Rapportage systeemstudie energie-infrastructuur Noord-Holland

2020-2050

CE Delft
Committed to the Environment

ECN › TNO innovation for life

STUDIOMARCOVERMEULEN

Rapportage systeemstudie energie-infrastructuur Noord-Holland

2020-2050

Dit rapport is geschreven door:
CE Delft: Cor Leguijt, Anouk van Grinsven, Maarten Afman, Reinier van der Veen, Marijke Meyer
ECN.TNO: Sebastiaan Hers, Omar Ushmani, Marc Marsidi, Wouter Wetzels, Joost Gerdes
SMV: Joost van der Waal, Marco Vermeulen

Delft, CE Delft, juni 2019

Publicatienummer: 19.180084.084

Energievoorziening / Elektriciteit / Regionaal / Provincies / Infrastructuur

Opdrachtgevers:
Provincie Noord-Holland, Gemeente Amsterdam, Havenbedrijf Amsterdam, Liander, Gasunie, TenneT

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

	Voorwoord	6
	Begrippen en afkortingen	8
	Samenvatting	9
1	Inleiding	18
	1.1 Introductie	18
	1.2 Aanleiding: waarom dit onderzoek?	18
	1.3 Onderzoeksvragen	19
	1.4 Aanpak	20
	1.5 Leeswijzer	25
2	Ontwikkeling energiesysteem Noord-Holland	27
	2.1 Introductie	27
	2.2 Huidig systeem	27
	2.3 Aanbod: Productie, transport en distributie van de verschillende energiedragers	29
	2.4 Vraag vanuit de verschillende sectoren	39
	2.5 Uitkomsten energievraag en -aanbod	45
	2.6 Conclusies ontwikkelingen energievraag en –aanbod	55
3	Effecten op de infrastructuren	58
	3.1 Introductie	58
	3.2 Effecten op elektriciteitsnet	60
	3.3 Effecten op methaannetten (aardgas en groengas)	70
	3.4 Effecten op waterstofnetwerk	71
	3.5 Effecten op warmtenetten	74
	3.6 Effecten op CO_2-net	75
	3.7 Duiding effecten per gebied	78
	3.8 Conclusies uit dit hoofdstuk	79
4	Oplossingsrichtingen & belemmeringen	81
	4.1 Introductie	81
	4.2 Overzicht mogelijke oplossingsrichtingen bij knelpunten	81
	4.3 Overzicht mogelijke belemmeringen bij oplossingsrichtingen	85
	4.4 Oplossingen knelpunten elektriciteitsnetten	87
	4.5 Opgave: realisatie waterstofketen	89
	4.6 Opgave: uitbreiding warmtenetten, en realisatie stoomnet NZKG	90
	4.7 Opgave: realisatie CO_2-keten	90

5	Conclusies en aanbevelingen	91
	5.1 Introductie	91
	5.2 Conclusies ontwikkelingen energievraag en -aanbod	91
	5.3 Conclusies knelpunten, oplossingsrichtingen, opgaven	93
	5.4 Aanbevelingen	95
6	Bibliografie	99
A	Geraadpleegde bronnen	109
	A.1 Rapportages over grondgebied provincie Noord-Holland (soms deels)	109
	A.2 Rapportages die landelijk, algemeen of over andere gebieden zijn	110
B	Begeleidingscommissie, ateliers en interviews	112
	B.1 Begeleidingscommissie (leden en plaatsvervangers)	112
	B.2 Atelier Zuid	112
	B.3 Atelier Noord	113
	B.4 Interviews en gesprekken	113
C	Netkaarten energie-infrastructuur	114
	C.1 Algemene oriëntatiekaart	114
	C.2 Elektriciteitsinfrastructuur	115
	C.3 Gastransportinfrastructuur	117
D	Overzicht energiedata scenario's	118
E	Scenariodetails gebouwde omgeving	134
	E.1 Introductie	134
	E.2 Data huidige situatie	134
	E.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050	135
	E.4 Scenariodata	137
	E.5 'Uitkomsten' van de scenario's	138
	E.6 Gebruikte informatiebronnen	141
F	Scenariodetails mobiliteit en transport	142
	F.1 Introductie	142
	F.2 Data huidige situatie	143
	F.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050	144
	F.4 Scenariodata	144
	F.5 Gebruikte informatiebronnen	145
G	Scenariodetails industrie	146
	G.1 Introductie	146
	G.2 Data huidige situatie	146
	G.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050	147
	G.4 Scenariodata	150
	G.5 Gebruikte informatiebronnen	150

