met opslag van CO₂.
- In de industrie staat 300 MW hybride technologieën die bij overschotten van elektriciteit geen gas maar elektriciteit gebruiken.
- De glastuinbouw maakt meer gebruik van restwarmte en geothermie en bespaart energie door modernisering van kassen.

¹² Dit is het uitgangspunt van het Klimaatakkoord. De EU had op dat moment een formele doelstelling van -40%, het doel van het Nederlandse Klimaatakkoord is ambitieuzer dan dat. Op het moment van schrijven van dit rapport neigt de EU echter naar een doel van -55% in 2030. In dat geval is aanscherping van het Klimaatakkoord nodig.

3.2 Scenario 2050 - Regionale Sturing¹³



In dit toekomstbeeld hebben provincies en gemeenten veel regie. Zoveel mogelijk energie voor de productie van elektriciteit, gas en warmte komt uit lokale energiebronnen, zoals zon, wind, biomassa, restwarmte en geothermie¹⁴. Er is veel meer energie-infrastructuur dan nu nodig om de ongelijktijdigheid en afstand tussen vraag en aanbod op te lossen. Warmtenetten groeien sterk, door optimale benutting van lokale bronnen.

De belangrijkste ingrediënten van dit toekomstbeeld zijn:

- Energietransitie grotendeels door lokale en regionale overheden gestuurd. Burgers zijn gedreven voor de energietransitie, er zijn veel lokale projecten, en optimale inzet van lokale bronnen. (Regionale Sturing staat niet gelijk aan de RES'en)
- Nederland is 100% CO₂-neutraal.
- Nederland is energetisch zelfvoorzienend. Er zijn geen importen. Op regionaal niveau is men ook zo veel als mogelijk zelfvoorzienend.
- Dit gaat gepaard met krimp van de energie-intensieve industrie.
- Veel energiebesparing.
- Veel elektrificatie en inzet van lokaal beschikbare warmtebronnen
- Veel lokale opwek (zon, wind op land, geothermie).
- Veel circulariteit.
- Om zoveel mogelijk zelfvoorzienend te kunnen zijn, is grootschalige opslag van energie nodig.

3.3 Scenario 2050 - Nationale Sturing



De Rijksoverheid heeft in dit toekomstbeeld veel regie en stuurt op zo veel mogelijk energieautonomie voor Nederland als geheel, via een mix van vooral centrale energiebronnen, zoals met name wind op zee. Wind op zee wordt ook omgezet in waterstof. Daarnaast wordt ook relatief veel zon en wind op land ingezet, maar minder dan in 'Regionale Sturing'. Er is minder energie-infrastructuur nodig dan in 'Regionale Sturing', maar wel meer hoogspanningsinfrastructuur vanwege de omvang van wind op zee. Doordat er waterstof-distributie in de gebouwde omgeving beschikbaar komt nemen hybride warmtepompen een deel van de gebieden over die in 'Regionale Sturing' met warmtenetten worden voorzien.

De belangrijkste ingrediënten van dit toekomstbeeld zijn:

- Energietransitie door het Rijk gestuurd. De energietransitie wordt gedreven door grote projecten (waaronder de warmterotonde in Zuid-Holland) en richtinggevend beleid.
- Nederland is 100% CO₂-neutraal.
- Nederland is energetisch in hoge mate zelfvoorzienend.
- Energie-intensieve industrie blijft gelijk aan de huidige omvang.
- Veel grootschalige opwek, met name wind op zee.
- Veel systeemflexibiliteit in de flexvariant van het scenario, in de vorm van elektrolyzers bij het aanlandingspunt wind op zee op de Maasvlakte, en in de vorm van relatief kleine, vraaggestuurde elektriciteitscentrales ('gas-to-power').
- Veel elektrificatie en circulariteit.
- Om vrijwel zelfvoorzienend te kunnen zijn, is ook grootschalige opslag nodig.

¹³ NB: dit 2050-scenario is nadrukkelijk iets anders dan de RES'en, al lijken de namen op elkaar.

¹⁴ In het potentiële aanbod zijn ook laagtemperatuurbronnen meegenomen, zoals datacenters.

3.4 Scenario 2050 - Europese CO₂-sturing

In dit toekomstbeeld komt de energievoorziening via een organisch proces tot stand, gestuurd door een stevig CO₂-prijssignaal, maar zonder verdere regie van de overheid.



De energievoorziening is een mix van lokale en internationale opties.

De industrie kiest voor afvang en opslag van CO₂ (CCS) als belangrijke oplossing voor het klimaatprobleem. Besparingsmaatregelen zoals gebouwisolatie blijven uit of worden pas laat in het transitieproces uitgevoerd.

Het Nederlandse bedrijfsleven zal in dit toekomstbeeld veel minder bijdragen aan oplossingen dan in de andere scenario's. De hoeveelheid benodigde elektriciteitsinfrastructuur is beperkter ten opzichte van de scenario's 'Regionale Sturing' en 'Nationale Sturing' (maar neemt wel toe t.o.v. huidig, vanwege groei van elektriciteitsgebruik in de sectoren). Collectieve opties zoals warmtenetten nemen nauwelijks toe ten opzichte van huidig omdat er niet actief op wordt gestuurd om ze te realiseren.

De belangrijkste ingrediënten van dit toekomstbeeld zijn:

- Nederland haalt de CO₂-doelen door een energietransitie die vorm krijgt door een Europese CO₂-belasting met importheffingen en compensatie aan de grenzen van Europa.
- Nederland is 100% CO₂-neutraal, er is veel handel in energie en grondstoffen binnen Europa en Nederland is niet zelfvoorzienend.
- De energie-intensieve industrie groeit.
- Europese markt voor waterstof (waaronder veel 'blauwe' waterstof) en biomassa.
- Veel inzet van groengas of aardgas met CCS. Het groengas kan zowel in Nederland als elders in Europa worden geproduceerd.

NB: in het rapport gebruiken we verder de afgekorte term 'Europese Sturing' voor dit scenario.

3.5 Scenario 2050 - Internationale Sturing



Nederland is in dit toekomstbeeld een mondiaal georiënteerd land dat verschillende vormen van hernieuwbare energie(dragers) importeert, zoals biomassa (groengas en pellets), en vooral ook waterstof. Er is een internationale productie en handel in waterstof uit klimaatneutrale bronnen (hernieuwbaar en fossiel + CCS). De omvang van zon en wind in Zuid-Holland is veel minder dan in 'Regionaal'. Het aandeel 'gas' in de gebouwde omgeving is hoog, en verdeeld over groengas- en waterstofnetten. De hoeveelheid benodigde elektriciteitsinfrastructuur is beperkter ten opzichte van de scenario's 'Regionale Sturing' en 'Nationale Sturing' (maar neemt wel toe t.o.v. huidig, vanwege groei van elektriciteitsgebruik in de sectoren). Collectieve opties zoals warmtenetten nemen nauwelijks toe ten opzichte van huidig, vanwege de ongelimiteerde beschikbaarheid uit import van groengas en waterstof.

De belangrijkste ingrediënten van dit toekomstbeeld zijn:

- De gehele wereld streeft naar CO₂-reductie en fossiel wordt sterk beperkt.
- Nederland wordt 100% CO₂-neutraal, er is veel mondiale handel in energie en grondstoffen. Nederland is niet zelfvoorzienend.
- Energie-intensieve industrie groeit.
- Wereldwijde markt voor waterstof en biomassa.
- Veel inzet van waterstof.
- Veel ruimte voor CCS.

3.6 Scenario's in het EnergieTransitieModel ETM

De uitwerking van de scenario's in termen van vraag en aanbod en de rol van flexibiliteit presenteren we in het volgende hoofdstuk. De scenario's zijn ook terug te vinden in ETM via volgende linkjes. De scenario's zijn zowel met als zonder flex uitgewerkt.

Basisscenario's:

2030 Klimaatakkoord: Systeemstudie Zuid-Holland - 2030
2050 Regionale Sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Regionale Sturing - basis
2050 Nationale Sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Nationale Sturing - basis
2050 Europese CO ₂ -sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Europese CO₂-sturing - basis
2050 Internationale Sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Internationale Sturing - basis

Met flex:

2030 Klimaatakkoord: Systeemstudie Zuid-Holland - 2030 - flex
2050 Regionale Sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Regionale Sturing - flex
2050 Nationale Sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Nationale Sturing - flex
2050 Europese CO ₂ -sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Europese CO₂-sturing - flex
2050 Internationale Sturing: Systeemstudie Zuid-Holland - 2050 Internationale Sturing - flex

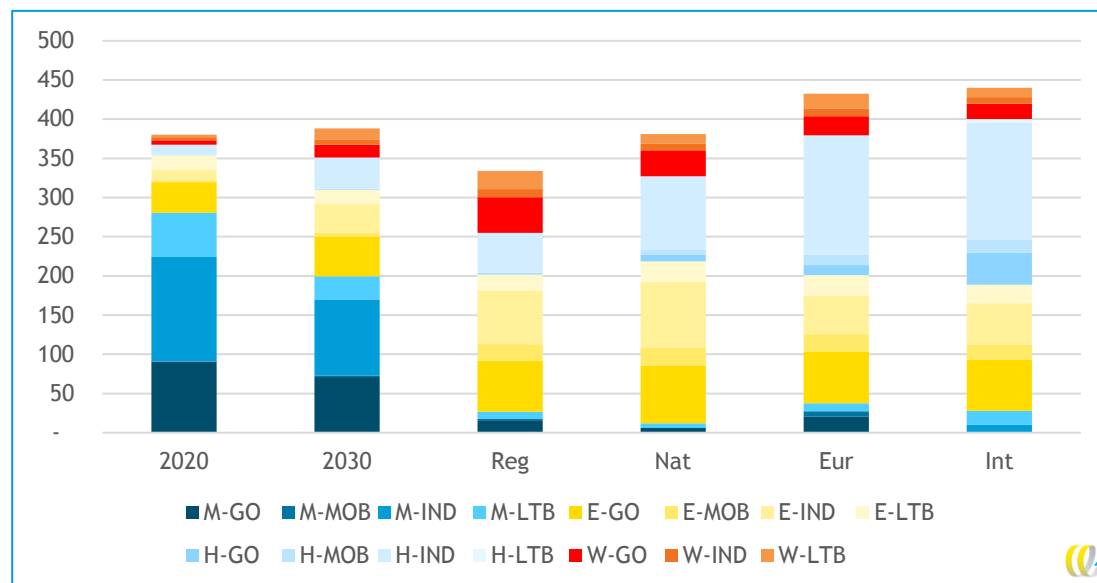
4 Vraag, aanbod en flexibiliteit

De scenario's zijn uitgewerkt tot een dataset met vraag en aanbod van alle energiedragers in alle sectoren uitgesplitst op buurtniveau. In dit hoofdstuk presenteren we daar de uitkomsten van op het niveau van heel Zuid-Holland. We doen dit in termen van energievraag en -aanbod (petajoule per jaar), wat goed het beeld van de energietransitie weergeeft, maar voor de impact op de netten gaat het uiteindelijk om de piekvermogens (megawatt). Na het beschrijven per sector van energievraag en per energiedrager van energie-aanbod per sector gaan we ten slotte in op flexibiliteit en piekvermogens. In Paragraaf 4.3 staat een overzichtstabel. In de Bijlagen E tot en met I staat een uitgebreidere omschrijving van de aannames per sector.

4.1 Energievraag

Het energiesysteem heeft in elk 2050-scenario een ander accent. De ontwikkeling verschuift van het huidige systeem dat op fossiele brandstoffen/energiedragers is gebaseerd, naar klimaatneutraal in de 2050-scenario's. Figuur 7 geeft de verschuivingen weer in de diverse scenario's, per sector en per energiedrager. In de volgende paragrafen gaan we per sector dieper in op de ontwikkeling van de vraag.

Figuur 7 - Vraag per sector en per energiedrager (PJ/jaar)*



* M = methaan, E = elektriciteit, H = waterstof, W = warmte¹⁵, GO = gebouwde omgeving, MOB = mobiliteit, IND = industrie, LTb = land- en tuinbouw.

De hier gepresenteerde waterstofvraag in de industrie in 2030 is exclusief de waterstof geproduceerd vanuit H-Vision (42 PJ). Die wordt in de industrie meteen lokaal gebruikt en raakt de energie-infrastructuur verder niet.

¹⁵ Dit is warmte die aangevoerd wordt via warmtenetten. Warmte die onttrokken wordt van de omgeving of de bodem door een warmtepomp is in deze weergave niet meegenomen.

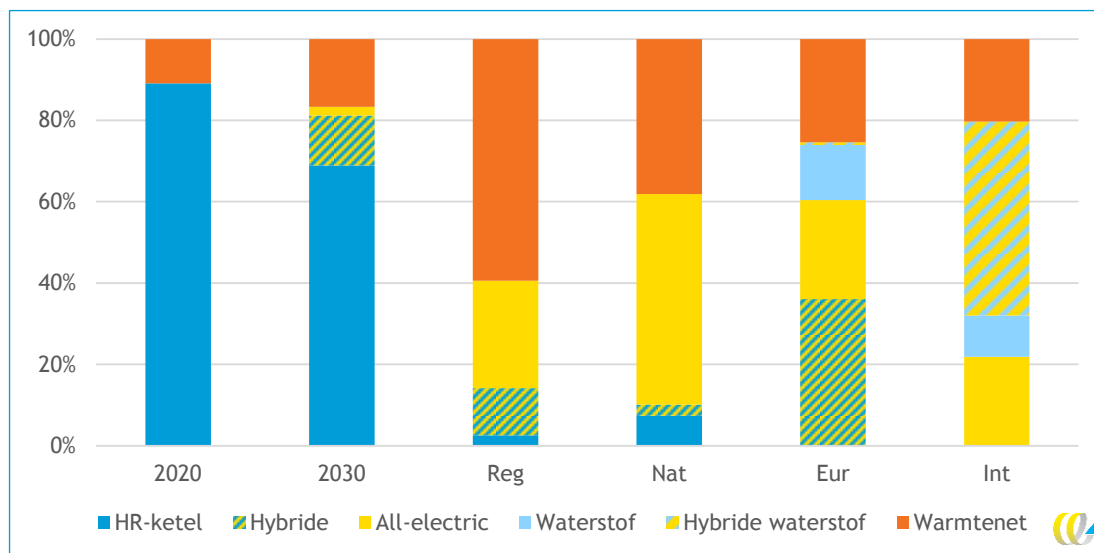
4.1.1 Gebouwde omgeving

Hieronder staan de belangrijkste aannames en resultaten voor de gebouwde omgeving. Meer informatie hierover staat opgenomen in Bijlage E. We beschrijven eerst de inzet van de verschillende technieken voor ruimteverwarming in de verschillende scenario's. Daarna volgt de vertaling naar energievraag.

Warmtetechnieken

De gebouwde omgeving wordt nu grotendeels verwarmd met aardgas. Dit zal licht afnemen tot 2030, door verdergaande isolatie, en met groei van warmtenetten, warmtepompen en hybride systemen (combinatie cv-ketel met warmtepomp). De transitie van de gebouwde omgeving zal echter voor het grootste deel plaatsvinden na 2030. De scenario's voor 2050 leggen de nadruk op uiteenlopende systeemopties voor de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. In Figuur 8 zijn de warmtetechnieken weergegeven per scenario, op een 100%-schaal. De figuur toont de transitie van een warmtevoorziening die gedomineerd wordt door hr-ketels op aardgas naar een klimaatneutrale warmtevoorziening. De scenario's bevatten elk een andere mix van warmtetechnieken. In alle scenario's zijn warmtenetten en elektrische warmtepompen voorzien, die geografisch op buurniveau zijn toegewezen. In scenario Regionale Sturing komen de meeste warmtenetten voor. In scenario Nationale Sturing is een deel daarvan vervangen door extra buurten met elektrische warmtepompen. Scenario Europese CO₂-sturing heeft een grotere inzet van groengas (in hybride warmtepompen), en in scenario Internationale Sturing wordt juist ingezet op waterstof, vooral in combinatie met hybride warmtepompen.

Figuur 8 - Aandeel woningequivalenten per warmtetechniek *, op een 100%-schaal in elk scenario



* 1 woningequivalent is 1 woning of 150 m² bvo utiliteitsbouw.

Warmtenetten

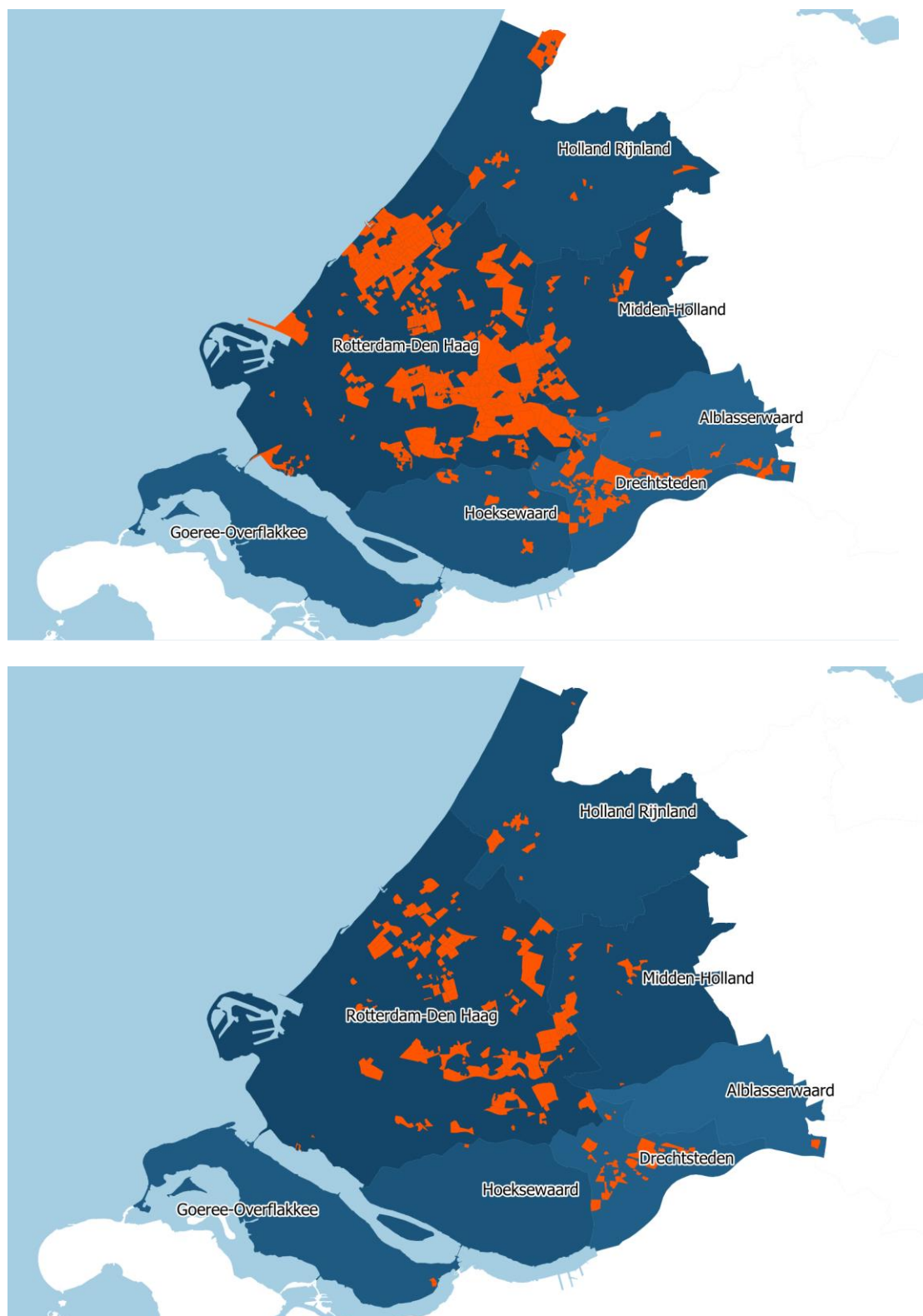
In alle 2050-scenario's is er sprake van omvangrijke levering van restwarmte, in drie van de vier scenario's aangevuld met een relatief kleine bijdrage vanuit geothermie. In het scenario Regionale Sturing is er juist een grote omvang aan levering vanuit geothermie voorzien. Zie Figuur 11, waarin ook de effecten van piekwarmteketels op methaan c.q. waterstof is getoond, en van de pompen van de warmtenetten en de bronpompen van de geothermiebronnen. De figuur toont ook de forse toename in de tijd van de inzet van warmtelevering.

Aandachtspunten bij warmtenetten zijn piekvoorzieningen. In de vraag komen grote pieken voor ('s ochtends en 's avonds op een winterse dag) terwijl het aanbod daarin niet mee kan bewegen. Daarnaast is het vanuit het kosten oogpunt niet wenselijk om het aanbod in te richten op de piekvraag. Er zijn daarom piek ketels voorzien op waterstof of groengas, zie Figuur 11.

Een tweede aandachtspunt vormt de temperatuur. De hoge temperaturen, zoals van industriële bronnen, zijn voor de ruimteverwarming van de gebouwen niet strikt noodzakelijk. Daar bestaat de mogelijkheid van cascadering. Lokaal zijn ook veel bronnen te vinden van lage temperatuur, bijvoorbeeld oppervlaktewater. Deze warmte moet dan met behulp van een warmtepomp opgewaardeerd worden naar de gewenste temperatuur. Dit kan in het gebouw of centraal. Voor nieuwbouw is dit geschikt, maar voor bestaande bouw vaak minder, omdat dan alsnog isolatie en verzwaring van elektriciteitsnetten nodig is, naast de aanleg van het warmtenet.

Voor buurten waarin nu al (een deel van) de woningen zijn aangesloten op een warmtenet rekenen we met verlaagde kosten voor een warmtenet. We veronderstellen dat er bij herinvestering in en uitbreiding van deze netten minder kosten gemaakt hoeven te worden dan bij buurten waarin nog helemaal geen warmtenet aanwezig is. In de scenario's is gerekend met vraag en aanbod van warmte en met de kosten van de verschillende technieken inclusief de benodigde netwerken. Op basis daarvan zijn de buurten geselecteerd met warmtedistributie. Er zijn echter geen concrete warmtenetwerken gemodelleerd in de scenario's. Zie Figuur 9 voor een weergave van de buurten met warmtelevering in scenario 2050 Regionale Sturing (met de meeste warmtelevering) en 2050 Internationale Sturing (met de minste warmtelevering).

Figuur 9 - Geografische weergave van de buurten in de 2050-scenario's met warmtelevering (de buurten met oranje kleurcode). Bovenste figuur: scenario Regionale Sturing (met de meeste warmtelevering), daaronder het scenario Internationale Sturing (met de minste warmtelevering)



Clustering van warmteoplossingen

Een geografische weergave van warmtetechnieken per buurt is opgenomen in Bijlage D. Een punt van aandacht is dat wanneer per buurt een optimale warmtetechniek wordt gezocht, een buurt kan afwijken van omliggende buurten. Er kunnen dan ‘eilandjes’ ontstaan. Het is gezien het huidige gasnet niet altijd technisch mogelijk om de ene buurt van groengas te voorzien en een naastgelegen buurt van waterstof. Ook kan het voorkomen dat er een uitgebreid gasnet in stand moet worden gehouden om enkele, verspreid liggende buurten te voorzien - iets wat technisch wel mogelijk is, maar wat zou kunnen leiden tot hogere kosten per aansluiting. Hetzelfde geldt bij de aanleg van warmtenetten. Bij elektriciteit speelt dit niet, omdat elk gebouw een elektriciteitsaansluiting heeft en elektriciteitsnetten in alle buurten voorkomen. In zijn algemeenheid kunnen we stellen dat het raadzaam is om bij de warmtetransitie van de gebouwde omgeving, zoals die wordt uitgewerkt in de Transitievisies Warmte, rekening te houden met clustering. Of anders gezegd: met het voorkomen van ‘eilandjes’.

De regionale netbeheerders en Gasunie werken aan een analyse van het gasnet om te bepalen welke clusteringen mogelijk zijn. Het distributienet van de RNB's is via gasontvangststations (GOS) gekoppeld aan het landelijke hoofdnet van Gasunie. De distributienetten hebben echter geen boomstructuur: een buurt wordt niet voorzien door één GOS, maar buurten zijn onderling verbonden en zo uiteindelijk aan meerdere stations, die bovendien vaak aan verschillende buizen van het hoofdnet zijn gekoppeld. Ofwel houdt men deze structuur in stand en zijn er grote clusters, waar wel delen van het gasnet af kunnen, maar waarbinnen niet parallel in twee gassen kan worden voorzien. Of, indien wenselijk, zou men waar mogelijk in de structuur kunnen knippen, in het regionale of in het hoofdgasnet, om tot kleinere clusters te komen.

Een voorbeeld van een eilandje is te vinden in scenario Nationale Sturing in Leiden. Daar zijn in het centrum hr-ketels op groengas een opportune warmtetechniek, maar dit zijn de enige buurten in de omgeving die in dat scenario nog een gasnet nodig hebben. In dat scenario is er overwegend verwarming met een warmtenet of all-electric.

Een ander voorbeeld is te vinden in scenario Europese CO₂-sturing. Daar zijn zowel hr-ketels op waterstof als hybride warmtepompen met groengas opportune warmtetechnieken. Het rekenmodel CEGOIA, wat optimaliseert op een inschatting van maatschappelijke kosten, plaatst deze geregeld dicht bij elkaar, bijvoorbeeld in Gouda. Dit is echter niet mogelijk met de clustering die te maken is met de huidige topologie van de gasnetten. Het opknippen van het gasnet zou kunnen helpen, maar dat is niet verder onderzocht.

Datacenters

De elektriciteitsvraag van de datacenters wordt in deze studie meegenomen in de sector gebouwde omgeving. De ontwikkeling van datacenters kan een grote extra elektriciteitsvraag met zich meebrengen. In 2020 zijn er datacenters vooral van kleine omvang in Zuid-Holland, optellend tot een elektrisch vermogen van 90 MW. De verwachting is dat dit in 2030 gegroeid zal zijn tot 120 MW. Voor 2050 is het afhankelijk van beleid en uiteraard de ontwikkeling van de (mondiale) vraag naar datacenters. Een belangrijke driver is de elektriciteitsprijs en die verschilt per scenario. Wanneer we kijken naar de scenario's van I13050 in ETM, dan is de volgorde van lage naar hoge elektriciteitsprijzen in de scenario's: Nationale Sturing, Internationale Sturing, Europese CO₂-sturing en Regionale Sturing. Een tweede punt is dat eventuele groei niet gelijkmatig in de tijd hoeft te zijn, maar ook ineens heel sterk kan zijn met de vestiging van een hyperscale datacenter (>100 MW). Dit is opgenomen in de scenario's met de meeste groei.

Tabel 2 - Datacenters per scenario

	2020	2030	Reg	Nat	Eur	Int
Vermogen datacenters (MW)	90	120	120	400	190	260
Elektriciteitsvraag per jaar (PJ)	1,2	1,6	1,6	5,5	2,7	3,6

Energievraag gebouwde omgeving

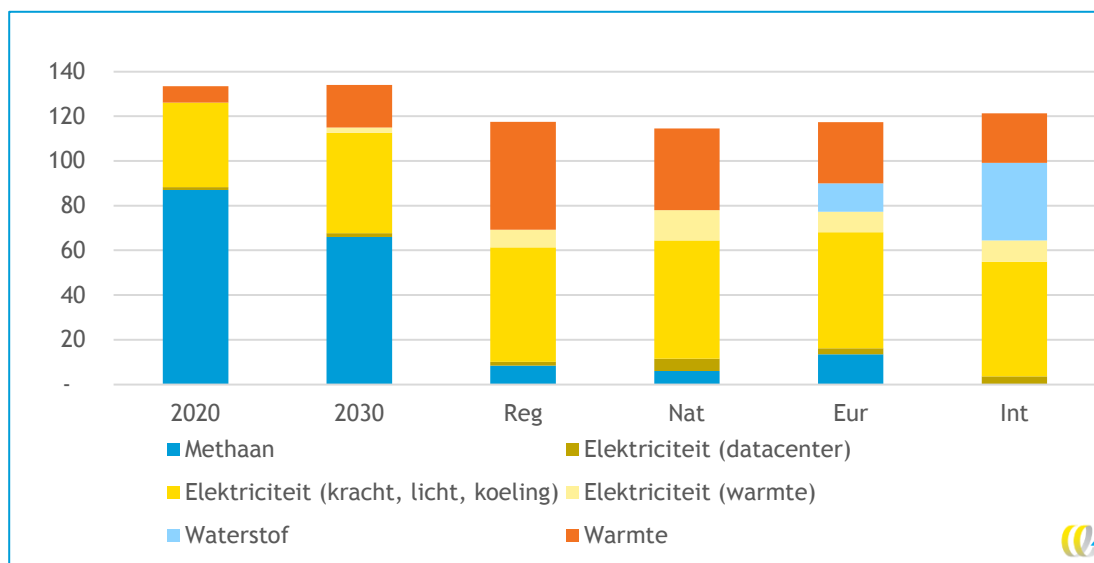
In Figuur 10 is de resulterende energievraag ‘op de meter’ in de gebouwde omgeving weergegeven, opgesplitst naar methaan, elektriciteit, waterstof en warmte. Bij elektriciteitsvraag is de vraag opgesplitst in de vraag naar kracht, licht en koeling van de gebouwen, de vraag naar verwarming van de gebouwen, en de vraag van datacenters.

De totale energievraag neemt toe door de toename in de vraag naar kracht en licht, door nieuwbouw en door de veronderstelde omvang aan datacenters. Daartegenover staat een daling door verbeterde isolatie. In 2030 is aangenomen dat alle woningen minimaal schillabel D hebben. In het scenario Nationale Sturing is het minimale schillabel scherper gesteld dan in de andere scenario's, in lijn met de grote rol van all-electric in dat scenario. Voor scenario Nationale Sturing is minimaal schillabel B aangenomen. In de andere scenario's voor 2050 is minimaal schillabel C aangenomen. Bij het elektriciteitsgebruik voor kracht en licht is een groei van 1% per jaar van het aantal apparaten aangenomen en 0,3% per jaar efficiëntieverbetering. Dit levert een nettogroei op van 0,7% per jaar, oftewel +23% over een periode van 30 jaar.

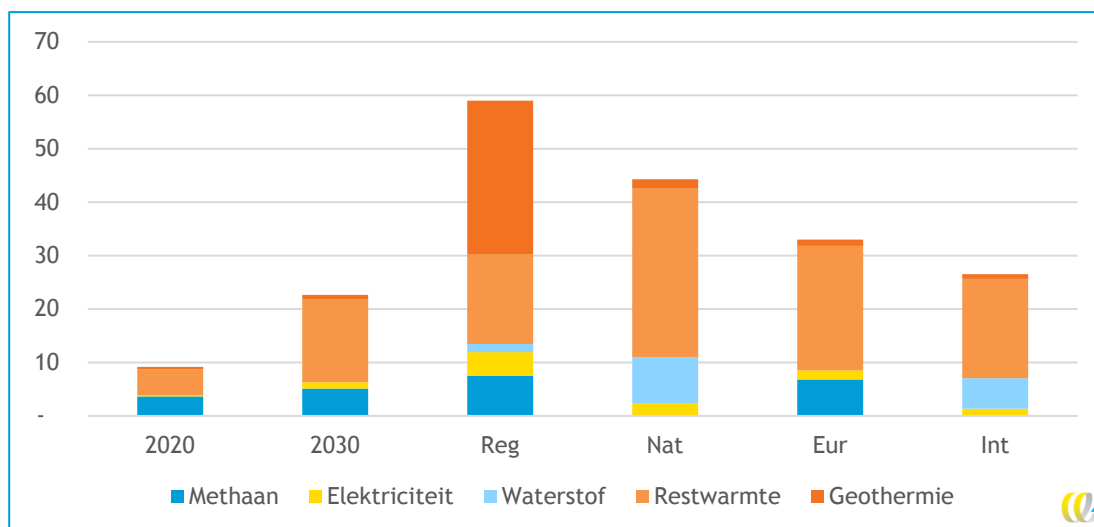
Het gebruik van methaan neemt drastisch af tussen nu en 2050. De levering van warmte neemt sterk toe. De elektriciteitsvraag is in 2020 bijna 30% van het totaal en is in de scenario's voor 2050 anderhalf tot bijna twee keer zo groot als huidig (uitgedrukt in PJ/jaar). Belangrijk om te beseffen is daarbij dat in 2050 74 tot 84% van die elektriciteit wordt gebruikt voor kracht en licht. Het aandeel elektriciteit voor de warmtepompen varieert in 2050 tussen de 8 PJ/jaar (scenario Regionale Sturing) en 13 PJ/jaar (scenario Nationale Sturing), oftewel respectievelijk 13 tot 19% van het totale elektriciteitsgebruik.

Figuur 10 toont de resulterende vraag per energiedrager van de gebouwen (de vraag ‘op de energiemeter’), en Figuur 11 toont hoe de warmtenetten gevoed worden inclusief gas voor de piekproductie en verbruik van elektriciteit voor de pompen. De vermogensvraag voor elektriciteit vanuit de gebouwde omgeving (gebouwen plus warmtenet) in Zuid-Holland piekt momenteel tot circa 2,4 GW, in 2030 is dat 2,9 GW en ligt in 2050 in alle scenario's tussen de 3,8 GW (scenario Regionale Sturing) en 4,5 GW (scenario Nationale Sturing). Zie ook Paragraaf 4.5.

Figuur 10 - Vraag van de gebouwde omgeving, 'op de energiemeter' (PJ/jaar). De elektriciteitsvraag van de datacenters is apart getoond



Figuur 11 - Voeding van de warmtenetten (PJ/jaar), inclusief piekwarmteketels en bronpompen



4.1.2 Mobiliteit

Hieronder staan de belangrijkste aannames en resultaten voor de Mobiliteit. Meer informatie hierover staat in Bijlage F. De focus ligt op de infrastructuurgebonden energiedragers.

Wegverkeer

Wegverkeer rijdt nu nog voor het overgrote deel op fossiele brandstoffen. Elektrische voertuigen (EV's) zijn wel in opkomst en hun aandeel zal groeien tot 2030. Omdat elektro-

motoren circa 2,5 tot 3 keer efficiënter zijn dan verbrandingsmotoren, zal het energieverbruik per saldo afnemen. Voor 2050 is de vraag of het wegverkeer geheel elektrificeert, met uitzondering van zwaar vrachtverkeer, of dat brandstofcellen op waterstof een groot aandeel opeisen, of dat biobrandstoffen een significante factor zullen zijn.

Modal shift

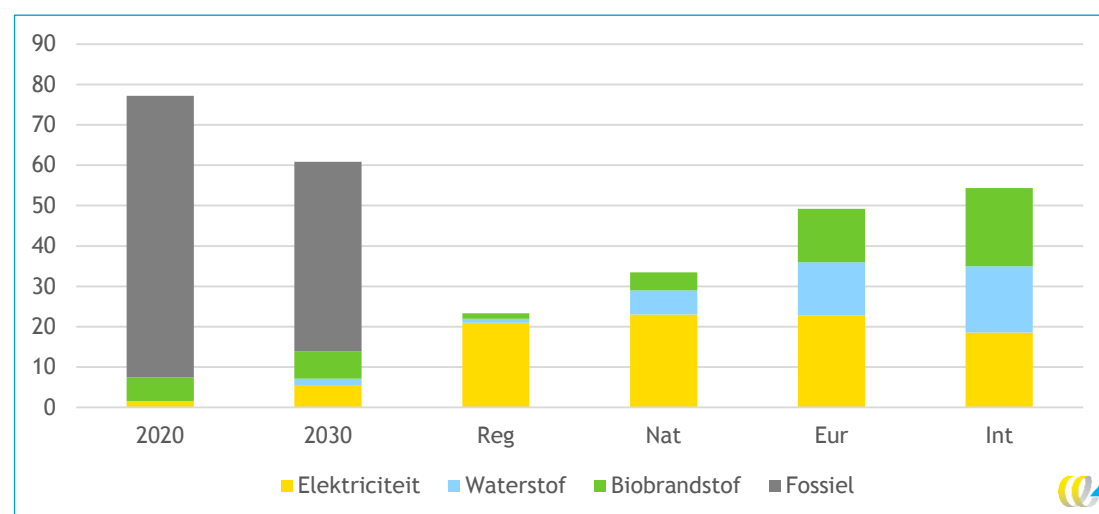
Breder is de vraag hoe mobiliteit zich zal ontwikkelen. Wat gebeurt er met de mobiliteitsvraag? En met welke modaliteiten zal men daar invulling aan geven? Deze vragen hebben beslag gekregen in de scenario's via jaarlijkse groeifactoren voor passagierskilometers auto, passagierskilometers trein en vrachtkilometers over de weg. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3, ten opzichte van 2020 (=100%).

Tabel 3 - Ontwikkeling van mobiliteit (2020=100%)

	2020	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Autoverkeer	100%	100%	85%	106%	129%	129%
Trein	100%	106%	91%	125%	171%	171%
Vrachtverkeer	100%	112%	99%	112%	136%	136%

Volgend figuur toont de energievraag in de mobiliteit. Wat opvalt, is dat de totale energievraag afneemt en zelfs sterk in scenario 2050 Regionale Sturing. Dit komt vooral door de efficiëntie van elektromotoren en mede door de veronderstelde trends in mobiliteitsvraag. De vermogensvraag voor elektriciteit vanuit mobiliteit groeit van circa 0,1 GW nu tot maximaal 1,2 GW in 2050 Nationale Sturing.

Figuur 12 - Finale vraag wegverkeer (PJ/jaar)



Scheepvaart

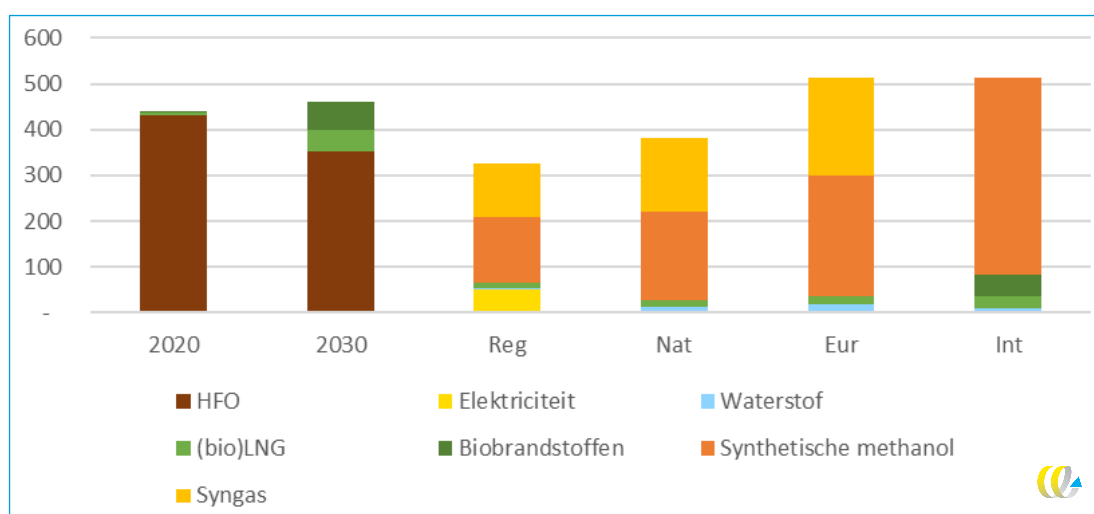
Rotterdam is de grootste bunkerbrandstofhaven voor zeeschepen in Europa. De afgelopen jaren werd in Rotterdam zo'n 400 PJ aan brandstof aan schepen geleverd. Dit betreft voornamelijk HFO (Heavy Fuel Oil), maar LNG en ook biobrandstoffen zijn in opkomst. De groei-veronderstellingen voor binnenvaart en zeevaart in termen van ladingtonkilometers, (i.e.

het product van lading in tonnen en de afstand waarover deze vervoerd is in kilometers) sluiten aan bij II3050, met een jaarlijks gemiddelde groei van 1,1% tot 2030, jaarlijks gemiddeld -1,0% groei in Regionale Sturing, 0,0% groei in Nationale Sturing, en 1,0% in Europese en Internationale Sturing, met een generieke efficiëntieverbetering van 0,4% per jaar.

Vanuit de beleidsambitie in Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens, het initiatief *Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence* en het initiatief Zero Emission Services in 2030 wordt bovendien gewerkt aan toepassing van elektriciteit en waterstof in m.n. binnenvaart. Voor binnenvaart wordt daarmee een verwaarloosbare elektrificatie (minder dan 1%) en inzet van waterstof gerealiseerd tot 2030. Verder zijn er momenteel een dozijn binnenvaartschepen op LNG in de vaart. De huidige ontwikkelingen lopen achter bij de verwachtingen van het Nationaal LNG Platform uit 2017 en voor 2030 sluiten we met 10% aan bij de onderkant van bandbreedte van LNG bunkering die Port of Rotterdam voorziet voor 2030. Op langere termijn gaan we uit van gunstige doorgroeimogelijkheden voor elektrificatie in de elektriciteitsrijke scenario's Regionale Sturing (tot 25%) en Nationale Sturing (20%) en beperktere doorgroeimogelijkheden in de scenario's Europese en Internationale Sturing (10%). Voor waterstof kan op die basis vergelijkbare groei verwacht worden voor 2030, met beperktere doorgroeimogelijkheden in Regionale Sturing (25%) en Internationale Sturing (20%) en betere doorgroeimogelijkheden in Nationale Sturing (30%) en Europese Sturing (40%). Tot slot, gaan we uit van verdere invulling met bioLNG.

In geval van zeevaart op basis van analyse van het Wuppertal instituut in opdracht van het Port of Rotterdam (Wuppertal Institute, 2018b) wordt toepassing van (bio)LNG, synthetische methanol, synthetische methaan en biobrandstoffen voorzien. Biobrandstoffen en/of vloeibaar aardgas (LNG) kunnen volgens deze analyse een belangrijke rol spelen als overbruggingsbrandstof rond 2030. Op lange termijn bieden deze brandstoffen een beperkt perspectief op decarbonisatie, respectievelijk bij gebrek aan beschikbaarheid en beperkt potentieel voor emissiereductie. Voor de scenario's Regionale, Nationale en Europese Sturing wordt uitgegaan van 55% synthetische methanol en 45% syngas. Voor het scenario Internationale Sturing wordt met 90 en 10% biobrandstoffen uitgegaan van een hogere (internationale) beschikbaarheid van deze brandstoffen.

Figuur 13 - Finale vraag scheepvaart (PJ/jaar)

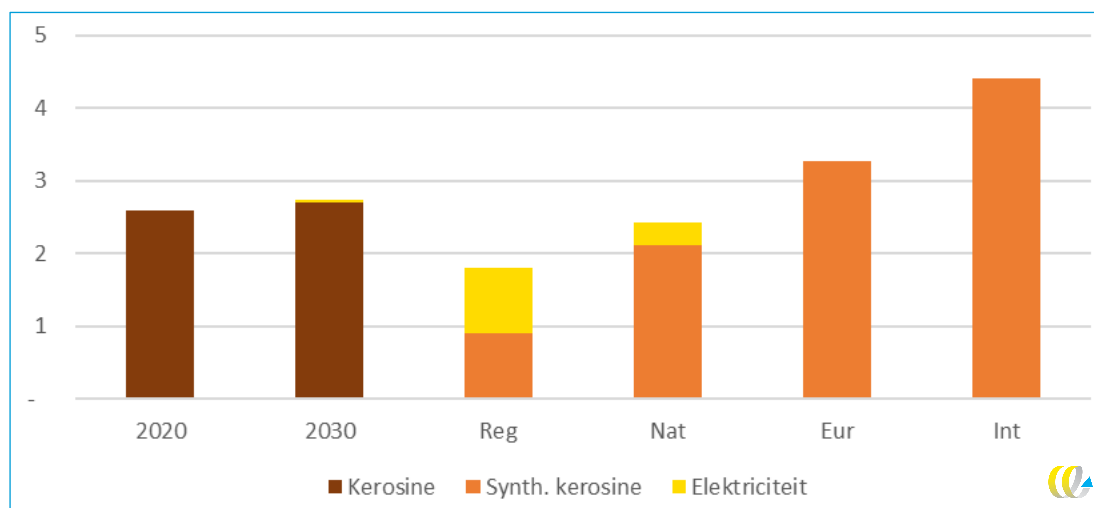


Luchtvaart

Voor Rotterdam The Hague Airport sluiten we aan bij de groeiveronderstellingen voor passagierskilometers in luchtvaart in II3050, met een jaarlijks gemiddelde groei van 1,1% tot 2030, jaarlijks gemiddeld -1,0% groei het scenario Regionale Sturing, 0,0% groei in Nationale Sturing, 1,0% in Europese Sturing en 2,0% in Internationale Sturing. Verder wordt een generieke efficiëntieverbetering van 0,4% per jaar verondersteld in de luchtvaart.

Voor wat betreft de ontwikkeling van de vloot die Rotterdam The Hague Airport aandoet, veronderstellen we dat de eerste hybride-elektrische vliegtuigen voor korte afstanden op kleine schaal zullen worden ingezet in 2030. In de elektriciteitsrijke scenario's regionaal wordt doorgroei naar een deels elektrische vloot verondersteld, terwijl in het scenario nationaal uitgegaan wordt van bescheiden doorgroei van het hybride-elektrische en elektrische vliegen. Voor het overige wordt uitgegaan van (synthetische) kerosine.

Figuur 14 - Finale vraag luchtvaart Rotterdam The Hague Airport (PJ/jaar)



4.1.3 Industrie

Hieronder staat een samenvatting van de aannames en resultaten voor de industrie. Meer informatie hierover staat in Bijlage G.

Aard en omvang

De meeste industrie van Zuid-Holland is gevestigd in het havengebied van Rotterdam. Andere industriegebieden zijn onder meer rond Den Haag, Dordrecht, Gorinchem en Gouda. De industrie in het havengebied van Rotterdam behelst voornamelijk chemie en raffinage. Veel chemie is nu gebaseerd op olie en aardgas. Raffinage gaat om de verwerking van olie, waarbij bovendien veel aardgas gebruikt wordt. Hoe de toekomst eruit zal zien voor deze sectoren en voor het havengebied, is geen uitgemaakte zaak: een transitie naar meer circulaire en biogene chemie, inzet van eerst blauwe en daarna groene waterstof, inzet van CCS, of krimp – er zijn uiteenlopende ontwikkelingen voorstelbaar.

De ontwikkeling van het energiesysteem voor de procesindustrie is in belangrijke mate regionaal maatwerk. We sluiten hier in grote lijnen aan bij de vier hoofdrichtingen van

II3050, en de casestudie HIC die ook in het kader van II3050 is gedaan, met bijbehorende veronderstellingen voor groei en efficiëntie. Vanuit deze studie zijn scenario's voor de specifieke ontwikkelingen in Zuid-Holland opgesteld, onder andere door gebruik van de plannen zoals die worden ontwikkeld binnen de Rotterdamse haven. Aanvullend is gebruik gemaakt van recente relevante analyses van het Rotterdamse havengebied, zoals de scenarioanalyses voor decarbonisatie van het HIC van het Wuppertal Instituut in opdracht van Port of Rotterdam (Wuppertal Institute, 2016; Wuppertal Institute, 2018a), de recente analyse van het elektriciteitsnetwerk in het havengebied in *Een haven vol nieuwe energie* (Havenbedrijf Rotterdam, TenneT en Stedin, 2019), de analyses voor het H-Vision-project (H-vision, 2019), de analyses voor het Porthos-project (RH DHV, 2020; Commissie MER, 2019; Ministerie van EZK, 2019) en het TIKI-rapport (DNV GL, 2020), en het rapport *Refinery 2050* van het Clingendael International Energy Programme (Clingendael IEP, 2018).

Belangrijke onderscheidende ingrediënten van de scenario's zijn onder andere de beschikbaarheden van energiedragers ten behoeve van de warmte- en stoomvragende processen van de procesindustrie in Zuid-Holland ('elektronen vs. moleculen'), de beschikbaarheid van CO₂-infrastructuur, en de ontwikkeling m.b.t. CCS.

Specifiek voor de Rotterdamse raffinage wordt uitgegaan van krimp in alle scenario's voor 2050, in navolging van II3050. De raffinagesector richt zich in deze scenario's vrijwel alleen op het produceren van halffabricaten voor de chemische industrie. De omvang van de raffinage-industrie is daarom afhankelijk van de omvang van de chemische industrie in elk van de 2050-scenario's. In scenario Regionale Sturing is de raffinagesector nog 14% van de huidige omvang en in scenario Nationale Sturing 36%. In de scenario's Europese CO₂- en Internationale Sturing wordt nog export verondersteld en komt de omvang van de raffinage-sector uit op respectievelijk 40 en 50% van de huidige omvang. Verder wordt in aansluiting bij II3050 ook productie van synthetische brandstoffen verondersteld in de 2050-scenario's. Daarbij wordt niet uitgegaan van de beschikbaarheid van elektriciteit uit wind op zee als beperking, maar van de beschikbaarheid van biogene CO₂-emissies als beperkende factor.

Tabel 4 - Ontwikkeling van industrie in de tijd (2020=100%)

	2020	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Chemie	100%	100%	78%	107%	145%	145%
Raffinage	100%	100%	14%	36%	40%	50%
Overig	100%	100%	65%	74%	100%	135%

Grond- en brandstoffen

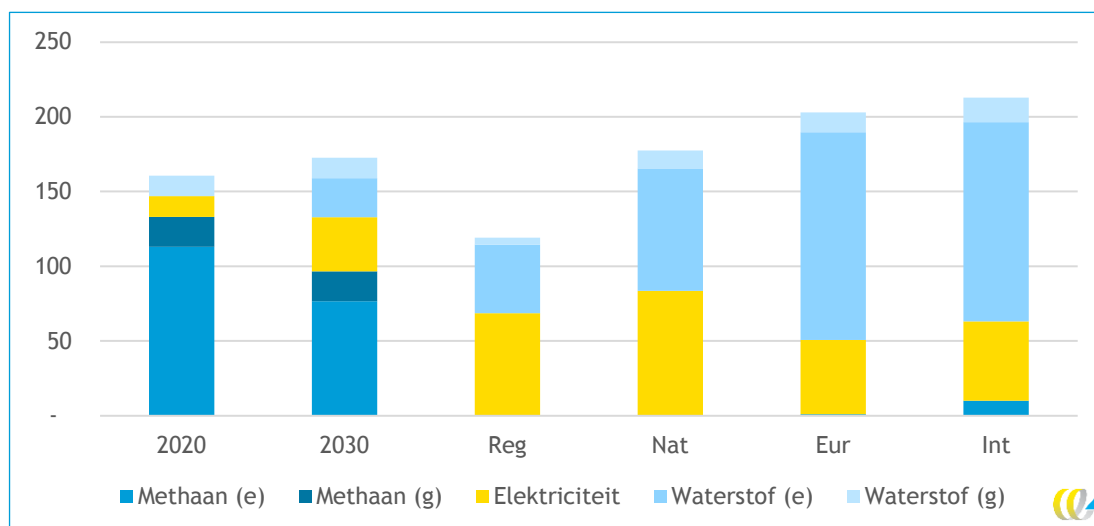
De grondstoffen en brandstoffen voor industriële processen zullen veranderen met, zeker in scenario Regionale Sturing, ook meer circulariteit. Dat zal leiden tot meer biogene grondstofstromen, met name pyrolyseolie in plaats van aardolie. Ook kan aardgas als grondstof plaatsmaken voor (blauwe of groene) waterstof. Net zo zullen de brandstoffen en technieken innoveren. Het stoken van aardgas kan plaatsmaken voor waterstof en (in beperktere mate) biomassa. Bij lagere (laag en midden) temperatuurprocessen kan het op temperatuur brengen elektrisch gedreven worden (e-boiler, warmtepomp). In geval van de warmtepomp maakt dat ook hogere efficiëntie mogelijk.

In de industrie vinden vele omzettingen plaats en dat is reden waarom we hier de netto verbruiken (inclusief teruglevering van elektriciteit vanuit een warmtekrachtkoppelingsinstallaties, kortweg wkk's) ofwel vereiste levering aan de (bedrijfs)poort rapporteren.