H Scenariodetails datacenters 151
H.1 Introductie 151
H.2 Data huidige situatie 151
H.3 Ontwikkelingen t/m 2030 en 2030-2050 153
H.4 Scenariodata 155
H.5 Gebruikte informatiebronnen 156

I Scenariodetails Schiphol (elektriciteit) 157

J Scenariodetails glastuinbouw 160
J.1 Introductie 160
J.2 Data huidige situatie 160
J.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050 160
J.4 Scenariodata 161
J.5 Gebruikte informatiebronnen 162

K Scenariodetails productie wind op land, wind op zee, zon op daken, zonneweides 163
K.1 Introductie 163
K.2 Data huidige situatie 163
K.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050 164
K.4 Scenariodata 166
K.5 Gebruikte informatiebronnen 166

L Scenariodetails groengasproductie met vergisters en met (superkritische water)vergassers 167
L.1 Introductie 167
L.2 Data huidige situatie 167
L.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050 168
L.4 Scenariodata 169
L.5 Gebruikte informatiebronnen 170

M Scenariodetails warmte-infrastructuren 171
M.1 Introductie 171
M.2 Data huidige situatie 171
M.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050 173
M.4 Scenariodata 174
M.5 Gebruikte informatiebronnen 175

O Scenariodetails elektriciteitscentrales 183
O.1 Introductie 183
O.2 Data huidige situatie 183
O.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050 184
O.4 Scenariodata 185
O.5 Gebruikte informatiebronnen 186

P Scenariodetails energieopslag 187
P.1 Introductie 187
P.2 Data huidige situatie 187
P.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050 187
P.4 Scenariodata 188
P.5 Gebruikte informatiebronnen 188

Q Scenariodetails elektrolysers (waterstofproductie) 189
Q.1 Introductie 189
Q.2 Data huidige situatie 190
Q.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050 190
Q.4 Scenariodata 190
Q.5 Gebruikte informatiebronnen 190

R Ruimtebeslag van nieuwe energie-infrastructuur 191

S Details knelpuntanalyses 192
S.1 Introductie 192
S.2 Jaarbelastingduurkrommes elektriciteit 192
S.3 Overzichtstabel huidige knelpunten 150 kV-stations en -verbindingen 193

T Alle knelpuntmeldingen 196

Voorwoord

Deze ***Systeemstudie energie-infrastructuur Noord-Holland 2020-2050*** is een coproductie van de opdrachtgevers, de landelijke en regionale netbeheerders en het consortium van CE Delft, TNO/ECN en Studio Marco Vermeulen.

Deze studie is de eerste in zijn soort, door een integraal beeld te geven van de energie-ontwikkeling in de toekomst en de impact op de noodzakelijke energie-infrastructuur. Van oudsher worden systeemanalyses uitgevoerd voor afzonderlijke energiemodaliteiten (bijvoorbeeld elektriciteit of gas). De opgaven en uitdagingen van de energietransitie maken het noodzakelijk om veel meer te kijken naar de dwarsverbanden. We willen immers auto's elektrificeren, huizen en fabrieken van het aardgas af, duurzame opwek en nog veel meer. Dit betekent dat gebruikspatronen, die voorheen voorspelbaar waren (bijvoorbeeld: auto's gebruiken benzine, LPG of diesel), naar de toekomst vergaand kunnen veranderen, in omvang en ook met verschillende energiedragers. Kortom, een dergelijke studie naar de implicaties van energietransitie op het energiesysteem is complex.

Figuur 1 - Schematische weergave van een (deel van de) dimensies in deze studie

De hoeveelheid data die is geproduceerd in deze studie is enorm, evenals het aantal mogelijke doorsnijdingen voor figuren en analyses. Dit heeft te maken met de integraliteit van de studie en met het grote aantal 'dimensies', namelijk:

- Zichtjaren: 3 peiljaren (huidig, 2030, 2050).
- Scenario's: 4 toekomstscenario's.
- Gebiedsindeling: 8 subregio's, twee RES-regio's, provincie als geheel, deelgebied NZKG, 47 gemeenten, met Amsterdam opgedeeld naar 8 stadsdelen vanwege de omvang van de energienetten.
- Vraagsectoren energie: 6 hoofdsectoren (uitgesplitst naar ruim 25 subsectoren).
- Aanbod energie: onderscheid naar 9 vormen.
- Energiesysteem: 6 deelsystemen (elektriciteit, methaan, warmte, waterstof, CO_2, vloeibare brandstoffen).

- Energievraag en aanbod als volume (GJ/jr) en als capaciteitsvraag (MW), bijvoorbeeld met weergave op piekmomenten.
- Capaciteitsvraag: verdeeld over 8.760 uren (365 dagen maal 24 uur per dag).
- Elektriciteitsnetwerk: Er zijn 19 huidige koppelpunten tussen het TenneT-net en Liander-net (met meestal meer dan één installatie per koppelpunt), verder circa 200 onderverdeelinstallaties in het Liander-net, en circa 11.500 middenspanningsruimtes in het Liander-net. Daarnaast zijn er de huidige netten voor gas, warmte en CO_2.

De dataset die is geproduceerd ten behoeve van dit onderzoek bevat ruim 15 miljard gegevens. Dit aantal is nog zonder de vele subtotalen die zijn geproduceerd om de systeem-analyses te kunnen uitvoeren, en zonder de gegevens van de knelpuntanalyses van de netbeheerders.

Als consortium willen we onze hartelijke dank uitspreken aan eenieder die een bijdrage heeft geleverd aan deze studie en ons heeft geholpen om uit de grote hoeveelheden informatie een goed bruikbaar resultaat te destilleren.

Begrippen en afkortingen

AEB	AfvalEnergieBedrijf (Amsterdam)
BECCS	BioEnergie and Carbon Capture and Storage (bio-energie gecombineerd met CCS)
BEV	Battery Electric Vehicle (elektrisch voertuig met batterij)
Blauwe waterstof	Waterstof geproduceerd uit aardgas met CCS
CCS	Carbon Capture and Storage (afvang en opslag van CO_2)
CCU	Carbon Capture and Usage (afvang en hergebruik van CO_2)
Feedstock	Grondstof voor industriële processen (bijvoorbeeld methaan als grondstof)
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (voertuig tankt waterstof, aandrijving elektrisch met brandstofcel)
GJ	GigaJoule (10 tot de macht 9)
Groengas	Biogeen gas op aardgaskwaliteit (kan tot 100% worden bijgemengd bij aardgas)
Groene waterstof	Waterstof geproduceerd uit hernieuwbare energie
Grijze waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie
GTS	Gasunie Transport Services (beheerder van het landelijke gasnet)
GW	Gigawatt (10 tot de macht 9)
Ha	Hectare (10.000 m^2, oppervlak van 100x100 meter)
HC-gas	Hoogcalorisch gas (lees: niet-Groningen gas)
Kton	Kiloton
kW	Kilowatt
LNG	Liquefied Natural Gas (vloeibaar aardgas onder hoge druk)
LC-gas	Laagcalorisch gas (lees: Groningen gas)
Methaan	Methaan wordt in deze studie op sommige punten als handzame verzamelnaam gebruikt voor aardgas en groengas, omdat het dezelfde infrastructuur betreft. Aardgas (en groengas), bestaat voor circa 90% uit methaan.
MJ	Megajoule (10 tot de macht 6)
MRA	Metropool Regio Amsterdam
Mton	Megaton (10 tot de macht 6)
MW	Megawatt (10 tot de macht 6)
Netuitbreiding, netverzwaring	Capaciteitsuitbreiding van een energienet. Soms is dat de vestiging van een nieuw station of nieuwe verbinding (netuitbreiding), soms verzwaring van een bestaand station of bestaande verbinding. De termen worden in deze studie vaak door elkaar heen gebruikt.
NZKG	Noordzeekanaalgebied
Onderverdeelstation	Transformatorstation in het Liander-elektriciteitsnetwerk, waar spanning wordt getransformeerd van 50 kV of 20 kV naar 10 kV; in andere studies wordt dit ook ‘onderstation’ of kortweg ‘station’ genoemd. Een onderverdeelstation bevat in het algemeen meerdere ‘onderverdeelinstallaties’.
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PNH	Provincie Noord-Holland
RES	Regionale EnergieStrategie
PJ	PetaJoule (10 tot de macht 15)
150 kV-station	Station in het elektriciteitsnetwerk met 150 kV als hoogste spanning. Dat is aan de TenneT-zijde van het station. De transformator in het station transformeert naar lagere spanningen (50 kV, 20 kV of 10 kV).