In Figuur 15 illustreert deze levering van energiedragers aan de poort die relevant zijn voor de hier onderzochte infrastructuur: methaan (aardgas/biogas), elektriciteit en waterstof. In Figuur 16 is het netto gebruik van grondstoffen en energie gezamenlijk weergegeven. Binnen de industrie staan wkk's of smr's waar aardgas en raffinagegas (restproduct van het raffinageproces) in warmte en elektriciteit respectievelijk in waterstof worden omgezet. Ook vindt er uitwisseling plaats van warmte (stoom) binnen de industrie en wordt er een relatief bescheiden volume aan warmte afgenomen van de afvalverbranding (in de figuur niet te onderscheiden).

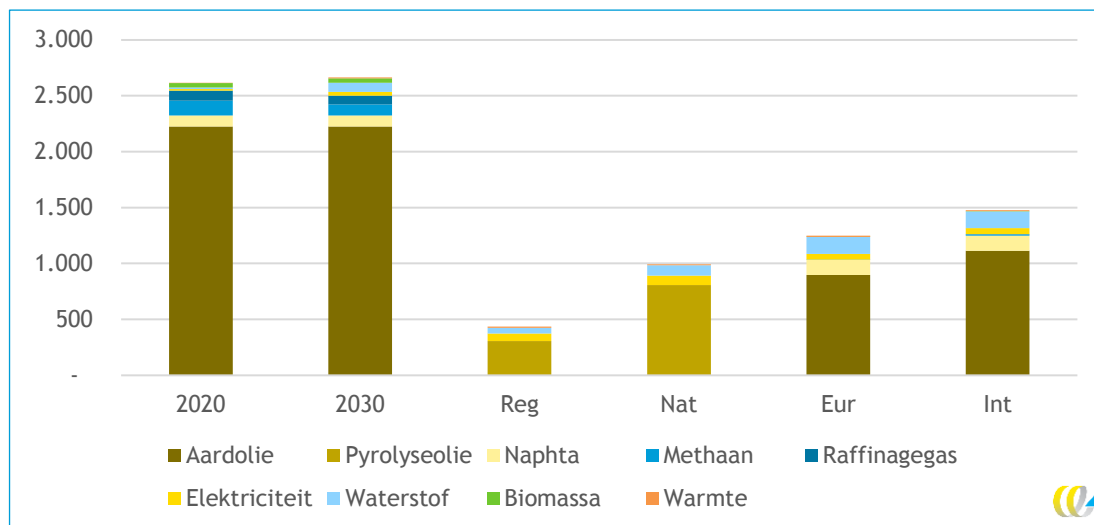
In 2020 wordt 66 PJ aardgas en 20 PJ raffinagegas ingezet in wkk's. Daaruit wordt 25 PJ elektriciteit en 47 PJ warmte geproduceerd, die ook binnen de industrie wordt gebruikt. Voor 2030 is opgenomen dat, conform H-Vision en Porthos, blauwe waterstof wordt gemaakt met opslag van CO₂. Uit 10 PJ aardgas en 40 PJ raffinagegas, wordt dan 42 PJ waterstofproductie gerealiseerd. Deze productie wordt in evenwicht met de vraag in 2030 ontwikkeld. Voor 2050 wordt ervan uitgegaan dat deze lokale productie niet langer plaatsheeft (tegen die tijd is de nu beoogde CO₂-opslagcapaciteit vol), en wordt lokale waterstofproductie gerealiseerd met elektrolyzers en aangevuld met import via de backbone.

Figuur 15 - Netto gebruik methaan, elektriciteit & waterstof (energie en grondstoffen) in de industrie (PJ/jaar)*



* (e) = energetisch vraag, (g) = grondstofvraag.

Figuur 16 - Netto energie- en grondstoffengebruik in de industrie (PJ/jaar)



4.1.4 Landbouw en glastuinbouw

Hieronder staan de belangrijkste aannames en resultaten voor de landbouw en glastuinbouw. Meer informatie hierover staat in Bijlage H.

Zuid-Holland kent een omvangrijke glastuinbouwsector. Die wordt gekenmerkt door een vraag naar warmte, licht (elektriciteit) en CO₂, die nu typisch lokaal worden geproduceerd met wkk's uit aardgas. Ook zijn er veel gasketels voor de warmtevoorziening.

In de toekomst zal dit veranderen, door:

- modernisering en besparing;
- opkomst van geothermie;
- warmtenetten uit restwarmte en andere technieken zoals warmtepomp met wko.

De precieze invulling verschilt per scenario.

De omvang van het areaal glastuinbouw is gevarieerd per scenario. Tot 2030 is aangenomen dat het areaal gelijk blijft. Tussen 2030 en 2050 zijn de volgende scenarioaannames gedaan over het areaal glastuinbouw:

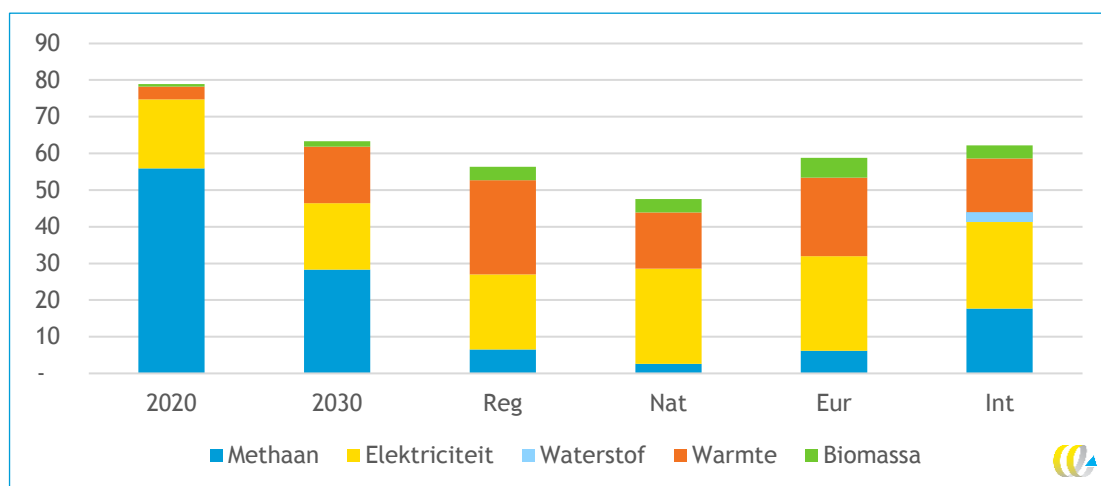
- Scenario Regionale Sturing krimpt van 0,8% per jaar;
- Scenario Nationale Sturing geen groei of krimp;
- Scenario Europese Sturing groei van 0,8% per jaar;
- Scenario Internationale Sturing groei van 0,8% per jaar.

Voor alle scenario's geldt dat aangenomen is dat de warmtevraag van de glastuinbouw met 1,6% per jaar zal dalen en de elektriciteitsvraag met 0,5% per jaar zal stijgen. De stijging in de elektriciteitsvraag is minder dan aangenomen in II3050, omdat deze groei voornamelijk komt door de groei van belichte teelt. In Zuid-Holland wordt relatief, gezien t.o.v. andere gebieden, al meer belicht in de glastuinbouw en zal de belichte teelt minder hard groeien. De CO₂-vraag is berekend aan de hand van wegvallende gasvraag en wkk's.

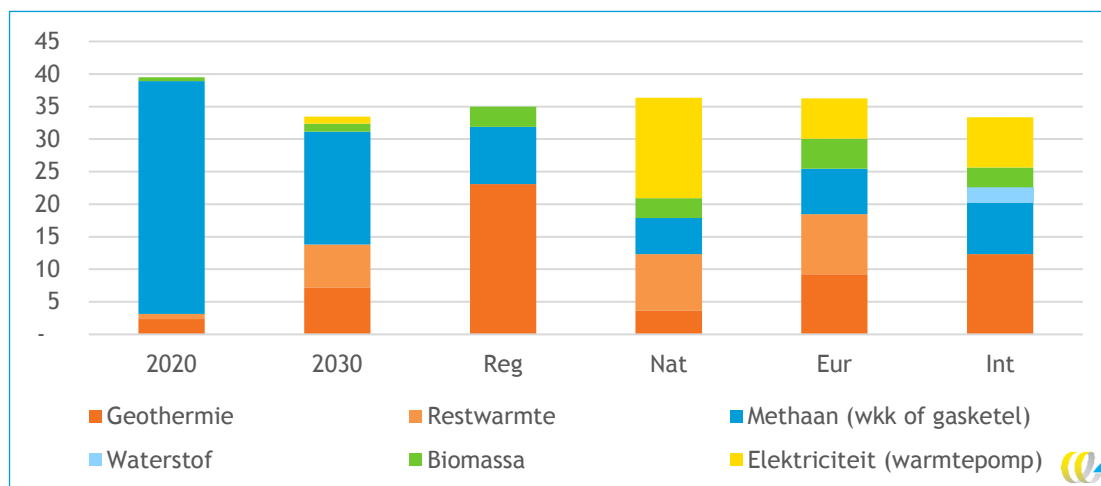
In Figuur 17 het gebruik per energiedrager per scenario weergegeven, op de afnamepunten van de energienetten. Hiermee wordt in alle finale vraag voorzien, waaronder verlichting en verwarming. Een deel van dit gebruik wordt op locatie dus omgezet naar warmte en elektriciteit. Hoe de warmtevraag is ingevuld is weergegeven in Figuur 18.

Belangrijk voor het systeem als geheel is dat de overgang naar andere warmtevoorziening dan de huidige aardgasgestookte wkk een externe/nieuwe vraag naar CO₂ met zich meebrengt. In 2030 zal die 1,7 Mton bedragen en in 2050 heeft die een omvang in de range van 2,3 tot 3,1 Mton.

Figuur 17 - Gebruik (op de afnamepunten van de netten) van energiedragers in landbouw en glastuinbouw (PJ/jaar)



Figuur 18 - Invulling van finale warmtevraag in glastuinbouw (PJ/jaar)



4.2 Aanbod

Hieronder staan de belangrijkste aannames en resultaten voor het aanbod van energie. Meer informatie hierover staat in Bijlage I.

4.2.1 Aardgas en groengas

In Zuid-Holland is geen aardgaswinning. Wel wordt groengas geproduceerd uit biomassa en ingevoerd in het gasnet. De groengasproductie neemt naar verwachting in de toekomst toe. Die biomassa kan een lokale oorsprong hebben, maar ook geïmporteerd zijn. Zo wordt in

sommige scenario's een grote vergasser voorzien in de Rotterdamse haven die groengas produceert uit geïmporteerde biomassa. Een alternatief om in die behoefte aan groengas te voorzien is import van groengas met bestaande transportleidingen over land of eventueel over zee met LNG-tankers. Voor de productie van groengas is aangesloten bij volumes uit II3050 en geografische verdelingsscenario's uit (CE Delft, 2017a; 2017b). Het maximum aanbod van groengas in Zuid-Holland in 2050 is 66 PJ, in het scenario Europese Sturing. Dit is minder dan de huidige aardgasvraag in de gebouwde omgeving, maar die zal afnemen met de groei van warmtenetten, all-electric gebouwen, en isolatie, zodat de groengas-productie in dat scenario voldoende kan zijn om de resterende warmtevraag in te vullen via het gasnet en hybride warmtepompen, conform de veronderstellingen in scenario 2050 Europese Sturing. In dat scenario is er ook voldoende groengas voor de veronderstelde inzet in de andere sectoren.

4.2.2 Elektriciteit

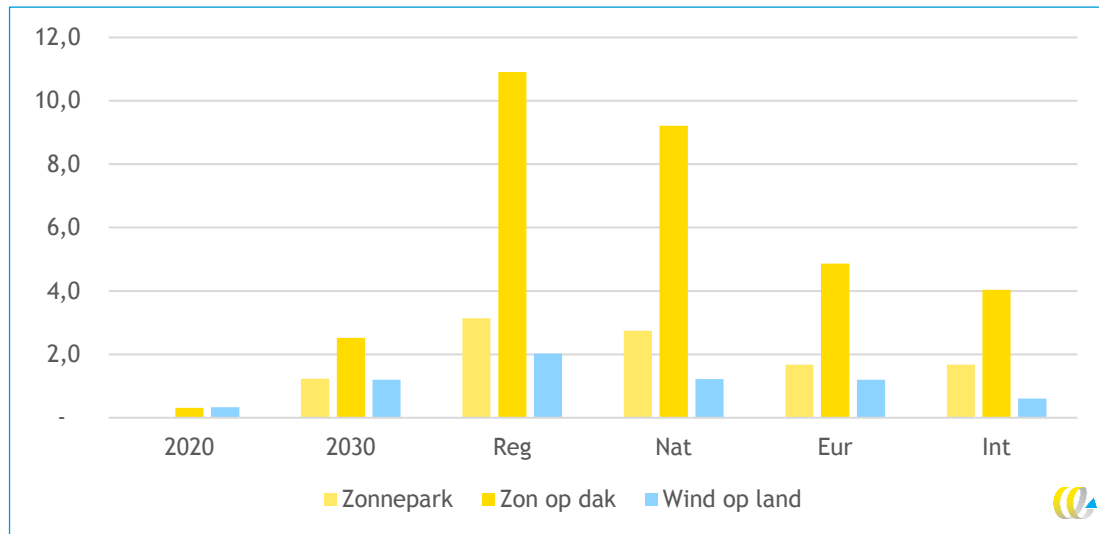
Zon-pv en wind op land

Zon-pv groeit momenteel sterk, deze groei zal doorzetten tot 2030. Voor 2030 zijn de uitkomsten van het concept-RES gebruikt als uitgangspunten, waarbij de locaties zoveel mogelijk overgenomen zijn zoals in de RES. Na 2030 kan de groei doorzetten of afvlakken richting 2050.

Waar zon nu optelt tot circa 600 MW, daar zal in 2030 1,2 GW aan zonneparken en 2,5 GW aan zon op dak zijn opgesteld. In scenario 2050 Regionale Sturing is de meeste decentrale, hernieuwbare opwek voorzien, met 3,1 GW aan zonneparken en 10,9 GW aan zon-pv op daken¹⁶. Wind op land volgt eenzelfde pad, zij het minder sterk: 320 MW in 2020, 1,2 GW in 2030 en tot 2,0 GW in 2050. In scenario Internationale Sturing is de veronderstelde wind op land minder dan in 2030, om te kijken welk effect dit heeft op het energiesysteem en de infrastructuur. Vergeleken met andere provincies is er in Zuid-Holland minder ruimte met potentie voor zonneparken of wind op land, zodat zon op dak veruit het grootste is in alle scenario's.

¹⁶ NB: Andere studies komen tot lagere maximale potenties van zon-pv op daken in Zuid-Holland, tot 7,2 GW. Voor de omvang van zon-pv op daken hebben we hier II3050-gevolgd.

Figuur 19 - Vermogen zon-pv en wind op land (GW)



Wind op zee

De Maasvlakte krijgt in 2021 een ‘stopcontact’ voor aanlanding van elektriciteit uit windparken op zee. In 2030 kan 3,5 GW aan windparken zijn aangesloten. Wind op zee is de grootste pijler van scenario 2050 Nationale Sturing, waarin 23,5 GW aan windparken zou kunnen aanlanden in Zuid-Holland. Ook bij deze hoeveelheden is verondersteld dat de Maasvlakte de enige plek voor aanlanding in Zuid-Holland is.

Elektriciteitscentrales

Momenteel staan in Zuid-Holland de volgende centrales met in totaal 4,1 GW opgesteld vermogen:

- Enecogen, Europoort, 870 MW, aardgas;
- Rijnmond Energie, Vondelingenplaat, 810 MW, aardgas;
- Maasstroom Energie, Vondelingenplaat, 427 MW, aardgas;
- RoCa, Rotterdam-Noord, 220 MW, aardgas;
- Onyx Power, Maasvlakte, 731 MW, steenkool/biomassa;
- Uniper MPP3, Maasvlakte, 1.070 MW, steenkool/biomassa.

In de scenario's zijn we ervan uitgegaan dat de RoCa-centrale gesloten is in 2030¹⁷ en de kolencentrales vóór 2030. Daarnaast is aangenomen dat er in 2030 wel biomassa-installaties actief zijn.

In 2050 zal er wel behoefte aan centrales zijn, maar minder voor basislast en meer als flexibel, regelbaar vermogen. Deze centrales zullen draaien op waterstof. Er is bij die aannames aangesloten op I13050, waarin een technisch concept is uitgewerkt en die gebruikt kan worden om de visie op de toekomstige elektriciteitsvoorziening verder vorm te geven. Zie voor uitleg over de analyse Paragraaf 4.4 – de uitkomst is dat er in 2050 6,0 tot 7,7 GW aan centrales nodig zou zijn in Zuid-Holland voor flexibiliteit. Deels zou het gaan om vervanging

¹⁷ Dit is een scenarioaannname, de werkelijkheid kan anders zijn, bijvoorbeeld met een inzet als piekvoorziening voor warmtenetten.

op locatie van de huidige centrales, deels om relatief kleine (< 200 MW) gasturbines verspreid over de provincie. Daarbij zijn in de II3050-scenario's systeembatterijen voorzien op de koppelpunten tussen TenneT en de regionale netbeheerders om kortdurende fluctuaties in vraag en aanbod op te vangen. De – vooralsnog puur technische – analyse in II3050 komt uit op tot 23 GW batterijcapaciteit in Zuid-Holland. Gezien het grote volume zal dit onzes inziens in II3050 verder uitgediept moeten worden. In de vier II3050-scenario's komt kernenergie niet voor en, in aansluiting daarop, ook niet in deze systeemstudie. In II3050 is wel een aanvullende analyse gedaan van kerncentrales.

Wkk's

Een wkk (warmtekrachtkoppeling) produceert warmte, elektriciteit en CO₂ door verbranding van aardgas. Momenteel staat in Zuid-Holland bijna 1,4 GW aan wkk's opgesteld, vooral in de glastuinbouw. Het daadwerkelijke piekvermogen is ongeveer 70% hiervan. De belangrijkste *drivers* voor de inzet van wkk's zijn het verschil tussen aardgasprijs en elektriciteitsprijs (verkoop) en de aansluitkosten voor elektriciteit. Op basis hiervan is de verwachting dat de omvang van wkk-vermogen in 2030 minimaal 0,9 GW. Op lange termijn zouden ze geheel kunnen verdwijnen (scenario's Regionale en Nationale Sturing), maar ook zou er 0,7 GW kunnen blijven bestaan (scenario Internationale Sturing).

Ook in de industrie staan wkk's met een totale omvang van circa 1,2 GW. De geproduceerde warmte en elektriciteit worden binnen de industrie gebruikt en niet teruggeleverd via het openbare netwerk. De wkk's draaien nu op aardgas en raffinagegas (een restproduct van het raffinageproces). Naar 2050 kan het vermogen teruglopen naar circa 0,5 GW en de elektriciteitsproductie van wkk's van 25 naar 10 PJ. Daarbij zullen de wkk's overgaan op biogas of waterstof als brandstof. (De gasvraag en het elektriciteitsaanbod van wkk's binnen de industrie zijn verrekend in de cijfers over de industrie, zoals besproken onder Paragraaf 4.1.)

4.2.3 Waterstof

In de industrie staan nu smr's (steam methane reformers) die aardgas naar waterstof omzetten, dat in de industriële processen wordt gebruikt, bijvoorbeeld in de olieraffinaderijen. Dit raakt de infrastructuur niet, anders dan dat er aardgas wordt afgenomen. Voor 2030 is, zoals in H-Vision en Porthos neergelegd, blauwe waterstofproductie voorzien uit aardgas en raffinagegas waarbij de CO₂ wordt opgevangen en in lege aardgasvelden onder de Noordzee wordt opgeslagen. Het gaat om 42 PJ waterstof en 3,6 Mton CO₂. De gasvelden die voorzien worden voor CO₂-opslag in het Porthos-project zullen voor 2050 volraken. De totale potentiële opslagcapaciteit onder de Noordzee om CO₂ op te slaan bedraagt 1.700 Mton (EBN; Gasunie, 2017).

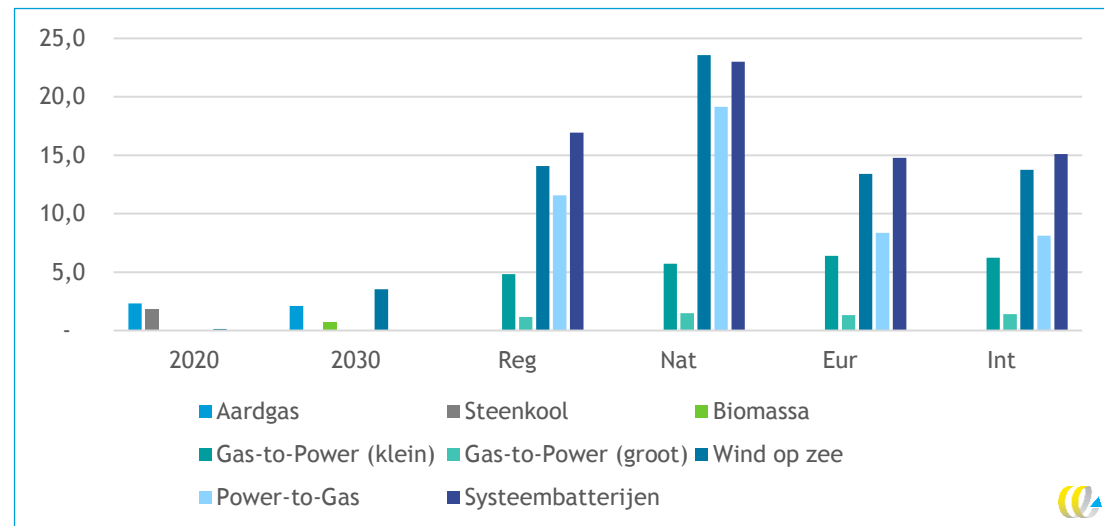
In 2050 vindt groene waterstofproductie plaats. We gaan uit van de productie behorend bij de systeemflex (Paragraaf 4.4), waarbij elektrolyzers worden geplaatst tegenover de aanlanding van wind op zee. Deze elektrolyzers zullen dan ook op de Maasvlakte moeten staan, of eventueel direct bij de windparken op zee. In het scenario Nationale Sturing is de meeste wind op zee voorzien en is het vermogen van elektrolyzers 19 GWe met een jaarlijkse waterstofproductie van 168 PJ.

De waterstofproductie in alle scenario's voor 2050 is weergegeven in Tabel 5. Alle vermogens in Zuid-Holland aan centrales (gas-to-power), elektrolyzers (power-to-gas), wind op zee (aanlanding in Zuid-Holland) en systeembatterijen zijn weergegeven in Figuur 20. Deze cijfers zijn ontleend aan II3050.

Tabel 5 - Waterstofproductie in 2050

	Reg	Nat	Eur	Int
Vermogen (GWe)	11,6	19,2	8,4	8,1
Waterstofproductie (PJ)	89	168	38	33

Figuur 20 - Centrales, wind op zee, power-to-gas en systeembatterijen (GW)



4.2.4 Warmte

In het havengebied is veel industrie met processen op hoge temperatuur en er zijn elektriciteitscentrales waar veel warmte vrijkomt. Daarnaast zijn er nog afvalverbrandingsinstallaties en zijn er lokaal nog bronnen (waaronder elektrolyzers) met restwarmte van lage temperatuur. In totaal is daaruit nu circa 113 PJ aanbod bekend. Zie Figuur 21 op Pagina 45 voor nadere informatie. Dat zou op jaarbasis genoeg zijn om de hele gebouwde omgeving van Zuid-Holland te verwarmen. Daarbij is er nog grote potentie voor geothermie in de provincie en zijn er lagetemperatuurbronnen.

Er zijn daarbij drie factoren om rekening mee te houden. Ten eerste treden bij warmte-transport verliezen op. Ten tweede zal de industrie evolueren en vooral efficiënter worden, en is het voorstelbaar dat de industrie in het havengebied zal krimpen, zoals verondersteld in scenario Regionale Sturing. Ten derde zullen wel elektriciteitscentrales nodig blijven, echter niet zozeer voor basislast, maar ter ondersteuning op momenten van grote vraag en weinig aanbod vanuit zon en wind (800 tot 1.500 vollasturen per jaar). Hierdoor zal er in 2050 slechts een beperkt deel van het jaar restwarmte van elektriciteitscentrales beschikbaar zijn.

Is er genoeg aanbod van warmte?

Een relevante systeemvraag bij de warmtenetten is: Hoe beïnvloedt de toekomst van de industrie en de energiesector de mogelijkheden van warmtenetten in de gebouwde omgeving?

De basis voor berekeningen aan restwarmte in Systeemstudie Zuid-Holland is de huidige beschikbaarheid van restwarmte. We baseren de aannames over toekomstige beschikbaarheid op aannames van het 'Basisdocument RES-regio Rotterdam Den Haag' en passen dit als volgt toe in de scenario's:

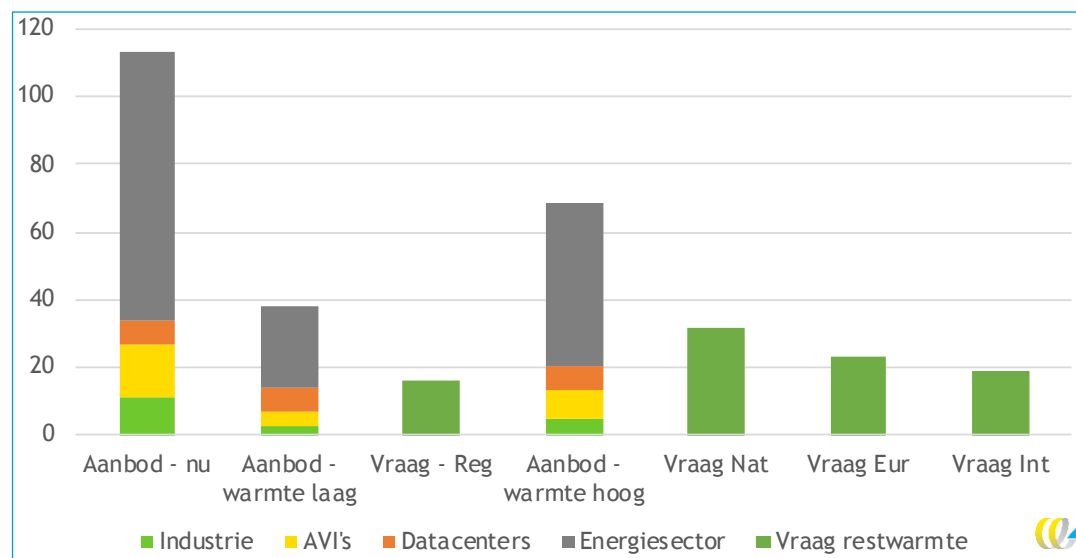
- aannames 'Laag': scenario 2050 Regionale Sturing;
- aannames 'Hoog': alle andere scenario's.

Tabel 6 - Restwarmte ten opzichte van huidige beschikbaarheid in varianten laag en hoog

	Laag	Hoog
Afvalverwijdering en energiesector	30%	60%
Chemische en overige industrie	20%	40%
Bouw, Handel, Landbouw	0%	0%

Figuur 21 laat de beschikbare restwarmte in de huidige situatie en beide varianten zien en toont ook hoeveel restwarmte in de verschillende scenario's wordt ingezet. Te zien is dat in alle scenario's het verbruik van restwarmte ruim onder het aanbod van restwarmte blijft.

Figuur 21 - Aanbod van restwarmte van industrie, AVI's en de energiesector in verschillende situaties en vraag naar restwarmte in de scenario's voor 2050 (PJ/jaar)



De beschikbaarheid van restwarmte uit de industrie is laag ingeschat en sluit goed aan bij de ontwikkelingen die in de scenario's voor industrie zijn aangenomen. Voor datacenters (die groeien in de scenario's) is geen groei aan beschikbaarheid van warmte aangenomen. De inschatting van beschikbaarheid van restwarmte uit de energiesector is ruimer ingeschat. Zeker omdat de rol van elektriciteitscentrales verschuift in de toekomstige scenario's van vervulling van basislast tot back-upcentrales. Dit zal leiden tot minder (continu) warmteaanbod. Mogelijk overschatten we dus de beschikbare restwarmte uit de energiesector. Met name in het scenario Nationale Sturing, waarin warmtenetten veel gebruik maken van restwarmte, is dit relevant. Als in dat scenario de restwarmte van de industrie-sector flink tegenvalt dan is de overige restwarmte die we nu hebben meegenomen niet voldoende om in de warmtevraag te voorzien.

Restwarmte van de industrie en energiesector is echter niet de enige mogelijke warmtebron in Zuid-Holland. Het eventueel wegvallen van warmte uit de energiesector kan worden opgevangen door onder andere geothermie. Ook is de raffinagesector buiten beschouwing gelaten in het aanbod van restwarmte. Daarbij zijn nieuwe mogelijke warmtebronnen nog niet meegenomen in het aanbod. Denk hierbij aan restwarmte van elektrolyzers en back-up van centrales die blijven staan of piekcentrales die bijgeplaatst worden.

Ontwikkelingen van de energiesector hebben dus invloed op de mogelijkheden van warmte-netten in de gebouwde omgeving. Echter, zelfs het volledig wegvallen van deze sector hoeft niet tot warmteleveringsproblemen te leiden omdat in Zuid-Holland voldoende alternatieven beschikbaar zijn. Wel zullen deze alternatieven dan meer benut moeten worden dan in de situatie wanneer de energiesector restwarmte beschikbaar blijft houden.

4.3 Overzichtstabellen van de scenario's

In de overzichtstabellen Tabel 7 en Tabel 8 staan de scenario's op hoofdlijn naast elkaar gezet.

Tabel 7 - Overzichtstabel van de scenario's

	2030 Klimaatakkoord	2050 Regionale Sturing	2050 Nationale Sturing	2050 Europese CO ₂ -sturing	2050 Internationale Sturing
Gebouwde omgeving	20% van de woningen aardgasvrij.	Focus op geothermie, aangevuld met warmterotonde.	Focus op all-electric en warmterotonde met restwarmte.	Focus op gas: veel hybride met groengas.	Focus op waterstof.
Mobiliteit personenvervoer (incl. bussen)	Veel elektriciteit, beperkt waterstof, en bijmengen biobrandstof.	Volledige elektrificatie.	Beperkte elektrificatie (95%) en verder waterstof.	Beperkte elektrificatie (70%) verder waterstof.	Beperkte elektrificatie (50%), verder waterstof en 10% biobrandstof.
Mobiliteit vrachtvervoer	Beperkt biobrandstoffen in vrachtvervoer over de weg en water.	Veel waterstof (75%) en elektriciteit (15%) wegtransport. Beperkt waterstof (25%) en elektriciteit (25%) in binnenvaart.	Beperkt waterstof (50%) en meer elektriciteit (25%) in wegtransport. Meer waterstof (30%) en minder elektriciteit (20%) in binnenvaart.	Beperkt waterstof (25%) en elektriciteit (25%) in wegtransport. Meer waterstof (40%) en minder elektriciteit (10%) in binnenvaart.	Beperkt waterstof (25%) en elektriciteit (25%) in wegtransport. Meer waterstof (40%) en minder elektriciteit (10%) in binnenvaart.
Glastuinbouw	(Groen)gas gestookte wkk aangevuld met geothermie, restwarmte en klein deel biomassa en warmtepomp.	Geothermie, aangevuld met (groen)gas-gestookte wkk en biomassa.	Combinatie van geothermie en restwarmte, aangevuld met warmtepomp wko, biomassa en (groen)gas-gestookte wkk.	Warmtepomp aangevuld met geothermie, restwarmte en klein deel biomassa.	Combinatie geothermie, warmtepomp wko, groengas en waterstof in wkk en biomassa.

	2030 Klimaatakkoord	2050 Regionale Sturing	2050 Nationale Sturing	2050 Europese CO ₂ -sturing	2050 Internationale Sturing
Industrie	CCS (Porthos), beperkte elektrificatie en waterstof (H-Vision).	Krimp van 1% energievraag met sterke inzet op elektrificatie en beperkt waterstof.	Gelijkblijvende energievraag met sterke inzet op elektrificatie en waterstof.	Groei energievraag Waterstof aangevuld door elektrificatie en groengas.	Hogere groei energievraag Waterstof aangevuld door elektrificatie en groengas.
Opwek elektriciteit	3,8 GW zon (merendeels op dak) 1,0 GW wind land (RES) 3,5 GW wind zee Regelbaar = gas/biomassa	14 GW zon 1,2 GW wind land 14 GW wind zee Regelbaar = H ₂	12 GW zon 2 GW wind land 24 GW wind zee Regelbaar = H ₂	6,5 GW zon 1,0 GW wind land 13 GW wind zee Regelbaar = groengas/gas met CCS	5,8 GW zon 0,5 GW wind land 13 GW wind zee Regelbaar = H ₂

Tabel 8 - Overzicht gebruik van energiedragers per sector in alle scenario's (PJ/jr)^{18 *}

		2020	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 EU	2050 Int
	Totaal						
	Methaan, groengas	278	198	27	12	38	27
	Elektriciteit	75	110	175	207	164	161
	Waterstof	14	41**	53	109	178	212
	Warmte	15	40	82	57	56	42
	Gebouwde omgeving						
	Methaan, groengas	89	71	16	6	20	-
	Elektriciteit	40	50	65	74	65	66
	Waterstof	-	-	1	9	13	40
	Warmte	8	19	48	37	27	22
	Mobiliteit						
	Methaan, groengas	0	0	1	-	7	-
	Elektriciteit	2	6	21	23	23	19
	Waterstof	0	2	1	6	13	16
	Biobenzine, -diesel	6	6	0	4	6	19
	Benzine, diesel	70	46	-	-	-	-
	Industrie						
	Methaan, groengas	133	97	-	-	1	10
	Elektriciteit	14	36	69	84	50	53
	Waterstof	14	40**	51	94	152	150
	Biomassa (vast)	39	39	-	-	0	2
	Warmte	4	7	11	8	10	8
	Land-/glastuinbouw						
	Methaan, groengas	56	30	9	6	9	18
	Elektriciteit	19	18	20	26	26	24
	Waterstof	-	-	-	-	-	5
	Warmte	3	14	23	12	18	12
	Biomassa (vast)	1	1	4	4	5	4
	CO ₂	n.a.	1,7	2,9	3,1	2,9	2,3

¹⁸ NB: cijfers zijn afgerond, daardoor kunnen er kleine verschillen ontstaan in de optellingen.

- * Bij warmte zijn in deze tabel het energiegebruik van pieketels geteld bij methaan c.q. waterstof, en het gebruik van bronpompen bij elektriciteit. De cijfers bij 'warmte' zijn daardoor lager dan het gebruik 'op de meter' bij de gebouwen in bijvoorbeeld Figuur 10. De cijfers zijn exclusief ruwe olie en andere grondstoffen. De cijfers zijn ook exclusief de vraag naar brandstoffen van elektriciteitscentrales.
- ** De hier gepresenteerde waterstofvraag in de industrie in 2030 is het totaal na de door H-Vision geproduceerde waterstof (42 PJ) af te trekken van waterstofvraag van de industrie, omdat die direct voor industriële doeleinden wordt verbruikt en de energie-infrastructuur niet verder raakt.

4.4 Flexibiliteit

Vraag en aanbod komen niet altijd overeen. Flexibiliteit is te definiëren als de voorzieningen die de mismatch tussen vraag en aanbod opvangen en netcongestie kunnen voorkomen. De focus in de analyses ligt bij de elektriciteitsnetten, omdat met name daar knelpunten op gaan treden wanneer de toekomstige vraag wordt afgebeeld op de huidige netten. Flexibiliteit kan ingezet worden binnen dezelfde energiedrager zoals bij opslag, maar ook met conversie naar of inzet van andere energiedragers. Die laatste opties zorgen voor verdere onderlinge verwevenheid van de verschillende infrastructuren.

Flex kan ook worden ingezet in warmtenetten, zoals grootschalige warmtebuffers die al op verschillende plaatsen in Nederland in warmtenetten worden ingezet. Ook de gasnetten kennen van oudsher al de natuurlijke flexibiliteit van aardgasvelden zoals het Slochterenveld, en inmiddels ook van verschillende ondergrondse gasopslagen elders in Nederland. Voor het toekomstige waterstofsysteem is het plan om in het noorden van Nederland een waterstofopslag in ondergrondse zoutcavernes in te richten.

Op het elektriciteitsnet zorgen centrales, die goed regelbaar zijn, er nu grotendeels voor dat het aanbod de vraag kan volgen. Dit verandert met de opkomst van zon en wind, waarvan het aanbod niet goed regelbaar is. Bijvoorbeeld opslag biedt juist flexibiliteit door aanbod vast te houden voor vraag op een later moment. Flexibiliteit kan ook congestie voorkomen, waarbij vraag en aanbod er op het moment in kwestie misschien wel zijn, maar elkaar niet kunnen bereiken. Of flexibiliteit schakelt tussen energiedragers. Flexibiliteit draagt niet automatisch bij aan het oplossen van de mismatch tussen vraag en aanbod of netcongestie, hiervoor zijn de juiste stuursignalen nodig.

In deze studie nemen we voor de doorrekening van het 2030 Klimaatakkoord Scenario geen flex mee. Voor de vier 2050-scenario's sluiten we wat betreft inzet van flexmiddelen aan op II3050. Daarin wordt onderscheid gemaakt tussen systeemflex en plaatsgebonden flex. Systeemflex behelst grote voorzieningen zoals centrales, elektrolyse gekoppeld aan wind op zee, gasopslag en grootschalige installaties met systeembatterijen. Systeemflex is regelbaar ten behoeve van de ontlasting van de energienetten. Plaatsgebonden flex behelst curtailment van zon-pv, power-to-heat in de industrie en voor warmtenetten, warmteopslag, hybride ketels in industrie en gebouwde omgeving die kunnen schakelen tussen warmte uit gas en uit elektriciteit, slim laden van mobiliteit, en ondergrondse pompaccumulatie (OPAC¹⁹). De systeemflex is overgenomen uit II3050, terwijl we aan de plaatsgebonden flex in Zuid-Holland in deze studie zelf invulling hebben gegeven.

4.4.1 Systeemflex

In II3050 is, in grote lijnen, de volgende analyse gedaan. Per scenario is de residuele belasting bekeken op landelijk niveau, waarbij plaatsgebonden flexmiddelen al inbegrepen zijn.

¹⁹ OPAC is onderdeel van de plaatsgebonden flexmiddelen in II3050 en daarom hier genoemd, maar wordt niet toegepast in Zuid-Holland.

Op basis van de residuele belasting wordt een inschatting gemaakt van de mogelijkheid om vraag en aanbod te vereffenen via interconnectie met het buitenland. Daarna wordt gekeken of de verschillen tussen vraag en aanbod binnen Nederland kunnen worden opgelost. In geval van een aanbodoverschot wordt 20% curtailment toegepast, wat wil zeggen dat het aanbod wordt afgekapt op 80% van de hoogste aanbodpiek. Hierdoor wordt voorkomen dat grote transportcapaciteiten nodig zijn voor aanbodpieken die zelden voorkomen, terwijl er relatief weinig energie verloren gaat (uiteraard heeft dit wel een impact op de businesscases van de installaties). De resterende residuele belasting kan zowel overschotten als tekorten kennen. Door een 24-uursgemiddelde hiervan te nemen kan de inzet van de flexmiddelen met een meer langetermijnkarakter worden bepaald. De langere overschotten gaan naar power-to-gas (elektrolyzers), de tekorten zijn voor gas-to-power (gas-/waterstofcentrale). De kortdurende fluctuaties die overblijven kunnen worden opgevangen door systeembatterijen, die zo veelal cycli maken van opladen en ontladen binnen een dag.

Vervolgens moeten de installaties (power-to-gas, gas-to-power en batterijen) een plek toegewezen krijgen. Dit gaat in eerste instantie naar rato van overschotten en tekorten per hoofdstation in het hoogspanningsnet. De onbalans wordt dan opgelost waar die ontstaat en de transporten door het hoogspanningsnet blijven beperkt. Wel zijn transporten en buffering van gas nodig. Elektriciteitsoverschotten zijn het grootst waar wind op zee aanlandt, dus dat is de plek voor elektrolyzers. Tekorten zijn het grootst bij steden en industrie; hier wordt voor de locaties aangesloten bij die van huidige centrales en aanvullend bij koppelstations tussen TenneT en regionale netbeheerders. Dat zijn ook geëigende plekken voor de batterijen vanuit de optiek om elektriciteitstransporten zo klein mogelijk te houden.

Disclaimer scenario's met flex voor 2050

Er past een disclaimer bij de resultaten van de scenario's met flex. Bij de analyse van de resultaten bleek dat twee flexopties de knelpunten vergroten in plaats van verminderen.

Ten eerste de systeembatterijen ('systeemflex'). Deze zijn geplaatst bij de koppelstations met als bedoeling om kortdurende schommelingen in de residuele belasting achter het station op te vangen in plaats van die schommelingen naar het hoogspanningsnet door te geven. Het profiel van de systeembatterijen in het rekenmodel is echter afgestemd op landelijke residuele belasting, en dit blijkt vaak niet goed aan te sluiten op het profiel van de vraag en het aanbod achter een specifiek koppelstation, met als gevolg dat pieken groter worden in plaats van kleiner. Ten tweede de verschuiving van hybride systemen naar elektrische verwarming op momenten van overschot van aanbod in Zuid-Holland ('plaatsgebonden flex'). Een vergissing heeft geleid tot te grote extra elektriciteitsvraag in de dataset die door de netbeheerders is doorgerekend. De resultaten van TenneT zijn mede door deze twee factoren bepaald. Deze fouten zijn kwalitatief meegewogen bij de analyse van de resultaten. De grote lijnen van de uitkomsten van de doorrekeningen veranderen niet door de bovenstaande punten. Het bovenstaande is alleen van toepassing op de doorrekeningen voor 2050, voor 2030 is geen flex meegenomen.

In de landelijke systeemstudie (II3050) die parallel aan deze studie is uitgevoerd, is gerekend met een verbeterde methode van systeemflex toewijzing. Uit een vergelijk tussen de oude en nieuwe berekening binnen de II3050 studie is gebleken dat de vraagpieken gemiddeld met zo'n 15% dalen, ten opzichte van de eerdere berekening. Deze berekening is gedaan voor één van de scenario's (Nationale sturing) en laat zien dat de pieken tussen de 0 en 40% dalen op het koppelpunt niveau. De gemiddelde daling bedraagt dus 15%. Gezien het feit dat deze systeemstudie Zuid Holland en de landelijke studie II3050 op min of meer vergelijkbare scenario's is gebaseerd, is het aannemelijk dat zo'n effect ook in de systeemstudie bij een nieuwe doorrekening zal plaatsvinden.

Dit betekent overigens niet dat het aantal knelpunten met 15% daalt, want de beperktere stijging van de piek kan en zal in veel gevallen ook tot een knelpunt leiden in de huidige infrastructuur. In een vervolgstudie zal nogmaals berekend moeten worden welk vermogen er per scenario op een koppelpunt verwacht wordt.

4.4.2 Plaatsgebonden flex

Voor plaatsgebonden flex is een aantal onderdelen meegenomen. De eerste is power-to-heat. Op momenten van overschot vanwege groot decentraal aanbod in Zuid-Holland, is er de optie om elektriciteit om te zetten naar warmte. Dit betekent dat hybride installaties in gebouwde omgeving, industrie, en land- en tuinbouw overschakelen van gas naar elektriciteit. De warmte kan ook gevoed worden aan warmtenetten en er kan seizoensopslag plaatsvinden. Dat betekent dat op piekmomenten minder bijstook nodig is, oftewel een effectiever gebruik van geothermie en restwarmte. Bovendien is in alle scenario's een bijdrage van zonthermie aangenomen. Een analyse op basis van eerder onderzoek laat zien dat het technisch waarschijnlijk mogelijk is om de aangenomen opslag te realiseren. Echter, gezien de omvang van de opslagbehoefte gaat dit om veel projecten, wat uitdagingen oplevert op het gebied van realisatietijd en ruimtelijke inpassing. Meer informatie over de aangenomen seizoensopslag en de technische mogelijkheden om dit te realiseren staat in Bijlage D.3.

Voor mobiliteit zijn de laadprofielen gewijzigd: er kan meer verspreid worden geladen – niet alle auto's hoeven na thuiskomst van werk meteen te worden opgeladen, zo lang ze de volgende ochtend maar weer paraat staan – en er kan worden geladen in reactie op de systeembalans, oftewel bij overschotten in elektriciteitsaanbod. Er is met *vehicle-to-grid* meer potentie voor flexibiliteit met EV's, maar dit kan op verschillende manieren worden ingezet en is in deze studie niet opgenomen.

Ten slotte is op aanbod van zon-pv curtailment toegepast, zowel zon op dak als zonneparken. Pieken hoger dan 67% van het opgestelde vermogen worden afgekapt. Omdat zulke pieken maar beperkt voorkomen en kortdurend zijn, blijft – in ieder geval met gehanteerde profiel – 96% van de opgewekte energie behouden.

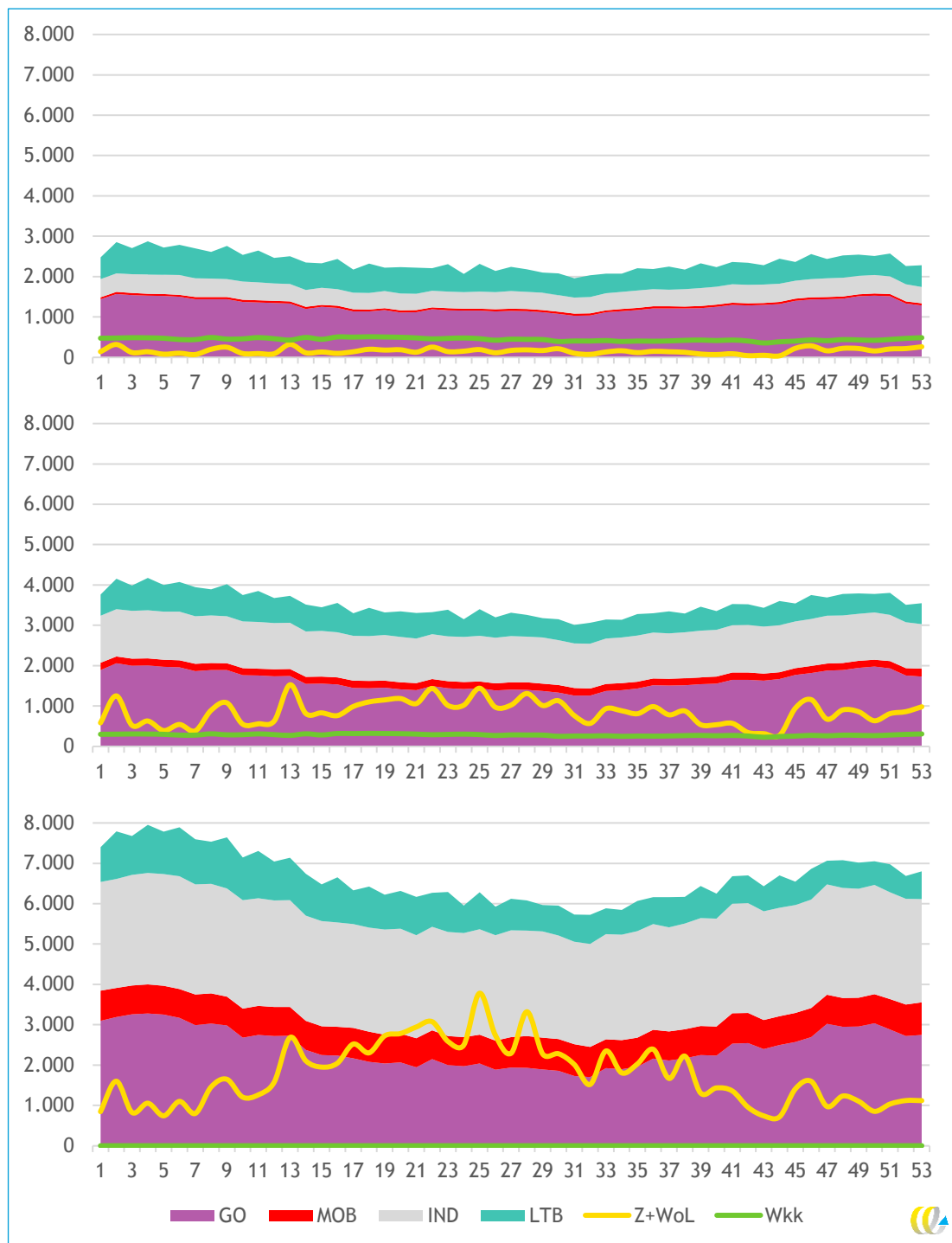
4.5 Van energievolumes naar vermogens

In deze studie gaat het uiteindelijk om de impact van de scenario's op de netten, en daarvoor moeten we inzoomen van jaarlijkse energievraag (PJ/jr) op de uurlijkse vermogens (MW). Volgende figuur zet een tussenstap via weekgemiddelden in de elektriciteitsvraag en laat de evolutie zien van 2020 naar 2030 naar 2050 Nationale Sturing. Daarna bespreken we hoe plaatsgebonden flex de piekvermogens beïnvloedt.

De weekgemiddelde vermogens zijn niet maatgevend, maar vertellen wel iets over de evolutie en over seizoenspatronen. We zien dat de vermogensvraag elektriciteit van alle vraagsectoren in Zuid-Holland groeit met ruim een derde tussen 2020 en 2030, en dat de vermogensvraag in 2050 nog veel verder kan toenemen, tot ongeveer een factor drie van de huidige vraag in scenario Nationale Sturing. De industrie gaat een groter deel uitmaken van de elektriciteitsvraag. Hetzelfde geldt voor mobiliteit, maar de elektriciteitsvraag van mobiliteit wordt niet groter dan een kwart van die in de gebouwde omgeving.

Ook te zien is dat opwek van zon-pv en wind op land nergens structureel de vraag overstijgt. Dit kan lokaal wel het geval zijn, of op enkele uren binnen een week, maar in Zuid-Holland is de vraag veel bepalender dan aanbod vanuit decentrale opwek. Dit is anders dan andere regio's waar systeemstudies voor zijn uitgevoerd, zoals Zeeland, Limburg, Overijssel en Groningen/Drenthe. Zuid-Holland is relatief een sterk verstedelijkte en geïndustrialiseerde provincie en zal ook in de toekomst meer worden getekend door de elektriciteitsvraag dan door lokale elektriciteitsproductie.

Figuur 22 - Weekgemiddelde elektrische vermogens in resp. 2020, 2030 en 2050 Nationale Sturing (MW)



Hoe pakt de plaatsgebonden flex uit? Daarvoor kunnen we naar de piekvermogens per sector kijken, weergegeven in Tabel 9. We zien het volgende:

- De vraagpieken vanuit de gebouwde omgeving nemen iets toe vanwege power-to-heat. Die wordt ingezet op momenten van overschot vanuit zon en wind, en ontlast later de vraagpieken op de warmtenetten. De gebouwde omgeving heeft inclusief power-to-heat een hogere elektriciteitsvraag, maar omdat dit op momenten van overschot valt, zal dat de belasting van de elektriciteitsnetten juist verlichten, behalve tussen de plekken met zon-pv of windmolens en de plekken waar de power-to-heat geïnstalleerd is.
- Bij mobiliteit vallen de pieken iets hoger uit door flex, maar wel op momenten die beter in de pas lopen met de systeembalans.
- In de industrie is te zien dat er in 2030 tot 300 MW aan flexibel vermogen extra in te zetten is, in 2050 Regionale, Europese CO₂- en Internationale Sturing is dat circa 700 MW, en in scenario 2050 Nationale Sturing 1.300 MW.
- In de glastuinbouw kunnen overschotten van elektriciteit gebruikt worden voor de productie van warmte (power-to-heat). Gezien de warmtetechnieken speelt dit vooral in 2050-scenario Regionale Sturing.
- Bij decentrale, hernieuwbare opwek zien we het effect van curtailment op zon-pv. In het scenario Regionale Sturing, met de meeste zon-pv, leidt dat ertoe dat er tot ruim 3 GW minder door het net hoeft te worden opgenomen.