Samenvatting

1. Aanleiding en werkwijze

De energietransitie van fossiele bronnen naar duurzame opwekking, de groei van de economie, en toenemende rol van elektriciteit in het dagelijks leven, zorgen voor ingrijpende maatschappelijke veranderingen. Zij leiden met name tot een sterk toegenomen belasting van het elektriciteitsnet. Daarnaast zijn er ook belangrijke ontwikkelingen bij andere energienetten, zoals de groei van warmtenetten en de veranderende rol van het aardgasnet.
Van al deze energienetten staat vooral het elektriciteitsnet onder druk. In de provincie Noord-Holland zijn er op korte termijn al acute knelpunten, waar lokaal soms sprake is van een te grote vraag naar - of een te groot aanbod aan - elektriciteit. Het verzwaren van het net lijkt een simpel antwoord op dat probleem, maar is ruimtelijk soms erg lastig en maatschappelijk bovendien niet altijd de beste oplossing.

Dit roept de vraag op welke gevolgen de beginnende energietransitie nog in petto heeft voor de energie-infrastructuren van Noord-Holland. Noord-Holland wil een robuust en adaptief energiesysteem realiseren[1]. De regio wil in 2050 klimaatneutraal zijn[2] en daarbij de internationale concurrentiepositie verbeteren[3]. Een schone betrouwbare energie-voorziening is essentieel.

In deze studie worden toekomstige knelpunten, opgaves en oplossingsrichtingen in kaart gebracht. Daarbij wordt gekeken naar het totale geïntegreerde systeem van energie-infrastructuren in de provincie, temeer omdat andere energienetten (warmte, gas) in potentie kunnen helpen om overbelasting van het elektriciteitsnet te voorkomen. Resultaten uit deze studie zijn dan ook input voor onder andere de twee Regionale EnergieStrategieën (RES) van de provincie.

Bij het verzamelen van feiten en cijfers, en het identificeren van knelpunten, opgaves en oplossingen, zijn direct belanghebbenden betrokken waaronder netbeheerders, energieproducenten en grote energieafnemers, de provincie, gemeenten en het Rijk. Daardoor biedt deze studie een gezamenlijke kennisbasis voor toekomstig beleid en besluitvorming.

2. Vraag en aanbod in kaart

Deze integrale systeemstudie brengt eerst in kaart hoe vraag en aanbod van energie zich naar verwachting tussen 2020 en 2050 zullen ontwikkelen. Waar relevant wordt daarin onderscheid gemaakt tussen de regio's Noord-Holland Noord (NH-Noord), Noord-Holland Zuid (NH-Zuid) en industriegebied Noordzeekanaalgebied (NZKG). Uiteraard is het niet mogelijk om die ontwikkeling van vraag en aanbod op zo'n termijn met zekerheid te voor-spellen. Daarom werkt de studie met vier toekomstscenario's. De scenario's zijn gebaseerd op landelijke scenario's en uitgewerkt voor de specifieke situaties in de provincie Noord-Holland. Elk scenario doet andere aannames over de vraagontwikkeling en de invulling van de vraag met uiteenlopende energiedragers (zoals aardgas, elektriciteit, waterstof, groen-gas, warmte). Door knelpunten, opgaves en oplossingsrichtingen steeds tegen het licht van alle scenario's te houden werd het mogelijk om robuuste conclusies en aanbevelingen te formuleren. Ruimtelijke ontwikkelingen zoals groei van het aantal woningen zijn als

[1] Omgevingsvisie Provincie Noord-Holland (2019).
[2] Coalitieakkoord gemeente Amsterdam (2018).
[3] Visie Noordzeekanaalgebied 2040.

uitgangspunt gehanteerd in de scenario's, evenals de nationale klimaatdoelen (klimaatneutraal in 2050, circa 50% CO_2-reductie in 2030). De ontwikkelingen gaan overigens niet vanzelf, het vergt stevige inspanning om het benodigde tempo te halen.

Ontwikkeling elektriciteitsnetwerk
De studie laat zien dat de omvang en het functioneren van alle energienetten in Noord-Holland zal veranderen, maar de grote opgaves liggen in het elektriciteitsnet.
De elektriciteitsvraag verdubbelt of verviervoudigt in de scenario's, van 60 PJ in 2020 naar minimaal 120 en maximaal 220 PJ in 2050. Die groei is niet alleen van traditionele aard (voor licht, motoren, airconditioning en ICT), maar komt ook door de onstuimige toename van bijvoorbeeld elektrisch rijden en warmtepompen.

De elektriciteitsproductie van zonnepanelen en windmolens in Noord-Holland neemt in de scenario's sterk toe van 13 PJ in 2020 naar 55-120 PJ in 2050, met een totaal opgesteld vermogen in 2050 van 5,5 tot 18 GW (Gigawatt). Bekend probleem bij hernieuwbare bronnen is de ongelijktijdigheid van vraag en productie van elektriciteit. Dat leidt tot momenten met grote overschotten (veel zon en wind, weinig vraag) en momenten van grote tekorten (avond of winter, en windstil). De momenten van grote tekorten nemen toe met de voorgenomen sluiting van bestaande elektriciteitscentrales, die immers beter in staat zijn om mee te bewegen met de veranderende vraag. De aard en omvang van het probleem verschillen per subregio en treden zowel op in het laagspanningsnet, het middenspanningsnet, als in het hoogspanningsnet.

Op jaarbasis importeert Noord-Holland nu al meer elektriciteit dan het exporteert en dat zal toenemen naar de toekomst, tenzij andere oplossingsrichtingen worden ingezet.
Die transporten lopen via het landelijke hoogspanningsnet (380 kV).

Ontwikkeling andere energienetten
Ook voor de andere energienetten staan belangrijke ontwikkelingen op stapel. Dat geldt met name voor het uitbouwen van warmtenetten, de geleidelijke overgang van aardgas naar groengas, het realiseren van een waterstofketen (productie, transport en gebruik), duurzamer brandstoffen in de transportsector en de opzet van een CO_2-keten. Die ontwikkelingen brengen flinke opgaves met zich mee. Zij kunnen echter ook bijdragen aan het oplossen van (toekomstige) knelpunten in de elektriciteitsvoorziening, omdat zij via hun netwerk een deel van de energievraag en -aanbod kunnen overnemen en zo het elektriciteitsnet kunnen ontlasten.

Analyse energievraag per maatschappelijke sector
De vraag naar energie ontwikkelt zich per sector op eigen wijze:
- Gebouwde omgeving: De totale energievraag van de gebouwde omgeving daalt van 118 PJ in 2020 naar circa 80-100 PJ in 2050, als gevolg van energiebesparing. Dat is ondanks de groei van de aantallen gebouwen. De vraag naar aardgas neemt sterk af, van 81 PJ in 2020 naar 11-48 PJ in 2050, door besparing en inzet van alternatieven. Daardoor stijgt de elektriciteitsvraag en breiden in stedelijke zones ook warmtenetten uit. In de scenario's Nationaal en Internationaal komt er vanaf 2030 vraag naar waterstof (gas) in de gebouwde omgeving.
- Mobiliteit: Door de forse groei van elektrisch rijden neemt de vraag naar elektriciteit toe (accu's) van circa 1 PJ in 2020 naar 10-18 PJ in 2050, en begint vanaf 2030 ook de vraag naar waterstof toe te nemen (brandstofcel), tot 4-10 PJ in 2050. Op de elektriciteitsvoorziening als geheel valt het effect van elektrisch rijden mee ten opzichte van andere ontwikkelingen, maar lokaal (in straten en wijken) kunnen wel vraagknelpunten optreden. Het totale eindverbruik aan energie vanuit mobiliteit neemt overigens

na 2030 af, omdat in elektrische voertuigen geen omzetting meer plaatsvindt van benzine of diesel naar 'kracht'. Dit geldt voor alle scenario's. Bij het zwaar en lang transport ontstaat een verschuiving van fossiele brandstoffen naar bio- en synthetische brandstoffen, en naar waterstof.