Tabel 9 - Vermogenspieken per sector met en zonder plaatsgebonden flex (GW)

	2020	2030	Reg	Nat	Eur	Int
Gebouwde omgeving	2,4	2,9	3,8	4,5	3,9	4,0
<i>met flex</i>		2,9	4,2	4,5	4,2	4,7
Mobiliteit	0,1	0,3	1,1	1,2	1,2	0,9
<i>met flex</i>		0,3	1,2	1,3	1,3	1,1
Industrie	0,6	1,3	2,4	3,0	2,0	2,1
<i>met flex</i>		1,6	3,1	4,3	2,7	2,8
Land- en tuinbouw	1,0	1,0	1,5	2,0	1,8	1,5
<i>met flex</i>		1,0	1,7	2,0	1,8	1,5
Zon-pv en wind op land	0,6	4,0	12,6	10,2	6,1	4,9
<i>met flex</i>		4,0	9,5	7,6	4,7	3,6

5 Impact op systeem en infrastructuur

In dit hoofdstuk worden eerst de verschillende huidige (energie)infrastructuren beschreven. Vervolgens wordt per infrastructuur ingegaan op de impact van de energietransitie.

De komende 30 jaar zijn grote uitbreidingen van de energie-infrastructuur noodzakelijk om de energietransitie te faciliteren, wat een grote uitdaging zal zijn. Dit is niet nieuw, ook de afgelopen decennia heeft al een grote groei plaatsgevonden in de energie-infrastructuur. Elektriciteitsinfrastructuur krijgt relatief veel aandacht, omdat juist bij de elektriciteits-infrastructuur de gevolgen van de energietransitie het grootst zijn.

5.1 Impact op het systeem

De keuzes die in de scenario's voor de invulling van de energiebehoeften van de verschillende sectoren zijn gemaakt hebben impact op het systeem als geheel. In dit hoofdstuk staan die systeemimpacts beschreven per sector. Omdat de impacts op de infrastructuren worden bepaald door de systeemeffecten van alle sectoren gezamenlijk, wordt in paragraaf 5.1.5 ingegaan op drie soorten voorbeeldgebieden.

5.1.1 Gebouwde omgeving

De totale impact van de gebouwde omgeving op het systeem neemt enerzijds toe als gevolg van de netto groei²⁰ van het aantal gebouwen, van de aangenomen netto groei van 0,7% per jaar van het elektriciteitsgebruik van apparaten en verlichting, en van de aangenomen groei van de datacentersector. Dit telt op bij de groeiende elektriciteitsvraag van de andere sectoren, zoals mobiliteit en industrie. Anderzijds neemt die impact af door verdergaande energie-efficiëntie (isolatie) van gebouwen. Daarvoor zijn minimum schillabels in 2030 aangenomen, en een verdergaande aanscherping tussen 2030 en 2050.

De vraag naar methaan (nu aardgas, in de toekomst groengas) neemt sterk af tussen nu en 2050, waardoor capaciteitsruimte ontstaat in de gasnetten op alle drukniveaus, en delen van de gasdistributienetten zelfs verwijderd zullen worden. In 2050 is er in twee van de vier scenario's rekening gehouden met waterstof distributie in de gebouwde omgeving. Om dat mogelijk te maken is een 'gastransitie' nodig, een systeemtransitie waarbij de aangesloten tenen op dat deel van het gasnet op eenzelfde moment overstappen van methaan naar waterstof. Hoe dat precies in zijn werk zal gaan is nu nog niet bekend en vergt nader onderzoek. En de waterstof moet uiteraard ergens vandaan komen, hetgeen een waterstoftransportinfrastructuur vergt.

Er is van uitgegaan dat alle gebouwen een elektriciteitsaansluiting hebben en houden. In buurten waar voor de warmtevoorziening wordt overgegaan van methaan naar elektrische warmtepompen kan het zijn dat de capaciteit van de bestaande elektriciteitsnetten niet meer toereikend is. Op diezelfde (LS- en MS-)netten vindt ook in toenemende mate elektrisch laden van mobiliteit als extra capaciteitsvraag plaats. Die extra belasting is er op de

²⁰ Netto groei is: groei minus sloop. Nieuwe gebouwen zijn overigens in het algemeen zwaarder geïsoleerd dan bestaande oude gebouwen.

lagere netvlakken in de gebouwde omgeving, maar werkt door naar de hogere netvlakken. Flexmiddelen kunnen die impact dempen, mits gekoppeld aan een stuursignaal dat rekening houdt met de lokale infrastructuurcapaciteit. De extra zware gebouwisolatie die nodig is bij toepassing van elektrische warmtepompen heeft weer een dempend effect op de impact omdat de totale energievraag voor verwarming daardoor afneemt. Hybride warmtepompen nemen daarbij een tussenpositie in: de basisvraag wordt ingevuld met de elektrische warmtepomp, maar de piekvraag met een gasgestookte hr-ketel op groengas of waterstof.

Voor gebieden die overschakelen op warmtelevering moeten warmtenetten worden aangelegd dan wel uitgebreid. Ook hier is sprake van een systeemtransitie. Vanuit het oogpunt van kosten voor de maatschappij is het onwenselijk om in een gebied slechts enkele gebouwen op het warmtenet aan te sluiten. Omgekeerd is het om dezelfde reden onwenselijk om slechts enkele gebouwen in een gebied aangesloten te laten op een gasnet.

5.1.2 Mobiliteit

De omvang van personenmobiliteit, en daarmee van de totale impact op het systeem, is gevarieerd in de 2050-scenario's van een krimp van 0,25% per jaar tot een groei van 1,25% per jaar. Een verandering van 1% per jaar betekent een verandering van 35% over 30 jaar. Die groei wordt gedempt (en de krimp versterkt) door een efficiëntieverbetering. Voor de invulling van de energiebehoefte van personenmobiliteit is in de scenario's gevarieerd tussen toenemende elektrificatie (scenario's Regionale en Nationale Sturing), en waterstof als brandstof (scenario's Europese- en Internationale Sturing). Beide hebben uiteraard verschillende impacts op het systeem. Het laden van de elektrische auto's gebeurt thuis of op kantoor met een belasting op het laagspanningsnet, of bij snelladers of laadpleinen die rechtstreeks op het middenspanningsnet aansluiten. Het laden geeft de mogelijkheid om dat slim in te zetten zodat de impact op het elektriciteitsnetwerk zo gering mogelijk is. Zoals in Figuur 22 af te lezen valt is de impact van mobiliteit op de totale energievraag in Zuid-Holland beperkt ten opzichte van die van gebouwde omgeving en industrie. Lokaal kan dat echter wel een dominant effect hebben.

Voor de scenario's waarin waterstof wordt getankt geldt dat die waterstof er wel moet zijn. Het bevoorraden van de tankstations kan zowel per tankauto of via waterstofleidingen. De praktijk is dat tussen beide mogelijkheden gekozen wordt op basis van een businesscase, die afhankelijk is van de omvang van de vraag. De tankauto heeft een relatief lage investering maar hoge operationele kosten, bij de leidingen is dat net andersom.

Voor goederenvervoer over de weg wordt sterker ingezet op waterstof in de twee elektriciteitsrijke scenario's terwijl in Europese en Internationale Sturing in toenemende mate wordt ingezet op biobrandstoffen. Voor binnenvaart speelt bioLNG als energiedrager een grote rol, met name in het scenario Internationale Sturing. Zeescheepvaart zal in de scenario's vooral gebruikmaken van synthetische (vloeibare) brandstoffen.

5.1.3 Industrie

De omvang van de industrie is gevarieerd van krimp van 1% per jaar naar groei van 1% per jaar. Verder is uitgegaan van 1% per jaar efficiëntieverbetering. Voor de elektriciteitsrijke scenario's Regionale en Nationale Sturing wordt sterk ingezet op elektrificatie en waterstof voor energiegebruik. Dit leidt tot toename van de capaciteitsvraag aan de elektriciteitsnetten in de industrieregio's, en tot de behoefte aan waterstofinfrastructuur, al richting 2030. De industrie biedt ook flexmogelijkheden, met bijvoorbeeld power-to-heat-conversie. In de scenario's Europese Sturing en Internationale Sturing is meer ruimte voor biomassa en groengas in energiegebruik; het groengas vergt (continuering van) methaannetten. Ook is toepassing van CCS (Carbon Capture en Storage) in die scenario's

aangenomen in 2050, met continuering van grondstofstromen op basis van aardolieproducten. Voor CCS is CO₂-transportinfrastructuur nodig.

5.1.4 Glastuinbouw

Zuid-Holland kent een omvangrijke glastuinbouwsector. Die wordt gekenmerkt door een vraag naar warmte, licht (elektriciteit) en CO₂, die nu typisch lokaal worden geproduceerd met wkk's uit aardgas. Ook zijn er veel gasketels voor de warmtevoorziening. In de toekomst zal dit veranderen, door modernisering en besparing, de opkomst van geothermie, warmtenetten uit restwarmte en andere technieken zoals warmtepomp met wko. De warmtevraag zal 1,6% per jaar dalen en de elektriciteitsvraag met 0,5% per jaar stijgen. Voorwaarde voor een systeemtransitie naar een glastuinbouw zonder aardgas c.q. groengas is de aanvoer van CO₂ naar de kassen.

5.1.5 Systeemimpacts in drie voorbeeldgebieden

Om de samengestelde effecten van de scenariokeuzes op het systeem te zien kijken we naar drie voorbeeldgebieden, elk met een eigen signatuur qua energiebehoefte:

- hoogstedelijk gebied (koppelpunt Rotterdam Centrum);
- landelijk(er) gebied (koppelpunt Gouda);
- industrieel gebied (koppelpunt Botlek).

Tot slot tonen we de impact van decentrale opwek. Veel systeemimpacts laten zich het makkelijkst tonen aan de hand van de verschillen tussen scenario's in hun effecten op de elektriciteitsinfrastructuren.

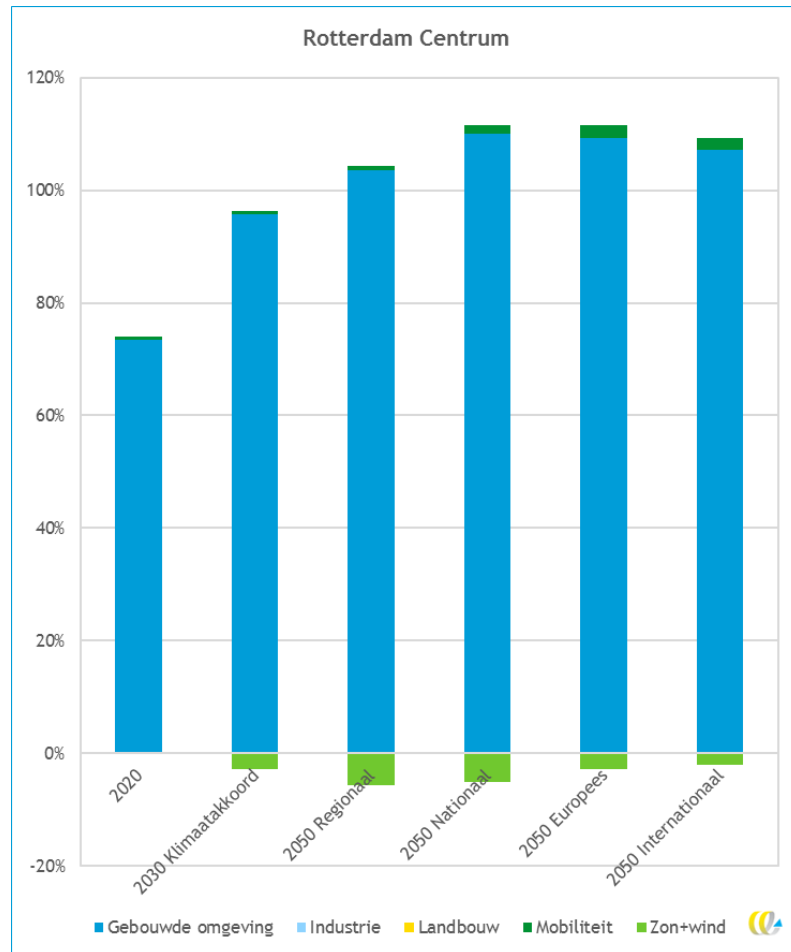
De scenario's met flex zijn getekend door de manier waarop flex is gemodelleerd.

Hier kijken we waar mogelijk doorheen en zien de volgende systeemeffecten:

- In de steden is de elektriciteitsvraag van gebouwde omgeving zeer dominant en verantwoordelijk voor het ontstaan van knelpunten op alle niveaus van laagspanning tot de koppelstations. Dit is te zien in de volgende figuur waarin de piekbelasting van de koppelpunten Rotterdam Centrum opgesplitst is per sector voor elk scenario²¹. Wat opvalt is dat de invloed van elektrische mobiliteit op de piekbelasting zeer beperkt is.

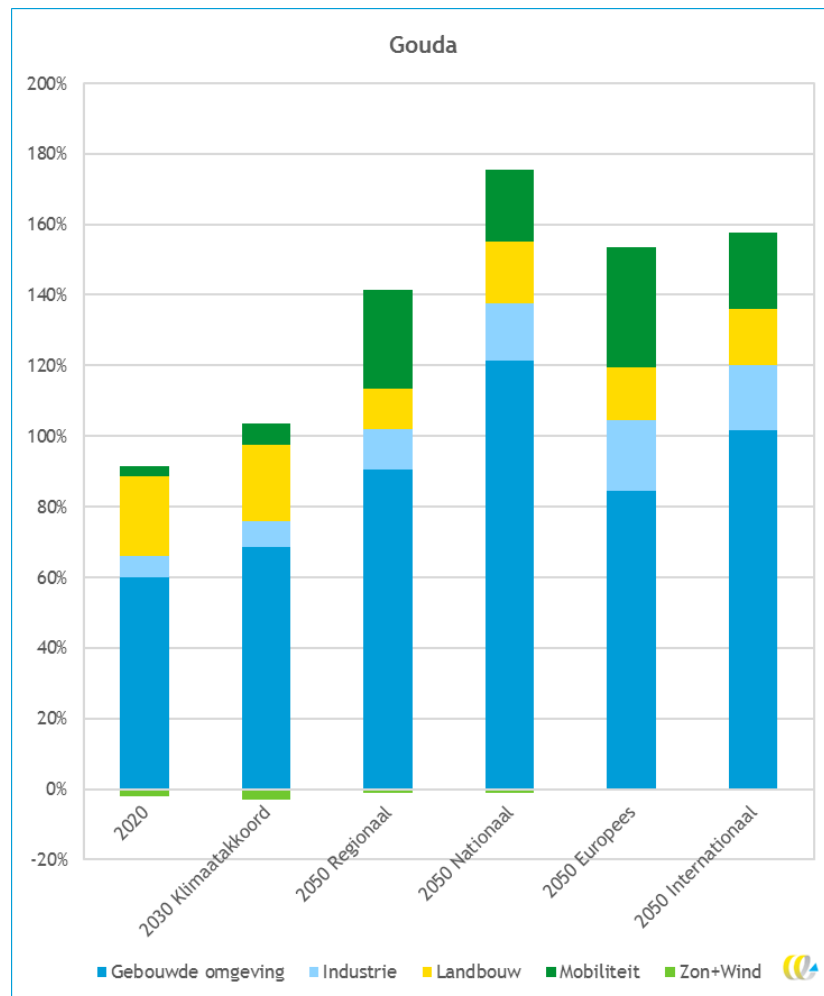
²¹ Het gaat hier om de verdeling van de belasting op het moment in het jaar met de hoogste belasting. Dit geeft dus niet de gemiddelde verhouding tussen de sectoren weer.

Figuur 23 - Opsplitsing piekbelasting koppelstation Rotterdam Centrum (hoogstedelijk gebied)



- In andere hoogstedelijke gebieden zoals Den Haag en in de noordzijde van Rotterdam zijn wel knelpunten vanwege toenemende vraag, maar deze blijven relatief beperkt vanwege de inzet van warmtenetten. De bovenstaande figuur laat dat zien. De belasting op het koppelpunt van Rotterdam Centrum – waarin veel warmtelevering wordt toegepast in alle scenario's – neemt relatief weinig toe ten opzichte van die bij andere koppelpunten.
- In minder verstedelijkte gebieden is de vraag van de gebouwde omgeving minder dominant. De volgende figuur toont de opsplitsing van de piekbelasting van koppelpunt Gouda.

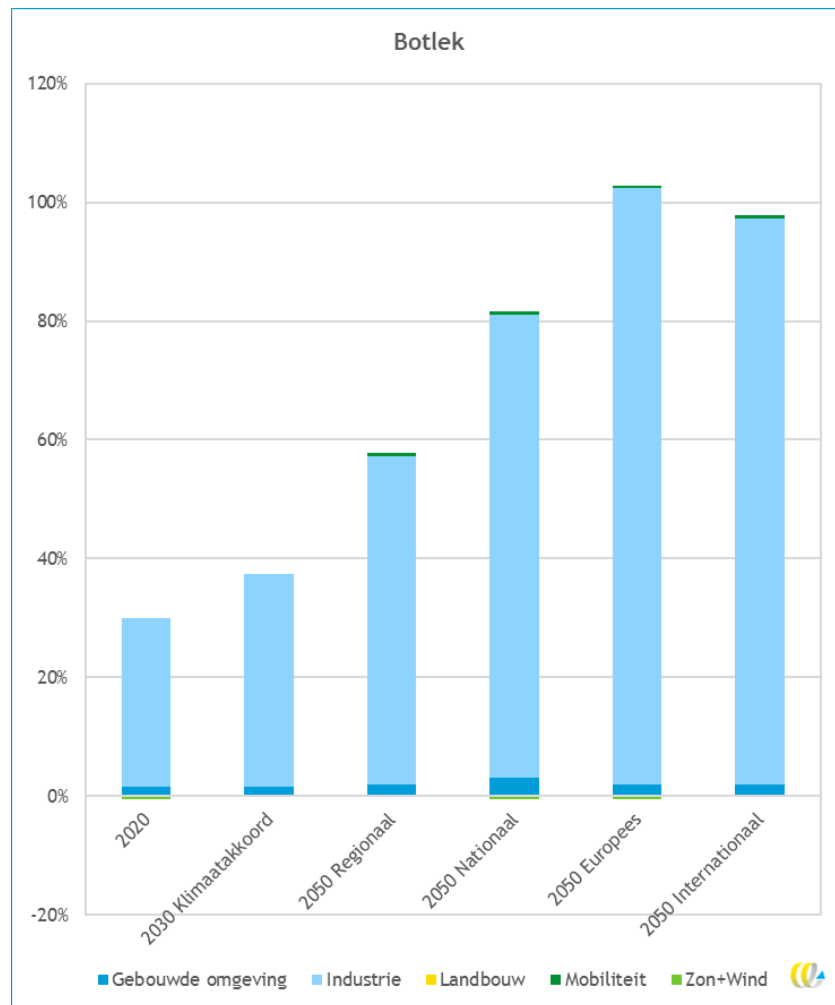
Figuur 24 - Opsplitsing piekbelasting koppelstation Gouda (landelijk gebied)



- In minder hoogstedelijke gebieden is elektrificatie in de gebouwde omgeving een meer vooraanstaande optie dan warmtenetten, maar hierdoor ontstaan daar zware knelpunten. Het is te zien in de opsplitsing van koppelstation Gouda dat de belasting van de gebouwde omgeving tot twee keer zo hoog wordt als huidig.
- Wat ook opvalt is dat de piekbelasting in scenario Nationale Sturing het hoogst is. Dat is het scenario met de grootste inzet van elektrische warmtepompen. De andere drie scenario's hebben een beduidend lagere piekbelasting, elk door andere systeemkeuzes die in die scenario's zijn gemaakt. Vergelijken we bijvoorbeeld scenario Nationale Sturing met Regionale Sturing dan is het effect zichtbaar van de systeemkeuze voor warmtenetten ten opzichte van elektrische warmtepompen.

Elektrificatie in de industrie kan leiden tot knelpunten in de industriegebieden op midden-spanningsniveau en hoger. De verschillen in deze gebieden zijn relatief groot. De knelpunten in industriegebieden zijn bij de regionale netten minder sterk dan de knelpunten in stedelijke gebieden. De volgende figuur geeft de piekbelasting van koppelstation Botlek, waar alleen in scenario Europese Sturing sprake is van een knelpunt.

Figuur 25 - Opsplitsing piekbelasting koppelstation Botlek (industrieel gebied)



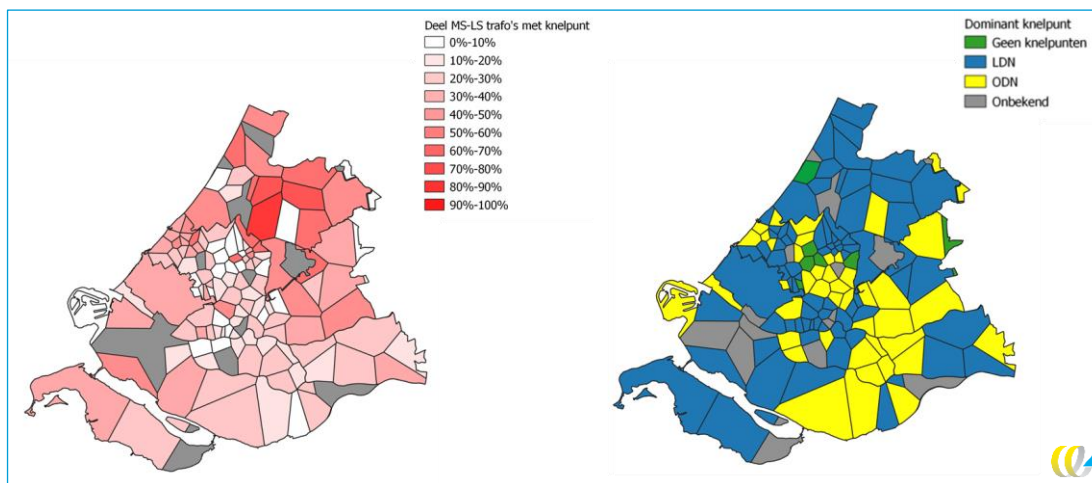
Impact van decentrale opwek

Maximale benutting van de potentie van decentrale opwek, zoals gebeurt in scenario Regionale Sturing, leidt overall tot aanbodknelpunten als geen flex wordt toegepast. Hierop zijn enkele uitzonderingen. Op koppelstations in de regio Den Haag, Zoetermeer, Westland, Delft, Oostland en Schiedam, is ook in dit scenario enkel sprake van vraagknelpunten.

- In een aantal gebieden kunnen op MS-LS-trafo's knelpunten ontstaan bij grote groei van zon-pv op dak, oftewel in scenario Regionale Sturing. Zelfs wanneer flexopties, zoals curtailment, worden toegepast. Het gaat om Den Haag, en gebieden ten noorden en ten oosten van Rotterdam (Pijnacker, Berkel en Rodenrijs, Nieuwerkerk, Ridderkerk).

Figuur 26 toont de aard van de knelpunten bij de MS-LS-trafo's, per TS-station voedingsgebied voor het scenario Regionale Sturing met flex. In landelijk gebied overheersen de aanbodknelpunten (ODN) op dat spanningsniveau, in stedelijke en industriële gebieden de vraagknelpunten (LDN).

Figuur 26 - Visualisatie overbelasting MS-LS-trafo's scenario 2050 Regionale Sturing met flex²²



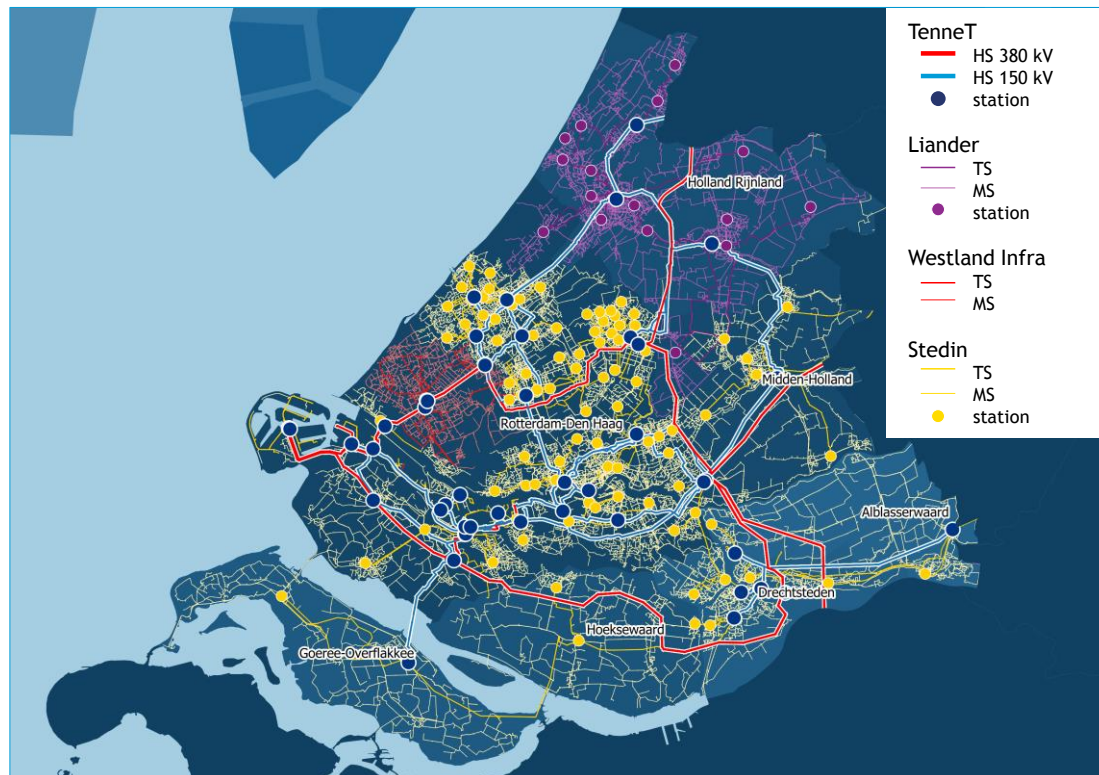
5.2 Huidige (energie)infrastructuren

5.2.1 Elektriciteitsnet

Het elektriciteitsnet kent onderscheid tussen hoog-, midden- en laagspanning. Het hoogspanningsnet met spanningsniveaus in Zuid-Holland van 380 en 150 kV is vooral bedoeld voor elektriciteitstransport. Er zijn centrales op aangesloten, grootschalige duurzame opwek (wind op zee en grootschalige wind op land en zonneparken), grote industrie en het is gekoppeld aan het middenspanningsnet via koppelpunten. Het middenspanningsnet zet de stap van hoogspanning naar distributie, ook het middenspanningsnet kent verschillende spanningsniveaus, vaak wordt het hogere middenspanningsniveau aangeduid als 'Tussenspanning'. Hier takken veel industrie, glastuinbouw, wind- en zonneparken op aan. Ook snellaadstations voor mobiliteit, en zogenaamde 'laadpleinen', worden bijvoorbeeld vanwege hun grote vermogens aangesloten op middenspanning. Het laagspanningsnet is de laatste stap van distributie, met fijnmazige kabelcircuits in de gebouwde omgeving en – diensengevolge – de grootste netlengte. Daar vinden we de belasting van woningen en utiliteitsbouw voor kracht en licht en van aanbod van zon-pv op daken, en van individuele laadpalen van elektrische auto's. Grotere utiliteitsgebouwen en glastuinbouwbedrijven hebben vaak een eigen middenspanningsruimte.

²² Van Liander waren voor deze studie wel aantallen knelpunten per voedingsgebied bekend, maar niet de drivers van elk station.

Figuur 27 - Elektricitetsnet in Zuid-Holland

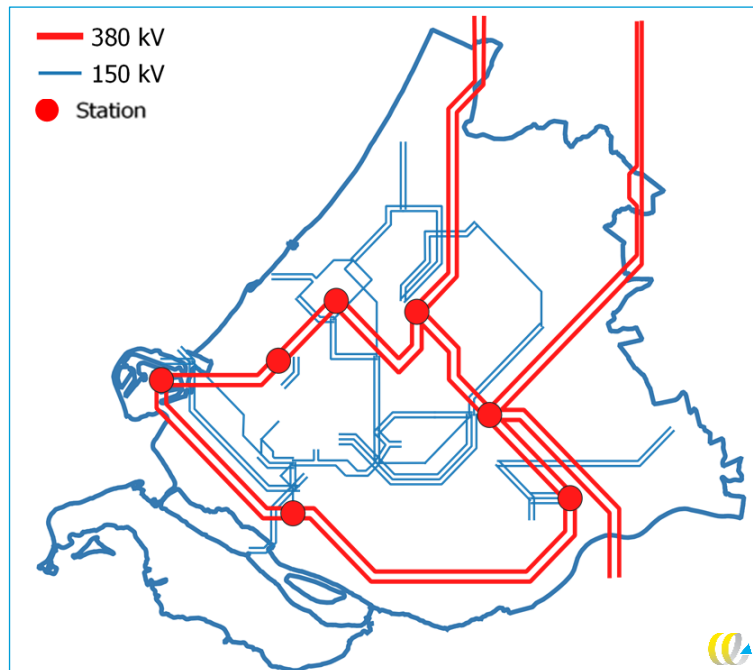


Bron: Netbeheer Nederland, Liander, Westland Infra en Stedin.

Hoogspanningsnet (TenneT)

Het elektriciteitsnet in Zuid-Holland is als volgt opgebouwd, zie ook Figuur 27. Te beginnen bij het hoogspanningsnet dat wordt beheerd door TenneT, zie Figuur 28. Het 380 kV-net, ook 'landelijk koppelnet' genoemd, verbindt alle gebieden in Nederland met elkaar en met het buitenland. Er zijn 380 kV-tracés vanaf de Maasvlakte richting Dordrecht en Krimpen, en richting Wateringen en Bleiswijk. Bleiswijk en Krimpen zijn ook verbonden met een 380 kV-tracé. Zuid-Holland is verbonden via 380 kV-tracés vanuit Krimpen over Gouda richting Diemen, en vanuit Krimpen richting Geertruidenberg. Recentelijk is een nieuw tracé van Bleiswijk over Leiden richting Schiphol (Vijfhuizen) en Beverwijk in gebruik genomen. Op de Maasvlakte komt ook de BritNed-kabel aan land, die het Nederlandse net verbindt met het Britse.

Figuur 28 - Weergave van het 380 kV-net en 150 kV-net (blauw) in Zuid-Holland



Er zijn 150 kV-tracés door heel Zuid-Holland, met verbindingen naar Rotterdam en het havengebied, naar Goeree-Overflakkee, Gouda en Alphen a/d Rijn, Delft, Den Haag en Leiden.

Regionale elektriciteitsnetten

De regionale netbeheerders beheren de lagere netvlakken. Eerst wordt er een tussenstap gezet naar 23 tot 66 kV (tussenspanning), daarna 10-20 kV (middenspanning) en ten slotte laagspanning (400 V). Grof gezegd valt Holland Rijnland onder beheer van Liander, het Westland en Midden-Delfland onder Westland Infra en de rest onder Stedin. We stippen hier enkele knelpunten aan die zij reeds verwachten en plannen waar ze aan werken; voor een volledig overzicht verwijzen we naar hun Investeringsplannen.

- Liander voorziet in zijn Investeringsplan verzwaring van de onderstations Alphen West, Zoeterwoude, Leiden Zuidwest, Leiden Rijksuniversiteit, Leiderdorp, Noordwijk en Leimuiden, waarvoor in de komende jaren eerst de benodigde ruimte moet worden gevonden. Tevens wordt gewerkt aan een nieuw onderstation bij Boskoop en nieuwe invoedingspunten vanuit TenneT in Zuidplaspolder en Leiden Oost.
- Westland Infra noteert momenteel geen knelpunten.
- Stedin voorziet in zijn Investeringsplan en in de interne elektriciteitsmasterplannen een aantal knelpunten, met name Middelharnis (Goeree-Overflakkee), Geervliet (Voorne-Putten), Dordrecht Zuid en diverse plekken bij Rotterdam en het havengebied Rotterdam.

De volgende tabel geeft een overzicht van het aantal elektriciteitsstations, opgesplitst per netvlak. Om een indruk van de grote omvang van het elektriciteitsnet te geven: alleen al de MS- en LS-kabels van Stedin in Zuid-Holland hebben een lengte die bijna net zo groot is als de omtrek van de gehele aarde (i.e. 35.500 km netwerk t.o.v. 40.000 km omtrek van de aarde (aan de evenaar)).

Tabel 10 - Overzicht aantallen huidige elektriciteitsstations van de regionale netbeheerders Zuid-Holland

	Stedin	Liander	Westland Infra	Totaal	Eenheid
Koppelpunten met TenneT	24 ²³	3	2	29	#
TS-MS-stations	101	16	26	143	#
MS-MS-stations			8	8	#
MS-LS-stations	11.411	3.215	1.242	15.868	#

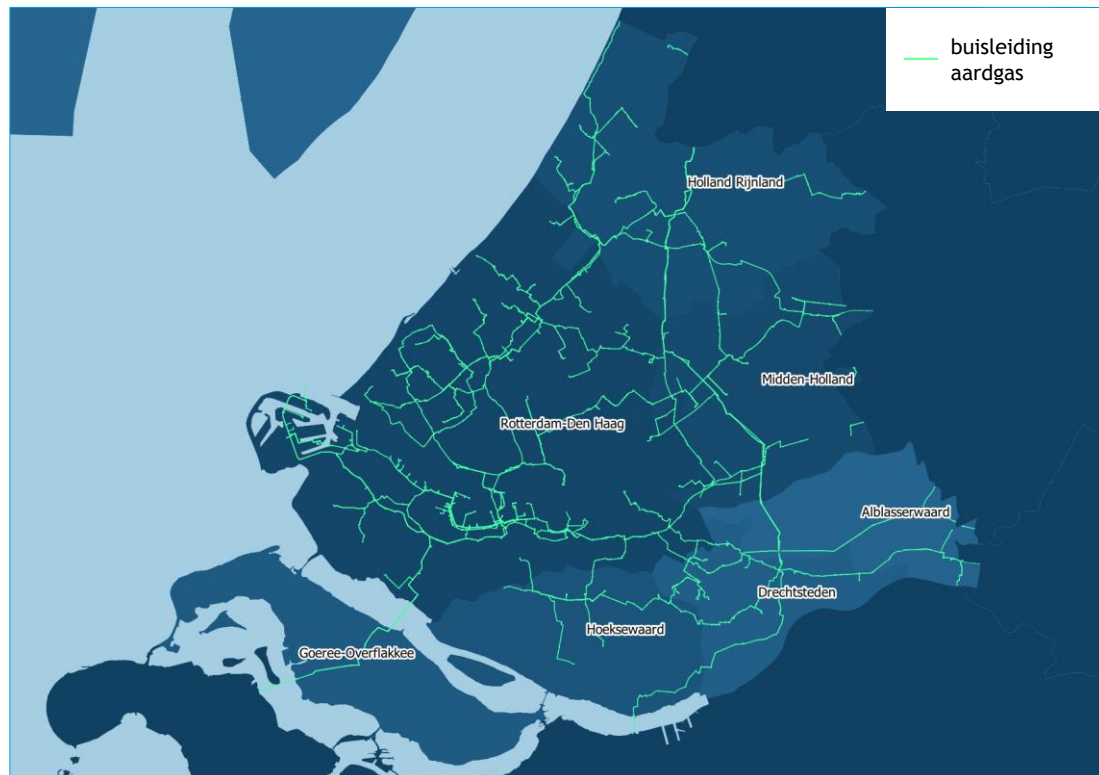
5.2.2 Gasnet

Door heel de provincie zijn er buisleidingen, voor verschillende gassen. Allereerst voor transport en distributie van aardgas. Verder zijn er (private) buisleidingen voor uitwisseling van industriële gassen (waaronder CO₂ en waterstof) en vloeistoffen.

Het Nederlandse publieke 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 en RTL is weer te verdelen in transport van laagcalorisch gas (G-gas), zoals uit het Groningen-gasveld, en hoogcalorisch gas (H-gas), zoals uit kleine gasvelden, import over land en over zee (via LNG-tankers). Het laagcalorische gas wordt in Nederland gebruikt in onder andere de gebouwde omgeving. Het hoogcalorische gas wordt geleverd aan elektriciteitscentrales, raffinaderijen en hoogovens, en het wordt ook met stikstof gemengd tot de kwaliteit van laagcalorisch gas.

²³ Dit aantal is inclusief koppelpunt Tinte (in Stedin-gebied). Dit station is niet goed meegenomen in de berekeningen, en daarom niet meegenomen in de resultaten.

Figuur 29 - Huidige aardgastransportnetten in Zuid-Holland



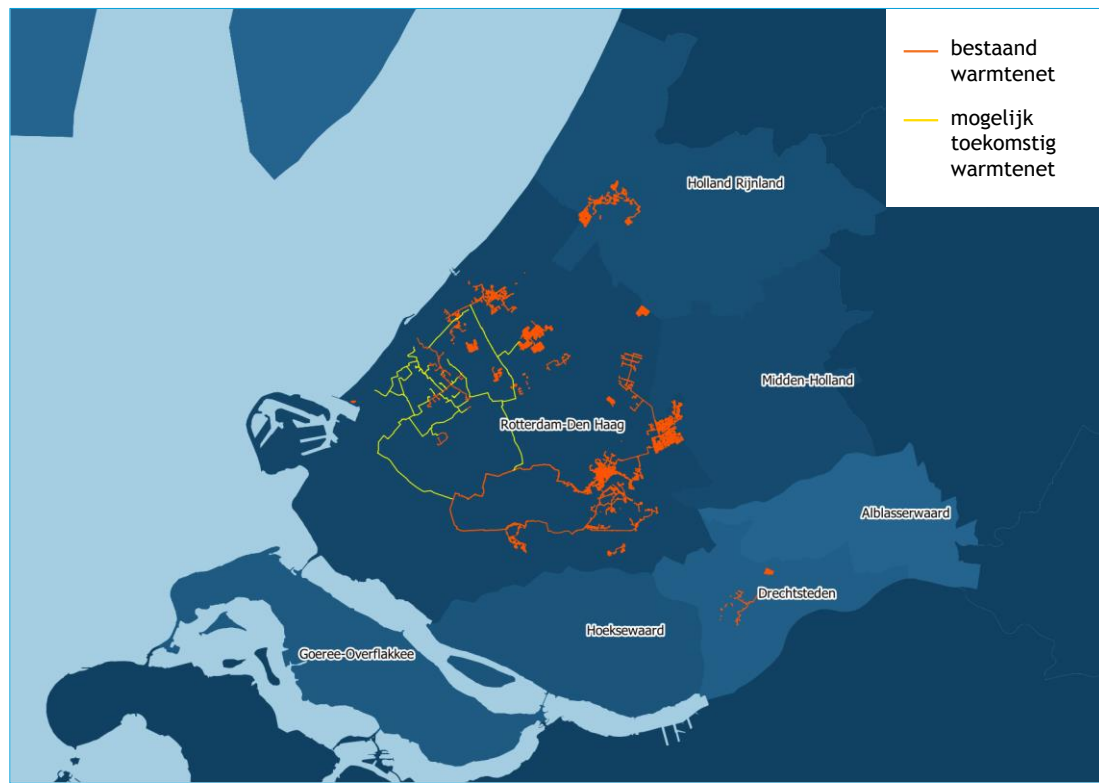
Bron: risicokaart.nl

De regionale netbeheerders zijn verantwoordelijk voor de distributie van laagcalorisch aardgas naar individuele gebruikers. De distributienetten zijn via gasontvangststations (GOS) verbonden met het transportnet. Er zijn geen knelpunten momenteel. Er zit al flexibiliteit in de gasnetten doordat de druk en de dichtheid gefluctueerd kan worden.

5.2.3 Warmtenetten

Op diverse plekken in Zuid-Holland is de gebouwde omgeving aangesloten op een warmtenet. Het gaat bijvoorbeeld om delen van Rotterdam, Den Haag, Leiden en Dordrecht. In de provincie wordt bovendien gewerkt aan uitbreiding en het koppelen van warmtenetten. De hoofdstructuur voor warmte voorziet om te beginnen in een warmtenet rondom Rotterdam. Vandaar zijn aan de westelijke kant een leiding door de Rotterdamse haven en een leiding van de noordkant van Rotterdam via Delft en Rijswijk naar Den Haag voorzien. De mogelijkheid om het Westland aan te takken op de leiding van Rotterdam naar Den Haag wordt onderzocht, alsook het aftakken van de leiding tussen Rotterdam-Den Haag ter hoogte van Rijswijk, die dan via Voorschoten naar Leiden gaat. Ook wordt voor de regio Drechtsteden gewerkt aan de doorontwikkeling van een regionaal warmtenet.

Figuur 30 - Warmtenetten (bron: provincie Zuid-Holland). NB: De in studie zijnde warmtetransportleidingen naar Leiden zijn nog niet opgenomen in deze figuur



5.2.4 CO₂-netten

CO₂-netten zijn een relatief nieuw fenomeen. In Zuid-Holland ligt de OCAP-leiding, het is een leiding in privaat eigendom die CO₂ transporteert dat afkomstig is van enkele industriële bronnen in het Rotterdams havengebied, naar momenteel circa 600 tuinders, grotendeels in Zuid-Holland en daarnaast in het zuidelijk deel van Noord-Holland, die de CO₂ gebruiken als grondstof bij hun teelt.

Daarnaast wordt in het havengebied Rotterdam gewerkt aan het Porthos-project, dat afgevangen CO₂ zal gaan transporteren naar lege aardgasvelden onder de Noordzee. De volgende figuur geeft de huidige en geplande CO₂-infrastructuur in Zuid-Holland weer.

Figuur 31 - Overzicht huidige en geplande CO₂-infrastructuur Zuid-Holland



Bron: www.volkerwessels.com/nl/nieuws/minister-huizinga-geeft-startsein-voor-aanleg-co2-netwerk-in-zuidplaspolder

Er is in deze systeemstudie niet gerekend aan de benodigde capaciteiten van CO₂-infrastructuur. Wel is in de scenario's gekeken naar potentiële vraag in de glastuinbouw naar CO₂ en potentieel aanbod vanuit de industrie. Die cijfers staan in Tabel 11.

Tabel 11 - Overzicht vraag en aanbod van CO₂ in alle scenario's

	2020	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 EU	2050 Int
Vraag CO ₂ glastuinbouw	N.a.	3,6	1,7	1,7	1,7	2,3
Aanbod CO ₂ uit industrie	0,1	1,7	2,9	3,1	2,9	2,3

5.3 Impact op het hoogspanningsnet

TenneT heeft de impact van alle scenario's op het hoogspanningsnet doorgerekend. Voor TenneT zijn met name de scenario's inclusief flex van belang. Bijvoorbeeld een scenario met groot aanbod vanuit wind op zee zonder bestemming (dat is: zonder elektrolyser), zou zeker tot grote onbalans in het elektriciteitssysteem leiden en daarmee niet doorrekenbaar zijn.

Knelpunten elektriciteitsnetten: N-0 en N-1

De netbeheerders van de elektriciteitsnetten houden er rekening mee dat een netonderdeel in onderhoud of in storing kan zijn. De situatie waarin het net volledig in bedrijf is heet de N-0-situatie. In dat geval kan er worden omgeschakeld om een storings- of onderhoudssituatie op te vangen. Een situatie waarin één netonderdeel uit bedrijf is, heet een N-1-situatie. Het kan zijn dat bij de doorrekeningen van de scenario's blijkt dat er geen knelpunten ontstaan in de N-0-situatie, maar wel in de N-1-situatie.

Disclaimer scenario's met flex

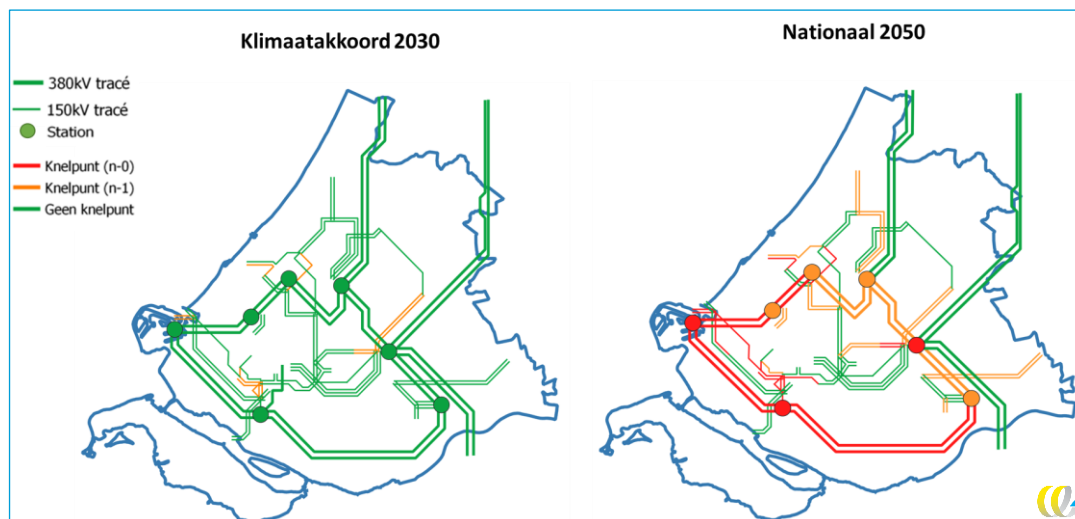
Er past een disclaimer bij de resultaten van de scenario's met flex. Bij de analyse van de resultaten bleek dat twee flexopties de knelpunten verergeren in plaats van verminderen. Ten eerste de systeembatterijen (systeemflex). Deze zijn geplaatst bij de koppelstations met als bedoeling om kortdurende schommelingen in de residuele belasting achter het station op te vangen in plaats van die schommelingen naar het hoogspanningsnet door te geven. Het profiel van de systeembatterijen in het rekenmodel is echter afgestemd op landelijke residuele belasting, en dit blijkt vaak niet goed aan te sluiten op het profiel van de vraag en het aanbod achter een specifiek koppelstation, met als gevolg dat pieken groter worden in plaats van kleiner. Ten tweede de verschuiving van hybride systemen naar elektrische verwarming op momenten van overschot van aanbod in Zuid-Holland (plaatsgebonden flex). Een vergissing heeft geleid tot te grote extra elektriciteitsvraag in de dataset die door de netbeheerders is doorgerekend²⁴. De resultaten van TenneT zijn mede door deze twee factoren bepaald. Deze fouten zijn kwalitatief meegewogen bij de analyse van de resultaten. De grote lijnen van de uitkomsten van de doorrekeningen veranderen niet door de bovenstaande punten. Het bovenstaande is alleen van toepassing op de doorrekeningen voor 2050, voor 2030 is geen flex meegenomen.

Resultaten

De volgende figuur toont de knelpunten van het hoogspanningsnet voor 2030 en voor het scenario Nationale Sturing in 2050, het scenario met de grootste hoeveelheid wind op zee. Het beeld van de overige 2050-scenario's is ongeveer gelijk aan het beeld van het Nationale scenario zij het met minder zware knelpunten. De resultaten van deze scenario's zijn te vinden in Bijlage I.1.

²⁴ Deze vergissing leidt tot overschatting van de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving. Het effect is het grootst in het scenario Internationale Sturing. Hier leidt het in Zuid-Holland gemiddeld tot een overschatting van de elektriciteitsvraag van de Gebouwde Omgeving met 15% en een overschatting van de totale elektriciteitsvraag met 2%. In het scenario 'Nationale Sturing' is het effect nul, omdat daar geen hybride warmtepompen in opgenomen zijn in de gebouwde omgeving.

Figuur 32 - Visualisatie belasting hoogspanningsnet scenario's 2030 Klimaatakkoord en 2050 Nationale Sturing



In 2030 zijn op het 380 kV-net nog geen knelpunten te zien. Op het 150 kV-net kunnen wel knelpunten ontstaan: wanneer het net volledig in bedrijf is dan kunnen alle (gevraagde) transporten worden gefaciliteerd, maar kan niet meer worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve. Een storing (of onderhoud) zou dus niet altijd opgevangen kunnen worden. In technische termen heet dit dat bij N-0 geen knelpunten ontstaan, maar bij N-1 wel. Dit is het geval op een aantal plekken bij de Rotterdamse haven (Geervliet, Merseyweg, Theemsweg, Europoort, Maasvlakte). Het speelt ook bij Den Haag (Den Haag, Rijswijk, Voorburg, Wateringen) en aan de noordoostzijde van Rotterdam (Krimpen a/d IJssel, Ommoord). Dit zijn de oranje tracés in bovenstaande figuur.

In alle scenario's voor 2050 nemen de knelpunten toe in aantal en in mate van capaciteits-overschrijding. Op het 380 kV-net zien we vooral relatief grote transporten vanaf het 380 kV-station Maasvlakte, met invoeding vanuit centrales en bovenal grote aanlanding van wind op zee, naar vraag in de rest van Nederland en mogelijk ook België en Duitsland. In scenario Nationale Sturing is verondersteld dat er 24 GW wind op zee aanlandt op de Maasvlakte, met daartegenover 19 GWe aan elektrolyzers op die locatie. Dan is er nog altijd 5 GW voor transport en dat overschrijdt de beschikbare capaciteit. Met name op het tracé Maasvlakte - Simonshaven - Crayestein - Krimpen a/d IJssel worden knelpunten voorzien (tot maximaal 281% van de huidige capaciteit bij N-1), en in mindere mate ook de tracés Maasvlakte - Westerlee - Wateringen - Bleiswijk. In de andere scenario's zijn de overschrijdingen minder groot maar wel aanwezig. Er is dan minder aanlanding van vermogen wind op zee, maar ook minder elektrolysecapaciteit aangenomen.

Relevant hierbij is dat in de doorrekeningen van Gasunie blijkt dat óók het waterstof-transportnetwerk van de Maasvlakte naar de landelijke 'gasrotonde' knelpunten vertoont in 2050 in de scenario's Nationaal en Internationaal, door de grote hoeveelheden waterstof die in die scenario's moeten worden getransporteerd. Zie ook de analyse van de knelpunten op de gasnetten, bij Paragraaf 5.5.

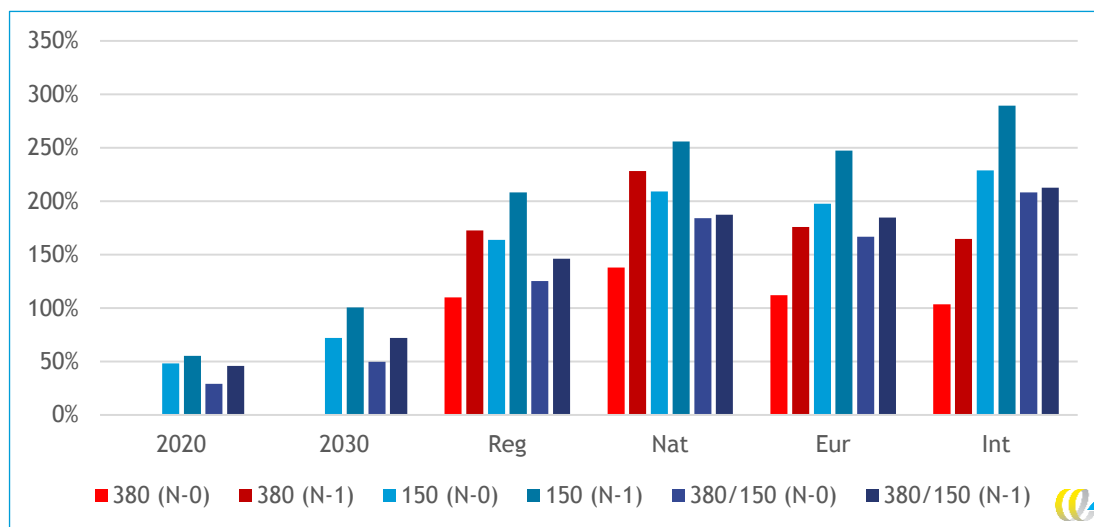
Op het 150 kV-net worden de knelpunten rond de Rotterdamse haven heviger tussen 2030 en 2050. Elektrificatie van de industrie leidt tot grote toename van de elektriciteitsvraag en het 150 kV-net in huidige vorm is daar niet op berekend. Ter illustratie: Botlek-Theemsweg zou in scenario 2050 Nationale Sturing tot maximaal 378% belast worden bij N-0, en tot maximaal 595% bij N-1.

Verder zijn er in 2050 knelpunten rond de stedelijke gebieden: Den Haag, Rotterdam en Gouda, en in mindere mate Zoetermeer en Leiden. Ook dit zijn knelpunten door toename van de vraag. Elektrificatie van vervoer en van verwarming, ondanks dat een groot deel door warmtenetten wordt voorzien in sommige scenario's, leidt tot knelpunten op het 150 kV-net.