- Industrie: De vier gehanteerde toekomstscenario's geven zeer verschillende uitkomsten voor de industrie voor wat betreft de verschillende energiedragers c.q. brandstoffen. Het staat vast dat de energievraag tot 2050 blijft toenemen, van 44 PJ in 2020 naar circa 110-135 PJ in 2050. Het industriecluster in de IJmond heeft daarin in 2020 een aandeel van 60% en dat aandeel neemt toe naar circa 80% in 2050. De toename in energiegebruik is grotendeels het gevolg van energiegebruik voor 'carbon capture' in de scenario's (waarvoor veel warmte nodig is), en deels van groei van de industriesector (waaronder Schiphol). Daarbij neemt ook de vraag naar waterstof substantieel toe, naar 5-60 PJ in 2050, omdat er voor hogetemperatuurprocessen weinig andere duurzame energiedragers voorhanden zijn. Het elektriciteitsgebruik van de industrie neemt toe van 19 PJ in 2020 naar 37-118 PJ in 2050.
- Datacenters: Vooral rond Amsterdam en in het Agriport-gebied groeit het aantal datacenters. De elektriciteitsvraag van de datacenters groeit met een factor 5, naar 32 PJ in 2050. In de Kop van Noord-Holland domineren de datacenters zelfs de (knelpunten en oplossingsrichtingen van de) energie-infrastructuur. Dit geldt voor alle scenario's.

Analyse vraag en aanbod per energiedrager

Vraag en aanbod ontwikkelt zich tot 2050 voor iedere energiedrager op eigen wijze:

- Elektriciteit: Vraag en aanbod nemen sterk toe, in alle subregio's van Noord-Holland. De vraag groeit van jaarlijks 60 PJ in 2020 naar 120-220 PJ in 2050. Het jaarlijks aanbod van zonne- en windenergie groeit in de scenario's tot 2030 naar 60 PJ en groeit na 2030 in één scenario door tot 120 PJ, als consequentie van de opgave om een klimaatneutrale energievoorziening te hebben in 2050. In alle scenario's blijft Noord-Holland afhankelijk van import op jaarbasis van elektriciteit voor de eigen behoefte.
- Voor de aanlanding van windelektriciteit van zee bij IJmuiden is vooralsnog uitgegaan van een aanbod van 2,1 tot 4,1 GW, afhankelijk van het gekozen scenario. Er is in de scenario's geen rekening gehouden met eventuele extra aanlanding (meer dan 4,1 GW) van windelektriciteit van zee. Eventuele uitbreiding van capaciteit van wind op zee (al dan niet als gevolg van een eventuele uitruil van hernieuwbare productie met 'zon en wind' op land), zal gepaard moeten gaan met versterking van de waterstofproductie-capaciteit bij de aanlanding of op zee, teneinde de bestaande capaciteit te beheersen van het 380 kV-knooppunt Beverwijk en achterliggende verbindingen.
- Methaan: De vraag naar aardgas (als bron van methaan) neemt tot 2050 sterk af (van 124 naar 16-46 PJ/j) en zal geleidelijk verschuiven naar groengas. Alleen in het Generiek-scenario blijft de methaanvraag gelijk (door inzet methaan t.b.v. CCS bij industrie IJmond). In de andere scenario's ontstaat dus ruimte in het huidige aardgas-net, die bijvoorbeeld kan worden gebruikt om waterstof te transporteren.
- Waterstof: In alle maatschappelijke sectoren en toekomstscenario's zal de vraag naar waterstof toenemen. De vraag neemt vooral toe ná 2030 en loopt op tot 16-88 PJ in 2050[4]. In aanloop naar 2030 zal de basisinfrastructuur hiervoor gereed moeten worden gemaakt. Als totaal volume blijft de vraag naar waterstof kleiner dan de huidige aardgasvraag (behalve in het toekomstscenario Internationale sturing, waarbij de industrie van IJmond veel waterstof vraagt). Dat betekent dat er ruimte komt in het aardgasnet om waterstof te transporteren.
- Warmte: Ook de vraag naar warmte voor warmtenetten neemt toe, van jaarlijks 5 PJ naar 11-37 PJ in 2050. De vraag ligt vooral in stedelijk gebieden, glastuinbouw en

[4] De genoemde cijfers zijn exclusief bunkeren door scheepvaart.

industrie. Warmtebronnen zijn onder andere restwarmte van de industrie, geothermie, biomassacentrales, en lagetemperatuurwarmtebronnen.