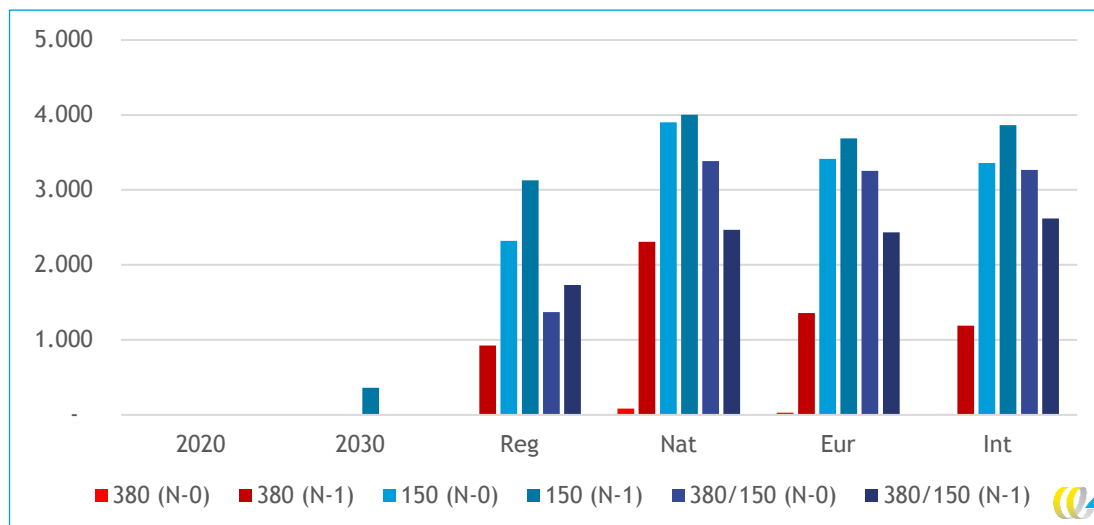
Bij Zoetermeer en Rotterdam (Spaanse Polder en Waalhaven-Zuid) is in de scenario's Nationale en Internationale Sturing de komst van hyperscale datacenters (>100 MW) verondersteld. Dit werkt door op het 150 kV-net bij Zoetermeer en op station Bleiswijk, en op het 150 kV-net rondom stations Marconistraat en Waalhaven. Bij Zoetermeer kan dit op zichzelf leiden tot een knelpunt, bij Rotterdam worden knelpunten erger door de komst van datacenters.

Ten slotte kunnen in 2050 enkele knelpunten ontstaan door toename van aanbod. Op Goeree-Overflakkee, bij Alblasserdam en Arkel, en bij Sassenheim kunnen overschotten vanuit zonneparken en wind op land leiden tot grote transporten op het 150 kV-net, die de huidige capaciteit overschrijden. Dit zijn gebieden in Zuid-Holland met relatief veel potentie voor zulke decentrale opwek, bovendien betreft het drie uitlopers van het 150 kV-net, oftewel drie gebieden die elk door één enkele 150 kV-verbinding (bestaande uit twee 150 kV-circuits) zijn aangesloten. Deze knelpunten zijn er nog niet in 2030. Bij Goeree-Overflakkee vervalt het knelpunt wanneer het aanbod wordt verminderd, op de andere twee locaties kunnen zich echter ook vraagknelpunten voordoen.

Figuur 33 - Gemiddelde piekbelasting op hoogspanningsnet (% van huidige capaciteit)



Figuur 34 - Gemiddeld aantal uren belasting hoogspanningsnet groter dan 100% (u/jr, 1 jaar= 8.760 uur)



5.4 Impact op regionale elektriciteitsnetten

Liander, Westland Infra en Stedin hebben de impact van de scenario's op de regionale elektriciteitsnetten doorgerekend. Het gaat om de koppelstations (HS/TS of HS/MS), substations (TS-MS), middenspanningstations (MS/MS) en eventueel ook de distributiestations (MS-LS). Er zijn 28 koppelstations²⁵, waarvan presenteren we de resultaten uitgesplitst en geprojecteerd op de kaart. Voor de onderliggende niveaus zijn de aantallen te groot en zijn de uitkomsten geaggregeerd tot de verzorgingsgebieden van substations.

We maken onderscheid tussen knelpunten vanwege te grote vraag (LDN, 'levering door netbeheerder') en knelpunten vanwege te groot aanbod (ODN, 'opname door netbeheerder'). De netbeheerders hebben alle drie alle scenario's met flex doorgerekend; de scenario's zonder flex zijn gedeeltelijk doorgerekend.

Disclaimer scenario's met flex

Hier past een disclaimer bij de resultaten van de scenario's met flex, zoals eerder geplaatst bij de impact op het hoogspanningsnet. De systeembatterijen en inzet van het elektrische deel van hybride systemen vertekenen de resultaten²⁶. De systeembatterijen zijn in de doorrekeningen geplaatst bij de koppelstations, en werken daardoor niet door op lagere spanningsniveaus in de regionale elektriciteitsnetten. De hybride systemen werken door op alle niveaus.

Voor de koppelpunten zijn we uitgegaan van de resultaten van doorrekeningen zonder flex voor de vraagknelpunten (LDN) vanwege de problemen met hybride systemen en systeem-batterijen. Bij de aanbodsknelpunten (ODN) is gebruik gemaakt van de doorrekeningen met

²⁵ Eigenlijk 29, maar station Tinte in Stedin-gebied is niet meegenomen in de berekeningen.

²⁶ De vergissing met de hybride warmtepompsystemen leidt tot een overschatting van de elektriciteitsvraag van de Gebouwde Omgeving. Het effect is het grootst in het scenario Internationaal. Hier leidt het in Zuid-Holland gemiddeld tot een overschatting van de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving met 15% en een overschatting van de totale elektriciteitsvraag met 2%. Lokaal op specifieke MS-LS-stations kan het effect echter groter zijn.

flex, aangezien de flexoplossingen (met name curtailment) daar wel het beoogde effect op de resultaten hebben. Bij de doorrekeningen van Liander waren niet voor alle scenario's doorrekening zonder flex beschikbaar, daarom zijn hier de resultaten van de doorrekeningen met flex gebruikt. Het bovenstaande is alleen van toepassing op de doorrekeningen voor 2050, voor 2030 is geen flex meegenomen.

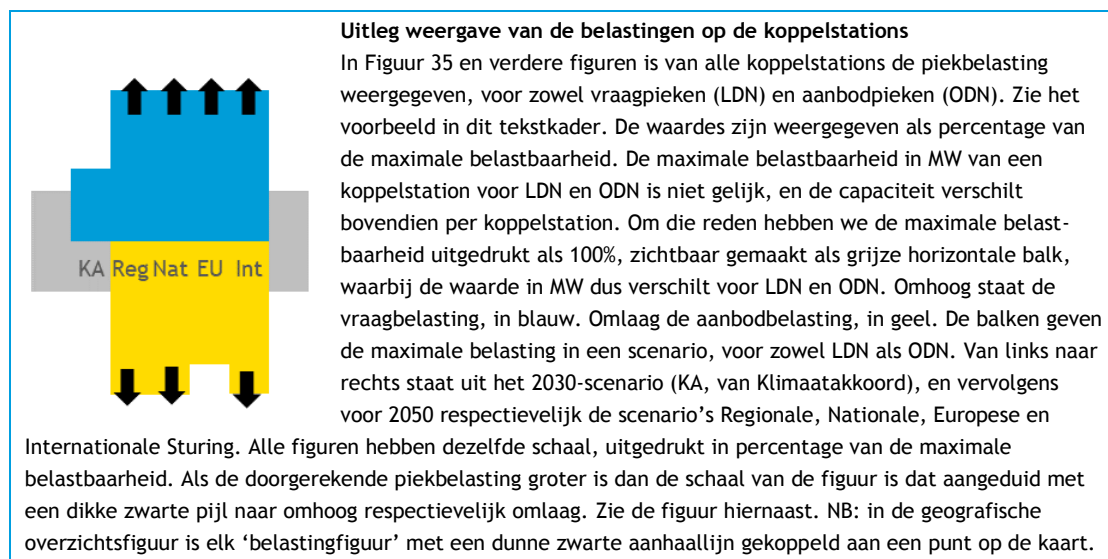
Koppelstations

In 2030 is bij tien van de 28 koppelstations (36%) sprake van een knelpunt, gedefinieerd als belasting groter dan 100% van de huidige capaciteit. Bij het merendeel gaat het om een vraagknelpunt. Daarnaast zitten enkele stations tegen de 100% aan. Decentrale opwek, zoals voorzien in de RES'en en meegenomen in deze studie, lijkt dus niet leidend voor netverzwaring op het niveau van de koppelstations. Bij één station is er in 2030 sprake van een aanbodknelpunt, namelijk station Europoort.

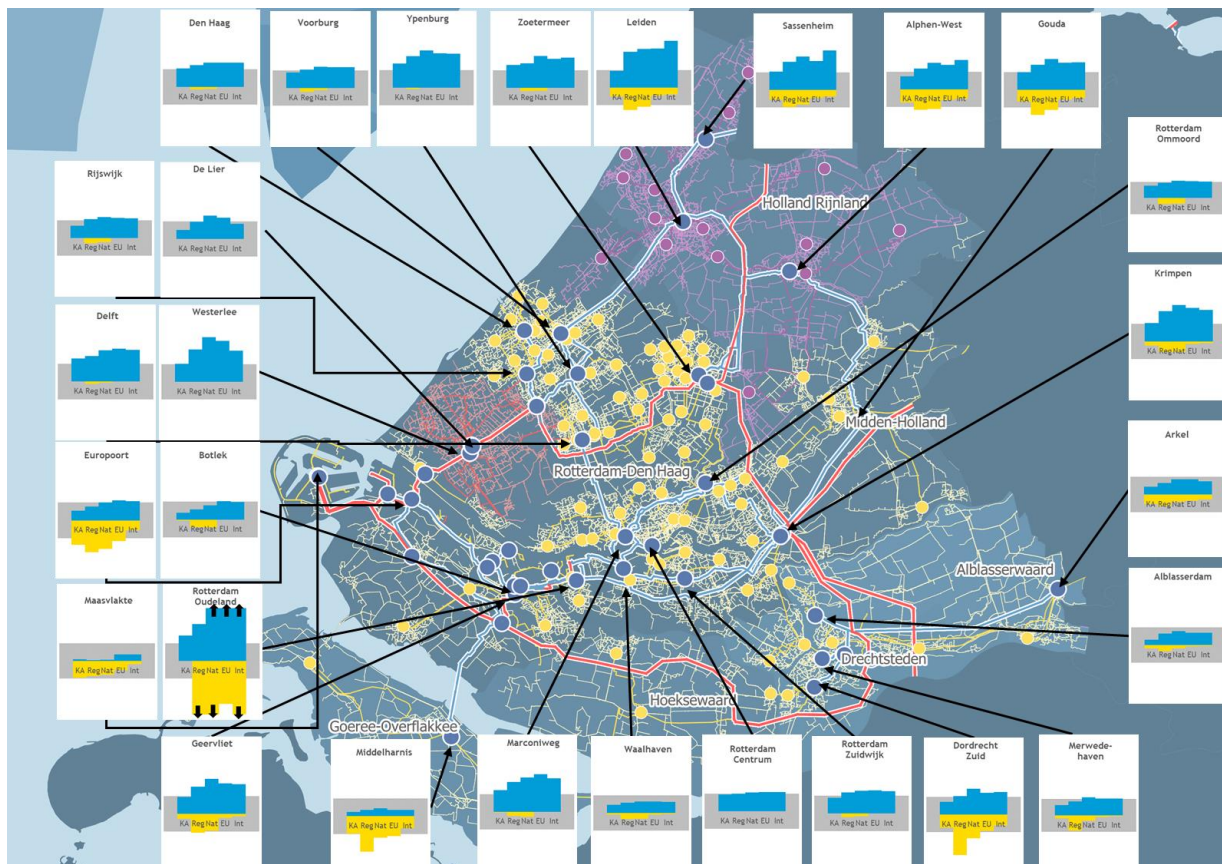
Relevant om te beseffen is dat netbeheerders al in actie komen wanneer de netbelasting lager is dan die 100% maar wel die richting uitgaat. Immers, het uitbreiden van netcapaciteit kent lange doorlooptijden van soms wel tien jaar of langer.

In 2050 is bij het overgrote gedeelte van de stations sprake van een knelpunt, variërend tussen de scenario's van 19 tot 24 van de 28 koppelstations. We zien hier terug dat de vraag in Zuid-Holland maatgevend is: veelal zijn de vraagknelpunten groter dan de aanbodknelpunten. Hierin is Zuid-Holland echt anders dan de andere provincies, waar de ervaring uit de provinciale systeemstudies is dat aanbodknelpunten dominant zijn.

De uitzondering op die regel is scenario Regionale Sturing. Dit is het scenario met de meeste decentrale opwek en dit leidt op acht koppelstations tot aanbodknelpunten groter dan de vraagknelpunten. Echter, wanneer flex wordt meegenomen en met name curtailment, dan worden ook op een deel van deze stations de vraagknelpunten dominant. Station Middelharnis op Goeree-Overflakkee, station Europoort en station Dordrecht Zuid zijn een uitzondering daarop. Middelharnis is het enige station waarbij ook in 2050 geen vraagknelpunt ontstaat en enkel aanbod tot een overschrijding van de beschikbare capaciteit kan leiden. In het scenario Internationale Sturing is op dit station geen sprake van een knelpunt doordat een afname van het opgesteld vermogen aan wind op land ten opzichte van 2030 is aangenomen.



Figuur 35 - Piekbelasting op de koppelstations²⁷ *

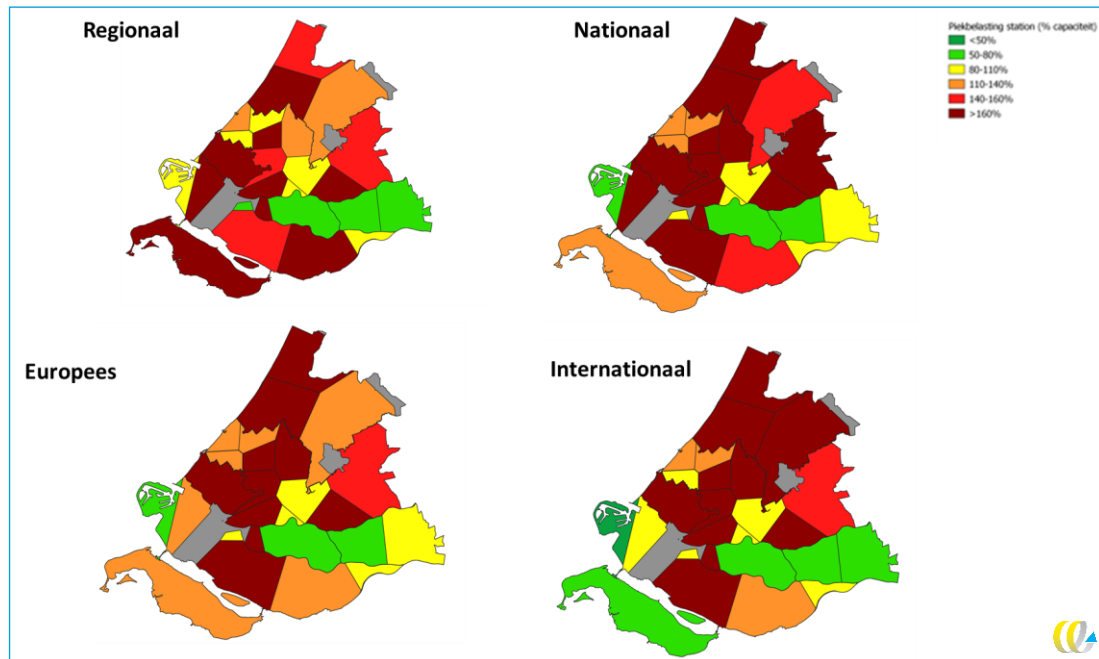


* Omhoog/blauw is vraagbelasting, omlaag/geel is aanbodbelasting. Buiten het grijs uit betekent meer dan 100% van de capaciteit. Dikke zwarte pijlen in de deelfiguren wijzen op belasting groter dan 300%. Van links naar rechts zijn steeds weergegeven voor elk koppelstation: 2030 (Klimaatakkoord) 2050 Regionale, Nationale, Europese CO₂- en Internationale Sturing.

De koppelstations bedienen een geografisch gebied, het zogenaamde voedingsgebied. In Figuur 36 staat de piekbelasting van de koppelpunten weergegeven op het voedingsgebied, voor de vier 2050-scenario's met flex. In Bijlage I zijn die kaarten voor alle scenario's gegeven.

²⁷ Bij de doorrekeningen zijn geen buurten toegewezen aan het koppelpunt Tinte bij Brielle (in Stedin-gebied), terwijl hier in de praktijk wel belasting is. Een deel van de buurten die toegewezen zijn aan de nabijgelegen koppelpunten Geervliet en Middelharnis worden in werkelijkheid gevoed door Tinte. Dit betekent dat de belasting op Geervliet en Middelharnis iets overschat wordt.

Figuur 36 - Piekbelasting op de koppelstations in 2050, weergegeven op de voorzieningsgebieden²⁸



Figuur 36 illustreert nogmaals dat op koppelstationniveau in 2050 is bij het overgrote gedeelte van de stations sprake van een knelpunt. De figuur laat ook in één oogopslag zien dat het merendeel van de knelpunten een belasting van meer dan 160% vertoont, waarbij 100% de maximale belastbaarheid is. De knelpunten op koppelpuntniveau zijn er zowel bij de stedelijke, industriële als landelijke gebieden in de provincie.

Lagere spanningsniveaus

De toename van de vraag en het aanbod van elektriciteit leidt niet alleen tot knelpunten op de koppelpunten van de regionale netbeheerders met het hoogspanningsnet, maar ook op lagere netvlakken ontstaan knelpunten. Er zijn doorrekeningen gemaakt van tussen-spanningsstations (TS-stations) en van de transformatoren tussen het midden- en laagspanningsnet (MS-LS-trafo's)²⁹.

TS-stations

Het tussenspanningsnet is het hoogste netvlak van de regionale netbeheerders. Het spanningsniveau van het tussenspanningsnet ligt, afhankelijk van de netbeheerder, tussen de 23 en 66 kV. Het tussenspanningsnet is verbonden met het middenspanningsnet met TS-stations. In totaal zijn er 143 TS-stations in Zuid-Holland.

In 2030 treedt bij ongeveer 45% van de TS-stations overbelasting op. Daarvan wordt circa 35% veroorzaakt door stijging van de vraag (vraagknelpunt) en 10% door stijging van de

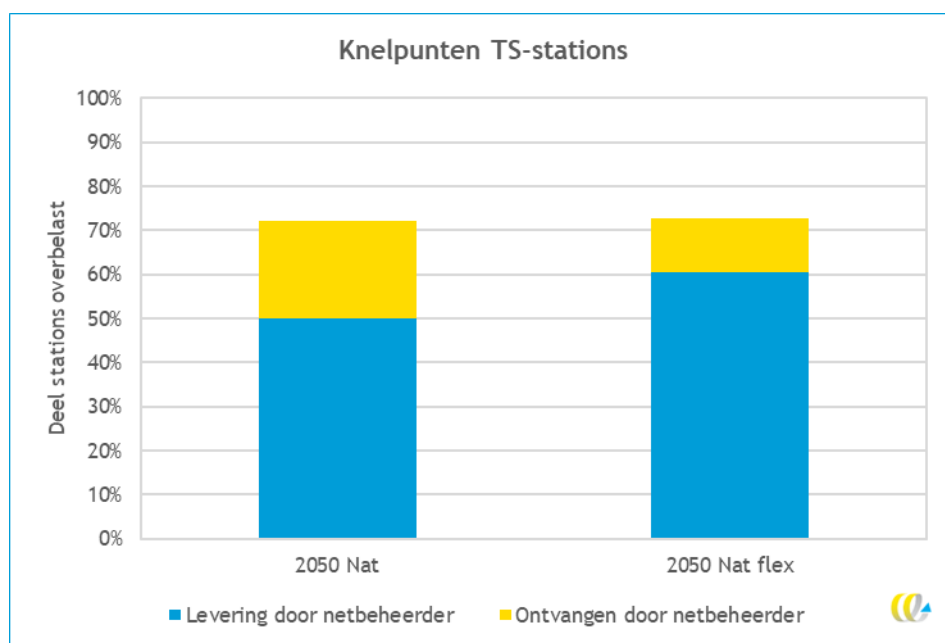
²⁸ Dit is een Voronoi-diagram, waarbij gebieden worden toegewezen aan het dichtstbijzijnde koppelpunt. In de praktijk worden afnemers niet per definitie aangesloten op het dichtstbijzijnde koppelpunt. Dit betekent dat deze geografische gebieden kunnen afwijken van de daadwerkelijke voorzieningsgebieden.

²⁹ NB: Westland Infra heeft ook berekeningen aan de MS-MS-stations gedaan, deze zijn hier niet opgenomen.

hernieuwbare productie (aanbodknpunt). Afhankelijk van het scenario stijgt het aantal TS-stations met een knelpunt richting 2050 naar 65 tot 75%. Bij het grootste gedeelte van stations is er in 2050 dus sprake van een knelpunt en het gaat daarbij voornamelijk om vraagknpunten (LDN).

Bij scenario's Regionale Sturing en Nationale Sturing is bovendien zichtbaar dat toevoegen van flex weliswaar het aantal aanbodknpunten vermindert, maar dat het totaal aantal TS-stations met een knelpunt daar niet of nauwelijks door wordt beïnvloed. De verklaring is dat er dan een ander knelpunt optreedt (een vraagknpunt), en hoogstwaarschijnlijk op een ander moment in het jaar. Dit is te zien in de volgende figuur, waar het aantal knelpunten is weergegeven voor het scenario Nationale Sturing met en zonder flex.

Figuur 37 - Aantal TS-stations met knelpunten in scenario Regionale Sturing met en zonder flex, als % van het totale aantal stations^{30, 31, 32}



MS-LS-trafo's

De MS-LS-trafo's zijn de transformatoren tussen het midden- en laagspanningsnet. Dit zijn de transformatorkasten die zichtbaar zijn in de wijken. In totaal zijn er ruim 15.000 MS-LS-trafo's in Zuid-Holland. De belasting op deze transformatoren wordt bepaald door de vraag en het aanbod van huishoudens en kleine bedrijven, aangezien grotere bedrijven en productielocaties direct aangesloten worden op hogere netvlakken. Dit betekent dat bij de vraagzijde alleen de gebouwde omgeving en mobiliteit (uitgezonderd snelladers en 'laadpleinen') invloed hebben op de belasting, en bij de aanbodzijde alleen zon op daken.

³⁰ Voor sommige gebieden is niet voor elk scenario met en zonder flex gerekend door de netbeheerders. In deze gevallen is aangenomen dat het aantal knelpunten zonder flex gelijk is aan het aantal knelpunten met flex.

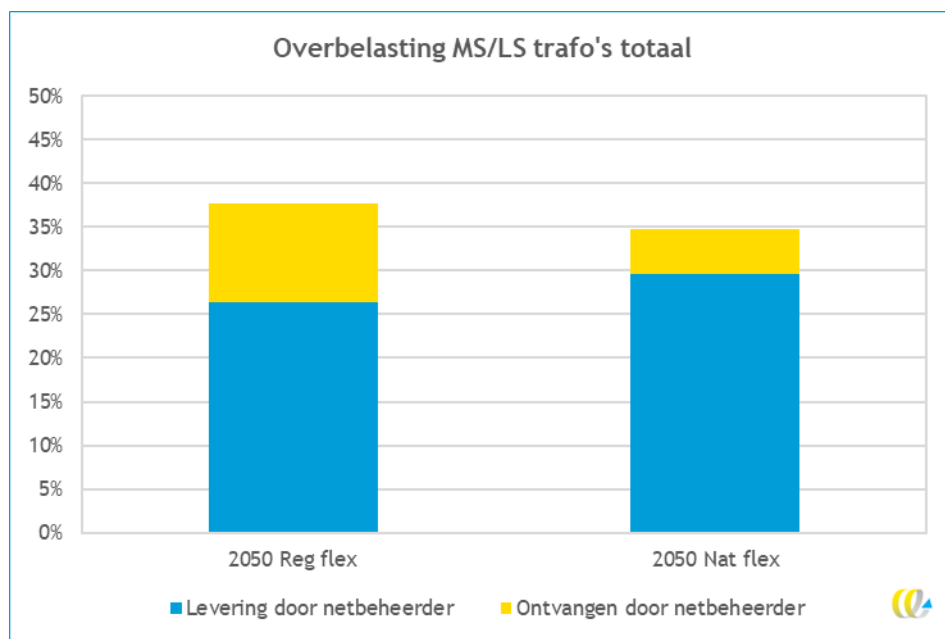
³¹ Hierbij zijn alleen de grootste pieken in het jaar meegenomen. Het is mogelijk dat op een station zowel een ODN- als een LDN-knelpunt plaatsvindt. In deze gevallen is het zwaarste knelpunt meegenomen.

³² NB: in de grafiek staat het *aantal* overbelaste stations uitgedrukt, als percentage van het totale aantal. De grafiek zegt dus niets over de *mate van overbelasting*.

In 2030 is bij ongeveer 10% van de MS-LS-trafo's sprake van overbelasting. Het overgrote deel hiervan wordt veroorzaakt door stijging van de vraag. In 2050 stijgt het aantal overbelaste MS-LS-trafo's naar 30-40%, afhankelijk van het scenario. In elk scenario zijn vraagknooppunten dominant.

Figuur 38 geeft het aantal overbelaste MS-LS-trafo's voor de scenario's Regionale Sturing en Nationale Sturing weer, inclusief opdeling naar vraagknooppunten (LDN) en aanbodknooppunten (ODN). Flex is meegenomen in deze resultaten. Het scenario Regionale Sturing heeft het grootste aanbod aan elektriciteit op dit netvlak en het scenario Nationale Sturing de grootste vraag op dit netvlak. Dit zijn dus de extremen, in de andere scenario's is het aantal knooppunten lager. De figuur toont dat er in het scenario Regionale Sturing meer aanbodknooppunten zijn en in het scenario Nationale Sturing meer vraagknooppunten, zoals verwacht.

Figuur 38 - Aantal MS-LS-trafo's met knooppunten in verschillende scenario's als % van het totale aantal^{33, 34, 35}



Daarnaast valt het op dat het relatieve aantal knooppunten bij de MS-LS-trafo's een stuk lager ligt dan bij hogere netvlakken (koppelpunten respectievelijk tussenspanningsstations). Bij de koppelpunten is 70-85% van de stations overbelast in 2050 en bij de TS-stations 65-75%. Bij de MS-LS-trafo's is in 2050 slechts 30-40% overbelast. Het lijkt er dus op dat er bij lagere netvlakken relatief minder knooppunten plaatsvinden. Het aantal stations/trafo's is op lagere netvlakken echter wel een stuk groter, dus het totaal aantal trafo's dat op het MS-LS-net vervangen moet worden is alsnog erg groot. Deze observatie geldt voor de gebieden van alle drie de netbeheerders.

³³ NB: in de grafiek staat het *aantal* overbelaste trafo's uitgedrukt, als percentage van het totale aantal.

De grafiek zegt dus niets over de *mate van overbelasting*.

³⁴ Hierbij zijn alleen de grootste pieken in het jaar meegenomen. Het is mogelijk dat op een trafo zowel een ODN- als een LDN-knooppunt plaatsvindt. In deze gevallen is het zwaarste knooppunt meegenomen.

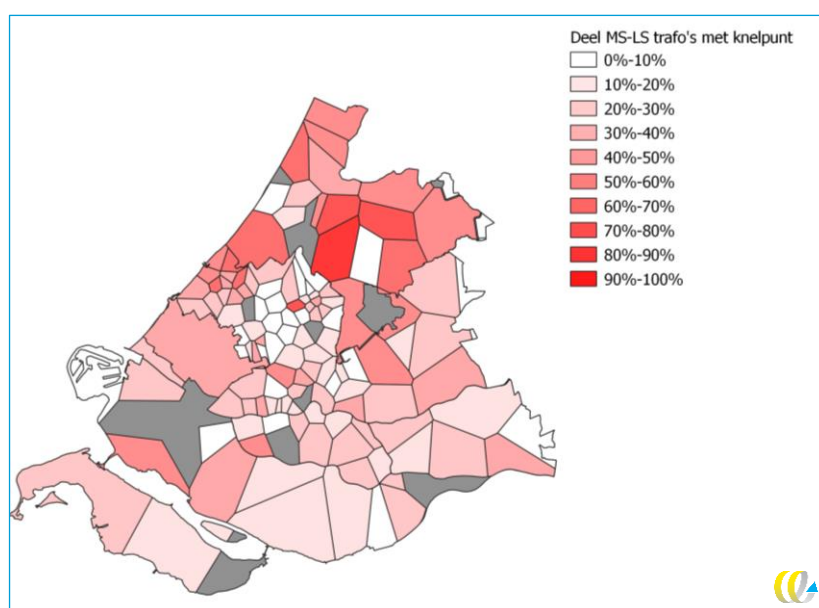
³⁵ Bij deze grafiek moet de kanttekening geplaatst worden dat er aanzienlijke onzekerheden zitten in de resultaten. In het algemeen geldt hoe lager we in het net komen hoe onnauwkeuriger en onbetrouwbarder de resultaten worden.

Het relatief lagere aantal overbelastingen op lagere netvlakken kan verschillende oorzaken hebben:

- Op lagere netvlakken is meer reservecapaciteit doordat MS-LS-trafo's eenheidsblokken zijn en vrijwel altijd overgedimensioneerd ten opzichte van de werkelijke vraag. Daardoor leidt een toename in de belasting niet direct tot een knelpunt. Bij hogere netvlakken wordt meer maatwerk toegepast waardoor hier minder ruimte over is.
- Een lager percentage van de MS-LS-trafo's is overbelast, maar de overbelasting op deze trafo's is extreem groot. Dit gebeurt doordat de belasting niet bij alle trafo's evenveel groeit. De trafo's met extreme overbelasting zorgen ervoor dat de bovenliggende TS-stations en koppelpunten bijna allemaal overbelast raken.
- Grote gebruikers en producenten zitten direct aangesloten op hogere netvlakken. Hierdoor zorgt de groei van de vraag van deze gebruikers en producenten niet tot een hogere belasting op de MS-LS-trafo's. Dit versterkt de druk op de hogere netvlakken.

De bovenstaande analyse gaat in op het algemene beeld voor de provincie. Er zijn echter ook verschillen per regio. De volgende figuur geeft de overbelastingen van MS-LS-trafo's per voorzieningsgebied³⁶ van een TS-station weer voor het scenario Nationale Sturing met flex. In dit scenario is het relatieve aantal overbelastingen van MS-LS-trafo's het grootst in de buurt van Alphen aan de Rijn, bij Sassenheim en in de regio Den Haag.

Figuur 39 - Aantal MS-LS-trafo's met knelpunten in scenario Nationale Sturing met flex per voorzieningsgebied TS-station^{37, 38, 39}



³⁶ Dit is een Voronoi-diagram, waarbij gebieden worden toegewezen aan het dichtstbijzijnde TS-station. In de praktijk worden afnemers niet per definitie aangesloten op het dichtstbijzijnde station. Dit betekent dat deze gebieden kunnen afwijken van de daadwerkelijke voorzieningsgebieden.

³⁷ Voor het gebied van Westland Infra zijn de resultaten gegeven voor hun complete voorzieningsgebied, aangezien er geen verdere opsplitsing mogelijk was.

³⁸ NB: de figuur geeft het aantal overbelaste trafo's, uitgedrukt als percentage van het totaal. De figuur zegt niet over de mate van overbelasting.

³⁹ Bij deze grafiek moet de kanttekening geplaatst worden dat er aanzienlijke onzekerheden zitten in de resultaten. In het algemeen geldt hoe lager we in het net komen hoe onnauwkeuriger en onbetrouwbarder de resultaten worden.

5.5 Impact op de gasnetten (methaan, waterstof en CO₂)

Hoofdtransportleidingnet methaan/waterstof

Gasunie heeft van de scenario's voor 2050 doorgerekend wat de impact is op het nationale en regionale transportleidingnet. Hierbij is verondersteld dat er methaan (in 2050: groen-gas) getransporteerd blijft worden door de buizen die nu voor het laagcalorische aardgas gebruikt worden, en dat er in 2050 waterstof getransporteerd zal worden door de buizen die nu voor het hoogcalorische aardgas gebruikt worden. Alleen de scenario's mét systeem-flex zijn doorgerekend, en alleen 2050.

Voor methaantransport zijn geen knelpunten vastgesteld in de scenario's Regionale, Nationale en Internationale Sturing. De hoeveelheid afgenomen methaan zal dan ook in alle scenario's lager liggen dan de nu afgenomen hoeveelheden laagcalorisch aardgas, vooral vanwege de warmtetransitie in de gebouwde omgeving. In het scenario Europese Sturing is bij de doorrekening aangenomen dat er op grote schaal (groen) LNG wordt geïmporteerd via de Rotterdamse haven om aan de vraag in Nederland als geheel te voldoen, wat tot een knelpunt in de doorrekeningen leidt aangezien alleen het huidige laagcalorisch transportnet daarvoor beschikbaar is in de doorgerekende situatie in 2050. Het toekomstbeeld in het scenario Europese Sturing is dat er grote hoeveelheden (groen) methaan worden geïmporteerd, over land en wellicht ook via tankers over zee. De doorrekening laat zien dat grootschalige import via LNG in Rotterdam in die situatie tot een knelpunt leidt. Import via leidingen over land naar verwachting niet.

Voor het waterstofnet (het huidige hoogcalorisch transportnetwerk) zijn er wel knelpunten in de doorvoer van de Maasvlakte naar de landelijke gasrotonde, te weten in de scenario's Nationale en Internationale Sturing. Er vindt elektrolyse plaats op de Maasvlakte waar veel elektriciteit uit wind op zee aanlandt en daarnaast vindt in de haven import met waterstof-tankers plaats. De elektrolyse vindt plaats op momenten dat er nationaal een overschot is aan elektriciteit (zie Paragrafen 4.2 en 4.4); de import is continu verondersteld (vlak profiel). Een deel van de waterstof kan direct worden gebruikt door de industrie in het havengebied, maar deels moet de waterstof door het havengebied getransporteerd worden naar de landelijke waterstofbackbone bij het koppelpunt 'Wijngaarden', en vandaar naar vraag elders in het land of naar opslag in Groningen.

Tabel 12 - Piek waterstoftransport en overschrijving in het doorgaande gastransportsysteem

		Reg	Nat	Eur	Int
Elektrolyse	GW _{H2}	6,9	12,5	5,5	5,4
Import per tanker	GW _{H2}	1,1	1,5	2,7	18,3
Totaal	GW _{H2}	8,0	14,0	8,2	23,7
Overschrijding	%	0%	10-30%	0%	60-80

De aannames met betrekking tot waterstoftransport in deze systeemstudie verschillen van de aannames in II3050. Daarom zijn er verschillen met betrekking tot de piek van het waterstoftransport tussen deze studies. Deze verschillen zijn echter beperkt.

Bij scenario Nationale Sturing is de belangrijkste oorzaak van dat knelpunt de omvang aan elektrolysecapaciteit (19 GWe) op de Maasvlakte. Interessant is dat het resterend 5 GW vermogen van aanlanding Wind op Zee, dat via het 380 kV-net naar de rest van Nederland getransporteerd moet worden, leidt tot knelpunten in het 380 kV-netwerk (zie analyse in Paragraaf 5.3). Er is in dat geval dus bij die omvang aan aanlanding van wind op zee en die

omvang aan elektrolyzers zowel een knelpunt in het 380 kV-net als in het waterstofnet. Anders gezegd: er landt in dat scenario zoveel energie aan op de Maasvlakte, dat de huidige gecombineerde elektriciteits- en gastransportnetten dat niet kunnen afvoeren. In de Structuurvisie Buisleidingen (2012) is een ruimtelijke corridor gereserveerd voor een waterstofleiding van de 2de Maasvlakte naar het landelijke gasrotondeknooppunt bij Wijngaarden. Het verdient aanbeveling ten eerste de vinger aan de pols te houden bij de ontwikkelingen van aanlanding wind op zee en bij de omzettingen naar waterstof daar met elektrolyzers. Uit de bovenstaande tabel kan geconcludeerd worden dat de afvoer problematisch wordt als de piek van het waterstoftransport boven de 9-13 GW komt. Ten tweede is het belangrijk om te borgen dat die ruimtelijke reservering in stand blijft, in ieder geval totdat er meer zekerheid is over die ontwikkelingen. Daarnaast moet vermeld worden dat deze afvoerbepijking mogelijk in 2050 allang is opgelost vanwege de noodzaak om al voor 2030 waterstoftransport in deze regio te realiseren.

Ook lokaal in het Rotterdamse havengebied bleken bij de doorrekeningen van het waterstofnet (i.e. huidige hoogcalorisch transportnetten) in 2050 een viertal knelpunten in de scenario's Regionale, Nationale en Internationale Sturing (immers: in scenario Europese Sturing is de rol van waterstof opgevangen door groen methaan).

Nadere analyse leerde dat de knelpunten werden veroorzaakt door aannames in de II3050-scenario's of de systeemflexopties, met name de flexibele vraaggestuurde kleine elektriciteitscentrales die in de genoemde drie scenario's geacht worden om waterstof als brandstof te gebruiken. Het gaat om circa 2-4 GW aan te transporteren waterstofvermogen naar elk van de genoemde locaties. Dit lijkt op het eerste gezicht een artefact van de aannames die voor de systeemflex zijn gedaan. De relevantie voor deze systeemstudie is echter dat die aannames zijn gedaan om mogelijke knelpunten in het hoogspanningssysteem te voorkomen. Het lijkt niet waarschijnlijk dat er vele GW aan lokaal in te zetten flexibel elektriciteitsvermogen (gas-to-power) op die locaties wordt gebouwd, zeker niet in de situatie dat er onvoldoende gas als brandstof naar de centrales kan worden vervoerd. Maar als die centrales er niet komen ontstaan er extra knelpunten in de TenneT-netten. Dit behoeft nader onderzoek.

Gastransitie gastransportnetten

De doorrekening door Gasunie is uitgevoerd voor de 2050-scenario's, met systeemflex. Het beeld is dat de transportnetten, die nu hoogcalorisch en laagcalorisch aardgas transporteren, in 2050 respectievelijk waterstof en (groen) methaan transporteren. In de tussentijd is er echter al sprake van waterstoftransport, zodat er dan drie soorten gassen moeten worden getransporteerd. Plus nog CO₂ (Porthos-project). Om die gastransitie mogelijk te maken zijn naar verwachting extra transportleidingen nodig. Op dit moment rekent Gasunie aan een extra waterstofleiding door het havengebied. Voor sommige 2050-scenario's is deze extra leiding ook noodzakelijk omdat de huidige afvoercapaciteit te klein is. Uitkomsten van de berekeningen van Gasunie voor de extra waterstofleiding worden tegen eind 2020 verwacht.

Gasdistributienetten

De regionale netbeheerders noteren geen knelpunten in de gasnetten, noch voor de te leveren gassen noch voor regionale invoeding van groengas. Wel zou een deel van het huidige gasnet in onbruik kunnen raken, waarna dit mogelijk geamoveerd dient te worden. En waar de gebouwde omgeving naar waterstof overschakelt, is ombouw nodig om het gasnet daarvoor geschikt te maken.

Tabel 13 geeft de maximale opgave voor amoveren van het gasnet weer. Hierbij is geen overigens rekening gehouden met de kwestie van clusters, zoals besproken in Paragraaf 4.1.

Tabel 13 - Maximale opgave voor amoveren van gasdistributienet

		2030	Reg	Nat	Eur	Int
Liander	km	n.a.	1.010	1.493	479	742
	%	n.a.	41%	61%	20%	30%
Westland Infra	km	44	392	622	323	178
	%	3%	27%	43%	22%	12%
Stedin	km	1.434	8.500	9.800	4.380	6.100
	%	12%	70%	81%	36%	50%

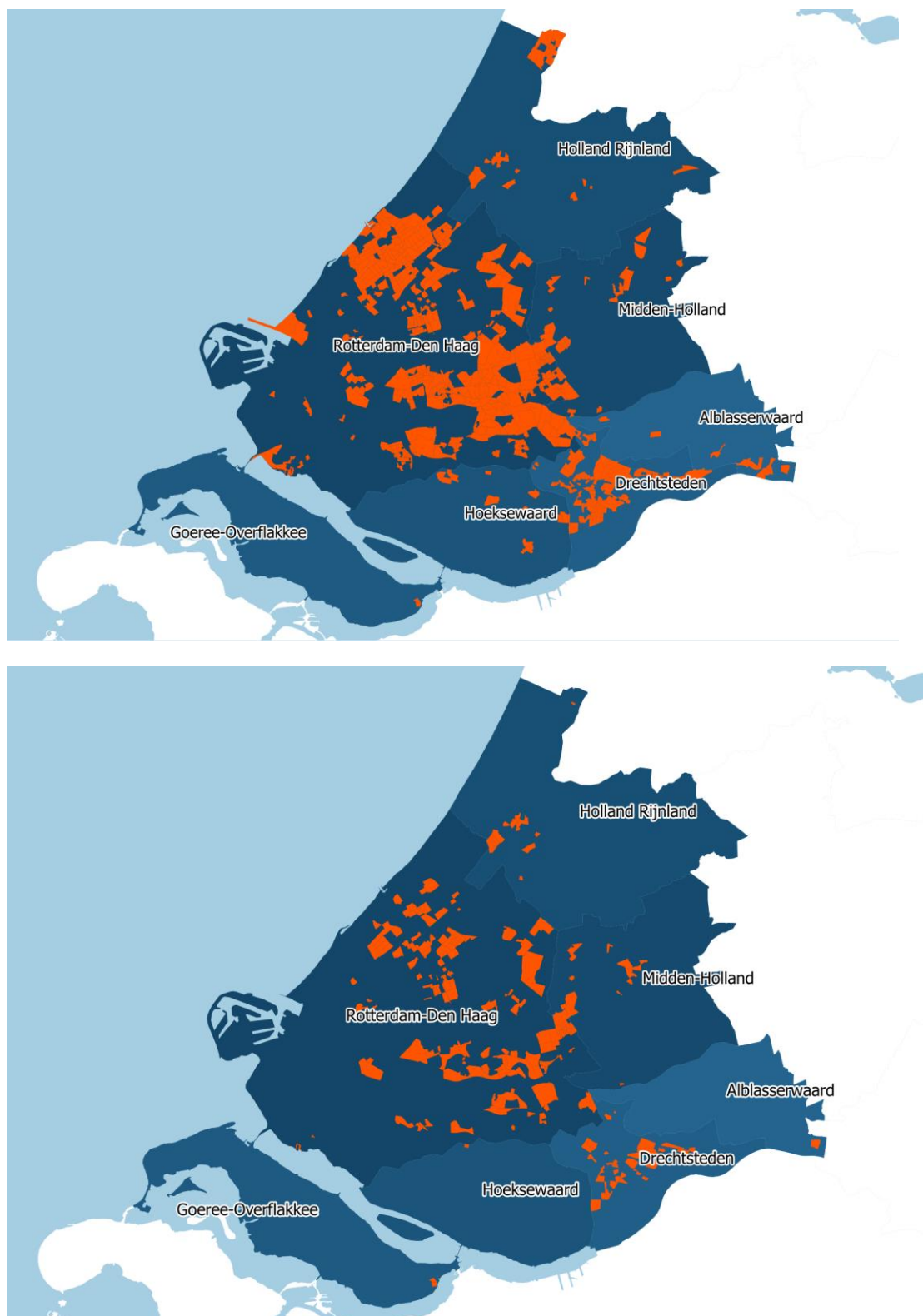
5.6 Impact op warmtenetten

Voor de warmtenetten maken we onderscheid in lokale distributienetten en het grotere warmtetransportnet, waarbij bovenregionaal warmtetransport over grotere afstanden plaatsvindt.

Aan lokale warmtedistributienetten is binnen deze systeemstudie niet gerekend aan net-capaciteiten. Een integrale doorrekening van de warmtenetten zou in de zomer van 2020 gereedkomen en mede als input hebben gediend voor deze rapportage maar is vertraagd. Begin 2021 zal een Integraal Ontwerp Warmtetransportnet beschikbaar komen.

Op een aantal plaatsen in Zuid-Holland wordt er al verwarmd met een warmtenet of is dat in ontwikkeling. Op alle andere plaatsen waar een warmtenet is verondersteld zou een distributienet en/of transportnet nog aangelegd moeten worden. In de scenariodata is op buurniveau aangegeven waar de gebouwen – binnen de aannames voor elk scenario – op een warmtenet worden aangesloten, zie Figuur 40.

Figuur 40 - Geografische weergave van de buurten in de 2050-scenario's met warmtelevering (de buurten met oranje kleurcode). Bovenste figuur: scenario Regionale Sturing (met de meeste warmtelevering), daaronder het scenario Internationale Sturing (met de minste warmtelevering)



WarmtelinQ heeft een analyse gedaan voor het warmtetransportnet. Op basis van de warmtevraag, de geografische locatie daarvan en de toegewezen bronnen is het vermogen aan basislast berekend. Verondersteld is dat het warmtetransportnet de basislast verzorgt en dat lokaal piekvoorzieningen zijn opgesteld.

Twee scenario's hebben een focus op warmtenetten, te weten Regionale Sturing met voornamelijk geothermie en Nationale Sturing met voornamelijk restwarmte. Voor deze twee scenario's is een inschatting gemaakt van benodigde buisleidingen, transportvermogen, warmteonderstations (WOS) en bijbehorende investeringen. Dit is gedaan door deze scenario's te vergelijken met een reeks conceptontwerpen voor warmtetransportnetten die WarmtelinQ reeds had uitgewerkt. De resultaten staan opgenomen in Tabel 14.

Tabel 14 - Resultaten warmtetransportnet

			2030	Reg	Nat	Eur	Int
Basislastvermogen	Lokale bronnen incl. geothermie	MW	308	2.530	448	420	204
	Restwarmte via warmterotonde	MW	1.222	1.122	2.105	1.751	1.469
Tracélengte		km		ca. 250	ca. 300		
Pompenergie		MW _e		30-42	64-71		
Investerings	Leidingen incl. pompen	€		1,1-1,3 mld	1,4-1,7 mld		
	WOS	€		130-170 mln	250-320 mln		

6 Oplossingen voor capaciteitsknelpunten

In dit hoofdstuk gaan we verder in op mogelijke oplossingen voor capaciteitsknelpunten die kunnen ontstaan in de energie-infrastructuur. De eerste twee delen van dit hoofdstuk zijn nadrukkelijk generiek van aard. We inventariseren een breed scala aan mogelijke oplossingen – een deel hiervan is overigens reeds opgenomen in de aanvulling van de scenario's met flexibiliteit, zoals besproken in Paragraaf 4.4. Na de oplossingen gaan we in op mogelijke belemmeringen. Ten slotte bekijken we welke oplossingen het meest geschikt zijn specifiek bij de knelpunten die naar voren zijn gekomen voor Zuid-Holland.

Voor de goede orde herhalen we dat wat hier 'knelpunten' wordt genoemd, de effecten zijn van energieaanbod en -vraag in de toekomst (2030 en 2050), dat wordt doorgerekend met de *huidige* netwerken. Het is een knelpunt genoemd als de belasting op een punt meer dan 100% van de maximale belastbaarheid is. Reeds genomen investeringsbeslissingen zijn al meegenomen in de doorrekeningen.

6.1 Inventarisatie van oplossingsrichtingen

Netaanleg en netverzwaring

De gangbare oplossing voor knelpunten in het energiesysteem is investeren in verzwaring (c.q. uitbreiding) van de infrastructuur. Dit geldt voor alle infrastructuren. De netbeheerder c.q. eigenaar van het betreffende onderdeel van het netwerk is verantwoordelijk voor het net en voor de benodigde investeringen. Voor de gereguleerde netten (gas en elektriciteit) geldt dat de netbeheerders eens in de twee jaar 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 in hun investeringsplannen welke vervanging en uitbreiding van hun netten zij voorzien in de komende drie jaar.

Aan de vraag voldoen met een andere energiedrager

Vraag hoeft niet altijd met dezelfde energiedrager 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 warmtenet, of door elektrische mobiliteit of transport op te lossen met een brandstofcel op waterstof.

De effecten van het invullen vraag met andere energiedragers zijn voor Zuid-Holland onderzocht door gebruik te maken van verschillende 2050-scenario's. Hieruit volgt bijvoorbeeld dat het invullen van de vraag met andere energiedragers dan elektriciteit weliswaar leidt tot minder zware vraagknelpunten, maar dat de meeste vraagknelpunten blijven bestaan. Een goed voorbeeld hiervan zijn de verschillen tussen de verschillende scenario's in de zwaarte van de capaciteitsknelpunten op de koppelstations. Er zijn

effecten zichtbaar van de verschillende invulling van de warmtevraag in de scenario's, het is echter niet zo dat in de scenario's met meer warmtelevering die knelpunten verdwijnen, ze zijn alleen minder zwaar.

Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving voor de netbeheerders om aan te sturen op het gebruiken van andere energiedragers. Voor marktpartijen zijn er binnen de huidige regelgeving en tariefstructuur geen incentives om een andere energiedrager af te nemen. Verandering van die situatie vergt ingrijpen door de overheid.

Aansluiten met lagere zekerheid (N-0)

Netbeheerders moeten zorgen voor voldoende zekerheid voor het transport, 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 in het geval van elektriciteitsnetten 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 gedistribueerd/getransporteerd door het net als er storingen zijn of onderhoud gepleegd wordt, hetgeen de businesscase van de aanbieder negatief kan beïnvloeden.

In de doorrekeningen van de netbeheerders is aangenomen dat zij in de toekomst wind- en zonneparken N-0 mogen aansluiten. De netbeheerders zijn momenteel echter wettelijk verplicht om aangesloten 'N-1'-zekerheid te bieden. Dit betekent dat verandering van de landelijke wetgeving noodzakelijk is om dit mogelijk te maken.

Aansluiten met lagere capaciteit (curtailment, batterijen, cable pooling)

In situaties waarin gedurende een gering aantal uren per jaar veel transportvermogen wordt gevraagd, kan aansluiten met een lagere capaciteit een alternatief zijn voor netverzwaring. Dit kan op verschillende manieren worden ingevuld. Hieronder staan deze uitgewerkt voor elektriciteitsnetten.

Een eerste optie is curtailment, waarbij de pieken niet geheel worden teruggeleverd en die opwek deels verloren gaat. Een tweede is de inzet van batterijen om die aanbodpieken op te slaan en op een later moment terug te leveren. Een derde is cable pooling, waarbij bijvoorbeeld zon en wind gezamenlijk worden aangesloten op één kabel met curtailment. Omdat ze zelden tegelijk pieken, kan met een gedeelde maar kleinere aansluiting toch alle aanbod worden verwerkt.

Deze opties zijn met name interessant op stations waar knelpunten veroorzaakt worden door het aanbod van wind en zon, bijvoorbeeld bij het koppelpunt Middelharnis op Goeree-Overflakkee.

De aansluittarieven van netbeheerders vormen een incentive voor dergelijke kleinere aansluitingen; de netbeheerder mag het echter niet afdwingen. Er zijn afspraken nodig tussen de initiatiefnemers van zonne- en windparken en netbeheerders om dit mogelijk te maken.

NB: recent (november 2020) is een convenant gesloten tussen branchevereniging Holland Solar en Netbeheer Nederland om grote zon-pv-aansluitingen in de toekomst op 70% van het piekvermogen aan te sluiten⁴⁰.

Naar ander netvlak brengen

Waar het transport van elektriciteit of gas tot knelpunten leidt, kan het al voordeel hebben wanneer een afnemer/producent aangesloten wordt op een ander netvlak. Een lokale vergister of vergasser die groengas produceert kan worden aangesloten op netvlak met hogere druk en hogere capaciteit. Een alternatief is een zogenaamd boosterstation toevoegen in het net. Bij elektriciteit kan een groot windpark bijvoorbeeld direct aangesloten worden op het hoogspanningsnet in plaats van het middenspanningsnet. Dit kan interessant zijn indien er op het MS-net geen ruimte meer is, maar op het HS-net nog wel. Dit zal in de praktijk met name gebeuren bij grote wind- of zonneparken, bijvoorbeeld op Goeree-Overflakkee.

Momenteel is het grotendeels wettelijk bepaald welke vermogens op welke netvlakken aangesloten worden. Dit betekent dat aanpassing van de wetgeving noodzakelijk is om dit mogelijk te maken.

Conversie tussen energiedragers

Wanneer in een bepaald gebied een vraagknelpunt in het elektriciteitsnetwerk 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.

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). Op dit gebied moet in het ontwerp van toekomstige netten rekening gehouden worden om de logische koppeling tussen netten mogelijk te maken.

In Zuid-Holland is er veel potentie voor conversie tussen energiedragers, gezien de grote aanwezigheid van industrie. Doordat de industrie relatief makkelijk kan schakelen tussen energiedragers (bijvoorbeeld met hybride boilers) kan onbalans tussen vraag en aanbod van een bepaalde energiedrager opgevangen worden.

Elektriciteitsproductie, power-to-H₂ en power-to-heat zijn onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving een marktactiviteit. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving voor de netbeheerders om hierop aan te sturen. Voor marktpartijen zijn er binnen de huidige regelgeving en tariefstructuur onvoldoende incentives om een andere energiedrager af te nemen. De prijzen van de energiedragers kunnen wel dienen als incentive voor marktpartijen. Zo is elektriciteit goedkoper wanneer er sprake is van overschotten. Stimuleringsbeleid vanuit de nationale overheid kan deze incentives versterken.

⁴⁰ https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i22923/convenant-netbeheerders-en-zonne-energiesector-zonnepanelen-aangesloten-op-70-procent-piekvermogen?utm_source=Solar%20Magazine&utm_campaign=bf27d946af-EMAIL_CAMPAIGN_2018_05_14_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_54b49bf328-bf27d946af-8748285

Flexibiliteit industrie

Industrie biedt een relatief gunstig potentieel voor levering van flexibiliteit. Industrie heeft een grote warmtebehoefte die deels kan worden ingevuld met e-boilers, maar ook met bestaande warmtekrachtkoppelinginstallaties (wkk's). In het eerste geval wordt elektriciteit betrokken, terwijl in het tweede geval juist elektriciteit kan worden geleverd. De combinatie van de beide technieken, in hybride setup, kan zeer flexibel ingezet worden (CE Delft, 2015a). Gegeven de ruim 5 GW aan opgesteld industrieel wkk-vermogen in Nederland gaat het hier om een aanzienlijk technisch potentieel. Bijkomend voordeel is dat veel van dit potentieel ook staat opgesteld in de directe nabijheid van de aanlandingsplaatsen van wind op de Noordzee, zodat de flexibiliteitsoptie ook de fysieke transportbehoefte vanuit Noordzee wind naar het achterland kan beperken. Bij de industrie in de provincie Zuid-Holland staat momenteel ongeveer 1.250 MW aan wkk-vermogen opgesteld, dat deels wordt inzet voor eigen gebruik en deels op het net wordt ingevoerd. Indien een vergelijkbaar vermogen aan e-boilers zou worden geplaatst kan daarmee tot 1.250 MW aan elektriciteit worden geabsorbeerd bij grote invoeding van Noordzeewind.

Overige flexibiliteit

Flexibiliteit vangt de mismatch op tussen energievraag en -aanbod in plaats en tijd en kan ingezet worden om netcongestie te voorkomen. Inzet van flexibiliteit kan gericht zijn op netbalancering, maar kan ook congestie op het net helpen voorkomen. Echter, de verschillende doelen kunnen elkaar doorkruisen. Inzet voor netbalancering kan juist congestie veroorzaken en erdoor worden gestuit. Flexvoorzieningen zijn onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving een marktactiviteit. Er bestaan markten, of deze zijn in ontwikkeling, waar de vraag naar flexibiliteit vanuit netbeheerders en het aanbod ervan door marktpartijen elkaar kunnen vinden: de onbalansmarkt van TenneT en GOPACS voor congestiemanagement.

In deze systeemstudie zijn de scenario's aangevuld met flexvoorzieningen en enkele aannames over hun inzet, om zo de potentie van flex in beeld te krijgen. De systeemflex is gericht op de nationale netbalans. De plaatsgebonden flex is gericht op het verminderen van netcongestie binnen Zuid-Holland. Zie hiervoor ook Paragraaf 4.4.

Oplossingen vanuit de ruimtelijke ordening

Knelpunten komen voort uit ontwikkelingen in vraag of aanbod waardoor een (te) grote transportvraag ontstaat. Door de ontwikkelingen op een andere locatie te realiseren, kan de noodzaak voor netverzwaring weggenomen worden.

Een mogelijke optie in Zuid-Holland zou zijn om productielocaties dicht bij vraaglocaties te plaatsen, bijvoorbeeld door windparken of zonneparken dichtbij steden of datacenters te plaatsen. De potentie voor het oplossen van knelpunten vanuit de ruimtelijke ordening is in Zuid-Holland echter beperkt aangezien in 2050 bijna overal knelpunten plaatsvinden en deze knelpunten voornamelijk gedreven worden door groei in de vraag.

In het licht van de uitdagingen van de energietransitie dienen overwegingen over de energie-infrastructuur een rol te krijgen in de besluitvorming van ruimtelijke ordening. Hierin is onder meer een rol weggelegd voor de RES-regio's, bijvoorbeeld door de zoekgebieden voor wind- en zonneparken te laten aansluiten bij bestaande netcapaciteit en door het transport te minimaliseren door het combineren van de energievraag en het aanbod.

6.2 Inventarisatie van belemmeringen

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

Geen fysieke ruimte of milieuruimte beschikbaar

Netaanleg of 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. Dit is bijzonder relevant voor Zuid-Holland aangezien de beschikbare ruimte zeer beperkt is. In Hoofdstuk 7 gaan we nader in op de ruimtelijke impact.

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. Dit punt kan spelen bij alle infrastructuren.

Lange doorlooptijden voor netaanleg en netverzwaring

Het overgrote deel van de doorlooptijd van netaanleg en 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.

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*. Voor marktpartijen is er geen businesscase, hoewel de 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.

Netkosten voor gecontracteerde capaciteit

In de huidige tariefstructuur elektriciteit betaalt industrie een nettatarief met gecontracteerde capaciteit als tariefdrager. Dit zet de industrie aan tot afvlakking van het afnameprofiel, maar daarmee worden netkosten voor sporadische hoge afnamepieken relatief hoog, tot 30 euro per MWh. De businesscase voor flexibel afnamevermogen is echter juist op lage elektriciteitsprijzen gestoeld. Zo wordt inzet van een industriële e-boiler in hybride setup interessant bij elektriciteitsprijzen die lager liggen dan de gasprijzen (in de afgelopen jaren ook circa 30 euro per MWh). Dus de kostenbesparing ten gevolge van sporadisch lage elektriciteitsprijzen valt samen met een evenredige kostenstijging voor de netkosten. Deze tariefstructuur staat elektrificatie en met name hybridisatie in de weg.

Speculatief gedrag

Speculatief gedrag van marktpartijen kan voorkomen bij zowel grondverwerving (bij investeringen in de energie-infrastructuren (kan spelen bij alle 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.

6.3 Oplossingen bij de gevonden knelpunten

Hierboven is een inventarisatie gegeven van mogelijke oplossingsrichtingen en belemmeringen daarbij. Welke oplossingen zijn nu van toepassing op de gevonden knelpunten, zoals beschreven in Hoofdstuk 5? We gaan eerst in op enkele meer algemene knelpunten, en vervolgens op twee soorten gebieden: stedelijk en landelijk.

Aanleg en uitbreiding warmtenetten

In alle scenario's in deze systeemstudie neemt de omvang aan warmtenetten in Zuid-Holland fors toe. Die netten moeten nog worden aangelegd en bestaande netten worden uitgebreid. Dat vergt realisatie van de Transitievisies Warmte. Dat vergt ook het oplossen van financiële, ruimtelijke, en eventuele vergunningstechnische en organisatorische belemmeringen.

380 kV en de waterstofbackbone

In 2050 zien we overbelasting op het 380 kV-net, met name door aanlanding van wind op zee op de Maasvlakte. Flexvoorzieningen, met name elektrolyzers, kunnen deze in ieder geval deels wegnemen. Bij 24 GW aanlanding van wind op zee en 19 GW elektrolyzers, zoals in scenario Nationale Sturing, ontstaan nog steeds knelpunten in het 380 kV-net. Bovendien zien we dat extra buiscapaciteit nodig is voor transport van de geproduceerde waterstof naar de landelijke waterstofbackbone. Er lijkt dus zowel verzwaring van 380 kV-net nodig als aanvullende buiscapaciteit in dit scenario.

Een mogelijk alternatief zou zijn om de aanlanding van wind op zee op de Maasvlakte te verkleinen. Dan moet uiteraard wel worden gezorgd dat het probleem niet naar elders verschuift. Wind op zee zou met aansluitingen dieper landinwaarts direct op de ring van het 380 kV-net, wat we onderstaand verder toelichten. Dit vraagstuk overstijgt Zuid-Holland, het is een nationaal of zelfs internationaal vraagstuk: wordt daar om elektriciteit gevraagd of eerder om waterstof? Wat zullen de marktprijzen zijn en wat zijn de maatschappelijke

kosten en baten wanneer ook de benodigde infrastructuur wordt verdisconteerd? Dit vraagt om visie, waarvoor I13050 een verkenning vormt, en uiteindelijk om keuzes, zoals in het Programma Energie Hoofdstructuur.

Diepe aanlanding wind op zee

In alle 2050-scenario's ontstaan knelpunten op het 380 kV-net van TenneT doordat grote hoeveelheden energie van windparken op zee getransporteerd moet worden van Zuid-Holland naar de rest van het land en over de landsgrenzen (zie ook Bijlage I.1). Dit komt doordat tussen de 13,4 en 23,6 GW wind op zee aanlandt bij de Maasvlakte. Elektrolyzers vangen de pieken van de productie van deze windparken grotendeels op. Maar zelfs met een groot vermogen aan elektrolyzers (die verondersteld is tot 19 GWe), kan het hoogspanningsnet de windstroom niet afvoeren (en bovendien kan het huidige gastransportnet door het havengebied Rotterdam die hoeveelheden waterstof niet aan). Dit roept de vraag op of het überhaupt realistisch is om dusdanig grote hoeveelheden windstroom te laten aanlanden bij de Maasvlakte. De hoeveelheid energie die in de scenario's aanlandt bij de Maasvlakte is zo groot omdat het aantal geschikte aanlandingslocaties aan de kust beperkt is.

Een mogelijke oplossing hiervoor is zogenaamde diepe aanlanding van wind op zee, waarbij de windstroom direct getransporteerd wordt naar een station verder landinwaarts met een HVDC-kabel⁴¹. Hierdoor hoeft niet alle windstroom via het hoogspanningsnet van TenneT van de kust naar de rest van het land getransporteerd te worden en wordt de aanlanding van de windstroom beter uitgespreid. Met diepe aanlanding kan de windstroom bijvoorbeeld direct aangesloten worden op de ring van het 380 kV-net. Een andere optie die onderzocht wordt, is een directe verbinding van windparken op de Nederlandse Noordzee naar het Ruhrgebied in Duitsland (DNV GL, 2020). Diepe aanlanding is een vorm van netverzwaring en hiervoor is alsnog ruimte nodig, aangezien een nieuwe kabel aangelegd moet worden. Het loopt echter niet via het HS-net van TenneT.

Indien de opwekcapaciteit van windparken op zee groeit naar tientallen GW in 2050, zal alleen diepe aanlanding niet voldoende zijn om knelpunten te voorkomen, aangezien de druk op het 380 kV-net alleen verplaatst wordt. In deze gevallen is alsnog verdere conversie naar waterstof en/of grootschalige verzwaring van het 380 kV-net noodzakelijk. Diepe aanlanding kan echter wel leiden tot vermindering van de knelpunten.

Loadpockets in het havengebied

Al in 2030 doen zich knelpunten voor op het 150 kV-net in het havengebied van Rotterdam. TenneT heeft al de visie 'Een haven vol nieuwe Energie' (Havenbedrijf Rotterdam, TenneT en Stedin, 2019), waarin de inrichting van zogenaamde 'pockets' wordt voorzien. Dit betekent dat het 150 kV-net op meer punten aan het 380 kV-net wordt gekoppeld, zodat de vraag vanuit een hoger netvlak wordt betrokken (geleverd). Het gaat om drie loadpockets: van oost naar west Simonshaven, Europoort en Maasvlakte. Botlek, Geervliet en Geervliet Noorddijk en Oudeland zullen onderdeel worden van de loadpocket Simonshaven. Hiervoor moet het 380 kV-station Simonshaven worden uitgebreid, met ook extra ruimtebeslag. De 150 kV-verbinding tussen de 150 kV-stations Simonshaven, Geervliet (Noorddijk) en Botlek moeten worden verzwakt. Hiervoor moet het 150 kV-gebouw op de stationslocatie Geervliet Noorddijk worden uitgebreid en moet er op de stationslocatie Botlek een nieuw

⁴¹ Hoogspanningsgelijkstroom kabel. Met deze kabel kan elektriciteit over lange afstanden getransporteerd worden met relatief weinig verliezen.

150 kV-gebouw worden gerealiseerd. Het 150 kV-station Theemsweg zal onderdeel worden van de loadpocket Europoort. Om de loadpocket Europoort te kunnen realiseren moet er een nieuw 380 kV-station worden gebouwd en het bestaande 150 kV-station Europoort moet worden vervangen. De 150 kV-verbinding Europoort-Theemsweg moet worden verzwakt.

Figuur 41 - Loadpockets in het havengebied



Bron: 'Een haven vol nieuwe Energie'.

Stedelijke gebieden

De aanleg en uitbreiding van warmtenetten speelt met name (maar niet alleen) in stedelijk gebied waar het warmtedistributienetten betreft, en is al eerder in dit hoofdstuk benoemd.

Als gevolg van de toename van de elektriciteitsvraag in de stedelijke gebieden, vanuit de gebouwde omgeving en de mobiliteit, gaan vraagknelpunten in de huidige elektriciteitsnetten van de regionale netbeheerders ontstaan in en bij de stedelijke gebieden. Die groei leidt ook tot knelpunten op het 150 kV-net van TenneT.

Mogelijke oplossingen voor dergelijke knelpunten zijn verzwaring, de energievraag voorzien vanuit een andere drager (transport van moleculen in plaats van elektronen) en andere vormen van flexibiliteit, zoals vraagverschuiving, lokale batterijen en *vehicle-to-grid*.

Moleculen in plaats van elektronen

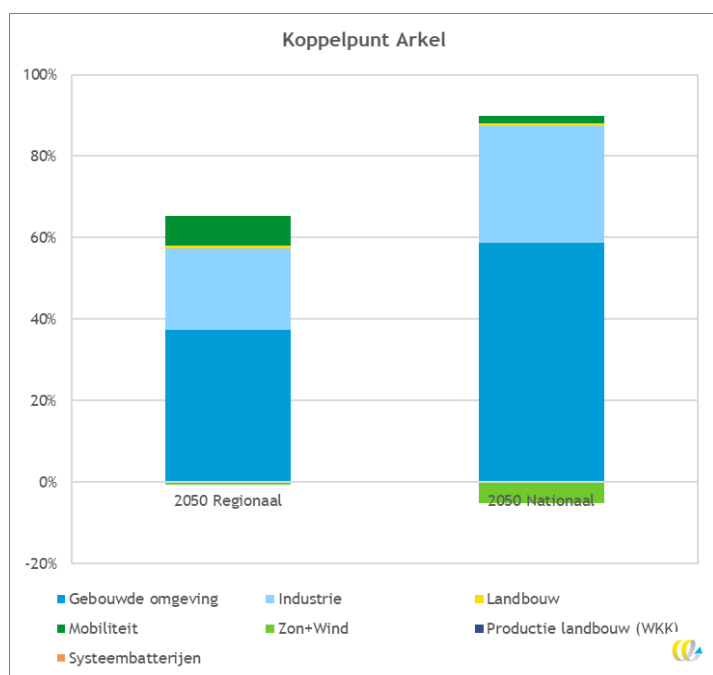
Wat betreft het tweede is de differentiatie tussen de scenario's relevant. Als gevolg van de omvang van de vraag naar kracht, en de toename daarvan in de tijd, zijn de verschillen in elektriciteitsgebruik tussen de scenario's kleiner dan de totale groei van het elektriciteitsgebruik tussen 2020 en 2050. De verschillen tussen de scenario's zijn er wel degelijk, maar dus relatief klein ten opzichte van die 'offset' door vraag naar kracht en licht. Dat effect zien we terug in de verschillen in de knelpunten tussen de scenario's. De piekbelasting elektriciteit vanuit de gebouwde omgeving is duidelijk minder (i.e. 700 MW) als er sprake is van meer warmtelevering in plaats van meer elektrische warmtepompen. Dat maakt dat knelpunten minder zwaar worden in dat geval, echter niet verdwijnen. De scenario's met

meer hybride warmtepompen met groengas of waterstof in plaats van elektrische warmtepompen laten ook een lagere piekbelasting vanuit de gebouwde omgeving zien, echter wel iets hoger dan in het scenario Regionale Sturing met veel warmtelevering.

In de net-doorrekeningen zijn aanwijzingen te vinden dat inderdaad knelpunten voorkómen kunnen worden c.q. minder zwaar worden door de warmtevoorziening niet te elektrificeren. Het is lastig om het effect van het gebruik van warmte of gas in plaats van all-electric verwarming in de gebouwde omgeving direct terug te zien op hogere netvlakken, zoals de koppelpunten, omdat niet alleen de gebruikte warmtetechnieken variëren tussen de scenario's maar ook het energieverbruik van andere sectoren verandert.

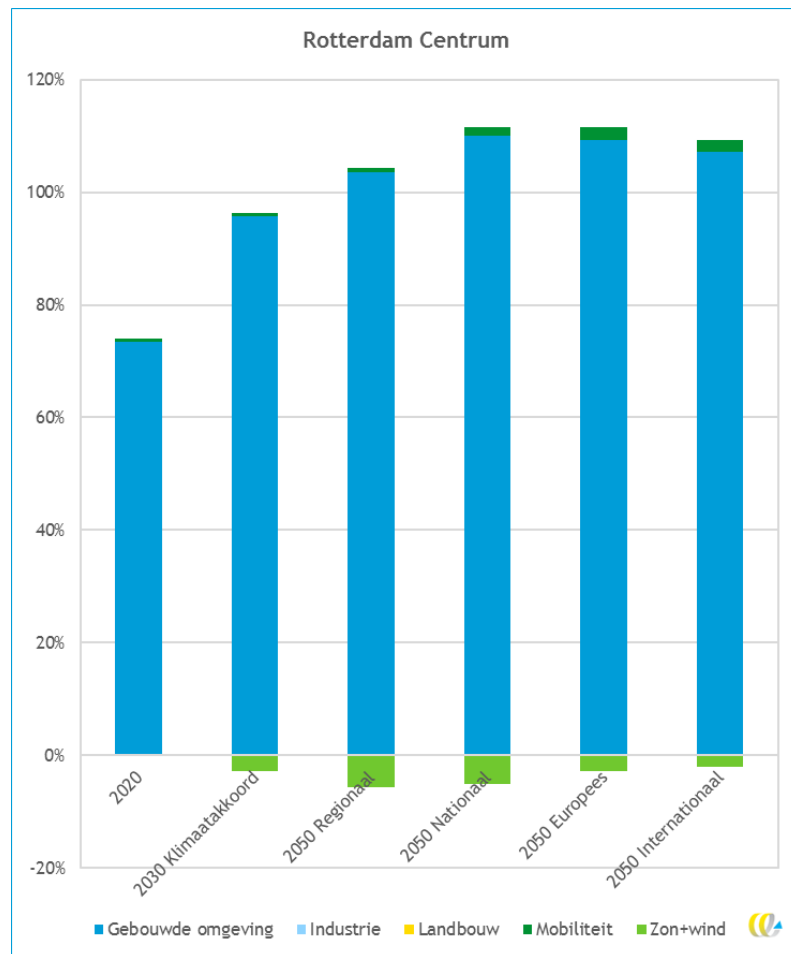
Maar bij sommige stations is het effect van warmtenetten wel zichtbaar op het niveau van het koppelpunt, bijvoorbeeld bij het koppelpunt Arkel. Daar is de netbelasting van de sector gebouwde omgeving in het scenario Regionale Sturing een stuk lager dan in het scenario Nationale Sturing. Dit komt doordat er in het scenario Regionale Sturing meer gebruik wordt gemaakt van warmtenetten in Gorinchem, de belangrijkste plaats in het voorzieningsgebied van dit koppelpunt.

Figuur 42 - Vergelijking belasting koppelpunt Arkel scenario Regionale Sturing en Nationale Sturing (zonder flex)



Een ander voorbeeld waarbij het effect van warmtenetten zichtbaar is op koppelpuntniveau is Rotterdam Centrum. Hier is de rol van warmtenetten groot in alle 2050-scenario's. Dit leidt tot een relatief kleine toename van de belasting op het koppelpunt door de gebouwde omgeving.

Figuur 43 - Belasting station Rotterdam Centrum in alle scenario's (zonder flex), opgesplitst naar sector



Het effect van warmtenetten op de belasting van de lagere netvlakken is in sommige gevallen goed zichtbaar, namelijk in buurten waar in het ene scenario gebruik gemaakt wordt van all-electric verwarming en in een ander scenario van een warmtenet. Een voorbeeld hiervan is de regio Scheveningen, waar in scenario Regionale Sturing gebruik gemaakt wordt van een LT-warmtenet en in het scenario Nationale Sturing van all-electric verwarming. Bij de LS-MS-trafo's ligt het aantal vraagknelpunten in dit gebied⁴² in het scenario Regionale Sturing 65% lager dan in het scenario Nationale Sturing. Het is niet mogelijk om het exacte effect van het gebruik van warmte in plaats van elektriciteit te bepalen aangezien de scenario's ook op andere punten verschillen, en de netbelasting het totale samengestelde effect toont. Daarnaast is er bij een LT-warmtenet alsnog elektrische bijverwarming noodzakelijk, wat het verschil tussen de scenario's verkleint. Maar deze casus geeft wel een indicatie dat het gebruik van warmte het aantal knelpunten op lagere netvlakken vermindert.

⁴² Dit gebied bestaat uit de voorzieningsgebieden van stations Appelstraat, Cartesiusstraat, Houtrust, van Diepenburchstraat en Vijzelstraat.

Gasnetten moeten geamoveerd of omgebouwd

De gasnetten zullen, indien in onbruik, op de nominatie komen om te amoveren. Indien ze voor waterstof distributie ingezet zullen worden, zal ombouw nodig zijn, opdat ze de hogere druk of grotere snelheden kunnen faciliteren die nodig zijn voor waterstof in vergelijking met aardgas of groengas. Verwarming met groengas vergt de minste aanpassingen aan de energie-infrastructuur, maar hier vormt beschikbaarheid (en daarmee prijs) een voorname onzekerheid.

Flexibiliteit biedt niet zonder meer een oplossing voor lagere netten

Om terug te komen op de elektriciteitsnetten: in hoeverre andere vormen van flexibiliteit, zoals vraagverschuiving, lokale batterijen en *vehicle-to-grid*, kunnen bijdragen aan voorkoming of vermindering van knelpunten, is in deze studie niet onderzocht. We merken op dat flexvoorzieningen kunnen inspelen op drie niveaus. Naast het voorkomen van lokale congestie kan het ook bijdragen aan sluitende programma's op de groothandelsmarkt voor elektriciteit en het bijdragen aan de netbalans op de onbalansmarkt. Het inzetten van flex op de nationale markten kan tegen het lokale congestiemanagement inwerken. Flexvoorzieningen zullen niet zonder meer knelpunten voorkomen of verminderen.

Datacenters

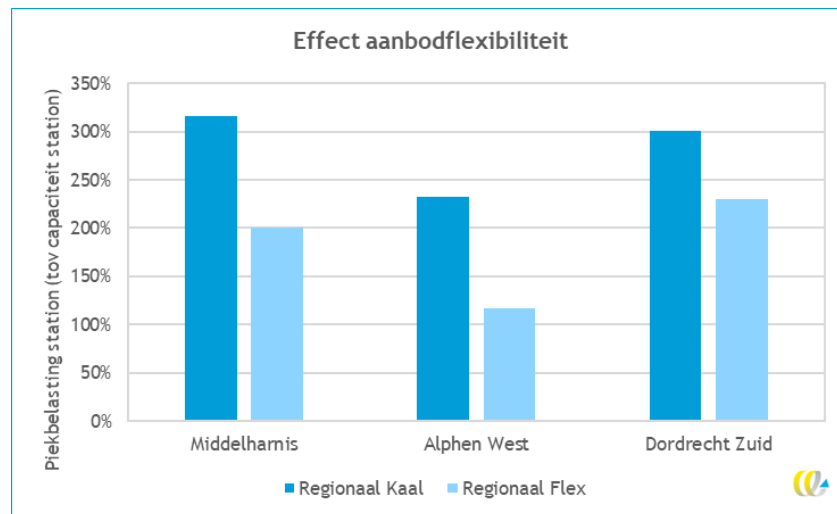
In twee scenario's zijn hyperscale datacenters (>100 MW) verondersteld, bij Zoetermeer en Rotterdam. Dat leidt tot (verergering van) knelpunten. Mogelijke oplossingen zijn verzwaring of dergelijke hyperscale datacenters enkel toestaan daar waar ook netcapaciteit is. Bij Zoetermeer lijkt het meer kritisch dan bij Rotterdam, maar we zien op beide plaatsen sowieso knelpunten ontstaan vanwege toenemende vraag in de gebouwde omgeving of de industrie. Wanneer dergelijke ontwikkeling van datacenters zich aandient, dan is meer specifiek onderzoek naar de impact op de netten aanbevolen.

Landelijke gebieden met aanbodknelpunten

In met name drie gebieden kunnen knelpunten in de elektriciteitsinfrastructuur ontstaan door groot overschot van aanbod, oftewel productie van zon en wind op land. Het gaat om Goeree-Overflakkee, het gebied ten zuiden van Dordrecht en nabij Alphen aan de Rijn. Oplossingen kunnen zijn: curtailment, inzet van batterijen, power-to-heat in combinatie met warmteopslag, verzwaring van de netten of minder vermogen aan decentrale opwek opstellen. Curtailment is in deze studie doorgerekend als flexoptie, namelijk levering gemaximeerd op 67% van het opgesteld vermogen, en het blijkt dat dit in de genoemde gebieden een sterke bijdrage kan leveren aan het verminderen van de knelpunten. Niettemin blijft een aantal aanbodknelpunten bestaan, bovendien resteert op een aantal plekken alsnog een vraagknelpunt. Systeembatterijen en power-to-heat zijn ook doorgerekend en leiden nog altijd tot transport tussen het aanbod en deze flexibele installaties. Ze ontzien wel het hoogspanningsnet, maar niet het regionale net (MS, TS).

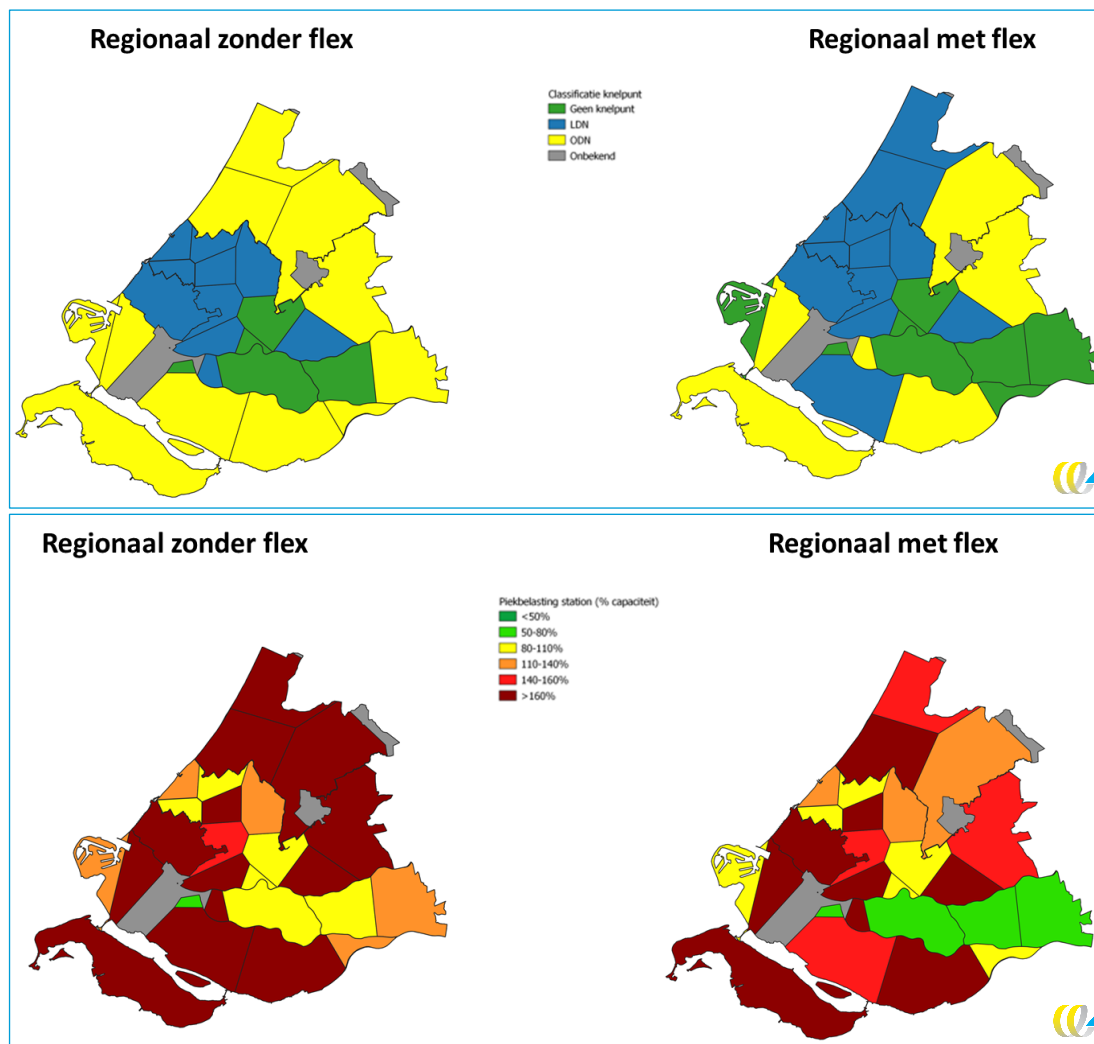
In Figuur 44 en Figuur 45 is het effect van flex op de knelpunten te zien in het scenario Regionale Sturing, het scenario met de grootste hoeveelheid zon en wind. In deze figuur worden drie uitgelichte koppelpunten waarbij het aanbod dominant is in dit scenario. Het is te zien dat aanbodflexibiliteit, met name curtailment, leidt tot een flinke afname van de belasting op deze koppelpunten. Maar ook met aanbodflexibiliteit is er nog sprake van een knelpunt aangezien de piekbelasting groter is dan de capaciteit.

Figuur 44 - Vergelijking knelpunten drie koppelpunten scenario 2050-Regionale Sturing met en zonder flex



Figuur 45 toont het effect van flexibiliteit op alle knelpunten in het scenario Regionale Sturing. Zonder flex is in veel gevallen sprake van aanbodknelpunten. Het toepassen van flex leidt tot vermindering van de aanbodknelpunten. Dit leidt bij drie koppelpunten (Maasvlakte, Arkel en Merwedehaven) tot oplossing van het knelpunt. In drie gevallen is er naast een aanbodknelpunt ook nog sprake van een vraagknelpunt (LDN), welke niet opgelost wordt door de flex. In deze gevallen verandert het aanbodknelpunt dus in een vraagknelpunt. De ernst van het knelpunt wordt wel verminderd, zoals te zien is in de afbeeldingen met de maximale belasting in het jaar. Daarnaast zijn er nog enkele koppelpunten waarbij het aanbod van wind en zon in dit scenario zo groot is dat er ook met curtailment sprake is van aanbodknelpunten. Ook bij deze koppelpunten wordt de ernst van het knelpunt wel verminderd door de toepassing van flex.

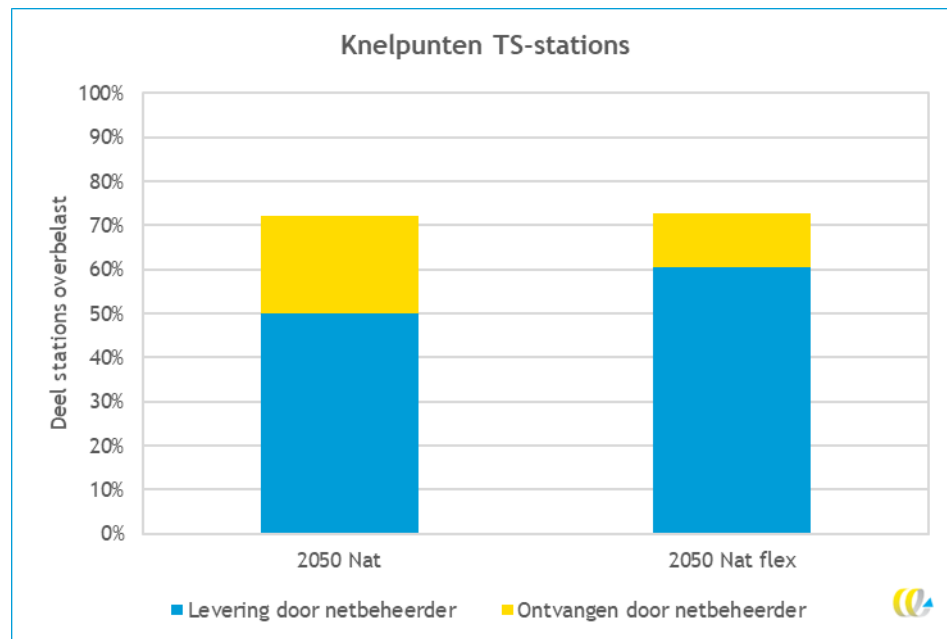
Figuur 45 - Vergelijking knelpunten koppelpunten scenario Regionale Sturing met en zonder flex⁴³



Bij lagere netvlakken is hetzelfde patroon te zien, zoals geïllustreerd in de volgende figuur waarin de knelpunten op tussenspanningsstations weergegeven zijn. Door de toepassing van flex wordt een gedeelte van de aanbodknelpunten opgelost, maar het totaal aantal knelpunten neemt nauwelijks af doordat er bij de meeste stations ook nog sprake is van een vraagknelpunt.

⁴³ Bij figuren is voor de resultaten met flex alleen de flex op de aanbodknelpunten (ODN) meegenomen. Voor de vraagknelpunten (LDN) is flex in beide gevallen niet meegenomen. Dit geldt niet voor de resultaten in het voorzieningsgebied van Liander, aangezien hier niet voor alle scenario's doorrekeningen zijn gemaakt zonder flex. Daarom is hier ook bij de vraagknelpunten (LDN) flex meegenomen. Zie de disclaimer in Paragraaf 5.4 voor meer informatie hierover.

Figuur 46 - Vergelijking knelpunten TS-stations scenario's 2050-Nationale Sturing, met en zonder flex



Landelijke gebieden met vraagknelpunten

In Zuid-Holland zijn twee grote glastuinbouwgebieden, namelijk het Westland en het Oostland. Dit zijn landelijke gebieden waar voornamelijk vraagknelpunten op gaan treden in de elektriciteitsnetten. In deze gebieden ontstaan in alle scenario's knelpunten op de koppelpunten door toename van de elektriciteitsvraag van de glastuinbouw.

De knelpunten zijn het grootst in het Nationale scenario, aangezien in dit scenario een aanzienlijk gedeelte van de warmtevraag ingevuld wordt met warmtepompen. In andere scenario's wordt gebruik gemaakt van andere bronnen, zoals geothermie, restwarmte en groengas. Dit verlaagt de belasting op het elektriciteitsnet.

In het scenario Regionale Sturing wordt geen gebruik gemaakt van elektriciteit voor verwarming in de glastuinbouw. Maar alsnog ontstaan er vraagknelpunten in dit scenario. Dit komt door toename van de verlichting in de glastuinbouw. Voor deze knelpunten is verzwaring noodzakelijk.

7 Ruimtelijke impact en kosten

De energietransitie vraagt andere, nieuwe en/of uitgebreider infrastructuur. Dat legt een claim op de ruimte en vraagt om investeringen. In deze studie is een eerste en nog onvolledige verkenning gedaan van de ruimtelijke impact en de investeringskosten van infrastructuur. De resultaten bespreken we in dit hoofdstuk.

In de uitwerking van de energietransitie zal de ruimtelijke inpassing van de extra energie-infrastructuur een belangrijke rol spelen. Dat geldt niet alleen de zon- en windparken of de elektriciteitsstations, maar ook de warmtenetten, gasnetten, elektriciteitskabels, en de flexmiddelen.

7.1 Ruimtelijke impact

In Zuid-Holland wordt veel beslag gelegd op de ruimte door de hoge bevolkingsdichtheid en de aanwezigheid van het grote industriecluster in het havengebied van Rotterdam. Zonneparken en windparken op land brengen een ruimtebeslag met zich mee, net als centrales en andere installaties zoals systeembatterijen, elektrolyzers en power-to-heat. Verzwaring van de elektriciteitsnetten betekent meer ruimte voor hoogspanningstracés en stations bovengronds en voor kabels ondergronds. Aanleg van warmtenetten betekent nieuwe buisleidingen ondergronds, en nieuwe warmteoverdrachtstations en pompstations (veelal bovengronds). Gasnetten kunnen indien nodig worden 'geamoveerd' (verwijderd), maar er zullen ook nieuwe buizen voor waterstoftransport nodig zijn. Hieronder is, als eerste en nog onvolledige verkenning van deze materie, het ruimtebeslag van zon en wind, van stations in het elektriciteitsnet en van systeemflex uitgewerkt.

De locaties van zonneparken en wind op land worden onder andere in de uitwerking van de RES'en bepaald. De locaties van de extra infrastructuur zal in lijn moeten zijn met aard en locatie van het betreffende knelpunt dat er mee wordt opgelost. Voor de locaties van de systeemflex is aangenomen dat de batterijen bij de koppelstations worden geplaatst, en de elektrolyzers op het aanlandingspunt van wind op zee op de Maasvlakte. Het grootschalig flexibel productievermogen is aangenomen op de locaties van de huidige elektriciteitscentrales. Het kleinschalig flexibel productievermogen is aangenomen te worden ingezet op de locatie van de vraag (vaak industriële locaties).

Zon en wind

Voor zon en wind hanteren we de vermogens zoals besproken in Paragraaf 4.2 (en Bijlage H.1) en daarbij de kentallen van 1 MW per hectare voor zonneparken en 0,15 MW per hectare voor windparken op land (NP RES, 2019). Voor windparken geldt dat dit ruimtebeslag niet betekent dat de ruimte niet nog voor andere doeleinden gebruikt kan worden, wel dat er beperkingen gelden voor het verdere ruimtegebruik. De grootste vermogens zijn verondersteld in scenario Regionale Sturing. Het ruimtebeslag is daar dan ook het grootst.

Tabel 15 - Ruimtebeslag zonneparken per RES-regio (ha; extra ten opzichte van 2020)

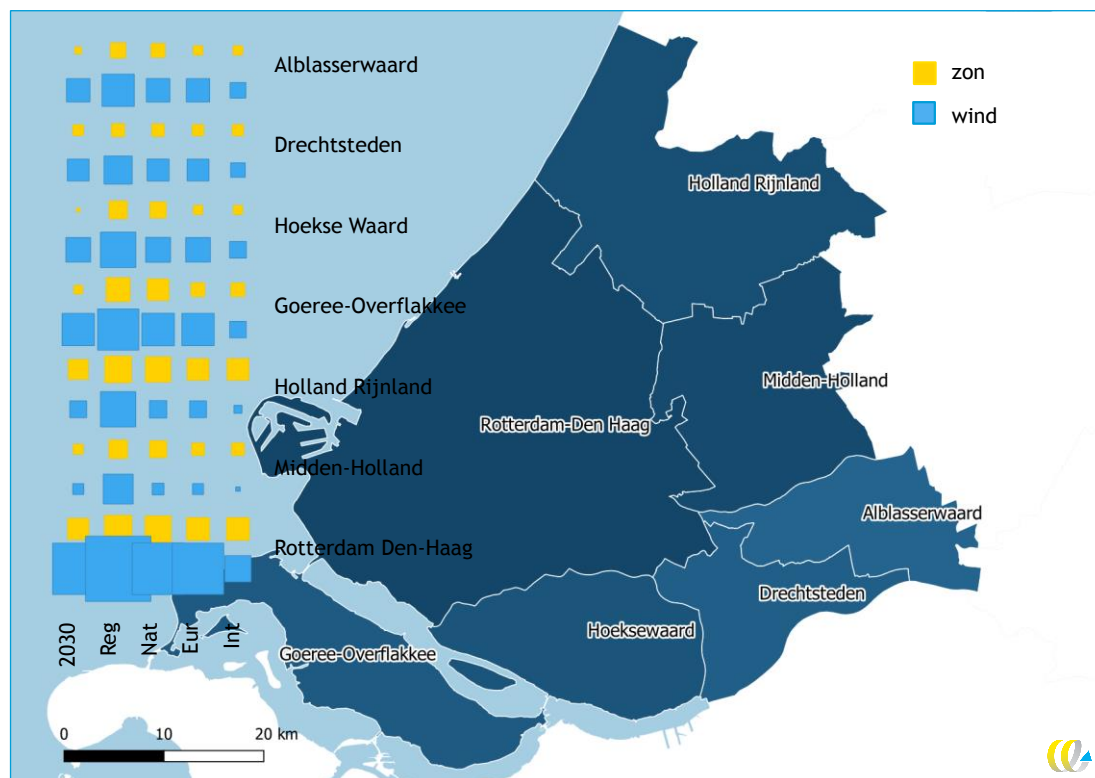
RES-regio	2030	Reg	Nat	Eur	Int
Alblasserwaard	50	238	199	94	94
Drechtsteden	120	172	161	132	132

RES-regio	2030	Reg	Nat	Eur	Int
Hoeksche Waard	15	332	266	88	88
Goeree-Overflakkee	79	576	472	193	193
Holland Rijnland	405	722	655	478	478
Midden-Holland	105	350	299	162	162
Rotterdam Den-Haag	457	752	690	525	525

Tabel 16 - Ruimtebeslag windparken op land per RES-regio (ha; extra ten opzichte van 2020)

RES-regio	2030	Reg	Nat	Eur	Int
Alblasserwaard	552	1.049	561	552	250
Drechtsteden	483	797	489	483	214
Hoeksche Waard	614	1.264	626	614	284
Goeree-Overflakkee	1.053	1.712	1.065	1.053	277
Holland Rijnland	286	1.257	305	286	66
Midden-Holland	123	899	137	123	20
Rotterdam Den-Haag	2.661	4.291	2.691	2.661	700

Figuur 47 - Ruimtebeslag zon en wind per RES-regio (extra ten opzichte van 2020). Het oppervlak aan zon (geel) en wind (blauw) is op dezelfde schaalgrootte getoond als de schaal van de kaart van Zuid-Holland



Elektriciteitsnet en systeemflex

Een vergelijkbare analyse is gedaan voor de benodigde stations op het elektriciteitsnet en voor de systeemflex. Met daarbij de kanttekening dat het ontwerpen van de benodigde nieuwe infrastructuur buiten scope van deze systeemstudie valt. In plaats daarvan is de extra belasting met behulp van kentallen vertaald naar ruimtebeslag. De daarvoor gehanteerde kentallen komen uit het Basisdocument over energie-infrastructuur van Netbeheer Nederland; Liander heeft voor haar infrastructuur een eigen inschatting gemaakt binnen deze systeemstudie. Eventueel extra ruimtebeslag voor hoogspanningstracés is buiten beschouwing, hetzelfde geldt voor het ruimtebeslag van kabels in de regionale netten.

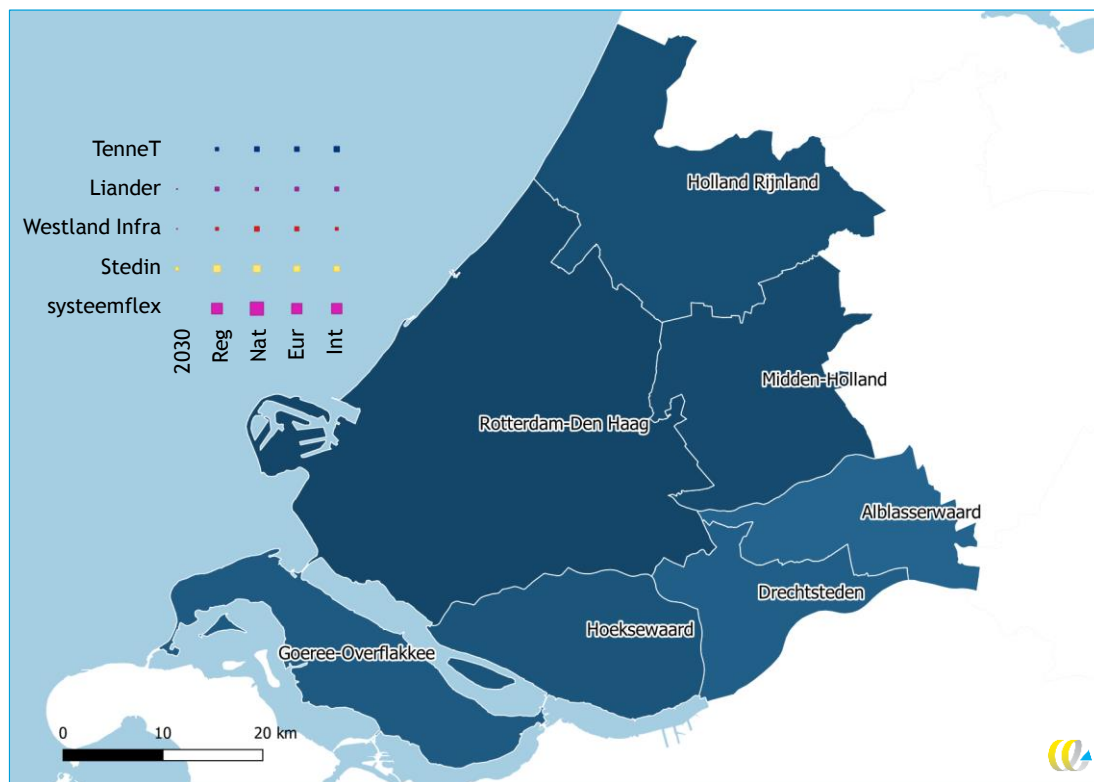
Wat opvalt, is dat het ruimtebeslag ten opzichte van die voor decentrale opwek met zon en wind een ordegrrootte lager ligt. Bij zon- en windparken gaat het vooral om landelijk gebied met bij wind de mogelijkheid tot meervoudig ruimtegebruik (met beperkingen). Bij de infrastructuur gaat het veelal om stedelijk gebied en industriegebied. Binnen de categorie verdeelstations, zoals elektrische onder- en trafostations is ook een onderscheid te maken. Hoe lager de spanning (bijvoorbeeld MS en LS), hoe kleiner de stations in oppervlakte. Het gaat hier wel om een veelvoud van stations die in dichtbebouwd gebied moeten worden ingepast. Samen met de benodigde flex/opslagmiddelen gaat er een nog onduidelijke, maar waarschijnlijk zeer forse, ruimtevraag schuil achter het accommoderen van het energiesysteem in 2050. In combinatie met de verdichting van verstedelijkt gebied voor woningbouw en bedrijvigheid, leidend tot een verdichte energievraag, is ruimte voor het energiesysteem een belangrijke zorg voor stedelijke ontwikkeling.

Tabel 17 - Ruimtebeslag elektriciteitsnet (ha; extra ten opzichte van 2020)

		2030	Reg	Nat	Eur	Int
TenneT	380/150 kV	n.a.	13	24	23	31
Liander	Koppelstations en TS-MS	1	15	10	15	16
	MS-LS	0	3	3	3	3
Westland Infra	Koppelstations	0	6	13	11	6
	TS-MS	0	2	7	6	2
	MS-MS	0	2	2	2	1
	MS-LS	0	1	1	0	0
Stedin	Koppelstations	4	29	29	21	18
	TS-MS	7	19	19	13	10
	MS-LS	1	3	3	3	3
Systeemflex	Centrales	-	11	17	20	20
	Elektrolyzers ⁴⁴	-	40	66	29	28
	Systeembatterij	-	71	96	62	63

⁴⁴ NB: het ruimtebeslag van zeer grootschalige elektrolyzers is nog onzeker.

Figuur 48 - Ruimtebeslag elektriciteits-infrastructuur en systeemflex (extra ten opzichte van 2020). De schaal van het benodigd ruimtegebruik is gelijk gehouden aan de schaal van de kaart van Zuid-Holland



NB: excl. ruimte voor extra kabels.

7.2 (Maatschappelijke) kosten

Aan extra energie-infrastructuur zijn uiteraard ook kosten verbonden. Investerings van netbeheerders worden onder toezicht van ACM gesocialiseerd, oftewel verdisconteerd in de tarieven die ze rekenen aan klanten. Netbeheerders moeten doorlopend in hun assets investeren om deze up-to-date te houden; de vraag hier is hoeveel extra capaciteit aangelegd zou moeten worden in de scenario's en hoeveel investeringen daarmee gepaard gaan. Hiervan hebben we een inschatting gemaakt.

Kosten aan energie-infrastructuur zijn niet de enige kosten die horen bij de energietransitie zoals voorgesteld in de verschillende scenario's. Investerings in de gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie en land- en tuinbouw maken daar ook deel van uit. Het is voorstelbaar dat hogere kosten aan infrastructuur juist kosten in de sectoren zelf uitsparen, zodat de totale maatschappelijke kosten toch lager zijn.

Liander en Stedin hebben zelf een inschatting gemaakt van de kosten. Bij Liander hebben wij die zelf aangevuld met MS-LS en voor Westland Infra hebben wij de gehele inschatting gemaakt. Dit hebben we gedaan op basis van kentallen uit het Basisdocument over energie-infrastructuur van Netbeheer Nederland. De inschatting voor het warmtenet komt van WarmtelinQ.

Een aantal posten hebben we niet gekwantificeerd, maar noemen we wel in Tabel 18, samen met, indien beschikbaar, een maat die de verhoudingen tussen de scenario's

uitdrukt. Voor een kosteninschatting van het hoogspanningsnet zou een nieuw ontwerp van tracés nodig zijn en dat valt buiten de scope van dit project.

NB: voor de goede orde: het overgrote deel van de capaciteitsknelpunten in de elektriciteitsinfrastructuur in Zuid-Holland betreft vraagknelpunten, en niet aanbodknelpunten.

Tabel 18 - Inschatting investeringen energie-infrastructuren (€ x miljoen)

		2030	Reg	Nat	Eur	Int
Elektriciteitsnet	TenneT (gemiddelde piek-belasting N-1)	Ja (98%)	Ja (192%)	Ja (240%)	Ja (225%)	Ja (255%)
	Liander	10	430	450	420	500
	Westland Infra	20	180	370	280	160
	Stedin	330	2.720	1.680	1.270	990
Gasnet	Amoveren distributienet (%)	Ja (11%)	Ja (66%)	Ja (77%)	Ja (35%)	Ja (46%)
	Aanvulling waterstofbackbone	Nee	Nee	Ja	Nee	Ja
Warmtenet (regionale transportnet, excl. distributienetten)	Leidingen incl. pompen	Ja	1.100 tot 1.300	1.400 tot 1.700	Ja	Ja
	Warmtenetonderstations (WOS)	Ja	130 tot 170	250 tot 320	Ja	Ja
Systeemflex	Vermogen PtG, GtP en batterijen	Onbekend	Ja (35 GW)	Ja (49 GW)	Ja (31 GW)	Ja (31 GW)

De tabel is nog niet compleet genoeg om zinvolle conclusies aan te verbinden. Daarvoor zou een complete analyse van kosten en baten voor de maatschappij nodig zijn.