3. Knelpuntanalyse

Voordat hieronder de samenvattende knelpunten voor de energiehuishouding van Noord-Holland worden besproken, is het zinvol onderscheid te maken tussen 'knelpunten' en 'opgaven'. Als het gaat om een probleem of beperking in de *bestaande* energie-infrastructuur spreekt deze studie van een knelpunt. Als het gaat om de gewenste oplossingen in de *nieuwe* energie-infrastructuur dan wordt gesproken van een opgave. Knelpunten en opgaven liggen in elkaars verlengde. Ter illustratie: een capaciteitsprobleem in het elektriciteitsnet (een knelpunt) kan mogelijk worden opgelost door een deel van het aardgasnet te bestemmen voor waterstoftransport (een opgave).

Elektriciteit

Het elektriciteitsnetwerk is de enige energie-infrastructuur in Noord-Holland die op grote schaal knelpunten zal vertonen, op twee niveaus:

- Hoogspanningsnet: In Noord-Holland Noord en rond Amsterdam ontstaat er op korte termijn al bij 37% van de bestaande 150 kV-stations een capaciteitsknelpunt en dat loopt in 2050 op naar 90-95%. Ongeveer 85% van die stations kampt in 2050 met een vraagknelpunt (door lokaal te hoge consumptie) en afhankelijk van het toekomstscenario kampt 50 tot 95% met een aanbodknelpunt (door lokaal teveel aanbod van zonne/windenergie). Tenminste 50% van de stations heeft in 2050 zowel een aanbod- als vraagknelpunt, op verschillende momenten in het jaar. Ook een deel van de 150 kV-verbindingen (TenneT) vertoont knelpunten in de scenario's, met name verbindingen die de toe- en afvoer van elektriciteit naar en van NH-Noord verzorgen.
- Midden- en laagspanningsnet: Ook de Liander-netten van 50 kV en lager vertonen op grote schaal capaciteitsknelpunten in de scenario's. Afhankelijk van het toekomstscenario vertoont 35-50% van de circa 200 onderverdeelinstallaties in 2050 een capaciteitsknelpunt. Dat geldt daarnaast voor 60-80% van de circa 11.500 middenspanningsruimtes.

Waterstof

In de (aard)gasnetten treden geen knelpunten op. Er ligt echter wel een omvangrijke opgave om het gasnet geschikt te maken voor duurzame gassen, zoals waterstof. Een landelijke 'waterstofbackbone' zal mogelijk al voor 2030 gerealiseerd worden door enkele buizen van het huidige aardgastransportnet ('backbone') te bestemmen (separeren) voor waterstof. Grote afnemers die direct op die backbone zijn aangesloten, kunnen dan kiezen tussen aardgas en waterstof. Voor de regionale gasnetten is separatie van buizen beperkt mogelijk, omdat die netten in het algemeen niet uit parallelle buizen bestaan. Per gebied moet in dat geval worden gekozen voor aanleg van een aparte waterstofleiding of een lokale overstap van alle afnemers van aardgas naar waterstof. De toekomstige bevoorrading van tankstations voor het wegverkeer met waterstof zal vanuit kostenoogpunt vermoedelijk meestal via tankwagens gebeuren. Voor de scheepvaart zullen in de haven nieuwe bunkerfaciliteiten moeten worden ontwikkeld. Voor de toevoer van klimaatneutralere brandstoffen naar Schiphol, zoals biokerosine en op waterstof gebaseerde synthetische brandstoffen, kan gebruik worden gemaakt van de bestaande pijpleiding in het Amsterdamse havengebied.

De productie van waterstof kan plaatsvinden als 'groene waterstof' via elektrolysers op land, in windparken op zee, en in de vorm van 'blauwe waterstof' (uit aardgas, waarbij vrijkomende CO_2 wordt afgevangen). Voor de hand liggende locaties voor waterstofproductie zijn het NZKG-gebied en Den Helder. Na 2030 wordt verwacht dat er ook grootschalige import van waterstof per tanker over zee op gang kan komen, die vervolgens in de haven kan invoeden op de landelijke waterstofbackbone. De hele keten van aanbod,

infrastructuur en vraag zal echter vanwege de hoge aanloopkosten niet vanzelf (of te langzaam) tot stand komen. Het gaat hier om een klassieke kip-ei-situatie.

Warmtenetten
In drie van de vier toekomstscenario's is de groei van warmtenetten een belangrijk middel om de stedelijke omgeving klimaatneutraal te maken. In die scenario's worden warmtenetten overigens ook ingezet voor het verwarmen van de glastuinbouw (zoals nu ook al in Agriport gebeurt) en voor proceswarmte (en stoom) in de industrie van het NZKG.
Het aanleggen van warmtenetten of een stoomnet vormt technisch gezien geen grote uitdaging, maar vergt wel langlopende planprocessen, met soms lastige ruimtelijke consequenties en hoge aanvangsinvesteringen.