8 Governance

De uitkomsten van deze studie laten zien hoe de energietransitie van de sectoren Industrie, Gebouwde Omgeving, Mobiliteit, Elektriciteit en Landbouw, de vijf ‘werelden’ van het Klimaatakkoord, gezamenlijk de benodigde infrastructuur bepalen. Op weg naar een volledig duurzame energievoorziening in 2050 gaan sectorale keuzes impact hebben op het gehele energiesysteem, en vice versa zal het energiesysteem impact hebben op sectorale keuzes. De scenario’s geven inzicht in de gevolgen van keuzes voor bronnen, dragers, distributie en opslag die de omvang en balans van dit systeem bepalen.

Er zullen fundamentele veranderingen plaatsvinden bijvoorbeeld met betrekking tot flexibiliteit, waarbij balanceren, uitwisselen en het omgaan met pieken een belangrijke rol zullen spelen.

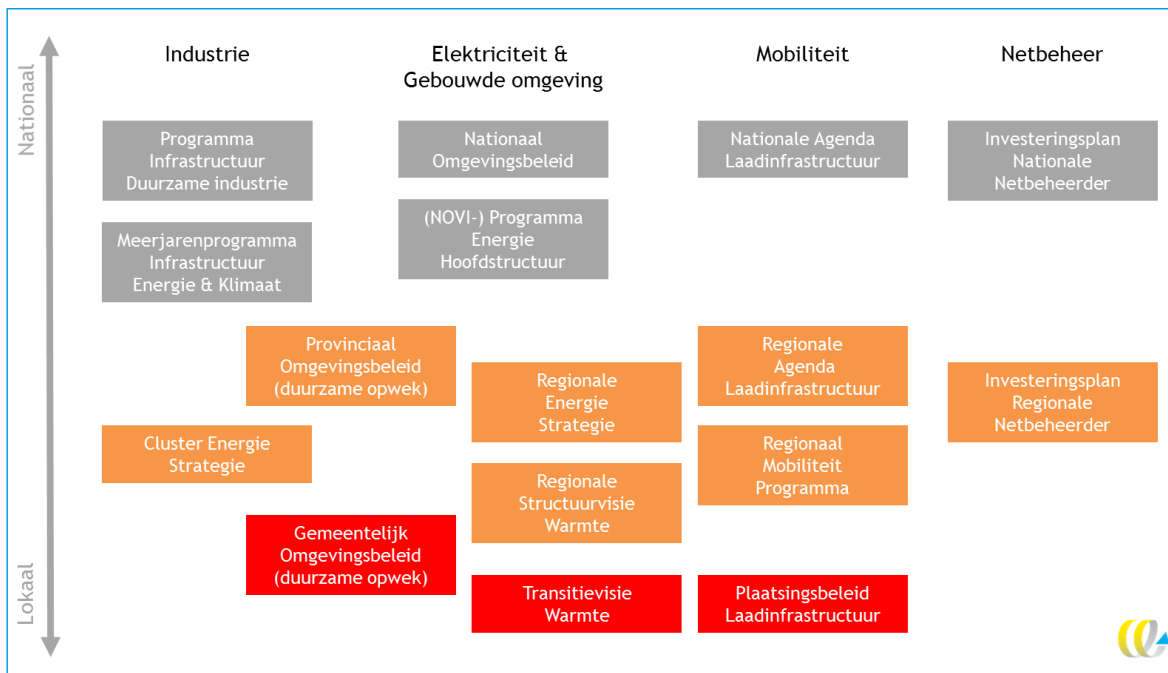
De sectorale keuzes bepalen de betaalbaarheid, efficiëntie en inpassing van het energiesysteem en zijn daarom van groot belang voor de energietransitie. Het ontbreekt op dit moment aan een georganiseerde samenwerking waarin de sectoren op een logisch schaalniveau samenkomen. Deze *governance* is nodig om vanuit een integrale benadering weloverwogen sectorale keuzes te faciliteren. Dit hoofdstuk omschrijft de aanbevelingen voor de *governance* van een systeembenadering van de energietransitie in Zuid-Holland.

Aanleiding en behoefte

Figuur 49 geeft de veelheid weer van sectorale beleidstrajecten en samenwerkingen die uit het Klimaatakkoord ontstaan zijn. Het aantal en de opbouw is een logisch gevolg van de complexiteit van de energietransitie per sector en de vele (bestuurlijke) schaalniveaus waar deze plaatsvindt. Het maakt duidelijk dat de *governance* voor systeembenadering gericht moet zijn op het samenbrengen van wat er al is. Dit moet als doel hebben om sectorale en systemische afwegingen met elkaar te verrijken. Om het concreet te maken een aantal voorbeelden:

- De ontwikkeling van laadinfrastructuur voor logistiek zoekt locaties binnen de ruimtelijk-economische structuren van deze sector, maar deze heeft grote impact op het energiesysteem. Hoe verhoudt dit zich tot andere sectoren en hoe beïnvloeden ze elkaar?
- Verstedelijking leidt tot een toenemende energievraag binnen bestaand stedelijk gebied. Kan deze tijdig gefaciliteerd worden, welke energiedragers zijn (kosten) efficiënt beschikbaar en wat betekent dit voor het energiesysteem en andere functies?
- De tijdige realisatie van infrastructuur van een (kosten)efficiënt energiesysteem is gebaat bij concreetheid en zekerheid van ontwikkelingen in energiegebruik en opwek. Hoe en in welke mate kan dit gerealiseerd worden?
- Deze studie gaat uit van innovaties in flexmiddelen die momenteel niet mogelijk zijn, of door wet- en regelgeving worden belemmerd. Daar loopt iedere sector op verschillende schaalniveaus tegenaan: hoe organiseren we een gedragen en gerichte lobby voor aangepaste wet- en regelgeving?

Figuur 49 - Sectorale samenwerkingen en beleidstrajecten (niet uitputtend)



Aanbevelingen

Het lijkt logisch om op een passend schaalniveau verschillende trajecten en belangen bij elkaar te brengen, mogelijk op provinciale schaal, waar met een strategische visie op het energiesysteem systeemkeuzes worden gewogen.

— Samenwerking

Start een samenwerkingsplatform waarin samengewerkt wordt aan de tijdige realisatie van het integrale energiesysteem. Dit platform verenigt sectorale trajecten op strategisch niveau en heeft de volgende doelen:

- Het delen en samenbrengen van grote ontwikkelingen die bepalend zijn voor het energiesysteem.
- Bijdragen aan de planning, prioritering en efficiënte inzet van schaarse middelen (tijd, geld, uitvoeringscapaciteit en ruimte), vanuit een duidelijke rolverdeling en bijbehorende bevoegdheden en verantwoordelijken
- Ruimtelijke en maatschappelijke factoren onderdeel maken van infrastructuur-ontwikkelingen.
- Het faciliteren van systeemkeuzes (bijv. de plaats en vorm van energievraag en -aanbod) met als doel de impact van de energietransitie op het energiesysteem te beperken en systeemefficiëntie onderdeel van de afwegingen te maken. Het samenbrengen van sectorale ontwikkelingen is input, de systeemkeuzes en -advies zijn output.
- De aanbeveling is dit platform, op het juiste schaalniveau, met de daarbij relevante deelnemers, doel, rollen en verantwoordelijkheden, verder uit te werken en op te zetten.

- **Blijvend en gedeeld inzicht**
Zorg voor een blijvend en gedeeld inzicht in de ontwikkeling van energiesysteem van Zuid-Holland:
 - a Faciliteer een koppeling tussen de regio en het landelijke II3050-traject om regionale kennis en input in dit landelijke traject te borgen. Organiseer deze regionale verbinding met II3050 gezamenlijk met andere provincies. II3050 gaat uit van een update eens in de twee jaar.
- **Organiseer regelgeving en experimenteer ruimte**
Organiseer en experimenteer mitigerende maatregelen. De innovaties waar deze studie vanuit is gegaan, en die waar we nog geen weet van hebben, zijn van groot belang om de impact op het systeem te beperken of te voorkomen. De realisatie van deze innovaties zal echter wel georganiseerd moeten worden.
 - a Maak volgend uit het samenwerkingsplatform en inzichten van infrastructuurverkenningen een innovatiestrategie waarmee gericht wordt ingezet op het ontwikkelen van innovaties, zoveel mogelijk gebruik makend van bestaande innovatieplatforms. Bijvoorbeeld door nieuwe flexmiddelen die nog niet gereed zijn voor de markt te ondersteunen in één of meerdere proeftuinen.
 - b Een gezamenlijke lobby opzetten voor aanpassing van wet- en regelgeving, gericht op praktijksituaties uit de sectoren die in het samenwerkingsplatform worden geagendeerd. Bijvoorbeeld de behoefte aan ondersteunende regelgeving nodig voor het uitvoeren van de Transitievisie Warmte.
- **Vertaal naar ruimtelijke implicaties**
Vertaal de strategische samenwerking op het energiesysteem voor urgente situaties naar (boven- en ondergronds) ruimtelijk beleid en actie.
 - a Zet ruimtelijke onderzoeks- en beleidsinstrumenten in voor gebieden waar de inpassing van het energiesysteem lastig is, om ruimtelijke kwaliteit te waarborgen en/of het zoekproces voor infrastructuurlocaties te versnellen.
 - b Streef naar meervoudig ruimtegebruik door de ruimtelijke ontwikkeling van het energiesysteem met die van andere maatschappelijke opgaven te verbinden.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies vraag en aanbod van energie

Het uitgangspunt in deze systeemstudie is een transitie naar klimaatneutraal in 2050, met een tussenpunt in 2030. Voor 2050 zijn vier scenario's opgesteld die de hoeken van het realistisch voorstelbare speelveld opspannen. De conclusies uit de ontwikkelingen van vraag en aanbod hebben we opgedeeld. Eerst enkele algemene conclusies, daarna inzoomend op sectoren.

- De totale vraag naar energie in 2050 varieert per scenario, van 9% krimp tot 27% groei ten opzichte van nu. Binnen die totale energievraag treden grote systeemverschuivingen op.
- De inzet op CO₂-emissiereductie leidt tot afname in aardgasvraag, die wordt vervangen door andere energiedragers
- De vraag naar elektriciteit neemt ondanks de inzet op besparing sterk toe, in alle scenario's, met in totaal een factor 2 tot 3. Er is een afnemende trend door efficiëntieverbetering, die ruimschoots wordt gecompenseerd door groei van het aantal gebouwen en het aantal apparaten, en door elektrificatie in de mobiliteit, de industrie en van een deel van de ruimteverwarming. De mate van elektrificatie verschilt per scenario.
- De vraag naar warmtelevering neemt eveneens sterk toe, met name in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw, en ondanks de efficiëntieverbetering (isolatie) van gebouwen.
- Ook de vraag naar waterstof neemt sterk toe, afhankelijk van het scenario.
- De productie van elektriciteit verandert ingrijpend, met aanlanding van grote vermogens vanuit wind op zee op de Maasvlakte en met de groeiende inzet van zon-pv en van wind op land.

Gebouwde omgeving

De energievraag van de gebouwde omgeving omvat (ruimte)verwarming en kracht en licht. In de behoefte aan kracht en licht wordt voorzien met elektriciteit. Ondanks efficiëntieverbetering neemt die behoefte geleidelijk in omvang toe. De vereiste energie voor ruimteverwarming neemt geleidelijk af door verbeterde isolatie. In 2030 is minimaal schillabel D aangehouden, in 2050 minimaal schillabel C, afhankelijk van de warmtetechniek. Ruimteverwarming is nu nog vooral gebaseerd op aardgas, en in de steden ook op warmtenetten. De inzet van aardgas neemt af, met een geleidelijke overgang naar groengas in 2050 (echter wel met veel lagere volumes dan het huidige niveau).

De inzet van warmtelevering neemt toe, met restwarmte en geothermie als voornaamste warmtebronnen. In de piekwarmtevraag aan de warmtenetten wordt voorzien met methaan of waterstof. Ook de inzet van elektriciteit en waterstof neemt toe, in all-electric warmtepompen of hybride warmtepompen. De mix aan energiedragers, en daarmee de impact op het systeem, verschilt per scenario. Binnen de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving beslaat het aandeel 'kracht en licht' 74 tot 84% in 2050.

Mobiliteit

Bij personenmobiliteit is gerekend met een krimp van passagierskilometers van -0,75% in Regionale Sturing, een groei van 0,25% per jaar in Nationale Sturing, en van 1,25% per jaar in Europese en Internationale Sturing.

Voor vrachtvervoer wordt uitgegaan van gemiddeld -1% groei in Regionale Sturing, 0% in Nationale Sturing, en 1% in Europese en Internationale Sturing. Verder is uitgegaan van een rendementsverbetering van 0,2% per jaar voor elektrische voertuigen en 0,4% per jaar voor overige voertuigen. Voor de elektriciteitsrijke scenario's Regionale en Nationale Sturing wordt sterk ingezet op elektrificatie in personenvervoer, terwijl in de overige scenario's in toenemende mate wordt ingezet op waterstof. Voor goederenvervoer over de weg wordt sterker ingezet op waterstof in de twee elektriciteitsrijke scenario's terwijl in Europese en Internationale Sturing in toenemende mate wordt ingezet op biobrandstoffen. Voor binnenvaart speelt bioLNG als energiedrager een grote rol, met name in het scenario Internationale Sturing. Zeescheepvaart zal in de scenario's vooral gebruikmaken van synthetische (vloeibare) brandstoffen.

Industrie

Voor industrie is uitgegaan van een krimp van 1% in Regionale Sturing, 0% per jaar in Nationale Sturing, en groei van 1% per jaar in Europese CO₂-sturing en Internationale Sturing. Verder wordt uitgegaan van een algemene 1% efficiëntieverbetering op jaarbasis. Voor de elektriciteitsrijke scenario's Regionale en Nationale Sturing wordt sterk ingezet op een systeemverschuiving van nu vooral aardgas, naar elektrificatie en waterstof voor energiegebruik. De grondstoffenbehoefte wordt in deze scenario's ingevuld met pyrolyseolie in plaats van het huidige gebruik van aardolieproducten. In de scenario's Europese Sturing en Internationale Sturing is de transitie – naast elektrificatie – meer richting biomassa en groengas in energiegebruik. Ook is toepassing van CCS (Carbon Capture en Storage) in deze scenario's aangenomen in 2050, met continuering van grondstofstromen op basis van aardolieproducten.

Glastuinbouw

Zuid-Holland kent een omvangrijke glastuinbouwsector. Die wordt gekenmerkt door een vraag naar warmte, licht (elektriciteit) en CO₂, die nu typisch lokaal worden geproduceerd met wkk's uit aardgas. Ook zijn er veel gasketels voor de warmtevoorziening. In de toekomst zal dit veranderen, door modernisering en besparing, de opkomst van geothermie, warmtenetten uit restwarmte en andere technieken zoals warmtepomp met wko. De warmtevraag zal 1,6% per jaar dalen en de elektriciteitsvraag met 0,5% per jaar stijgen. Voorwaarde voor een systeemtransitie naar een glastuinbouw zonder aardgas c.q. groengas is de aanvoer van CO₂ naar de kassen.

Productie elektriciteit

Zon-pv op daken, en (aanlanding van) Wind op zee zijn de belangrijkste hernieuwbare elektriciteitsbronnen in Zuid-Holland. De aanlanding van windstroom wordt voor een belangrijk deel omgezet in waterstof met elektrolyzers. De elektriciteit en de waterstof wordt deels via het 380 kV-net en de landelijke waterstof backbone naar andere delen van Nederland en naar Duitsland en België getransporteerd.

Omdat fluctuerende energiebronnen als zon en wind niet altijd beschikbaar zijn, zullen voldoende regelbare elektriciteitscentrales en/of opslagsystemen beschikbaar moeten komen. In de 2050-scenario's zijn – in navolging van de II3050-studie – door de netbeheerders voor dergelijke systeemflex grote vermogens aangenomen. Die vermogens zijn nodig voor de balans in het elektriciteitssysteem, maar vormen nog wel een stevige uitdaging om te realiseren.

Overzichtstabellen vraag en aanbod

Tabel 19 - Overzicht gebruik van energiedragers per sector in alle scenario's (PJ/jr)⁴⁵ *

		2020	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 EU	2050 Int
	Totaal						
	Methaan, groengas	278	198	27	12	38	27
	Elektriciteit	75	110	175	207	164	161
	Waterstof	14	41**	53	109	178	212
	Warmte	15	40	82	57	56	42
	Gebouwde omgeving						
	Methaan, groengas	89	71	16	6	20	-
	Elektriciteit	40	50	65	74	65	66
	Waterstof	-	-	1	9	13	40
	Warmte	8	19	48	37	27	22
	Mobiliteit						
	Methaan, groengas	0	0	1	-	7	-
	Elektriciteit	2	6	21	23	23	19
	Waterstof	0	2	1	6	13	16
	Biobenzine, -diesel	6	6	0	4	6	19
	Benzine, diesel	70	46	-	-	-	-
	Industrie						
	Methaan, groengas	133	97	-	-	1	10
	Elektriciteit	14	36	69	84	50	53
	Waterstof	14	40**	51	94	152	150
	Biomassa (vast)	39	39	-	-	0	2
	Warmte	4	7	11	8	10	8
	Land-/glastuinbouw						
	Methaan, groengas	56	30	9	6	9	18
	Elektriciteit	19	18	20	26	26	24
	Waterstof	-	-	-	-	-	5
	Warmte	3	14	23	12	18	12
	Biomassa (vast)	1	1	4	4	5	4
	CO ₂	n.a.	1,7	2,9	3,1	2,9	2,3

* Bij warmte zijn in deze tabel het energiegebruik van piekkelers geteld bij methaan c.q. waterstof, en het gebruik van bronpompen bij elektriciteit. De cijfers zijn exclusief ruwe olie en andere grondstofstromen. De cijfers zijn ook exclusief de vraag naar brandstoffen van elektriciteitscentrales.

** De hier gepresenteerde waterstofvraag in de industrie in 2030 is het totaal na de door H-Vision geproduceerde waterstof (42 PJ) af te trekken van waterstofvraag van de industrie, omdat die direct voor industriële doeleinden wordt verbruikt en de energie-infrastructuur niet verder raakt.

⁴⁵ NB: door afrondingen kunnen kleine afwijkingen ontstaan in de totalen.

Tabel 20 - Overzicht aanbod in alle scenario's (energievolume per drager, en opgesteld elektrisch vermogen)

		2020	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
	Totaal (PJ)						
	Groengas	0	23	23	11	66	42
	Decentrale opwek (elektriciteit)	19	35	73	56	38	34
	Waterstof	-	-	63	118	26	23
	Restwarmte *	113	32	30	53	46	30
	Geothermie	2	8	52	4	10	13
	CO ₂	n.a.	3,6	1,7	1,7	1,7	2,3
	Decentrale opwek (GWe)						
	Zonnepark	0	1,2	3,1	2,7	1,7	1,7
	Zon op dak	0,3	2,5	10,9	9,2	4,9	4,0
	Wind op land	0,3	1,2	2,0	1,2	1,2	0,6
	Wkk	1,4	0,9	-	-	0,1	0,7
	Elektrolyse (GWe)						
	Power-to-gas	-	-	11,6	19,2	8,4	8,1
	Centrale opwek (GWe)						
	Wind op zee	0,1	3,5	14,1	23,6	13,4	13,7
	Methaan (STEG)	2,3	2,1	-	-	-	-
	Gas-to-power (H ₂)	-	-	6,0	7,2	7,7	7,7
	Biomassa	-	0,7	-	-	-	-
	Kolen	1,8	-	-	-	-	-
	Systeembatterij	-	-	16,9	23,0	14,8	15,1

* Er is in 2020 in totaal circa 113 PJ aan *potentieel* voor restwarmte (106 PJ hoge temperatuur, 7 PJ lage temperatuur). Bij de andere scenario's is opgegeven hoeveel er geleverd zou moeten worden.

9.2 Conclusies en aanbevelingen over impact

Impact op de infrastructuur

Wijzigingen in het gebruik en productie van energie hebben hun weerslag op de benodigde capaciteit van de infrastructuur. De netbeheerders van de gas- en elektriciteitsnetwerken in Zuid-Holland hebben de effecten van de scenario's doorgerekend voor hun *huidige* netwerken, inclusief reeds goedgekeurde investeringen. Waar sprake is van flinke groei van gebruik of aanbod worden capaciteitsknelpunten zichtbaar, steeds kortweg 'knelpunt' genoemd. Dat wil zeggen punten waar de huidige infrastructuur niet toereikend is om in de toekomstige belasting te voorzien. Een knelpunt in deze context is niet automatisch een 'probleem', de netbeheerders zijn immers dagelijks bezig met het doen van investeringen om infrastructuur aan te passen aan de ontwikkelingen. Naast capaciteitsknelpunten kunnen er ook andere knelpunten optreden, zoals ruimtelijke, financiële en organisatorische. Bij warmtenetten is de situatie anders dan bij gas en elektriciteit. De rol van warmtelevering in het energiesysteem neemt toe, met de grootste toename in het scenario Regionale Sturing. De bijbehorende lokale en regionale warmtenetten zijn er nog niet, en konden dus ook niet worden doorgerekend op knelpunten op basis van de toekomstige vraag, zoals bij de elektriciteits- en methaannetten. Tegelijkertijd kan het ontbreken van een warmtenet op plekken waar deze wel in het scenario voorzien is, beschouwd worden als een knelpunt op zich. De uitdaging bij de warmtenetten ligt in invulling van de randvoorwaarden in het kader van het Klimaatakkoord en in de tijdige realisatie. Hoe dat precies zal

gaan is het onderwerp van de Transitievisies Warmte, en het Integraal Ontwerp Warmtetransportnet dat begin 2021 gereed is.

De conclusies over de impact van de transitie op de energie-infrastructuur zijn:

- In Zuid-Holland is in de meeste gebieden de impact op de elektriciteitsnetten van toenemende elektriciteitsvraag groter dan de impact van toenemend elektriciteitsaanbod vanuit zonnecellen en wind op land.
- In alle scenario's is er een stijging van de elektriciteitsvraag, ondanks de inzet op besparing. Deze toename van de elektriciteitsvraag kan niet worden opgevangen met de huidige infrastructuur plus de reeds geplande investeringen. Dat effect is al zichtbaar richting 2030 (dit betreft een aantal specifieke locaties), en wordt aanzienlijk groter richting 2050. In de elektriciteitsnetten heeft in 2030 36% van de koppelstations een belasting van 100% of meer (en een aantal van bijna 100%), 45% van de tussenspanningstations en 10% van de MS-LS-stations.
- In gebieden waar veel aanbod van elektriciteit uit zonnecellen is kan 'curtailment' in de meeste situaties benodigde netverzwaring flink beperken. Het afkappen van het piekvermogen met 33% leidt tot 4% verlies van de jaarlijks geproduceerde elektriciteit.
- De aanlanding van 'wind op zee' op de Maasvlakte zoals aangenomen richting 2050 (2030: 3,5 GW; 2050: 13,4 tot 23,6 GW) kan niet worden opgevangen met de bestaande hoogspanningsinfrastructuur. Ook niet wanneer rekening wordt gehouden met de aangenomen omvang van flexibel in te zetten elektrificatie bij de industrie.
- De mogelijke oplossing om grootschalige conversie naar waterstof in te zetten overstijgt de capaciteit van de bestaande gastransportinfrastructuur en vergt realisatie van waterstofinfrastructuur.
- De inzet van warmtelevering in plaats van verwarming met elektrische warmtepompen vermindert de overbelasting van het elektriciteitsnet. De daarvoor benodigde warmteinfrastructuur moet nog grotendeels worden aangelegd en besluitvorming zal in samenhang gezien moeten worden. Dit moet worden meegenomen bij integrale afweging van investeringskosten voor elektriciteit, gasnetten (waaronder waterstof) en warmte. Dit speelt al richting 2030.
- Aanvullende CO₂-infrastructuur is nodig in de glastuinbouw om warmtelevering aan de glastuinbouw mogelijk te maken.
- Voor gasnetten is gedurende de transitieperiode richting 2050 het leveren van zowel waterstof als methaan een uitdaging, en vraagt om keuzes welke bestaande gasinfrastructuur voor welk gas geschikt wordt gemaakt. De uitdaging bestaat eruit dat gedurende de transitieperiode beide soorten gas geleverd zullen moeten worden in gebieden. Voor de industrie speelt dit al richting 2030, voor de gebouwde omgeving is dit pas na 2030 aangenomen.

In Tabel 21 zijn de uitdagingen ('knelpunten') in de energie-infrastructuur samengevat en de mogelijke oplossingsrichtingen daarbij vermeld. Hierbij moet worden bedacht dat een oplossing ook weer nieuwe uitdagingen opwerpt, zoals de ruimtelijke inpassing, benodigde wet- en regelgeving, financiering, opzetten van de benodigde vraag-aanbodketens bij waterstof, etc. Aan het eind van dit hoofdstuk vertalen we dit naar aanbevelingen voor de kortere termijn.

Tabel 21 - Uitdagingen ('knelpunten) en oplossingsrichtingen in de diverse energie-infrastructuren

Uitdagingen ('knelpunten)	Mogelijke oplossingsrichtingen
Elektriciteit	
Onvoldoende capaciteit op 380 kV-netwerk voor de aanlanding van wind op zee op de Maasvlakte (vooral in scenario Nationale Sturing). Treedt op na 2030, maar is gevolg van besluitvorming eerder in de tijd, over aanlanding wind op zee.	– Zorgen dat de eveneens aangenomen elektrolyzers er komen (in afstemming met Gasunie). – Zorgen dat de aangenomen elektrificatie in de industrie tot stand komt. – Verzwaren 380 kV-infrastructuur vanaf Maasvlakte – Overwegen aanlanding Wind op Zee op stationslocaties dieper landinwaarts en/of aanlanding in de vorm van waterstof (in afstemming met de capaciteit van de gastransportnetten).
Onvoldoende capaciteit om aan de vraag in de industrie te voldoen. Treedt op richting 2030.	– Verzwaren infrastructuur hoogspanning en tussen-spanning. – Regelbare CO₂-vrije centrales vlakbij industrie (NB: dit is al onderdeel van de systeemflexvarianten van de scenario's).
Onvoldoende capaciteit voor levering aan gebouwde omgeving (woningen, overige gebouwen, ook laadpunten mobiliteit in de gebouwde omgeving). Treedt op richting 2030.	– Voorkómen elektrificatie van de warmtevraag door realisatie van o.a. warmtenetten. – Verzwaren MS-LS-net en bovenliggende netten – Aanleg slimme laadinfrastructuur + slim stuur-sig-naal dat rekening houdt met infracapaciteit.
Onvoldoende capaciteit voor invoeding op het net van zonneparken en wind op land. Treedt vooral op na 2030.	– Aansluiten met lagere zekerheid dan 'N-1'. – Aansluiten op 50-70% van het opgesteld vermogen (curtailment)⁴⁶. – Gecombineerd aansluiten (Cable pooling).
Behouden systeembalans elektriciteit nodig. Treedt op richting 2030.	– Bouwen batterijen en elektrolyzers. – Bouwen regelbare CO₂-vrije centrales. – Organiseren dat er voor de inzet van flex een stuursig-naal komt dat rekening houdt met de (lokale) infrastructuurcapaciteit.
Gasnetten	
Gasnet is nog niet geschikt voor waterstof, en in transitiefase moeten meerdere gassen worden getransporteerd en gedistribueerd. Treedt op na 2030 en bij de industrie al richting 2030.	– Organiseer een gestructureerde ombouw met gas-transitieplan per wijk/buurt/gasvoedingsgebied en met genoeg/passend aanbod vanuit regio of landelijk netwerk.
Transport waterstof vanaf Maasvlakte naar knooppunt met landelijke gasrotonde (t.g.v. elektrolyzers en import per tanker) overstijgt huidige netcapaciteit. Treedt op richting 2050.	– Aanleg waterstofleiding door havengebied Rotterdam vanaf Maasvlakte; dit vergt een ruimtelijke reservering en 'vinger aan de pols' houden m.b.t. lopende ontwikkelingen.
Warmtenetten	
Onvoldoende transportnetten van industrie naar warmteleveringsgebieden. Treedt op richting 2030.	– Aanleg warmtetransportnet in Zuid-Holland.
Onvoldoende distributienetten voor warmtelevering gebouwde omgeving. Treedt op richting 2030.	– Aanleg warmtedistributienetten + bronnen.
CO₂-netten	
Transportinfra CO ₂ ontbreekt nog grotendeels (uitgezonderd OCAP-leiding). Treedt op richting 2030.	– Aanleg CO₂-infrastructuur t.b.v. CCS op zee, en levering aan de glastuinbouw. – Versterking koppeling havengebied - glastuinbouw.

⁴⁶ NB: hierover is recent (november 2020) een convenant gesloten.

Impact op ruimte

Binnen deze systeemstudie is een eerste en nog onvolledige inventarisatie uitgevoerd van de ruimtelijke impacts van de energietransitie. Het geeft per scenario een inschatting van het ruimtebeslag van wind op land en zonneparken, evenals het ruimtebeslag van extra elektriciteitsstations en van flexmiddelen. De energietransitie vergt ook ruimte voor warmte-infrastructuur en warmtebronnen, voor waterstofleidingen, voor elektriciteitskabels et cetera die nu nog niet bepaald konden worden. Ook zijn de verschillende soorten ruimtebeslag niet zomaar met elkaar te vergelijken, onder andere vanwege de verschillende in meervoudig ruimtegebruik. We trekken om die redenen in deze systeemstudie geen conclusies over de impact op ruimte. De studie maakt echter wel duidelijk dat de veranderende energievraag tot uitbreiding en aanleg van elektriciteits- en warmtenetten gaat leiden. Deze vraag vindt met name plaats in bestaand bebouwd gebied en zal ruimtelijk concurreren met bijvoorbeeld de verstedelijkingsopgave.

9.3 Aanbevelingen m.b.t. governance van de energietransitie

Gezien de veelheid aan oplossingen die nodig zijn in alle energienetten en de keuzes die voorliggen in verschillende sectoren, adviseren we een strategische samenwerking aan te gaan tussen de direct betrokken partijen. De sectorale keuzes bepalen de betaalbaarheid, efficiëntie en inpassing van het energiesysteem en impact buiten het energiedomein (zoals ruimtelijke effecten) en zijn daarom van groot belang voor de energietransitie. Ook zal vice versa het energiesysteem keuzes voor sectoren kunnen bepalen. Enerzijds betreft het hoofdinfrastructuur, anderzijds gaat het om het meer lokale/regionale energiesysteem (elektriciteit, distributie waterstof, warmtenetten).

We zien vier belangrijke randvoorwaarden om de noodzakelijke aanpassingen van de energie-infrastructuur zoals die in deze systeemstudie zijn beschreven, goed te laten verlopen:

1. Samenwerking: start een samenwerkingsplatform waarin gewerkt wordt aan een gezamenlijke visie voor de tijdige realisatie van het integrale energiesysteem.
2. Blijvend en gedeeld inzicht: het advies is een koppeling te maken tussen de regionale partners en data en het landelijke II3050-traject⁴⁷ voor integrale infrastructuurverkenningen.
3. Regelgeving en experimenteer ruimte: Organiseer en experimenteer met mitigerende maatregelen incl. flex, en zet waar nodig een gezamenlijke lobby op voor aanpassing van wet- en regelgeving.
4. Maak een vertaling naar ruimtelijke implicaties.

⁴⁷ Binnen II3050 wordt uitgegaan van een update eens in de twee jaar.

9.4 Aanbevelingen voor de kortere termijn

Deze studie geeft inzicht in de mogelijke ontwikkeling van het energiesysteem en in de knelpunten die daarbij in de infrastructuur kunnen ontstaan. Daarbij worden ook mogelijke oplossingen gegeven. Die zijn niet allemaal even urgent. Voor de kortere termijn adviseren we om *in ieder geval* in te zetten op:

- Oplossen van de urgente infrastructuurknelpunten⁴⁸ voor 2030, die grotendeels ontstaan door toenemende vraag.
- Organiseren van de governance zoals in dit rapport beschreven, startend met een samenwerking op de systeembenadering als vervolg van deze systeemstudie.
- Aanpak opstellen voor het omgaan met de doorvoerbehoeften van elektriciteit en waterstof tussen tweede Maasvlakte en de landelijke ‘rotondes’ elektriciteit en gas; dit speelt weliswaar pas ná 2030, maar is dan een gevolg van eerdere besluitvorming over wind op zee. Er zijn verschillende oplossingen mogelijk, dit vergt nader onderzoek in landelijk verband⁴⁹.
- Nader uitwerken van het ruimtelijk ontwerp voor de energietransitie, met focus voor de kortere termijn op dichtbebouwde omgeving waar zowel ruimte schaars is als extra infrastructuur nodig is, door combinatie van functies/slim ruimtegebruik.
- Transitievisies Warmte en de RES’en: inzetten op tijdige besluitvorming voor tijdige realisatie van benodigde infrastructuur en rekening houden met de inzichten van deze systeemstudie, zoals het beperken van de piekbelasting van elektriciteitsnetten door alternatieve energiedragers en warmtetechnieken. Voorbereiden (aanpak uitwerken) van de ‘gastransitie’ in de gasinfrastructuren, in samenhang met de Transitievisies Warmte (TVW).
- Uitwerken van de netimpact warmte. Deze netimpact heeft betrekking op het warmte-transportstelsel (integraal ontwerp warmtetransportnet) én de lokale warmte-infrastructuur (RSW & TVW).
- Experimenteren met innovaties, bijvoorbeeld in proeftuin organiseren van een stuur-sigitaal voor inzet van flexmiddelen (zoals slim laden) dat rekening houdt met de (lokale) capaciteit van de infrastructuur.
- Het opstellen van een aanpak, in landelijk verband, voor de benodigde flex en systeem-balancerings.

⁴⁸ NB: reeds genomen investeringsbeslissingen zijn al verwerkt in de capaciteitsdoorrekeningen en worden al uitgevoerd.

⁴⁹ Relevant hierbij is het recent gestarte VAWOZ-traject (Verkenning Aanlanding Windenergie op Zee).

Literatuur

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

Berenschot & Kalavasta, 2020. *Klimaatneutrale energiescenario's 2050*, Utrecht: Berenschot.

CBS, 2016. *Kerncijfers wijken en buurten 2016*. [Online]
Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83487NED>
[Geopend 2020].

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, 2015a. *Potential for Power-to-Heat in the Netherlands*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015b. *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, 2018. *Verkenning BioLNG voor transport*, Delft: CE Delft.

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

Clingendael IEP, 2018. *Refinery 2050*. Den Haag, Clingendael International Energy Programme (IEP).

Commissie MER, 2019. *Rotterdam CCUS Project (Porthos)*, Utrecht: Commissie voor de milieueffectrapportage (MER).

DNV GL, 2020. *Taskforce Infrastructuur Klimaatakkoord Industrie*. Arnhem, DNV GL.

EBN; Gasunie, 2017. *Transport en opslag van CO2 in Nederland. Verkennende studie door Gasunie en EBN in opdracht van het ministerie van Economische Zaken*, Utrecht: EBN.

ECN, 2014. *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector*, Petten: ECN.

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

Gasunie, 2018. *Verkenning 2050*, Groningen: Gasunie.

GS Zuid-Holland, 2016. *GS Brief : Resultaat studie Potentie Geothermie Zuid-Holland*. [Online]

Available at: https://staten.zuid-holland.nl/DMS_Import/Statencommissie_Duurzame_Ontwikkeling/2017/Duurzame_Ontwikkeling_22_maart_2017/Besprekstukken/Investeringsstrategie_Warmteparticipatiefonds_en_subsidieregeling_lokale_initiatieven_energietransitie_Zuid_Holland_20 [Geopend 2020].

Havenbedrijf Rotterdam N.V., 2019. *Energiebalansen 2018*, Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam N.V..

Havenbedrijf Rotterdam, TenneT en Stedin, 2019. *Een haven vol nieuwe energie*. Rotterdam, Havenbedrijf Rotterdam, TenneT en Stedin.

HEATSTORE, lopend. *Dutch national project: Geothermal heat combined with aquifer thermal energy storage*. [Online]

Available at: <https://www.heatstore.eu/national-project-netherlands.html> [Geopend 2020].

H-vision, 2019. *Blue hydrogen as accelerator and pioneer for energy transition in the industry*, Rotterdam: Delatlinqs.

IF Technology ; TNO, 2018. *Hoge temperatuur opslag warmtenet Zuid-Holland*, sl: sn

IF Technology, 2016. *Engineering the earth : Potentieel geothermie in Zuidholland*. [Online]

Available at: <https://www.zuid-holland.nl/publish/pages/17660/potentieelgeothermieinzh.pdf> [Geopend 2020].

IF Technology, 2020. *HTO een sleutelrol in de energietransitie?*. [Online]

Available at: <https://iftechnology.nl/kennisbank/hto-een-sleutelrol-in-de-energietransitie/> [Geopend 2020].

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

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

Ministerie van EZK, 2019. *Rotterdam CCUS Project Porthos*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).

NP RES, 2019. *RES. 2019. Factsheet zon-pv en wind op land : Analyse naar de opwek van hernieuwbare energie per RES-regio* [Online]. Nationaal Programma (NP) Regionale Energie Strategie (RES). [Online]

Available at: <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2019/10/Samenvatting-Factsheet-Stand-van-zaken-zon-en-wind-op-land-1.pdf> [Geopend 2020].

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.

RH DHV, 2020. *Vragen en antwoorden over de Porthos-infrastructuur - Samenvatting van het Milieueffectrapport*, Amersfoort: RH DHV.

Rijksoverheid, -. *Emissieregistratie*. [Online]
Available at: <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/selectie/criteria.aspx>
[Geopend 12 november 2020].

Rijksoverheid, sd *Noordzeeloket: CO2-opslag : Huidig gebruik en ontwikkelingen*. [Online]
Available at: <https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/co2-opslag/#:~:text=De%20Nederlandse%20CO2%20opslagcapaciteit%20in,circa%201.200%20Mt%20onder%20zee.>
[Geopend 2020].

Rijksoverheid, -. *Noordzeeloket, functies en gebruik : Windenergie op zee*. [Online]
Available at: <https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/windenergie-zee/>
[Geopend 12 november 2020].

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

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

Tauw; CE Delft, 2017. *Toekomstperspectief bodemenergie Zuid-Holland*. [Online]
Available at: https://staatvan.zuid-holland.nl/wp-content/uploads/2017-06-23_DEF_rapport_Toekomstperspectief_bodemenergie_ZH_Tauw_CEDelft.pdf
[Geopend 2020].

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

TNO, 2020. *B2 Potentieel en toepassingscondities : Geologisch model, temperatuurmodel voor de ondiepe ondergrond en potentieelkaarten voor HTO in Nederland*. [Online]
Available at: <https://www.warmingup.info/documenten/window-fase-1---b2---potentieel-en-toepassingscondities.pdf>
[Geopend 2020].

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

WarmCO2, 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 2020].

Wuppertal Institute, 2016. *Decarbonization Pathways for the Industrial Cluster of the Port of Rotterdam*, Wuppertal: Wuppertal Institute.

Wuppertal Institute, 2018a. *Deep decarbonisation pathways for the industrial cluster of the Port of Rotterdam*. Stockholm, Europ. Council for an Energy Efficient Economy.

Wuppertal Institute, 2018b. *Deep Decarbonisation Pathways for Transport and Logistics Related to the Port of Rotterdam*, Wuppertal: Wuppertal Institute.

A Overzicht bestaande studies

Bij het uitwerken van de scenario's in deze systeemstudie is gebruikt gemaakt van een groot aantal studies, waarvan de belangrijkste zijn opgenomen in Tabel 22. Nadere bibliografische verwijzingen staan opgenomen in het Literatuuroverzicht. Daarnaast is steeds afgestemd met het parallel lopende landelijke energieonderzoek II3050.

Tabel 22 - Overzicht bestaande (energie)studies waarvan gebruik is gemaakt

Titel	jaar	GO	MOB	IND	LTB	M/H ₂	E	W	CO ₂
Klimaatakkoord	2019								
Delta Grid 2050	2019								
Rotterdams Klimaatakkoord contouren	2019								
Via Parijs	2019								
Regionale Energiestrategieën	loopt								
Transitieviesies Warmte	loopt								
Openingsbod Stedin	2020								
Energieperspectief 2050 MRDH	2019								
Verkenning regionale visie warmte Holland Rijnland	2019								
Warmtevraag en -aanbod in Zuid-Holland	2017								
Nationale Agenda Laadinfrastructuur	2020								
Regionale Mobiliteitsplannen	loopt								
Energie-infrastructuur in het Rotterdamse Havengebied	2019								
Een haven vol nieuwe energie	2019								
In drie stappen naar een duurzaam energiecluster: Rotterdam-Moerdijk 2050	2018								
H-Vision	2019								
Energiemix	loopt								
Taskforce Infrastructuur Klimaatakkoord Industrie	2020								
Kompas op 2030 Westland	2018								
Oostlandse glastuinbouw zet koers naar 2030	2019								
Waterstofvisie en strategie provincie Zuid-Holland	2020								

GO = gebouwde omgeving, MOB = mobiliteit, IND = industrie, LTB = landbouw (incl. glastuinbouw), M/H₂ = methaan- en/of waterstofgas, E = elektriciteit, W = warmte, CO₂ = CO₂.

B Deelnemers

De opdrachtgevers van deze studie waren provincie Zuid-Holland, Havenbedrijf Rotterdam en Stedin.

De projectgroep bestond uit:

Gerdien Priester	Provincie Zuid-Holland
Ruben Huls	Provincie Zuid-Holland
Rogier Pronk	Provincie Zuid-Holland
Robert Geurts	Provincie Zuid-Holland
Maike Akkers	Havenbedrijf Rotterdam
Arjan van Voorden	Stedin
Patrice Pawiroredjo	Stedin
Aafke Huijbens	Westland Infra
Martijn van der Eerden	Liander
Maarten Mangnus	Liander
Peter Kwakman	TenneT
Piet Nienhuis	Gasunie
Roosmarijn Sweers	Gemeente Dordrecht
Arie Deelen	RES R-DH

Daarnaast hebben de volgende mensen input geleverd of meegewerkt aan deze studie (naast de medewerkers van het consortium van CE Delft, Quintel en TNO, die genoemd zijn in het colofon):

Luuk Klinkert	Gasunie
Marco Bunt	Stedin
Rick Nennie	Westland Infra
Mark Derksen	TenneT
Sebastiaan Schmidt	Provincie Zuid-Holland
Guido Custers	Gasunie/WarmtelinQ
Sytse Jelles	WarmtelinQ
Rens Limpens	Liander
Fenna Noltes	Gasunie
Denny Chinacheong	Westland Infra
Mark Derksen	TenneT
Astrid Madsen	RES Rotterdam-Den Haag
Jasper Schilling	CE Delft
Maarten Afman	Liander
Nazir Refa	E-laad
Frank Stevens van Abbe	Binnenlandse Zaken
Jeroen Ververs	RES Holland Rijnland
Wouter Terlouw	Gemeente Rotterdam
Sabine Jansen	TU Delft
Joni Braas	Metropoolregio Rotterdam Den Haag
Sanne de Boer	Stedin
Tessa Hillen	Stedin

Boris Hocks	Generation Energy
Harry van Dijk	Deltalinqs
Alex Ouwehand	Natuur en Milieufederatie Zuid-Holland
Roelof uit Beijerse	Gemeente Rotterdam
Coby van der Linde	Clingendael International Energy Programme (IEP)
Ruud Melieste	Havenbedrijf Rotterdam
Wilco van der Lans	Havenbedrijf Rotterdam
Theo Fens	TU Delft
Anniek Luining	Gemeente Gorinchem
Selcuk Akinci	Gemeente Zuidplas
Huub Halsema	Stedin
Oscar Helsen	HH Delfland
Abe van Dam	Stedin
Jabbe van Leeuwen	Clingendael International Energy Programme (IEP)
Martijn Romijn	Holland Rijnland
Leon Straathof	Straathof Advies
Ronald Prins	Provincie Zuid-Holland
Catrien van Dam	Provincie Zuid-Holland
Edwin Perdijk	Provincie Zuid-Holland
Inge Westbroek	Provincie Zuid-Holland
Marco van Steekelenburg	Provincie Zuid-Holland
Otwin van Saane	Provincie Zuid-Holland
Rob van der Valk	Provincie Zuid-Holland
Wouter Groenen	Provincie Zuid-Holland
Edward Vixseboxse	Provincie Zuid-Holland
Isolde Somsen	Provincie Zuid-Holland
Menno Laan	Provincie Zuid-Holland

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	<i>Billion cubic meters</i> : 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 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
LTB	Land- en tuinbouw
E	Elektriciteit
M	Methaan
H ₂	Waterstof
WoZ	Wind op zee
WoL	Wind op land
Z	Zon-pv
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	<i>Coefficient Of Performance</i> : 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 vraagt 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	<i>Carbon Capture and Storage</i> : afvang en opslag van CO ₂ .
CCU	<i>Carbon Capture and Usage</i> : 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	<i>Lower Heating Value</i> : 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	<i>Higher Heating Value</i> : 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.
N-0	Het net volledig in bedrijf om vraag en aanbod te verwerken.
N-1	Het net minus enkelvoudige storingsreserve.
LT	Lage temperatuur.
MT	Middentemperatuur.
HT	Hoge temperatuur.
LDN	Levering door netbeheerder: vraag te leveren via het net, bijvoorbeeld elektriciteitsvraag van warmtepompen in huishoudens.
ODN	Ontvangst door netbeheerder: aanbod op te nemen op het net, bijvoorbeeld van zon-pv.

D Gebouwde omgeving

D.1 Uitgangspunten

Tabel 23 geeft de uitgangspunten weer voor deze systeemstudie en vergelijkt deze met II3050. De bovenste rij geeft de randvoorwaarden weer die zijn meegegeven aan het rekenmodel CEGOIA. Deze zijn tot stand gekomen in consultatie van project- en expert-groep. De aantallen nieuwbouw en sloop van gebouwen zijn overgenomen van de provincie Zuid-Holland, en zijn niet gevarieerd in de 2050-scenario's.

In CEGOIA worden eerst voor alle buurten alle warmtetechnieken doorgerekend, waarna binnen de gestelde randvoorwaarden aan elke buurt een warmtetechniek wordt toegekend zodanig dat de maatschappelijke kosten minimaal zijn.

Tabel 23 - Uitgangspunten gebouwde omgeving (excl. datacenters)

	2030	Reg	Nat	Eur	Int
Focus	Beperkte beschikbaarheid geothermie, ruim restwarmte. 20% van de woningen aardgasvrij.	Focus op geothermie, lokale netten, aanvuld met warmterotonde	Focus op warmterotonde met restwarmte. Daarbuiten focus op all-electric.	Focus op gas: veel hybride met groen-gas. Ruime beschikbaarheid van restwarmte niet gebruikt.	Focus op waterstof. Ruime beschikbaarheid niet gebruikt.
Input CEGOIA	≤ 80% methaan ≤ 20% warmtenet ≤ 5% all-electric Minimaal schillabel D	≤ 65% warmtenet ≤ 26% all-electric ≤ 14% methaan Minimaal schillabel C	≤ 44% warmtenet ≤ 44% all-electric ≤ 17% methaan Minimaal schillabel B	≤ 42% methaan ≤ 25% warmtenet ≤ 24% all-electric ≤ 14% waterstof Minimaal schillabel C	≤ 57% waterstof ≤ 25% warmtenet ≤ 23% all-electric Minimaal schillabel C
II3050 voor Zuid-Holland	N.v.t.	76% geothermie 17% all-electric 8% methaan	54% warmtenet 33% all-electric 13% methaan	29% warmtenet 33% all-electric 13% methaan 31% waterstof	29% warmtenet 22% all-electric 49% waterstof

Elektriciteitsgebruik apparaten

Voor de groei van het reguliere elektriciteitsverbruik van gebouwen (voor kracht, licht en koeling) wordt aangesloten bij II3050. De groei wordt voor alle scenario's gelijk verondersteld, namelijk:

- 1% per jaar groei van het aantal apparaten en 0,3% per jaar energiebesparing op apparaten, dus netto groei van 0,7% per jaar.

Isolatie ('schillabel')

In II3050 is uitgegaan van energielabel A of B in alle scenario's. Omdat er in de provincie Zuid-Holland veel potentieel is voor hoge- en middentemperatuurwarmtenetten, is vergaande isolatie geen noodzaak. Daarnaast rekent het CEGOIA-model, dat wordt ingezet om de scenario's door te rekenen, met een schillabel in plaats van energielabel. Met het schillabel bedoelen we het isolatieniveau van de woning, dus exclusief de invloed van installaties en zon-pv op het energielabel. Hierom is gekozen voor lagere labelniveaus in alle

scenario's dan in II3050. Concreet: minimaal schillabel D in 2030 en minimaal schillabel C in 2050. In het scenario 2050 Nationale Sturing is het minimale schillabel scherper gesteld (namelijk op schillabel B) dan in de andere drie scenario's, in lijn met de focus in dat scenario die deels ligt op all-electric.

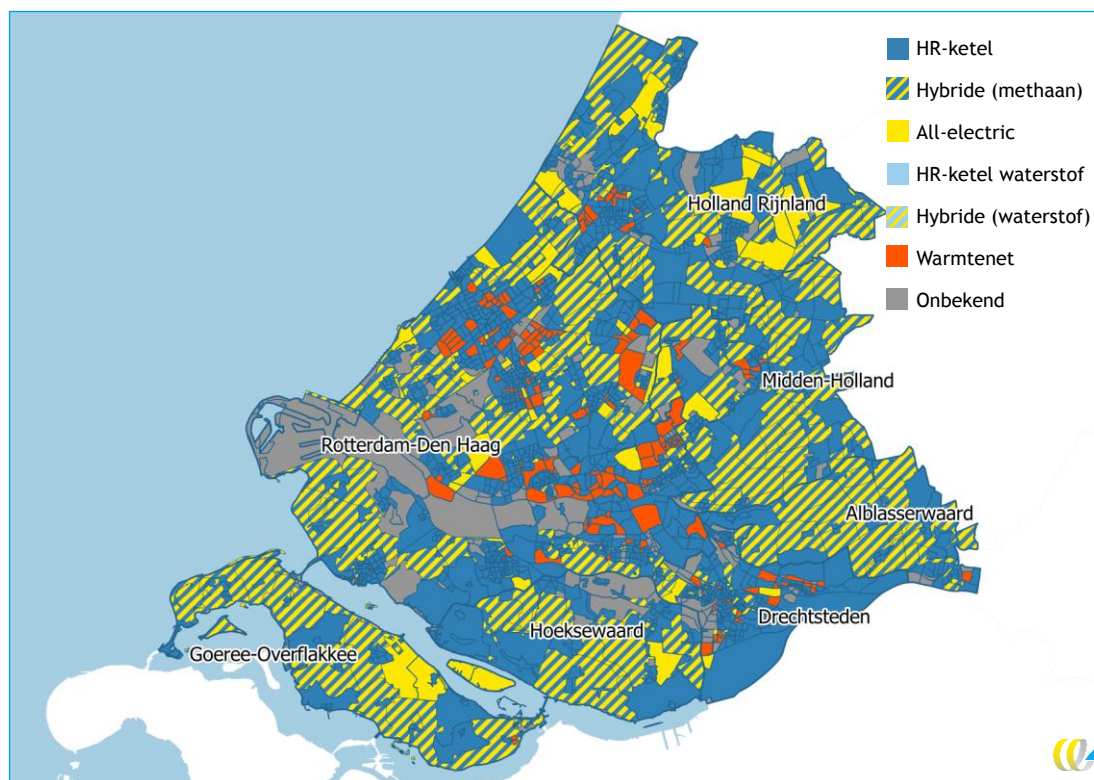
Warmtenetten

In de provincie Zuid-Holland is de potentie voor warmtenetten zeer hoog, zowel vanuit restwarmte als met geothermie. Het aandeel warmtenetten in Zuid-Holland zal dan ook hoger uitkomen dan het nationale aandeel. Grootschalige inzet van restwarmte in geheel Zuid-Holland vergt een warmterotonde en dus centrale sturing. Dit is het uitgangspunt voor scenario 2050 Nationale Sturing. Grootschalige inzet van geothermie kan ook decentraal, daarom is dit het uitgangspunt voor 2050 Regionale Sturing.

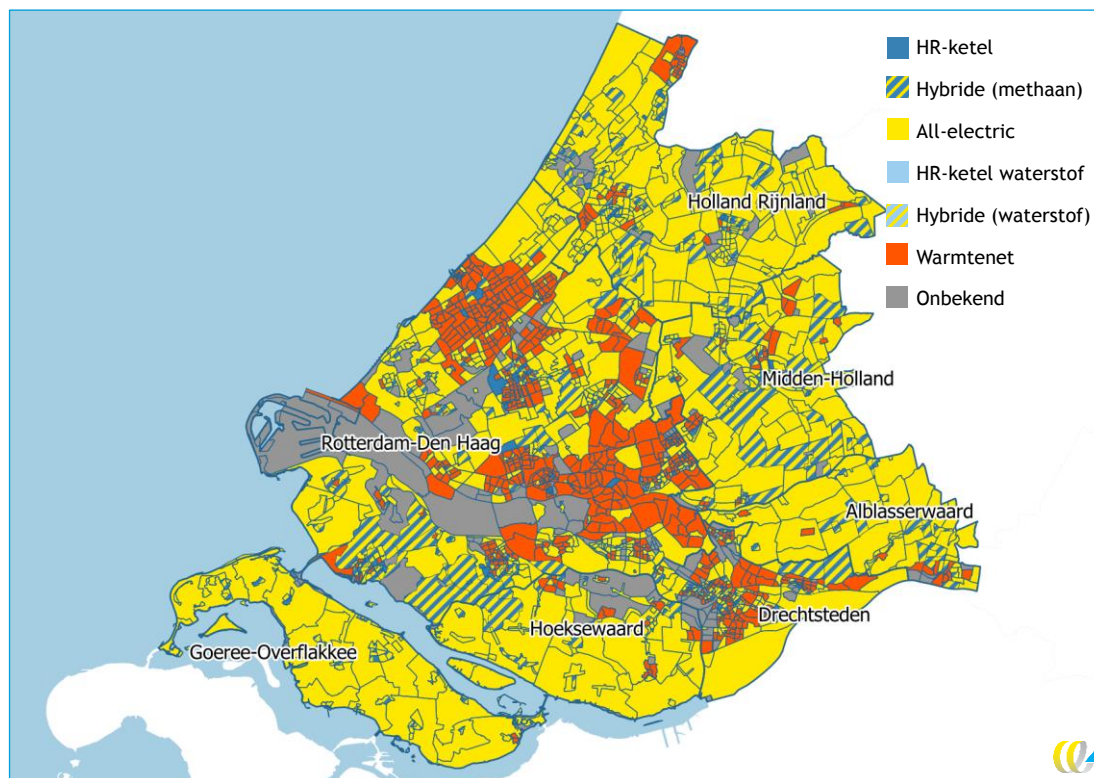
Lagetemperatuurnetten vergen hoge investeringen in de gehele keten: zowel in het warmtenet, als in de installatie (warmtepomp en lagetemperatuurwarmteafgiftesysteem), als in schilisolatie. In de kostenoptimalisatie van CEGOIA komen deze daarom nauwelijks naar voren als vooraanstaande optie.

D.2 Resultaten

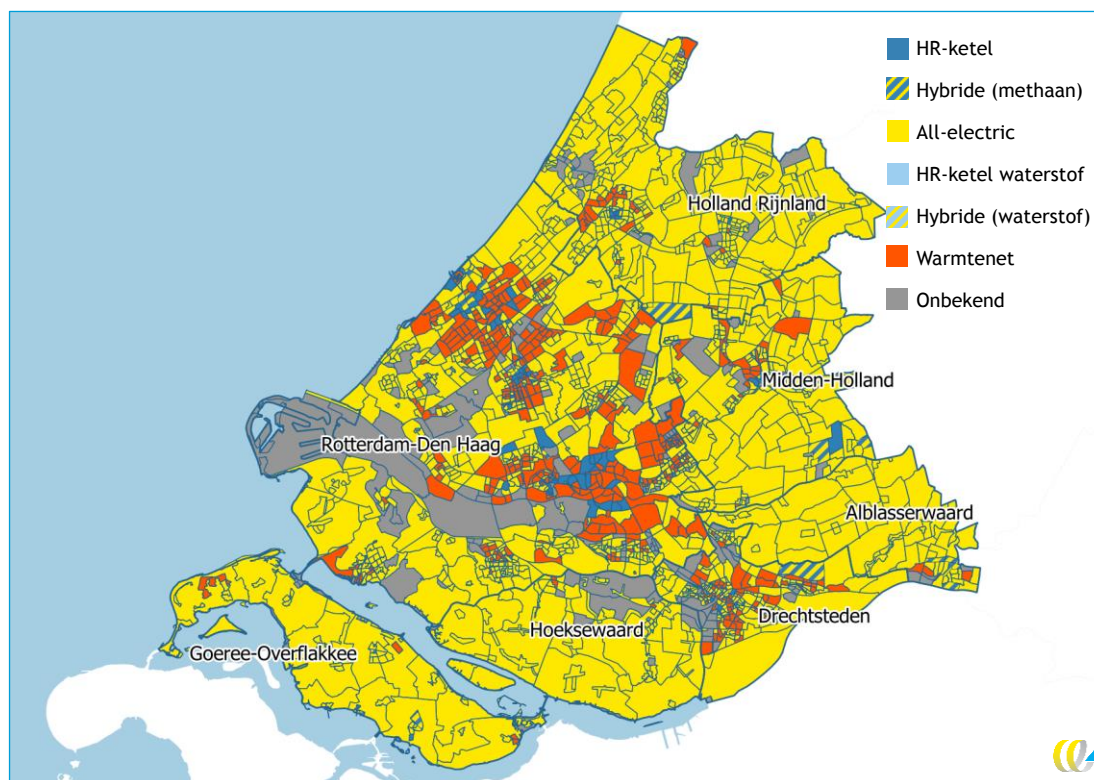
Figuur 50 - Warmtetechnieken 2030



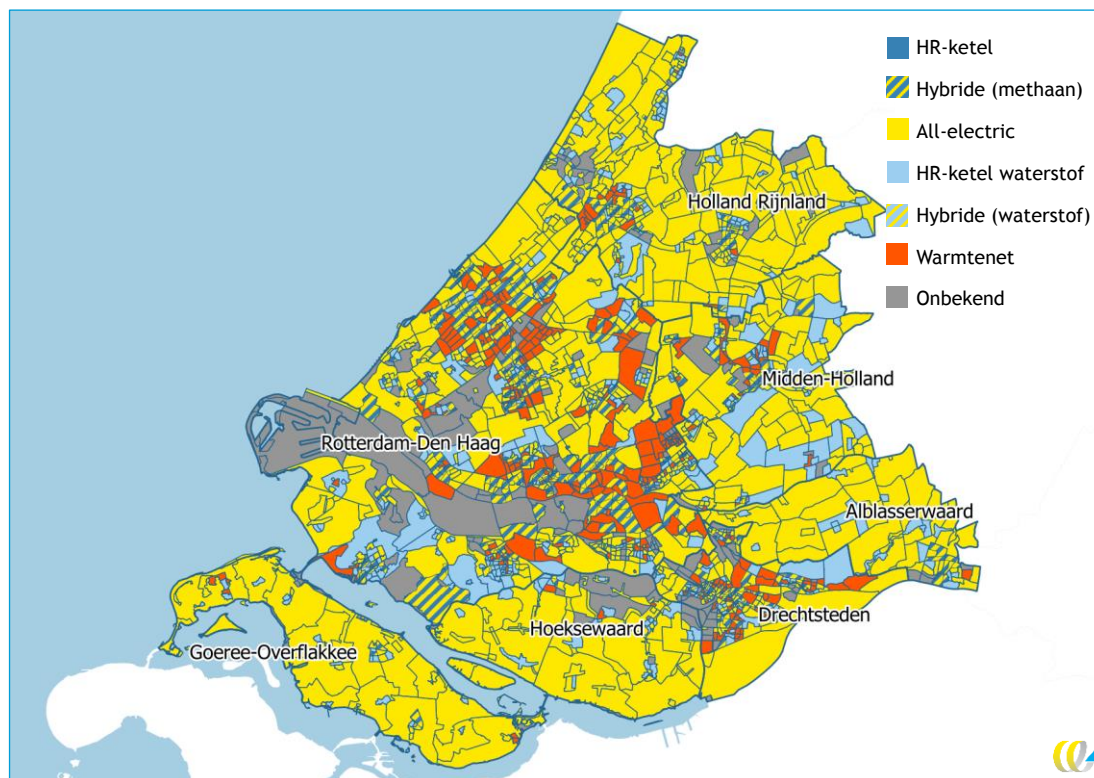
Figuur 51 - Warmtetechnieken 2050 Regionale Sturing



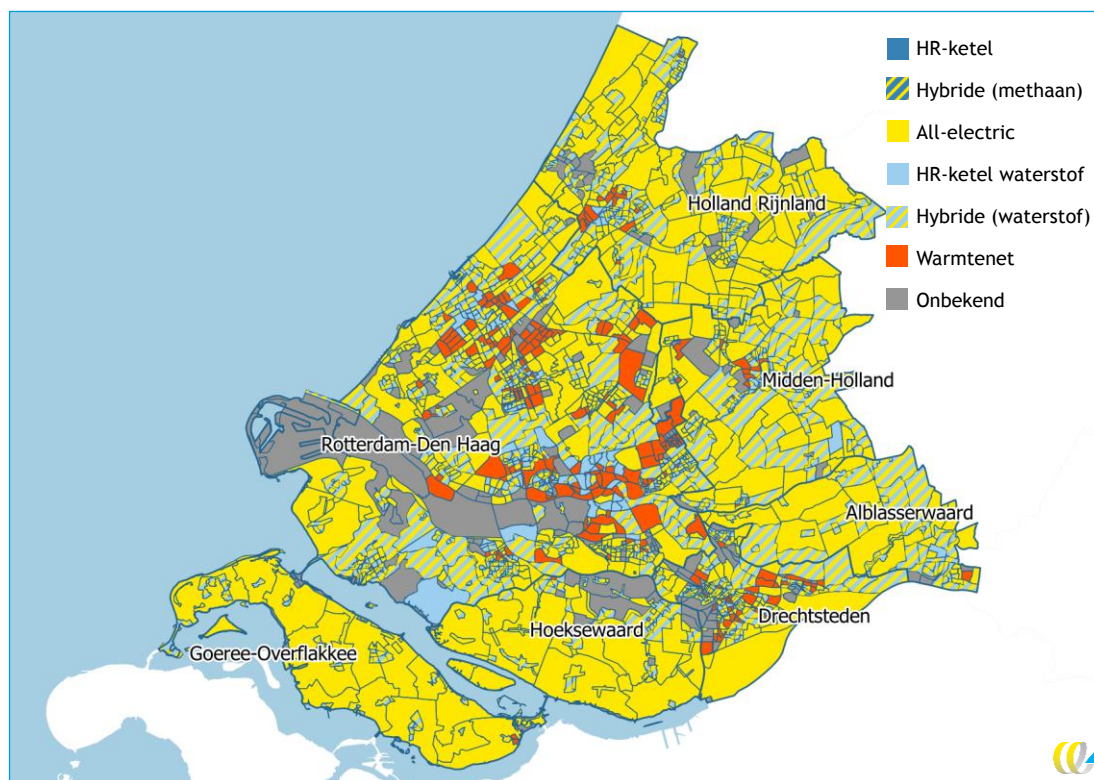
Figuur 52 - Warmtetechnieken 2050 Nationale Sturing



Figuur 53 - Warmtetechnieken 2050 Europese CO₂-Sturing



Figuur 54 - Warmtetechnieken 2050 Internationale Sturing



D.3 Seizoensopslag van warmte - technische mogelijkheden

De flexscenario's maken gebruik van seizoensopslag van warmte. Hierbij worden (tijdelijke) overschotten van warmte in de zomer opgeslagen zodat dit gebruikt kan worden in de winter. Gevolg hiervan is dat warmtebronnen en warmtenetten efficiënter benut en gedimensioneerd kunnen worden. Ook maakt dit het mogelijk om bijvoorbeeld restwarmte, geothermie, zonthermie en power-to-heat in te zetten in warmtenetten.

In de scenario's leidt dit tot de volgende opslagbehoefte op jaarbasis:

- Regionale Sturing: 3.500 GWh;
- Nationale Sturing: 2.500 GWh;
- Europese CO₂-sturing: 2.200 GWh;
- Internationale Sturing: 1.500 GWh.

Een concreet voorbeeld van hogetemperatuuropslag (HTO) wordt gerealiseerd bij ECW in Middenmeer (<https://iftechnology.nl/kennisbank/hto-een-sleutelrol-in-de-energietransitie/>, <https://www.heatstore.eu/national-project-netherlands.html>) (IF Technology, 2020; HEATSTORE, lopend). Deze opslag is ongeveer 10-20 GWh groot. Als we aannemen dat een opslag typisch 15 GWh groot is zullen dus 100-250 van dergelijke HTO's nodig zijn om de behoefte van de flexscenario's te voorzien. Zeer grote opslagsystemen van ~100 GWh worden ook niet uitgesloten voor de toekomst, maar concrete ervaring met dit formaat projecten ontbreekt.

Het totale opslagpotentieel voor Zuid-Holland is nog niet gekwantificeerd. Maar er zijn wel recente onderzoeken die richting geven:

- HEATSTORE onderzoeksprogramma, ECW demonstratieproject, <https://www.heatstore.eu/national-project-netherlands.html>, (HEATSTORE, lopend);
- Potentieel geothermie in Zuid-Holland, IF Technology, 2016. <https://www.zuid-holland.nl/publish/pages/17660/potentieelgeothermieinzh.pdf> (IF Technology, 2016).
- Statenbrief “Resultaat studie Potentie Geothermie Zuid-Holland, 2016”. https://staten.zuid-holland.nl/DMS_Import/Statencommissie_Duurzame_Ontwikkeling/2017/Duurzame_Ontwikkeling_22_maart_2017/Besprekingsstukken/Investeringsstrategie_Warmteparticipatiefonds_en_subsidieregeling_lokale_initiatieven_energietransitie_Zuid_Holland_2017/Stuknr_581212025.org
- Toekomstperspectief bodemenergie Zuid-Holland (GS Zuid-Holland, 2016), CE Delft, Tauw, 2017, https://staatvan.zuid-holland.nl/wp-content/uploads/2017-06-23_DEF_rapport_Toekomstperspectief_bodemenergie_ZH_Tauw_CEDelft.pdf (Tauw; CE Delft, 2017).

In Figuur 54 is bijvoorbeeld een resultaat van het WINDOW- (TNO, 2020) Geological model, shallow subsurface temperature model and potential maps for HT-ATES in the Netherlands. WINDOW-research programme. WINDOW - WarmingUp) getoond waar de potentie van de ondergrond voor hogetemperatuurwarmteopslag is onderzocht. Deze kaart laat mogelijk interessante en geschikte ondergrond zien waarbij de groene gebieden het meest interessant lijken. Voor de gele en rode gebieden zijn een of meerdere barrières gevonden die nader onderzoek vergen. Een voorbeeld hiervan zou een proefboring kunnen zijn om de ondergrond beter te kunnen karakteriseren.

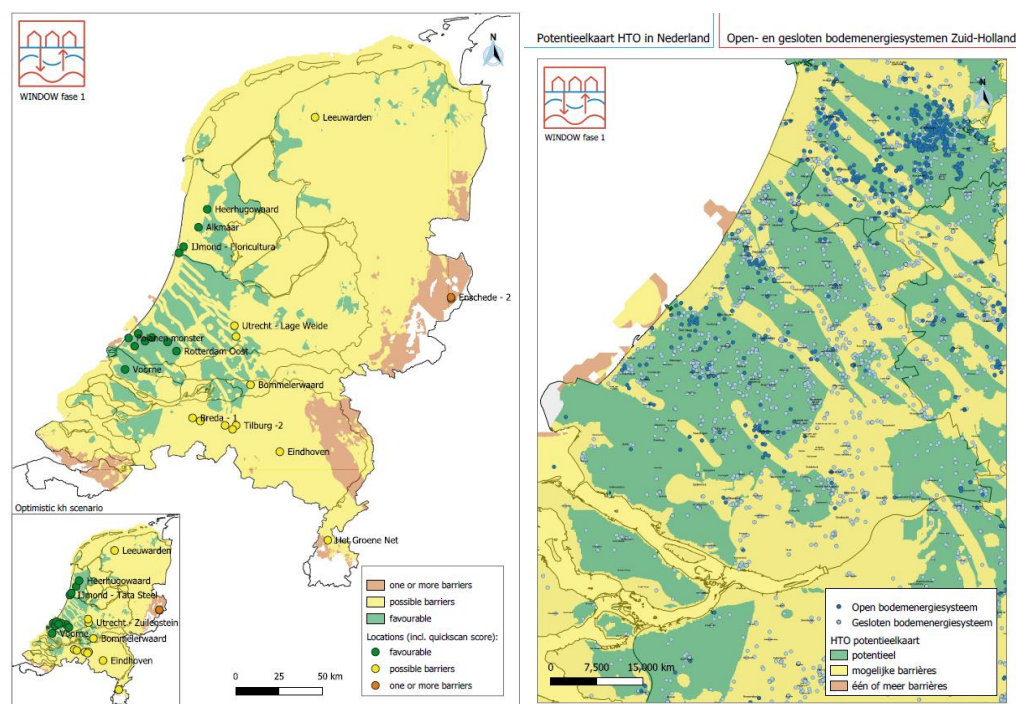
Ook hebben TNO en IF Technology in 2018 (Hoge temperatuur opslag warmtenet Zuid-Holland, IF Technology, TNO, 2018) (IF Technology; TNO, 2018) voor Zuid-Holland gerekend aan mogelijkheden van HTO. In deze studie zijn verschillende locaties en varianten uitgezocht ten behoeve van een mogelijk warmtenet in Zuid-Holland. Deze en eerdere studies

hebben aangetoond dat de ondergrond in Zuid-Holland in veel gebieden mogelijkheden biedt om HTO te realiseren.

De grootte van de ondergrondse warmtebel om de HTO geeft inzicht in de ruimtelijke implicaties ondergronds van de opslagbehoefte. Op basis van ondergrondmodellering in eerdergenoemde studies is ruwweg een warmtebel van honderden meters tot wel meer dan een kilometer te verwachten voor middelgrote tot zeer grote HTO-projecten. Dit is maximaal ongeveer 1 km² per project. Het percentage van het totale oppervlak van Zuid-Holland dat ondergronds wordt ingevuld door HTO-projecten zal daarom niet meer dan een aantal procentpunten bedragen. Het vergt echter wel regie omtrent ruimtelijk inpassing, opdat de HTO-projecten elkaar en andere belangen ondergronds niet of zo min mogelijk moeten interfereren. Uiteraard is draagvlak van HTO-projecten in gebouwde omgeving een belangrijk uitgangspunt dat ook invloed kan hebben op realisatie van het technisch potentieel. Een ander aandachtspunt is het totaal aan projecten. De keten van partijen die HTO-projecten kunnen leveren is nog niet klaar om binnen afzienbare tijd en op deze schaal HTO-projecten te realiseren. De realisatietijd is dus een belangrijk aandachtspunt.

Kortom, het is technisch waarschijnlijk mogelijk om de aangenomen opslag te realiseren. Echter, gezien de omvang van de opslagbehoefte gaat dit om veel projecten wat uitdagingen oplevert op het gebied van realisatietijd en ruimtelijke inpassing.

Figuur 55 - Potentieelkaart hogetemperatuuropslag Nederland en Zuid-Holland



Bron: (TNO, 2020) Geological model, shallow subsurface temperature model and potential maps for HT-ATES in the Netherlands. WINDOW Research programme. WINDOW - WarmingUp).

E Mobiliteit

Binnen mobiliteit onderscheiden we in deze analyse de volgende modaliteiten: personenauto's, bestelauto's, ov-bussen, vrachtauto's, treinen, scheepvaart en vliegverkeer. Voor wat betreft de energiedragers gaan we per modaliteit uit van de volgende klimaatneutrale opties:

- Wegtransport: elektriciteit, waterstof, CNG/LNG (groengas), biobrandstof (biodiesel). De verhouding tussen de verschillende energiedragers wisselt per scenario en type voertuig. In sommige scenario's en sommige voertuigen blijven alleen elektriciteit en waterstof over, in andere scenario's en voertuigen is er meer een mix.
- Scheepvaart: bioLNG, waterstof en elektriciteit voor de binnenvaart en synfuels, biofuels, waterstof en elektriciteit voor de zeevaart.
- Luchtvaart: synfuels en (hybride)elektrisch voor de korte afstanden in elektriciteitsrijke scenario's.

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

De energievraag van mobiliteit wordt berekend voor de provincie Zuid-Holland als geheel per voertuigtype, energiedrager en laadstationtype. Vervolgens wordt de energievraag verdeeld over de Zuid-Hollandse gemeenten naar rato van het aantal geregistreerde voertuigen van het betreffende voertuigtype, gecorrigeerd voor projecties van inwonertal.

Voor de scenario's voor mobiliteit op de weg en rail is het mobiliteitsmodel van TNO gebruikt. Het mobiliteitsmodel van TNO is een ruimtelijk technisch-economisch energie-model ontwikkeld voor de provinciale systeemstudie Noord-Holland en nadien verder ontwikkeld en toegepast voor de provinciale systeemstudie Limburg en de studie *Scenario's voor energievraag en energieaanbod en doelstellingen* voor de provincie Utrecht. Met het model wordt op basis van gemiddelde gemeentelijke inwonertallen, kilometrages, een inschatting van de energiebehoefte opgesteld. In geval van batterij-elektrische voertuigen wordt verder een inschatting opgesteld van periodiek in vervoersbewegingen (vakantieperioden, werkweek/weekend, dag/nacht, spits), vervolgens berekend wanneer er hoeveel batterij-elektrische voertuigen aangesloten zijn op het net, de bijbehorende state-of-charge en de veronderstelling dat bij start van de werkdag de batterij volledig geladen moet zijn. In ruimtelijke zin wordt uitgegaan van gelijkmatige spreiding van batterij-elektrische personenauto's en bestelauto's over woningen, terwijl batterij-elektrisch busvervoer wordt toegewezen aan bus depots en batterij-elektrisch vrachtverkeer wordt gekoppeld aan bedrijfsterreinen op basis van de Basisregistraties Adressen en Gebouwen data.

Startpunt voor de scenario opbouw voor mobiliteit in de provincie wordt gevormd door II3050 (Berenschot & Kalavasta, 2020) en Tabel 24), maar op verschillende punten wordt hiervan afgeweken op basis van recente studies die specifiek op de provincie zijn gericht.

Tabel 24 - Scenarioveronderstellingen mobiliteit II3050

	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Personenauto's	Volledige elektrificatie	95% elektriciteit 5% waterstof	70% elektriciteit 30% waterstof	50% elektriciteit 40% waterstof 10% biobrandstof
Busvervoer	Volledige elektrificatie	95% elektriciteit 5% waterstof	70% elektriciteit 30% waterstof	50% elektriciteit 40% waterstof 10% biobrandstof
Vrachtervervoer	75% elektriciteit 15% waterstof 10% groengas 0% biobrandstoffen	25% elektriciteit 50% waterstof 0% groengas 25% biobrandstoffen	25% elektriciteit 25% waterstof 25% groengas 25% biobrandstoffen	25% elektriciteit 25% waterstof 0% groengas 50% biobrandstoffen
Lucht- en scheepvaart	22% synthetische brandstoffen 78% import duurzame brandstoffen	26% synthetische brandstoffen 74% import duurzame brandstoffen	11% synthetische brandstoffen 89% import duurzame brandstoffen	9% synthetische brandstoffen 91% import duurzame brandstoffen

E.1 Uitgangspunten

Weg- en railtransport

Voor wat betreft de groeiveronderstellingen voor mobiliteit in termen passagierskilometers over de weg en vrachtkilometers over de weg sluiten we aan bij II3050 (Berenschot & Kalavasta, 2020). Het aantal passagierskilometers in de trein is in II3050 echter niet uitgesplitst, waardoor een evt. modaliteitsshift niet kan worden gerepresenteerd in de scenario's.

In deze analyse hebben we er daarom voor gekozen om passagierskilometers in de trein wel uit te splitsen op basis van besprekingen met de netbeheerder van de NS:

- passagierskilometers over de weg: een jaarlijkse groei van 0% tot 2030, -0,75% groei in Regionaal, 0,25% groei in nationaal, en 1,25% in Europees en Internationaal;
- vrachtkilometers over de weg: een jaarlijkse groei van 1,1% tot 2030, -1,0% groei in Regionaal, 0,0% groei in nationaal, en 1,0% in Europees en Internationaal;
- passagierskilometers per trein: een jaarlijkse groei van 0,5% tot 2030, -0,4% groei in Regionaal, 0,6% groei in nationaal, en 2,4% in Europees en Internationaal.

Voor efficiëntieveronderstellingen met betrekking tot transportmiddelen voor wegvervoer sluiten we aan bij zowel de categorisering als de veronderstelde waarden in II3050:

- elektrische voertuigen: een jaarlijkse besparing van 1,5% tot 2030 en 0,2% in 2050;
- waterstofvoertuigen: een jaarlijkse besparing van 1,5% tot 2030 en 0,2% in 2050;
- verbrandingsmotoren: een jaarlijkse besparing van 1,5% tot 2030 en 0,4% in 2050.

Tot slot is ook voor de invulling van de scenario's m.b.t. energiedrager uitgegaan van de invulling zoals die is neergelegd in II3050 en weergegeven in Tabel 25. Voor het treinverkeer is voor uitgegaan van 100% op elektrisch.

Tabel 25 - Scenarioveronderstellingen energiedragers mobiliteit over de weg

	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Personen- auto's	Klimaatakkoord: Elektrisch 3,2% Waterstof 6,0% Biobrandstof 12,0%	Volledige elektrificatie	95% elektriciteit 5% waterstof	70% elektriciteit 30% waterstof	50% elektriciteit 40% waterstof 10% biobrandstof
Bus- vervoer	90% elektriciteit 10% waterstof	Volledige elektrificatie	95% elektriciteit 5% waterstof	70% elektriciteit 30% waterstof	50% elektriciteit 40% waterstof 10% biobrandstof
Vracht- vervoer	Elektriciteit 3,2% Waterstof 6,0% Biobrandstof 12,0%	75% elektriciteit 15% waterstof 10% groengas 0% biobrandstof	25% elektriciteit 50% waterstof 0% groengas 25% biobrandstof	25% elektriciteit 25% waterstof 25% groengas 25% biobrandstof	25% elektriciteit 25% waterstof 0% groengas 50% biobrandstof

Scheepvaart

Rotterdam is de grootste bunkerbrandstofhaven voor zeeschepen in Europa en staat in de top 3 van de wereld. De afgelopen jaren werd in Rotterdam zo'n 400 PJ aan brandstof aan schepen geleverd. Dit betreft voornamelijk HFO (Heavy Fuel Oil), maar m.n. LNG en ook biobrandstoffen zijn in opkomst.

Voor wat betreft de groeiveronderstellingen voor binnenvaart en zeevaart in termen van tonkilometers over water sluiten we aan bij II3050, met een jaarlijks gemiddelde groei van 1,1% tot 2030, jaarlijks gemiddeld -1,0% groei in Regionaal, 0,0% groei in nationaal, en 1,0% in Europees en Internationaal. Verder wordt een generieke efficiëntieverbetering van 0,4% per jaar verondersteld in de scheepvaart.

Brandstofinzet in II3050 gaat uit van 100% bioLNG voor binnenvaart en nadere analyse van inzet van elektriciteit en waterstof buiten beschouwing gelaten. In deze studie hebben deze energiedragers wel in beschouwing genomen, vanwege de lokale gevolgen voor energie-transportinfrastructuur. Een overzicht van de scenarioveronderstellingen voor energiegebruik in de scheepvaart wordt weergegeven in Tabel 26, op basis van de volgende uitgangspunten.

- In geval van binnenvaart gaan we aanvullend op de II3050-veronderstellingen uit van de beleidsambitie in Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens om tenminste 150 binnenvaartschepen voorzien te hebben van een zero-emissie-aandrijflijn in 2030. Het initiatief *Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence* zet in op 50 tot 100 schepen op waterstof in 2030 en het initiatief Zero Emission Services zet in op 150 elektrisch aangedreven binnenvaartschepen in 2030, ofwel 2 tot 2,5 % van de 10.000 binnenvaartschepen die jaarlijks de haven van Rotterdam aandoen.
 - Voor elektrificatie betekent dat minder dan 1% in 2030 en wordt uitgegaan van gunstige verdere doorgroeimogelijkheden in de elektriciteitsrijke scenario's Regionaal (25%) en Nationaal (20%) en beperktere doorgroeimogelijkheden in de scenario's Europees en Internationaal (10%).
 - Voor waterstof wordt uitgegaan van vergelijkbare perspectieven voor 2030, beperktere doorgroeimogelijkheden in regionaal (25%) en internationaal (20%) en betere doorgroeimogelijkheden in nationaal (30%) en Europees (40%).
- Voor wat betreft (bio)LNG is er momenteel een dozijn binnenvaartschepen op LNG in de vaart. Op basis van groeiscenario's voor de binnenvaart in 2030, opgesteld door CE Delft in opdracht van Port of Rotterdam (CE Delft, 2018) kan dit voor Nederland oplopen tot ruimt vijfhonderd a dertienhonderd schepen in 2030. De huidige ontwikkelingen lopen echter achter bij deze projecties en lopen ook minder gestaag dan in 2017 werd

voorzien door het Nationaal LNG Platform. Voor 2030 sluiten we met 10% aan bij de onderkant van bandbreedte van LNG-bunkering die Port of Rotterdam voorziet voor 2030. Voor de 2050-scenario's sluiten we aan bij I13050 met verdere invulling van het restant met bioLNG.

In geval van zeevaart gaat I13050 uit van 100% synthetische brandstoffen voor de zeevaart in alle 2050-scenario's. We sluiten in deze studie aan bij het beeld dat elektriciteit en waterstof geen rol zullen spelen in de zeevaart. In deze analyse hebben we wel nader onderscheid gemaakt naar energiedrager op basis van voorgaande analyse van het Wuppertal instituut in opdracht van het Port of Rotterdam (Wuppertal Institute, 2018b), en onderscheiden we (bio)LNG, synthetische methanol, synthetische methaan en biobrandstoffen. In de studie van het Wuppertal Instituut zijn genoemde energiedrager gegroepeerd in twee scenario's voor 2050: een power-to-liquids (P2L)-scenario en een gemengd power-to-liquids- en power-to-gas (P2L/P2G)-scenario. Verder wordt in de Wuppertal-analyse aangenomen dat biobrandstoffen en/of vloeibaar aardgas (LNG) een belangrijke rol kunnen spelen als overbruggingsbrandstof rond 2030. Op lange termijn bieden deze brandstoffen volgens de Wuppertal scenario's een beperkt perspectief op decarbonisatie, respectievelijk bij gebrek aan beschikbaarheid en beperkt potentieel voor emissiereductie.

Tabel 26 - Scenarioveronderstellingen energiedragers mobiliteit over water

	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Binnenvaart	10% (bio)LNG Rest HFO	25% elektriciteit 25% waterstof 50% bioLNG	20% elektriciteit 30% waterstof 50% bioLNG	10% elektriciteit 40% waterstof 50% bioLNG	10% elektriciteit 20% waterstof 70% bioLNG
Zeevaart	10% (bio)LNG 15% biobrandstof Rest HFO	55% synthetische methanol 45% syngas	55% synthetische methanol 45% syngas	55% synthetische methanol 45% syngas	90% synthetische methanol 10% biobrandstof

Luchtvaart

We sluiten aan bij de groeiveronderstellingen voor luchtvaart in I13050, met een jaarlijks gemiddelde groei van 1,1% tot 2030, jaarlijks gemiddeld -1,0% groei in Regionaal, 0,0% groei in nationaal, en 1,0% in Europees en 2,0% in Internationaal voor Het Rotterdam The Hague Airport. Verder wordt een generieke efficiëntieverbetering van 0,4% per jaar verondersteld in de luchtvaart.

Voor wat betreft de ontwikkeling van de vloot die Rotterdam The Hague Airport aandoet, veronderstellen we dat de eerste hybride-elektrische vliegtuigen voor korte afstanden op kleine schaal zullen worden ingezet in 2030. In de elektriciteitsrijke scenario's regionaal wordt doorgroei naar een deels elektrische vloot verondersteld, terwijl in het scenario nationaal uitgegaan wordt van bescheiden doorgroei van het hybride-elektrische en elektrische vliegen. Voor het overige wordt uitgegaan van (synthetische) kerosine, zie ook Tabel 27.

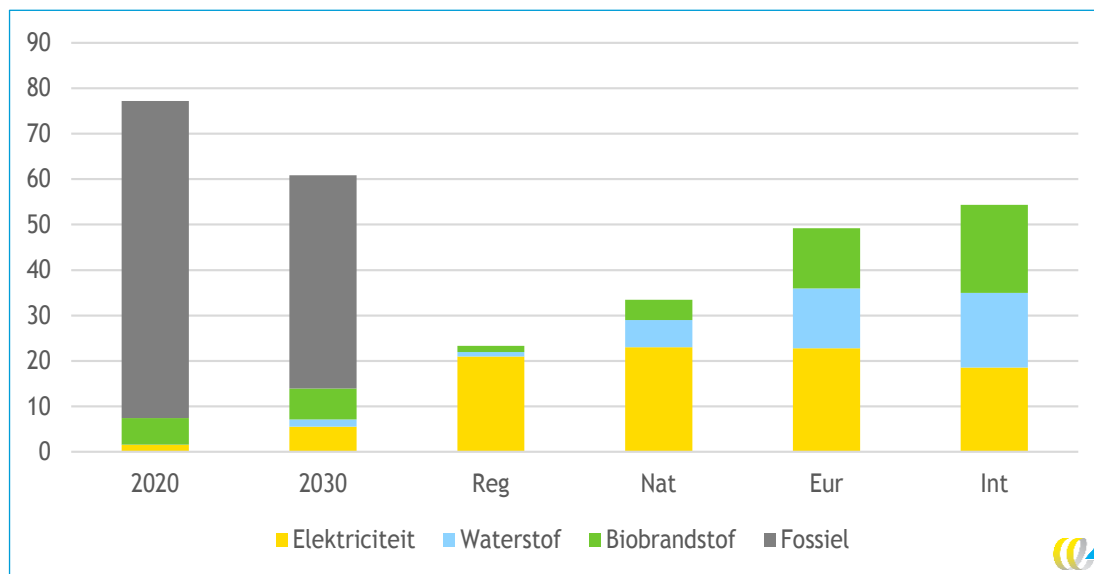
Tabel 27 - Scenarioveronderstellingen ontwikkeling luchtvaart vloot Rotterdam The Hague Airport

	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Luchtvaart	5% hybride-elektrisch, verder kerosine	50% elektrisch 50% (synthetische) kerosine	25% hybride- elektrisch 75% (synthetische) kerosine	100% (synthetische) kerosine	100% (synthetische) kerosine

E.2 Resultaten

De resultaten voor de doorrekening van toekomstig energiegebruik in mobiliteit in de provincie zijn weergegeven in volgende figuur. Uit de figuur kan opgemaakt worden dat elektriciteit al in toenemende mate een rol speelt in het scenario voor 2030, en deze bijdrage toeneemt in m.n. het Regionale en Nationale scenario. Vanwege de groeiveronderstellingen met betrekking tot de industrie zijn de uiteindelijke scenarioverschillen in inzet van elektriciteit in mobiliteit klein in 2050, met ongeveer 19 tot 22 PJ in alle scenario's.

Figuur 56 - Overzicht energiegebruik in de scenario's voor mobiliteit



Waterstofinzet in mobiliteit is nog bescheiden in 2030, maar laat vooral voor de scenario's Europees en Internationaal een sterke bijdrage zien. Na inzet van elektriciteit wordt de resterende vraag goeddeels ingevuld met waterstof en biobrandstof en min of meer gelijke verhoudingen. De waterstof- en biobrandstofinzet schaal min of meer met de veronderstelde groei in energiebehoefte voor mobiliteit in deze scenario's en komt op een breedte van ongeveer 1 PJ in het scenario Regionaal tot ruim 16 PJ in het scenario Internationaal.

F Industrie

De ontwikkeling van het energiesysteem voor de procesindustrie is in belangrijke mate regionaal maatwerk. We maken voor de invulling gebruik van de vier hoofdrichtingen conform de rapportage Klimaatneutrale energiescenario's 2050 van Berenschot/Kalavasta (2020). Vanuit deze studie zijn scenario's voor de specifieke ontwikkelingen in Zuid-Holland opgesteld, onder andere door gebruik van de plannen zoals die worden ontwikkeld binnen de Rotterdamse haven. Aanvullend is gebruik gemaakt van recente relevante analyses van het Rotterdamse havengebied:

- De scenarioanalyse voor decarbonisatie van het Wuppertal Instituut in opdracht van Port of Rotterdam (Wuppertal Institute, 2016; 2018a).
- De recente analyse van het elektriciteitsnetwerk in het havengebied, *Een haven vol nieuwe energie*, (Havenbedrijf Rotterdam, TenneT en Stedin, 2019).
- De analyses voor het H-Vision-project (H-vision, 2019) (en bijlagen).
- De analyses voor het Porthos-project (RH DHV, 2020; Commissie MER, 2019; Ministerie van EZK, 2019).
- Het rapport van de Taskforce Infrastructuur Industrie (DNV GL, 2020).
- Het rapport *Refinery 2050* van het Clingendael International Energy Programme (IEP) (2018).

Voor de verdere ontwikkeling van industrie in Zuid-Holland wordt uitgegaan van het bestaande industriële systeem dat wordt gekarakteriseerd op basis van onder meer de nationale emissieregistratie (Nederlandse emissie autoriteit - NEa), gegevens voor industrieel energieverbruik uit de klimaatmonitor en gegevens van de omgevingsdienst DCMR en de energiebalans van het havengebied (Havenbedrijf Rotterdam N.V., 2019).

Voor de bedrijven in de provincie is een inschatting gemaakt van mogelijkheden voor decarbonisatie van de warmtevoorziening, volgens de volgende methodiek:

- Warmteverbruik en elektriciteitsverbruik van wkk worden meegenomen op basis van openbare informatie en informatie aangeleverd door de netbeheerders.
- Procestemperaturen voor warmteverbruik ingeschat op basis van proceskennis.
- Voor gegeven jaar en scenario wordt per temperatuurregime (< 200°C, 200-400°C, > 400°C) het aandeel gebruik van een optie voor decarbonisatie van de warmtevraag ingeschat op grond van techno-economische haalbaarheid en de scenarioschetsen.
- Het deel van de warmte dat in het gegeven jaar en scenario niet wordt gedecarboneerd, wordt aangenomen door gas te worden ingevuld.

Hierbij zijn geen fundamentele procesherzieningen meegenomen, zoals die bijvoorbeeld op hoofdlijnen zijn uitgewerkt in het MIDDEN-project, en in detail worden uitgewerkt in het lopende E-mix-project dat door TNO wordt uitgevoerd in opdracht van Deltalinqs, Port of Rotterdam, en Stedin. De resultaten van die studie worden komend jaar verwacht, zodat de opdrachtgever er de voorkeur aan geeft de resultaten af te wachten. Uitzondering daarop wordt gevormd door toevoeging van productie van synthetische brandstoffen; zowel vanuit de expertgroep industrie die voor het opstellen van de industriescenario's voor het project is geconsulteerd werd voorgesteld de mogelijke ontwikkeling van synthetische brandstoffen een plek te geven in de scenario's en dat sluit bovendien ook aan op de II3050-scenario's waarin element ook is opgenomen.

Belangrijke onderscheidende ingrediënten van de scenario's zijn onder andere de beschikbaarheden van energiedragers ten behoeve van de warmte- en stoomvragende processen

van de procesindustrie in Zuid-Holland ('elektronen vs. moleculen'), de beschikbaarheid van CO₂-infrastructuur, en de ontwikkeling m.b.t. CCS.

Startpunt voor de scenario opbouw voor de industrie in de provincie wordt gevormd door II3050 (zie ook (Berenschot & Kalavasta, 2020) en Tabel 28), maar op verschillende punten wordt hiervan afgeweken op basis van recente studies die specifiek op de provincie zijn gericht.

Tabel 28 - Scenarioveronderstellingen energie- en grondstoffengebruik in industrie

	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Generieke scenario omschrijving conform II3050	Sterk circulair	Circulariteit belangrijk, CCS mogelijk	CCS belangrijk	CCS belangrijk
	Sterke elektrificatie, inzet groengas ICT groeit sterk	Sterke elektrificatie inzet waterstof ICT groeit sterk	Sterke elektrificatie en inzet waterstof ICT groeit sterk	Sterke elektrificatie, inzet waterstof en fossiel + CCS ICT groeit sterk
	Circulaire feedstock	Circulaire feedstock	Fossiele feedstock	Fossiele feedstock
Chemie	Energie: 60% waterstof, 26% elektriciteit, 14% warmtenet Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 60% waterstof, 26% elektriciteit, 14% warmtenet Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 60% waterstof, 26% elektriciteit, 14% warmtenet Feedstock: 100% nafta	Energie: 35% waterstof, 40% elektriciteit, 25% nafta + CCS Feedstock: 100% nafta
Raffinage	Energie: 95% waterstof en 5% elektriciteit Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 95% waterstof en 5% elektriciteit Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 80% waterstof en 20% biomassa Feedstock: 99% olieproducten, 1% waterstof	Energie: 80% waterstof en 20% biomassa. Feedstock: 99% olieproducten, 1% waterstof
Overige industrie	Energie, 80% elektriciteit, 10% waterstof, 10% warmte	Energie: 80% elektriciteit, 15% waterstof, 5% warmte	Energie: 70% elektriciteit, 30% waterstof	Energie: 70% elektriciteit 30% waterstof

F.1 Uitgangspunten

Voor wat betreft de groeiveronderstellingen en efficiëntie voor de industrie sluiten we aan bij II3050 ((Berenschot & Kalavasta, 2020):

- Klimaatakkoord 2030: groei 0,7% per jaar, efficiëntiewinst 0,8% per jaar;
- Regionale Sturing: groei -1% per jaar, efficiëntiewinst 1% per jaar;
- Nationale Sturing: groei 0% per jaar, efficiëntiewinst 1% per jaar;
- Europese CO₂-sturing: groei 1% per jaar, efficiëntiewinst 1% per jaar;
- Internationale Sturing: groei 1% per jaar, efficiëntiewinst 1% per jaar.

Specifiek voor de Rotterdamse raffinage wordt uitgegaan van krimp in alle scenario's voor 2050, in navolging van II3050. De raffinagesector richt zich in deze scenario's vrijwel alleen op het produceren van halffabricaten voor de chemische industrie. De omvang van de raffinage-industrie is daarom afhankelijk van de omvang van de chemische industrie in elk van de 2050-scenario's. In scenario Regionale Sturing is de raffinagesector nog 14% van de huidige omvang en in scenario Nationale Sturing 36,4%. In de scenario's Europese CO₂- en Internationale Sturing wordt nog export verondersteld en komt de omvang van de raffinage-sector uit op respectievelijk 40 en 50% van de huidige omvang. Verder wordt in aansluiting bij II3050 ook productie van synthetische brandstoffen verondersteld in de 2050-scenario's. In afwijking van II3050 is daarbij niet de beschikbaarheid van elektriciteit uit wind op zee gebruikt voor de schaal, maar de beschikbaarheid van biogene CO₂-emissies.

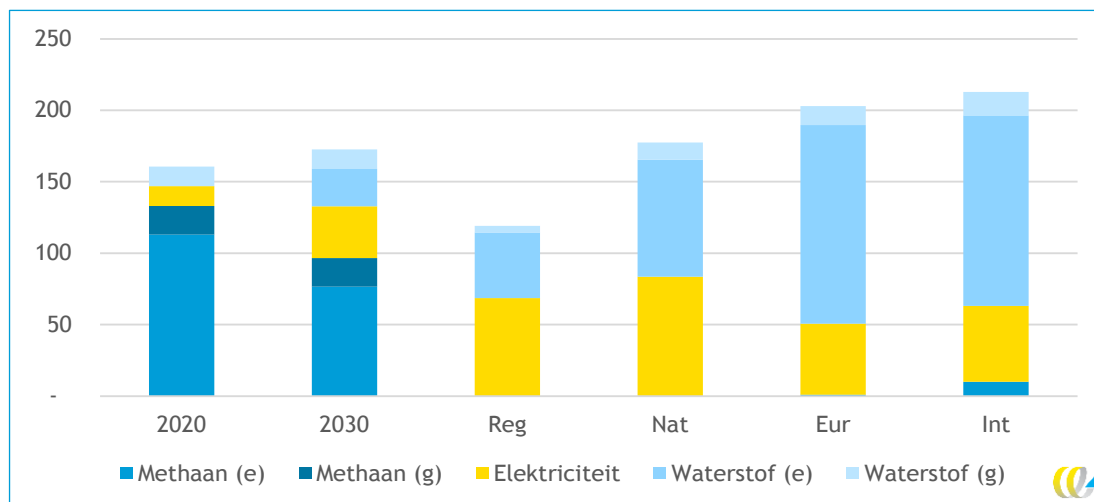
Tabel 29 - Scenarioveronderstellingen energie- en grondstoffengebruik in industrie

	2030	2050 Reg	2050 Nat	2050 Eur	2050 Int
Generieke scenario omschrijving conform II3050	Klimaatakkoord en lopende initiatieven CCS (Porthos), waterstof (H-vision) en elektrificatie	Sterk circulair Sterke elektrificatie, inzet groengas ICT groeit sterk Circulaire feedstock	Circulariteit belangrijk, CCS mogelijk Sterke elektrificatie inzet waterstof ICT groeit sterk Circulaire feedstock	CCS belangrijk Sterke elektrificatie en inzet waterstof ICT groeit sterk Fossiele feedstock	CCS belangrijk Sterke elektrificatie, inzet waterstof en fossiel + CCS ICT groeit sterk Fossiele feedstock
Chemie	Energie: 15% CCS 17% waterstof 10% elektrificatie 7% warmtenet Feedstock: 75% nafta 25% biomassa	Energie: 60% waterstof 26% elektriciteit 14% warmtenet Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 60% waterstof 26% elektriciteit 14% warmtenet Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 60% waterstof 26% elektriciteit 14% warmtenet Feedstock: 100% nafta	Energie: 35% waterstof 33% elektriciteit 25% nafta + CCS 7% warmtenet Feedstock: 100% nafta
Raffinage	Energie: 15% CCS 17% waterstof 10% elektrificatie 7% warmtenet Feedstock: 100% olieproducten	Energie: 95% waterstof 5% elektriciteit Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 95% waterstof 5% elektriciteit Feedstock: 100% pyrolyseolie	Energie: 80% waterstof 20% biomassa Feedstock: 100% olieproducten	Energie: 80% waterstof 20% biomassa Feedstock: 100% olieproducten
Overige industrie	Elektrificatie: 23% Biogas/massa: 5-10%	Energie: 70% elektriciteit 10% waterstof 20% warmte	Energie: 70% elektriciteit 30% waterstof	Energie: 25% elektriciteit 75% waterstof 5% biogas	Energie: 25% elektriciteit 55% waterstof 5% warmte 10% biogas 5% biomassa

F.2 Resultaten

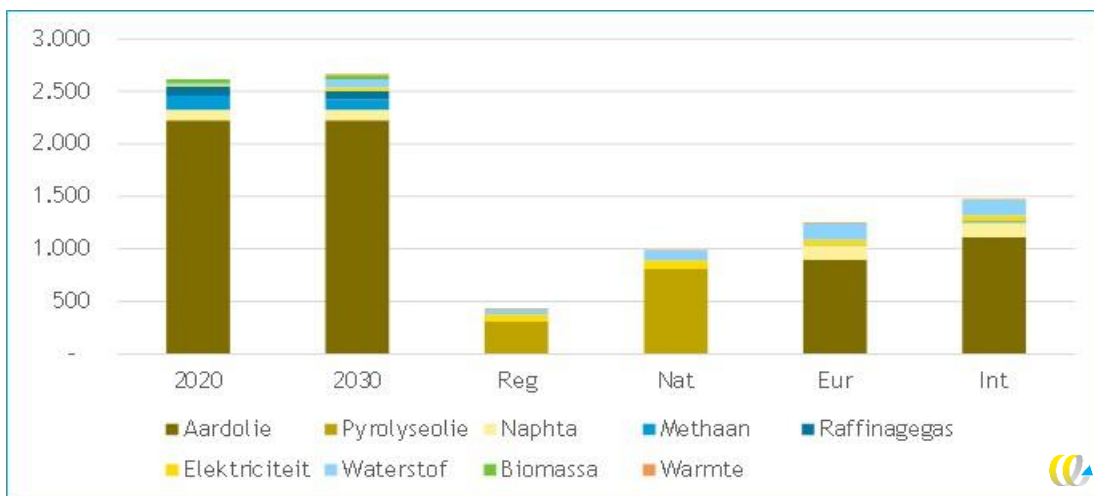
De resultaten voor de doorrekening van toekomstig energie en grondstoffengebruik in de industrie in de provincie zijn weergegeven in Figuur 57 en Figuur 58. Uit Figuur 57 kan opgemaakt worden dat elektriciteit al een grote rol speelt in het scenario voor 2030, en deze bijdrage vooral toeneemt in de scenario's Regionale en Nationale Sturing. Vanwege de groeiveronderstellingen met betrekking tot de industrie zijn de uiteindelijke scenario-verschillen in industriële inzet van elektriciteit relatief bescheiden in 2050, met een bandbreedte van ongeveer 50 PJ in de scenario's Europese CO₂- en Internationale Sturing, tot 80 PJ in het scenario Nationale Sturing. Ook waterstof wordt al vroegtijdig ingezet in 2030 met de ontwikkeling van Porthos en H-Vision, en kan in 2050 een grote bijdrage gaan leveren in de energievoorziening voor de industrie. De omvang van de waterstofvraag schaaft min of meer mee met de veronderstelde industriële groei en komt uit op een bandbreedte van ongeveer 45 PJ in het scenario Regionale Sturing tot ruim 130 PJ in de scenario's Europese CO₂- en Internationale Sturing.

Figuur 57 - Netto gebruik methaan, elektriciteit en waterstof (energie en grondstoffen) in de industrie (PJ/jaar) *



* (e) = energetisch vraag, (g) = grondstofvraag.

Figuur 58 - Netto energie- en grondstoffengebruik in de industrie (PJ/jaar)



G Land- en tuinbouw

Voor 2020 is een dataset van het energieverbruik van de landbouwsector per buurt opgesteld op basis van de volgende bronnen:

- Gas- en elektriciteitsverbruik van de agrarische sector per gemeente, conform Klimaatmonitor. De laatste beschikbare data zijn voor het energieverbruik in 2018, en de gemeentelijke indeling van 2019.
- Bestand Bodemgebruik 2015 van het CBS.
- Oppervlakte van verblijfsobjecten uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen.
- Van wkk-vermogens is met de netbeheerders een schatting gemaakt. Andere aannames betreffen de inzet ervan: 90% van het huidige gasverbruik is voor wkk's en 33% van de geproduceerde elektriciteit is voor eigen gebruik (afgeleid uit Prognose CO₂-emissie glastuinbouw 2030).

De omvang van het areaal glastuinbouw is gevarieerd per scenario. Tot 2030 is aangenomen dat het areaal gelijk blijft. Tussen 2030 en 2050 zijn de volgende scenarioaannames gedaan over het areaal glastuinbouw:

- Scenario Regionale Sturing krimpt van 0,8% per jaar;
- Scenario Nationale Sturing geen groei of krimp;
- Scenario Europese Sturing groei van 0,8% per jaar;
- Scenario Internationale Sturing groei van 0,8% per jaar.

In vergelijking met II3050 is hier een grotere rol gegeven aan geothermie en vooral ook restwarmte. Dit is vanwege het grote potentieel in Zuid-Holland. Meer specifiek per scenario:

- Voor 2030 zijn we uitgegaan van specifieke studies voor Westland en Oostland. De overige glastuinbouw is een combinatie van trends voor Westland, Oostland en nationaal uit respectievelijk 'Kompas op 2030', 'Oostlandse glastuinbouw zet koers naar 2030', en 'Prognose CO₂-emissie glastuinbouw 2030', alle drie van de WUR.
- 2050 Regionale Sturing heeft geothermie als focus, sterker dan in II3050, aangevuld met groengas en biomassa.
- 2050 Nationale Sturing is, in aansluiting op II3050, een scenario met warmte-afname aangevuld met warmtepomp en wko, biomassa en wkk op groengas. In II3050 komt in dit scenario de warmte uit geothermie, hier is gekozen voor meer restwarmte, in lijn met gebouwde omgeving.
- In 2050 Europese CO₂-sturing ligt de focus op warmtepomp met wko, aangevuld met warmte-afname en biomassa. Hier is de warmte een combinatie van geothermie en restwarmte, in II3050 is uitgegaan van enkel geothermie.
- In 2050 Internationale Sturing zijn de uitgangspunten overgenomen vanuit II3050: geothermie, warmtepomp met wko, gas-wkk en biomassa. Het vormt een goede aanvulling op de andere drie scenario's.

Voor alle scenario's geldt dat aangenomen is dat de warmtevraag met 1,6% per jaar zal dalen en de elektriciteitsvraag met 0,5% per jaar zal stijgen. Deze trends zijn gebaseerd op de drie bovengenoemde studies. De stijging in de elektriciteitsvraag is minder dan aangenomen in II3050, omdat deze groei voornamelijk komt door de groei van belichte teelt. In Zuid-Holland wordt relatief gezien t.o.v. andere gebieden al meer belicht in de glastuinbouw en zal de belichte teelt minder hard groeien. De CO₂-vraag is berekend aan de hand van wegvallende gasvraag en wkk's.

Tabel 30 - Vergelijking warmtetechnieken glastuinbouw in systeemstudie en II3050

		Reg	Nat	Eur	Int
Systeemstudie Zuid-Holland	Geothermie	75%	12%	30%	40%
	Restwarmte	0%	28%	30%	0%
	Warmtepomp wko	0%	50%	20%	25%
	Biomassaketel	10%	10%	15%	10%
	Gasketel	15%	0%	0%	0%
	Wkk	0%	0%	5%	25%
II3050	Geothermie	60%	60%	40%	40%
	Restwarmte	0%	5%	0%	25%
	Warmtepomp wko	0%	20%	50%	25%
	Biomassaketel	15%	15%	10%	10%
	Gasketel en wkk	25%	0%	0%	0%

H Energieproductie

H.1 Zon en wind

2030

Voor kleinschalige zon-pv zijn we uitgegaan van de prognoses per RES-regio (Factsheet zon-pv en wind op land, NP RES (2019)). RES-regio's konden in een vragenlijst aangeven of zij reden zien hiervan af te wijken. De totalen per RES-regio zijn vervolgens verdeeld over de buurten op basis van de potentie voor kleinschalige zon per buurt (uit analysekaarten NP RES). Dit impliceert dat bij elke buurt in een RES-regio een gelijk aandeel van de beschikbare ruimte wordt benut. Dit is in lijn met de regionalisatie van II3050.

Voor grootschalige opwek op land (zon-pv op bedrijfsdaken, zonneparken en wind op land) gaan we uit van de RES'en in conceptvorm. Hiervoor is gebruik gemaakt van de invulformulieren die de netbeheerders gebruiken voor de doorrekening. Deze gegevens waren niet beschikbaar van elke RES-regio. Daarnaast hebben sommige RES-regio's meerdere scenario's. In de volgende tabel staat weergegeven hoe elke RES-regio meegenomen is.

Voor wind op zee is de Routekaart windenergie op zee van de Rijksoverheid het uitgangspunt. Voor de aanlandingen van de windparken volgen we de investeringsplannen van TenneT.

RES-regio	Invulformulieren netbeheerders ontvangen?	Toegepaste methode	Opmerkingen
Alblasserwaard	Ja	Overnemen invulformulieren (Scenario 1 voor alle categorieën).	A15-scenario heeft de voorkeur (aangegeven door de regio).
Drechtsteden	Nee	Schaling nationale ambitie naar ambitie voor regio. De potentiële productie dient als verdeelsleutel.	Gegevens van Drechtsteden zijn ondertussen binnen en worden meegenomen in v2.
Hoeksche Waard	Nee	Huidig en gepland opgesteld vermogen meegenomen en 0,1 TWh additioneel zon op dak groot.	Buurtverdeling huidig en gepland opgesteld vermogen nu nog schatting. Wordt nog verfijnd op basis van gegevens netbeheerders.
Holland Rijnland	Ja	Overnemen invulformulieren.	Geen voorkeur voor scenario vanuit de regio, dus gemiddelde genomen.
Goeree-Overflakkee	Nee	Alleen huidig en gepland opgesteld vermogen meegenomen (aanneme dat er geen additionele ambitie is).	Buurtverdeling huidig en gepland opgesteld vermogen nu nog schatting. Wordt nog verfijnd op basis van gegevens netbeheerders.
Midden-Holland	Nee	Uitgegaan van totale ambitie van 0.435 TWh (vragenlijst RES-regio). Verdeeld over verschillende technologieën op basis van pijplijn (zelfde verhouding).	Extra restricties geschikte locaties hernieuwbaar (aangeleverd door de regio) nog niet meegenomen.

RES-regio	Involformulieren netbeheerders ontvangen?	Toegepaste methode	Opmerkingen
Rotterdam-Den Haag	Ja	Overnemen invulformulieren met een correctie voor dubbeltelling wind op land.	Er zat een fout in de invulformulieren waardoor geplande windprojecten dubbel geteld zijn. Hiervoor is gecorrigeerd.

2050

Voor 2050 is aangesloten bij II3050 wat betreft de nationale totalen voor zon en wind op land. De geografische toedeling is in deze studie gebaseerd op de potenties zoals bepaald in de analysekaarten van het NPRES4 (op basis van beschikbaar dakoppervlak). Deze toedeling heeft invloed op enerzijds de schaling van de nationale totalen naar een totaal voor de provincie Zuid-Holland en anderzijds de opsplitsing van het totaal van Zuid-Holland naar buurniveau. Er is bovendien aangenomen dat alle zonnepanelen en windmolens die in 2030 zijn opgesteld er ook nog zijn in 2050.

Voor wind op zee zijn ook de nationale totalen uit II3050 aangehouden en de lijn van II3050 gevolgd wat betreft nationale totalen. Aangenomen is dat in 2050 eenzelfde aandeel van de windparken op zee aanlandt in Zuid-Holland als in 2030.

H.2 Centrales

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

H.3 Groengas

Groengas wordt gemaakt uit biomassa en wordt daarna ingevoegd in het gasnet. De biomassa voor het gas wat kan worden geproduceerd en ingevoerd in Zuid-Holland, hoeft niet uit Zuid-Holland of zelfs Nederland te komen. In de scenario's Europese en Internationale Sturing wordt een deel van de biomassa geïmporteerd. Het groengas zelf kan ook geïmporteerd zijn.

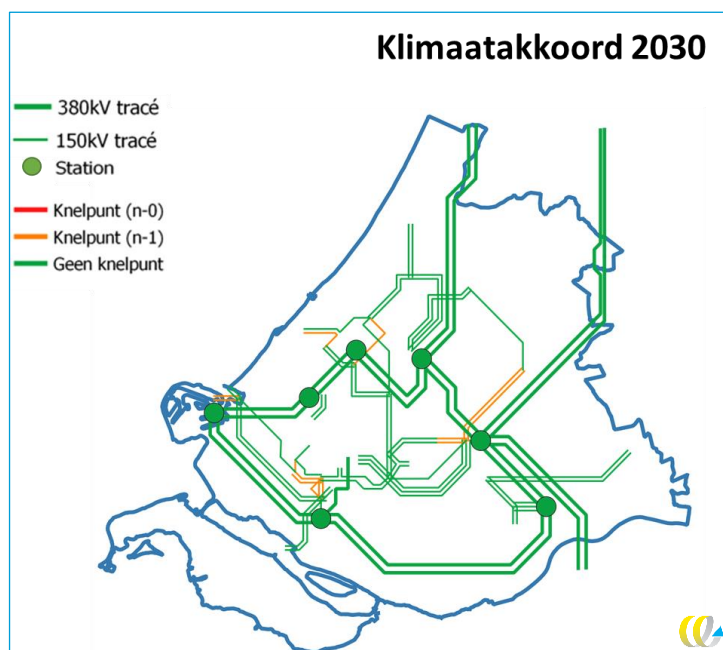
Voor nationale totalen is de lijn van II3050 gevolgd. Voor de regionalisering is gebruik gemaakt van het economisch potentieel (Scenario B) uit de recente studie 'Potentieel van lokale biomassa en invoedlocaties van groengas', die CE Delft uitgevoerd heeft voor Netbeheer Nederland. Het is op dit moment de meest recente studie en gebaseerd op bottom-up (i.e. oorspronkelijke) cijfers. In deze studie is het potentieel voor groengasproductie uit biomassareststromen in Nederland in 2030 bepaald en zijn de bijbehorende invoedlocaties vastgesteld. Deze regionale toedeling is gericht op 2030, maar is hier ook gebruikt voor 2050.

Om de uitkomsten van de studie van CE Delft om te zetten naar scenario's in deze systeemstudie is een schalingsfactor toegepast. Die is gelijk aan het nationale totaal van elk scenario gedeeld door het nationale totaal van de potentieelstudie van CE Delft. Dit betekent dat elk scenario dezelfde invoedlocaties heeft, maar dat de hoeveelheid groengas die ingevoerd wordt verschilt per scenario.

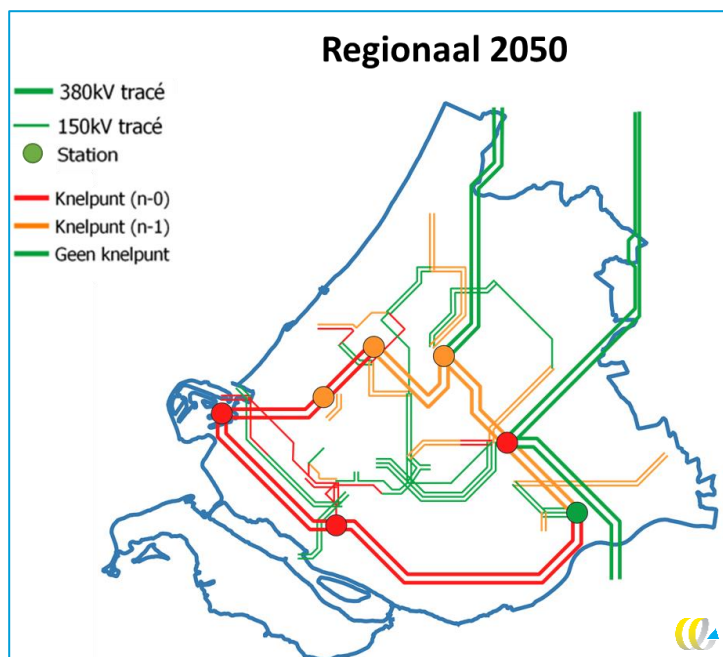
I Visualisatie knelpunten

I.1 Hoogspanningsnet

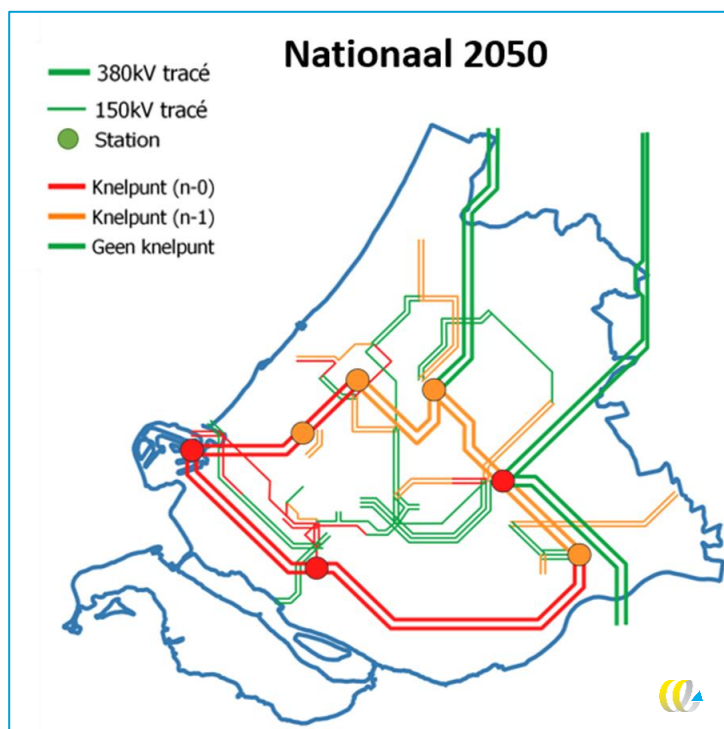
Figuur 59 - Visualisatie overbelasting hoogspanningsnet 2030 Klimaatakkoord-scenario



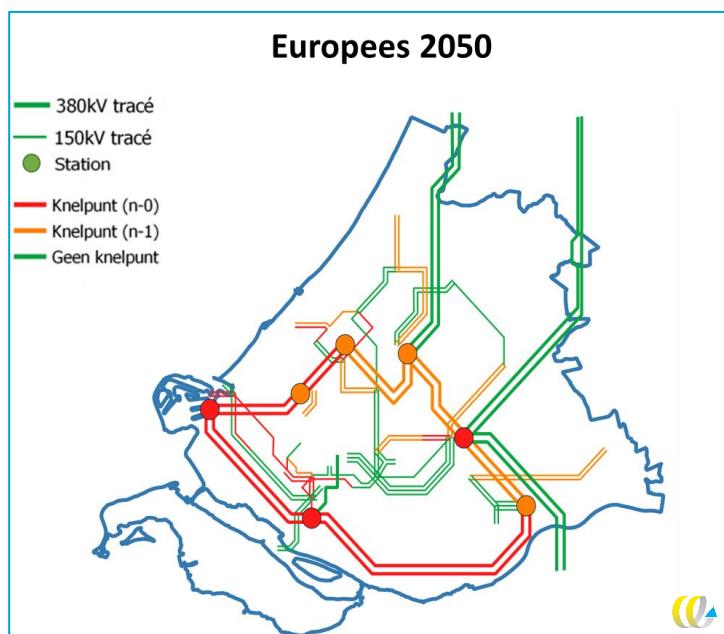
Figuur 60 - Visualisatie overbelasting hoogspanningsnet 2050 Regionale Sturing-scenario



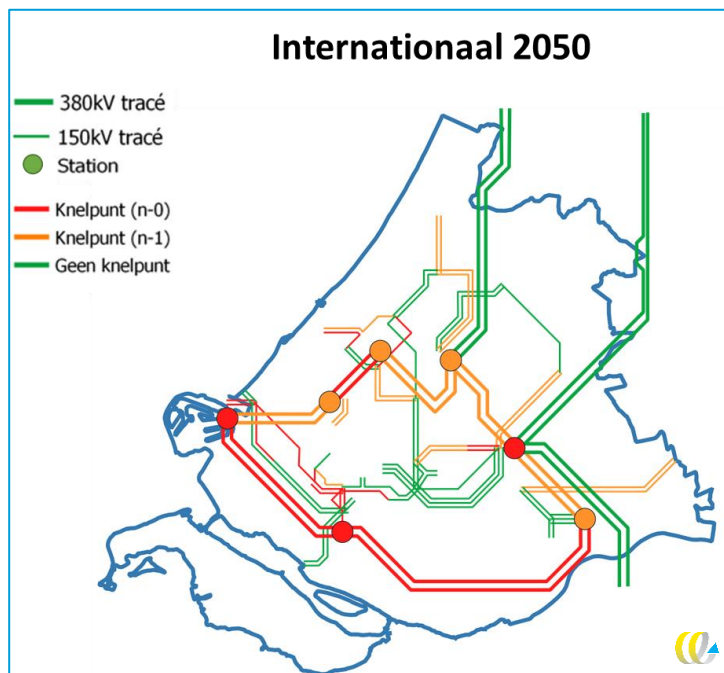
Figuur 61 - Visualisatie overbelasting hoogspanningsnet 2050 Nationale Sturing-scenario



Figuur 62 - Visualisatie overbelasting hoogspanningsnet 2050 Europese Sturing-scenario



Figuur 63 - Visualisatie overbelasting hoogspanningsnet 2050 Internationale Sturing-scenario



I.2 Hoogspanningsnet tabel knelpunten en oplossingen

Volgende tabel geeft de resultaten over het hoogspanningsnet weer, met een omschrijving, duiding van oorzaken en mogelijk oplossingen zoals gerapporteerd door TenneT. De scenario's voor 2050 zijn doorgerekend inclusief flexibiliteit. De scenario's Regionale en Nationale Sturing zijn eveneens doorgerekend exclusief flexibiliteit en zijn hier gemarkeerd met een ster (2050 Reg* en 2050 Nat*).

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Botlek-Geervliet Noorddijk. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Deze knelpunten worden voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Botlek en Vondelingenplaat) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Door het toepassen van deze visie wordt het 150 kV-net in het havengebied opgedeeld in meerdere zogenaamde loadpockets. De 150 kV-stations Botlek, Geervliet en Geervliet Noorddijk zullen onderdeel worden van de loadpocket Simonshaven. Om de loadpocket Simonshaven te kunnen realiseren moet de transformatorcapaciteit op het 380 kV-station Simonshaven worden uitgebreid. Hiervoor moet het 380 kV-station Simonshaven qua fysieke ruimte worden uitgebreid. De 150 kV-verbinding tussen de 150 kV-stations Simonshaven-Geervliet (Noorddijk) en Botlek moeten worden uitgebreid/verzwaard. Hiervoor moet het 150 kV-gebouw op de stationslocatie Geervliet Noorddijk worden uitgebreid en moet er op de stationslocatie Botlek een nieuw 150 kV-gebouw worden gerealiseerd. De 150 kV-verbindingen met andere loadpockets in het havengebied (loadpockets Maasvlakte en Europoort) worden als netopening bedreven (150 kV-verbinding aan één zijde geopend).
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Botlek-Geervliet. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).		
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Geervliet-Geervliet Noorddijk. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).		
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Botlek-Theemsweg. De 150 kV-verbinding Botlek-Theemsweg bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Botlek en Europoort) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Het 150 kV-station Botlek zal onderdeel worden van de loadpocket Simonshaven en het 150 kV-station Theemsweg zal onderdeel worden van de loadpocket Europoort. Om de loadpocket Europoort te kunnen realiseren moet er een nieuw 380 kV-station Europoort worden gebouwd (incl. 380/150 kV-transformatoren). Het bestaande 150 kV-station Europoort moet worden vervangen en hiervoor moet een nieuw 150 kV-gebouw worden gerealiseerd. De 150 kV-verbinding van Europoort-Theemsweg moet worden

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
				vervaard/uitgebreid. De 150 kV-verbinding Botlek-Theemsweg wordt als netopening bedreven (150 kV-verbinding aan één zijde geopend). Deze 150 kV-verbinding kan bij onderhoud of storingen/ calamiteiten worden ingezet.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Botlek-Oudeland. Deze 150 kV-verbinding bestaat vanaf 2030 uit twee kabelcircuits (ondergronds). Op dit moment is dat nog één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Vondelingeplaat) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Het 150 kV-station Oudeland zal onderdeel worden van de load-pocket Simonshaven. De 150 kV-verbinding Botlek-Oudeland moet worden verzaamd/uitgebreid.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Geervliet Noorddijk-Oudeland. Deze 150 kV-verbinding bestaat vanaf 2030 uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Vondelingeplaat) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Het 150 kV-station Oudeland zal onderdeel worden van de load-pocket Simonshaven. De 150 kV-verbinding Geervliet Noorddijk-Oudeland moet worden verzaamd/uitgebreid.
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Maasvlakte-Europoort. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Europoort en Botlek) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Het 150 kV-station Maasvlakte zal onderdeel worden van de load-pocket Maasvlakte en het 150 kV-station Europoort zal onderdeel worden van de loadpocket Europoort. De 150 kV-verbinding Maasvlakte-Europoort wordt als netopening bedreven (150 kV-verbinding aan één zijde geopend). Deze 150 kV-verbinding kan bij onderhoud of storingen/calamiteiten worden ingezet.
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Simonshaven-Geervliet Noorddijk Deze 150 kV-verbinding bestaat één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Botlek en Vondelingeplaat) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Het 150 kV-station Geervliet Noorddijk zal onderdeel worden van de loadpocket Simonshaven. Om de loadpocket Simonshaven te kunnen realiseren moet de transformatorcapaciteit op het 380 kV-station Simonshaven worden uitgebreid. De 150 kV-verbinding Simonshaven-Geervliet Noorddijk moet worden verzaamd/uitgebreid. Hiervoor is uitbreiding van het 380 kV-station Simonshaven noodzakelijk. Op het 150 kV-station Geervliet Noorddijk moet het 150 kV-gebouw worden uitgebreid.

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	380/150 kV-transformator Simonshaven (Tr.411). Op het 380 kV-station Simonshaven staat op dit moment één enkele 380/150 kV-transformator. In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Botlek en Vondelingeplaat) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. De 380/150 kV-transformator(en) in Simonshaven zullen de gelijknamige loadpocket voeden. Om de loadpocket Simonshaven te kunnen realiseren moet de transformatorcapaciteit op het 380 kV-station Simonshaven worden uitgebreid. Hiervoor is uitbreiding van het 380 kV-station Simonshaven noodzakelijk.
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Geervliet Noorddijk-Tinte-Europoort. Deze 150 kV-verbinding bestaat voor het grootste deel uit twee bovenlijncircuits en voor een klein deel uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Europoort) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Het 150 kV-station Geervliet Noorddijk zal onderdeel worden van de loadpocket Simonshaven en het 150 kV-station Europoort zal onderdeel worden van de loadpocket Europoort. De 150 kV-verbinding Geervliet Noorddijk-Tinte-Europoort wordt onderdeel van de loadpocket Europoort. De 150 kV-verbinding Geervliet Noorddijk-Tinte-Europoort wordt (her)aangesloten op 150 kV-station Theemsweg. Hierdoor ontstaat de 150 kV-verbinding Theemsweg-Tinte-Europoort.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Merseyweg-Theemsweg. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Rozenburg) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. De 150 kV-stations Merseyweg en Theemsweg zullen onderdeel worden van de loadpocket Europoort. De 150 kV-verbinding Merseyweg-Theemsweg moet worden verzaard/uitgebreid.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Botlek-Merseyweg. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Rozenburg) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. Het 150 kV-station Merseyweg zal onderdeel worden van de loadpocket Europoort. Het 150 kV-station Merseyweg wordt in deze situatie d.m.v. twee kabelcircuits (ondergronds) gevoed vanuit het 150 kV-station Theemsweg. De 150 kV-verbinding Botlek-Merseyweg wordt geamoveerd.

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	380/150 kV-transformatoren Maasvlakte. Op het 380 kV-station Maasvlakte staan op dit moment twee 380/150 kV-transformatoren opgesteld. In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Europoort en Maasvlakte) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. De 380/150 kV-transformatoren in Maasvlakte zullen de gelijknamige loadpocket voeden. Om de loadpocket Maasvlakte te kunnen realiseren moet de transformatorcapaciteit op het 380 kV-station Maasvlakte worden uitgebreid. Hiervoor is een nieuw 380 kV-station Maasvlakte (Amaliahaven) noodzakelijk.
2030 KA 2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Middellange	150 kV-verbinding Theemsweg-Europoort. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2030 kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het havengebied van Rotterdam (met name Europoort Rozenburg) als gevolg van elektrificatie van de industrie (power-to-heat) en overige ontwikkelingen.	Het implementeren van de visie 'Een haven vol nieuwe Energie'. De 150 kV-stations Europoort en Theemsweg zullen onderdeel worden van de loadpocket Europoort. De 150 kV-verbinding Theemsweg-Europoort moet worden verzaamd/uitgebreid.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Gouda-Krimpen. Deze 150 kV-verbinding bestaat volledig uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode met een hoge belastingvraag en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv). In 2050 (Nationaal en Regionaal) worden ook knelpunten geconstateerd in een periode met een hoge inzet van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv) en een lage belastingvraag.	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Gouda-Krimpen. Conversie van duurzaam opgewekte elektriciteit naar waterstof. Deze waterstof via het gasnet transporteren. Grootschalige opslag van duurzaam opgewekte elektriciteit op gemeenteniveau.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Den Haag-Rijswijk. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Den Haag.	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Den Haag-Rijswijk.

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Den Haag-Voorburg. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Den Haag.	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Den Haag-Voorburg.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Rijswijk-Wateringen. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Den Haag (Rijswijk).	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Rijswijk-Wateringen.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Voorburg-Wateringen. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Den Haag (Voorburg).	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Voorburg-Wateringen.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat*	Middellange	150 kV-verbinding Geervliet Noorddijk-Middelharnis. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (Regionaal en Nationaal) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterke toename van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv) op Goeree-Overflakkee.	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Geervliet Noorddijk-Middelharnis. 2. Conversie van duurzaam opgewekte elektriciteit naar waterstof. Deze waterstof via het gasnet transporteren. 3. Grootschalige opslag van duurzaam opgewekte elektriciteit op gemeenteniveau.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Ommoord-Krimpen. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Rotterdam.	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Ommoord-Krimpen.

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Alblasterdam-Arkel. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijn-circuits. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterke toename van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv).	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Alblasterdam-Arkel.
2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380/150 kV-transformatoren Crayestein. Op het 380 kV-station Crayestein staan op dit moment drie 380/150 kV-transformatoren opgesteld. In 2050 (Nationaal, Internationaal en Europees) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het deelgebied Crayestein (stedelijk gebied Dordrecht, Alblasterdam Gorinchem). De knelpunten treden voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv).	Uitbreiden transformatorcapaciteit station Crayestein (uitbreiden met een 4de 380/150 kV-transformator).
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Delft-Wateringen. Deze 150 kV-verbinding bestaat deels uit twee bovenlijn-circuits en deels uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Delft.	Verzwaren van de 150 kV-verbinding Delft-Wateringen.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding De Lier-Westerlee. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het Westland (glastuinbouwgebied).	1. Verzwaren 150 kV-verbinding De Lier-Westerlee. 2. Uitbreiden 380/150 kV-transformatorcapaciteit Westerlee en De Lier.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380/150 kV-transformatoren Bleiswijk. Op het 380 kV-station Bleiswijk staan op dit moment drie 380/150 kV-transformatoren opgesteld. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied rondom Zoetermeer.	Uitbreiden transformatorcapaciteit station Bleiswijk (uitbreiden met een 4de 380/150 kV-transformator).

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380/150 kV-transformatoren Krimpen. Op het 380 kV-station Bleiswijk staan op dit moment drie 380/150 kV-transformatoren opgesteld. In 2050 (alle scenario's) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Rotterdam.	Uitbreiden transformatorcapaciteit station Krimpen (uitbreiden met een 4de 380/150 kV-transformator).
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Leiden-Sassenheim. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijn-circuits. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toename van decentraal opgesteld productie-vermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv). De knelpunten treden voornamelijk op in een periode van hoge inzet van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv) en een lage belasting. Er worden ook knelpunten geconstateerd bij een hoge belasting en lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv).	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Leiden-Sassenheim. 2. Conversie van duurzaam opgewekte elektriciteit naar waterstof. Deze waterstof via het gasnet transporteren. 3. Grootschalige opslag van duurzaam opgewekte elektriciteit op gemeenteniveau.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Leiden-Zoetermeer. Deze 150 kV-verbinding bestaat deels uit twee bovenlijncircuits en deels uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied rondom Leiden.	Verzwaren 150 kV-verbinding Leiden-Zoetermeer.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat*	Lange	150 kV-verbinding Dordrecht Merwedehaven - Dordrecht-Zuid. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). De distributietransformatoren zijn rechtstreeks op de kabelcircuits aangesloten (trafo's op steel). In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toename van decentraal opgesteld productie-vermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv). De knelpunten treden voornamelijk op in een periode van hoge inzet van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv) en een lage belasting. Er worden ook knelpunten geconstateerd bij een hoge belasting en lage inzet van decentraal	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Dordrecht Merwedehaven-Dordrecht-Zuid en het realiseren van een volwaardig 150 kV-station Dordrecht-Zuid. 2. Conversie van duurzaam opgewekte elektriciteit naar waterstof. Deze waterstof via het gasnet transporteren. 3. Grootschalige opslag van duurzaam opgewekte elektriciteit op gemeenteniveau.

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
			opgesteld productievermogen (o.a. wind op land en/of zon-pv).	
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	150 kV-verbinding Ommoord-Rotterdam Marconistraat. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Rotterdam.	Verzwaren 150 kV-verbinding Ommoord-Rotterdam Marconistraat.
2050 Reg* 2050 Nat*	Lange	150 kV-verbinding R'dam Centrum-R'dam Marconistraat. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee kabelcircuits (ondergronds). In 2050 (Nationaal en Regionaal zonder flex) kan er niet worden aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Rotterdam.	Verzwaren 150 kV-verbinding R'dam Centrum-R'dam Marconistraat (incl. realiseren volwaardig 150 kV-station R'dam Centrum).
2050 Reg* 2050 Nat*	Lange	150 kV-verbinding R'dam Centrum-R'dam Waalhaven. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel kabelcircuit (ondergronds). In 2050 (Nationaal en Regionaal zonder flex) kan er niet worden aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Rotterdam.	Verzwaren 150 kV-verbinding R'dam Centrum-R'dam Waalhaven (incl. realiseren volwaardig 150 kV-station R'dam Centrum).
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380/150 kV-transformatoren Westerlee. Op het 380 kV-station Westerlee staan op dit moment drie 380/150 kV-transformatoren opgesteld. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het Westland (glastuinbouwgebied).	Uitbreiden transformatorcapaciteit station Westerlee (uitbreiden met een 4de 380/150 kV-transformator).
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380/150 kV-transformatoren Wateringen. Op het 380 kV-station Wateringen staan op dit moment drie 380/150 kV-transformatoren opgesteld. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het stedelijke gebied van Den Haag.	Uitbreiden transformatorcapaciteit station Wateringen (uitbreiden met een 4de 380/150 kV-transformator).

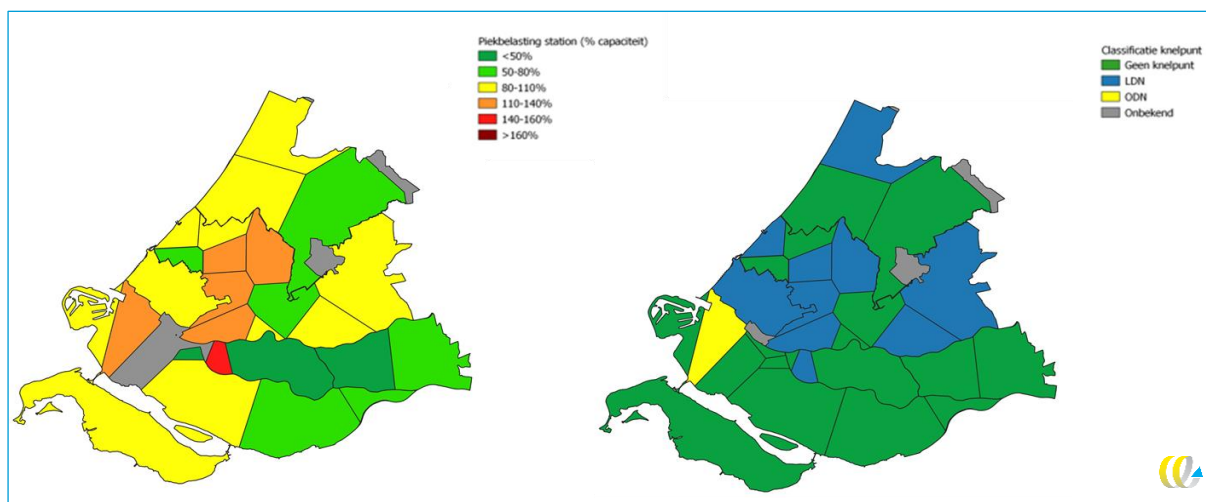
Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380 kV-verbinding Crayestein-Simonshaven. Deze 380 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (Regionaal*, Nationaal en Nationaal*) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2050 (overige scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een aanzienlijke groei van offshore wind (aangesloten op 380 kV-station Maasvlakte).	1. Verzwaken/uitbreiden 380 kV-verbinding Crayestein-Simonshaven. 2. Extra elektrolyser(s) plaatsen nabij aanlanding wind op zee (in de directe nabijheid van 380 kV-station Maasvlakte). Aandachtspunt is de beschikbare transportcapaciteit in het waterstofnetwerk van Gasunie. 3. Wind op zee laten aanlanden (aansluiten) op een andere (stations)locatie. Hierdoor kunnen mogelijk knelpunten ontstaan op andere plekken in (E)HS-net.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380 kV-verbinding Crayestein-Krimpen. Deze 380 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (Regionaal* en Nationaal*) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2050 (overige scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een aanzienlijke groei van offshore wind (aangesloten op 380 kV-station Maasvlakte).	1. Verzwaken/uitbreiden 380 kV-verbinding Crayestein-Krimpen. 2. Extra elektrolyser(s) plaatsen nabij aanlanding wind op zee (in de directe nabijheid van 380 kV-station Maasvlakte). Aandachtspunt is de beschikbare transportcapaciteit in het waterstofnetwerk van Gasunie. 3. Wind op zee laten aanlanden (aansluiten) op een andere (stations)locatie. Hierdoor kunnen mogelijk knelpunten ontstaan op andere plekken in (E)HS-net.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380 kV-verbinding Maasvlakte-Simonshaven. Deze 380 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (alle scenario's behalve Internationaal) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2050 (Internationaal) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een aanzienlijke groei van offshore wind (aangesloten op 380 kV-station Maasvlakte).	1. Verzwaken/uitbreiden 380 kV-verbinding Maasvlakte-Simonshaven. 2. Extra elektrolyser(s) plaatsen nabij aanlanding wind op zee (in de directe nabijheid van 380 kV-station Maasvlakte). Aandachtspunt is de beschikbare transportcapaciteit in het waterstofnetwerk van Gasunie. 3. Wind op zee laten aanlanden (aansluiten) op een andere (stations)locatie. Hierdoor kunnen mogelijk knelpunten ontstaan op andere plekken in (E)HS-net.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380 kV-verbinding Maasvlakte-Westerlee. Deze 380 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (Regionaal*, Nationaal en Nationaal*) treedt er een knelpunt op bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-0). In 2050 (overige scenario's) kan er niet worden voldaan	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een aanzienlijke groei van offshore wind (aangesloten op 380 kV-station Maasvlakte).	1. Verzwaken/uitbreiden 380 kV-verbinding Maasvlakte-Westerlee. 2. Extra elektrolyser(s) plaatsen nabij aanlanding wind op zee (in de directe nabijheid van 380 kV-station Maasvlakte). Aandachtspunt is de beschikbare transportcapaciteit in het waterstofnetwerk van Gasunie.

Scenario	Termijn	Omschrijving	Oorzaak	Oplossing
		aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).		3. Wind op zee laten aanlanden (aansluiten) op een andere (stations) locatie. Hierdoor kunnen mogelijk knelpunten ontstaan op andere plekken in (E)HS-net.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380 kV-verbinding Westerlee-Wateringen. Deze 380 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een aanzienlijke groei van offshore wind (aangesloten op 380 kV-station Maasvlakte).	1. Verzwaken/uitbreiden 380 kV-verbinding Westerlee-Wateringen. 2. Extra elektrolyser(s) plaatsen nabij aanlanding wind op zee (in de directe nabijheid van 380 kV-station Maasvlakte). Aandachtspunt is de beschikbare transportcapaciteit in het waterstofnetwerk van Gasunie. 3. Wind op zee laten aanlanden (aansluiten) op een andere (stations)locatie. Hierdoor kunnen mogelijk knelpunten ontstaan op andere plekken in (E)HS-net.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380 kV-verbinding Bleiswijk-Wateringen. Deze 380 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een aanzienlijke groei van offshore wind (aangesloten op 380 kV-station Maasvlakte).	1. Verzwaken/uitbreiden 380 kV-verbinding Bleiswijk-Wateringen. 2. Extra elektrolyser(s) plaatsen nabij aanlanding wind op zee (in de directe nabijheid van 380 kV-station Maasvlakte). Aandachtspunt is de beschikbare transportcapaciteit in het waterstofnetwerk van Gasunie. 3. Wind op zee laten aanlanden (aansluiten) op een andere (stations)locatie. Hierdoor kunnen mogelijk knelpunten ontstaan op andere plekken in (E)HS-net.
2050 Reg 2050 Reg* 2050 Nat 2050 Nat* 2050 Int 2050 Eur	Lange	380 kV-verbinding Bleiswijk-Krimpen. Deze 380 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. In 2050 (alle scenario's) kan er niet worden voldaan aan de enkelvoudige storingsreserve bij een volledig in bedrijf zijnd net (N-1).	Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een aanzienlijke groei van offshore wind (aangesloten op 380 kV-station Maasvlakte).	1. Verzwaken/uitbreiden 380 kV-verbinding Bleiswijk-Krimpen. 2. Extra elektrolyser(s) plaatsen nabij aanlanding wind op zee (in de directe nabijheid van 380 kV-station Maasvlakte). Aandachtspunt is de beschikbare transportcapaciteit in het waterstofnetwerk van Gasunie. 3. Wind op zee laten aanlanden (aansluiten) op een andere (stations)locatie. Hierdoor kunnen mogelijk knelpunten ontstaan op andere plekken in (E)HS-net.

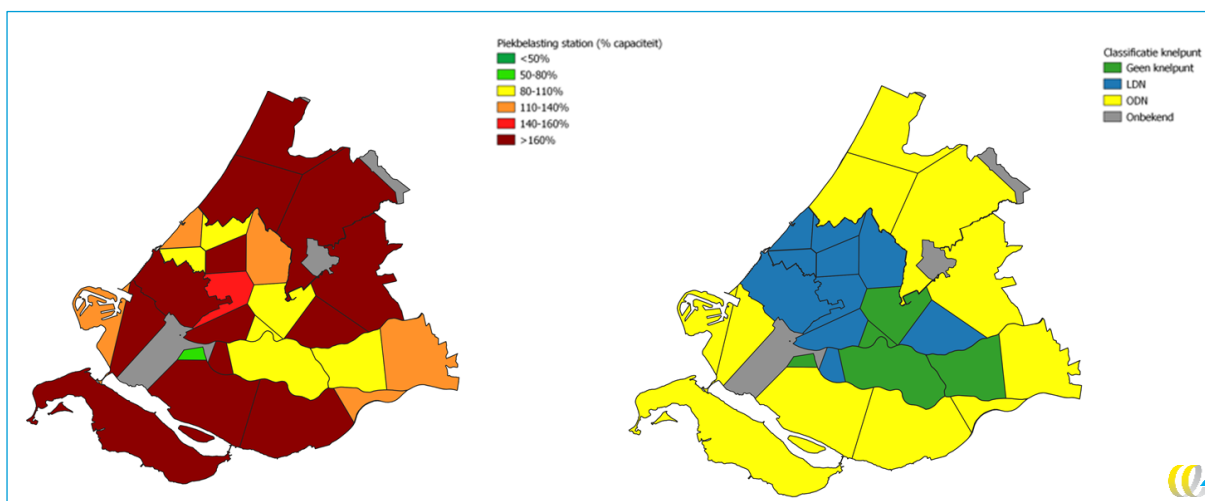
I.3 Koppelpunten

Disclaimer: Bij de volgende figuren is voor de resultaten met flex alleen de flex op de aanbodknooppunten (ODN) meegenomen. Voor de vraagknooppunten (LDN) is flex in beide gevallen niet meegenomen. Dit geldt niet voor de resultaten in het voorzieningsgebied van Liander, aangezien hier niet voor alle scenario's doorrekeningen zijn gemaakt zonder flex. Daarom is hier ook bij de vraagknooppunten (LDN) flex meegenomen. Zie de disclaimer in Paragraaf 5.4 voor meer informatie hierover.

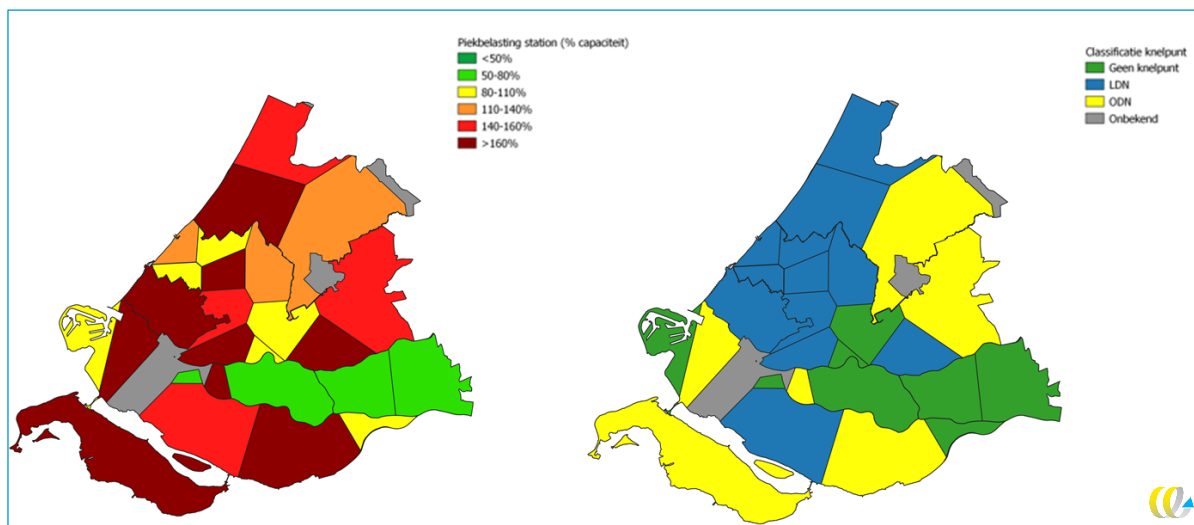
Figuur 64 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2030 Klimaatakkoord



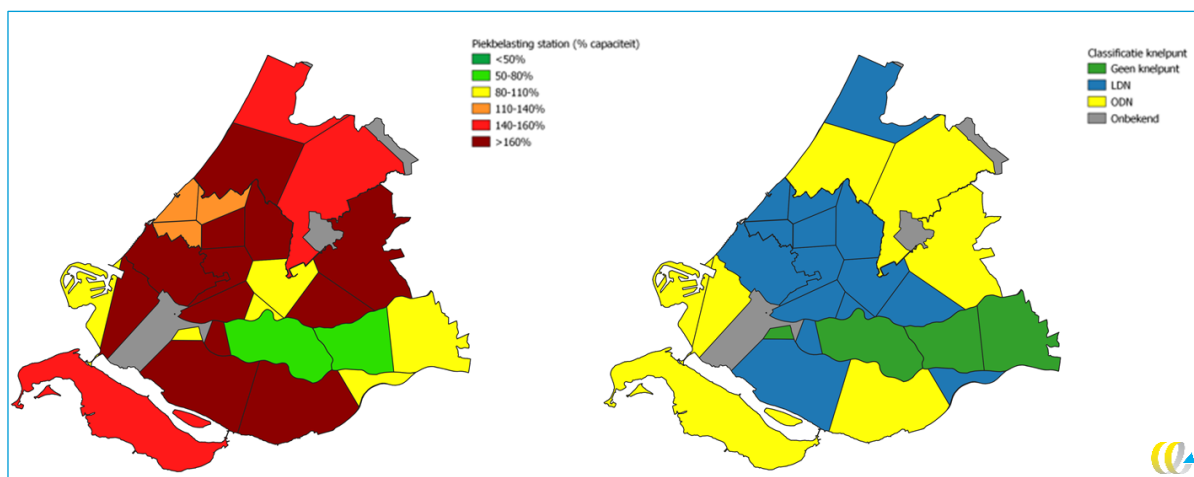
Figuur 65 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Regionale Sturing zonder flex



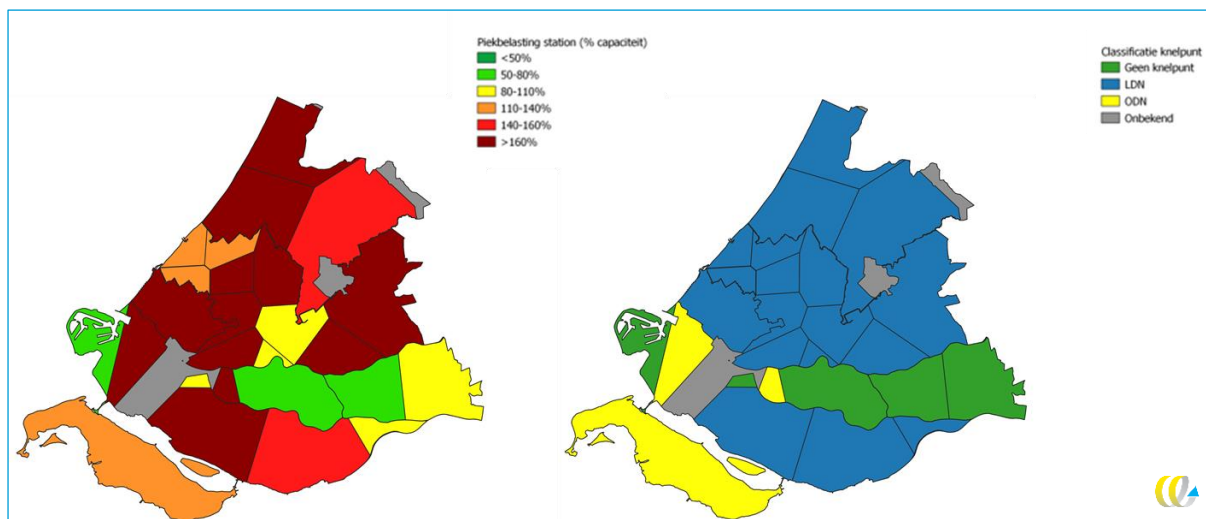
Figuur 66 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Regionale Sturing met flex



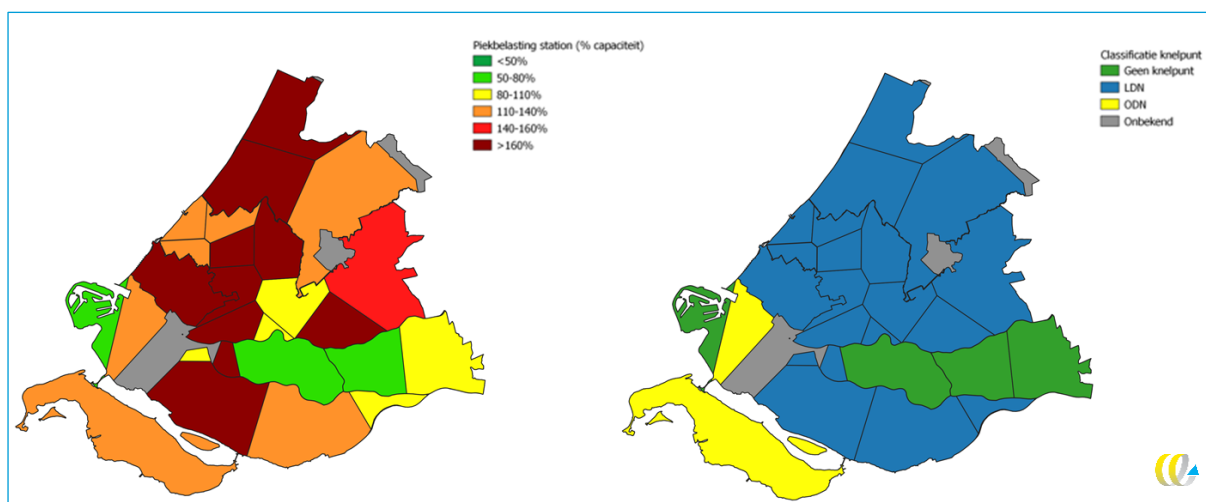
Figuur 67 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Nationale Sturing zonder flex



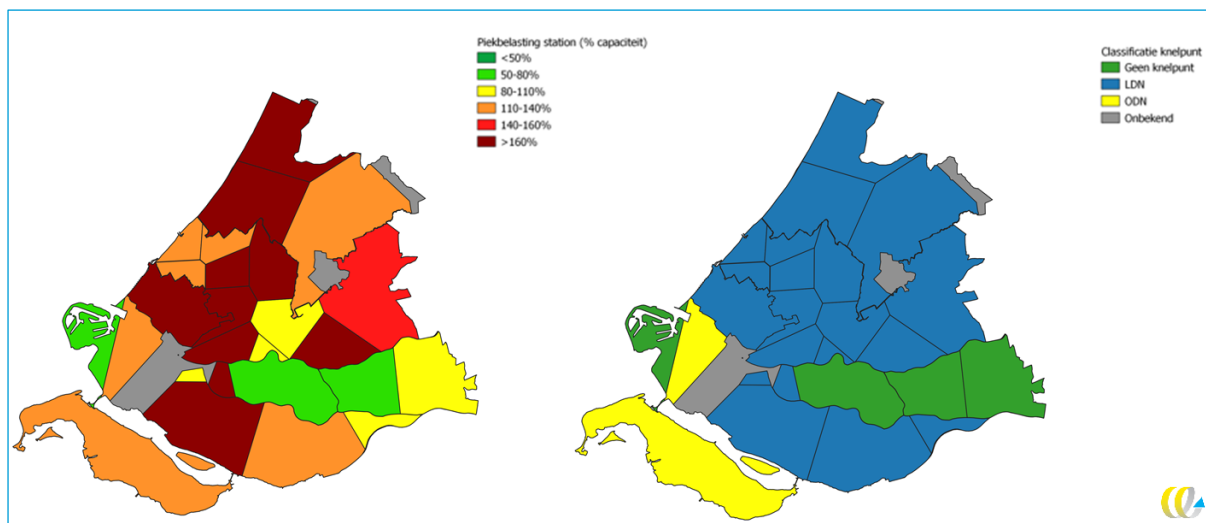
Figuur 68 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Nationale Sturing met flex



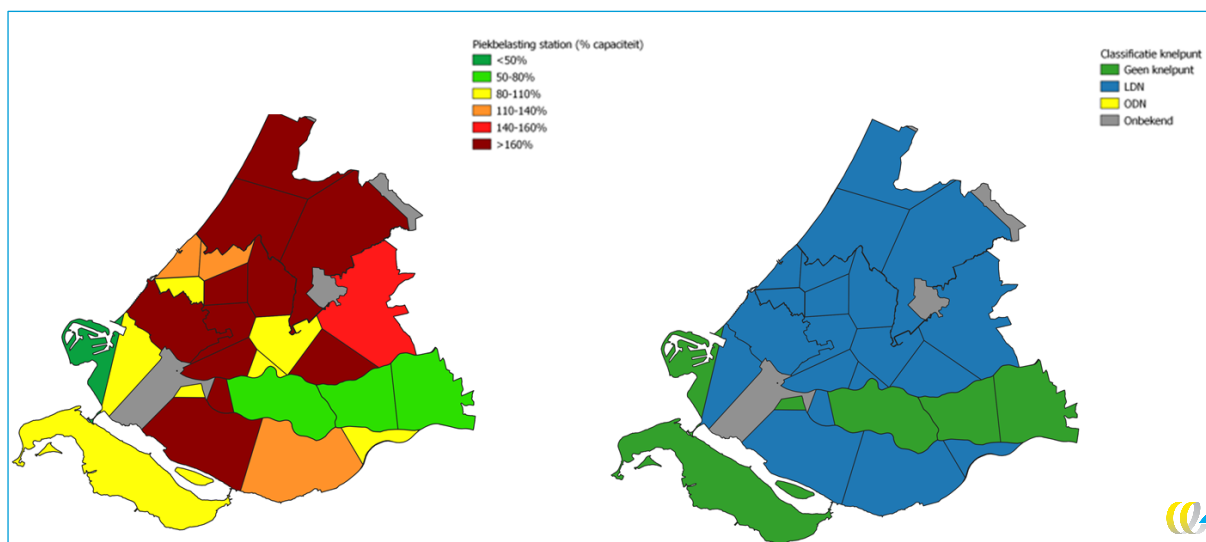
Figuur 69 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Europese Sturing zonder flex



Figuur 70 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Europese Sturing met flex



Figuur 71 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Internationale Sturing zonder flex



Figuur 72 - Visualisatie overbelasting koppelpunten scenario 2050 Internationale Sturing met flex