CO_2
In het NZKG-gebied en in de glastuinbouw van NH-Noord en NH-Zuid is er zowel vraag naar als aanbod van CO_2. Het CO_2-aanbod vanuit 'carbon capture' in het NZKG en HVC kan oplopen tot ruim 6 megaton per jaar. Transport van CO_2 per tankauto en binnenvaartschip naar de glastuinbouw in het noorden lijkt uit kostenoogpunt een logischer keuze dan het doortrekken van een CO_2-pijpleiding vanuit het NZKG. In het zuidelijk deel van de provincie kan de glastuinbouw ook CO_2 krijgen via de reeds bestaande leiding van OCAP.
In het industriegebied NZKG ligt de situatie voor CO_2 heel anders. Hier is behoefte aan een CO_2-net voor zowel ondergrondse CO_2-opslag (CCS) als voor -gebruik (CCU). In geval van CCU is daarbij ook waterstof nodig. Net als bij waterstof gaat het bij de CO_2-keten om een klassieke kip-ei-situatie.

Conclusie
Uit de knelpuntanalyses volgt dat er urgente opgaven liggen om een waterstofketen, CO_2-keten en meer warmtenetten te realiseren, en dat het elektriciteitsnet op grote schaal capaciteitsknelpunten gaat vertonen. Dat laatste is op korte termijn reeds het geval en zal richting 2030 en 2050 over de hele breedte van de provincie toenemen. Met de huidige trend om vooral elektriciteit als energiedrager te gebruiken (e-rijden, warmtepompen, productie van 'zon en wind') zullen die knelpunten in het elektriciteitsnet verder in ernst en omvang gaan toenemen. Het inzetten op een waterstofketen en warmtenetten kunnen het elektriciteitsnet substantieel ontlasten, maar dan moeten die 'bypasses' wel tijdig worden gerealiseerd. Daarnaast zal op een aantal plekken ook verzwaring van het elektriciteitsnet onvermijdelijk zijn. Dergelijke aanpassingen kennen lange planologische procedures, bijvoorbeeld tot 8 jaar voor 150 kV-verbindingen en tot 20 jaar voor 380 kV-verbindingen, en vereisen daarom voorbereidende actie op korte termijn. Daarbij is ook van belang dat er voldoende kennis is bij de betrokken instanties over de ketens rond nieuwe energiedragers zoals waterstof.

4. Oplossingsrichtingen

De gebruikelijke oplossing voor knelpunten in het elektriciteitsnet is dat de netbeheerders investeren in verzwaring ervan. Die ingreep kan kostbaar zijn, en er kunnen belemmeringen zijn om dat op tijd te realiseren. Zo kan ruimtegebrek het uitbreiden van een onderstation parten spelen. Belemmeringen of niet, feit is dat complexe ruimtelijk-juridische procedures het overgrote deel van de doorlooptijd in beslag nemen. Er zijn echter ook andere oplossingsrichtingen:

- 'Moleculenroutes': van elektronen naar moleculen en vice versa. Door lokaal elektriciteit (elektronen) om te zetten in waterstof, of methaan of waterstof (moleculen) in elektriciteit, kan energie via een parallel netwerk worden vervoerd, waarbij het elektriciteitsnet dus wordt ontlast.
  Deze bypassroute is een mogelijke oplossing voor vraagknelpunten (door moleculen lokaal om te zetten in elektronen) of aanbodknelpunten (door het teveel aan lokale

energie tijdelijk op te slaan of af te voeren). Deze oplossingsrichting kan ook de ruimtelijke kwaliteit van de leefomgeving ten goede komen.

- Warmtenetten: Ook warmtenetten vervoeren veel (thermische) energie die anders (naast de optie van gas) door het elektranet had moeten worden geleverd. In de onderzochte scenario's is de inzet van warmtenetten echter al meegenomen als invulling van de energievraag, dus warmtenetten zijn op zichzelf blijkbaar niet in staat om de capaciteitsvraagknelpunten van het elektriciteitsnet te voorkomen. Wel kunnen warmtenetten knelpunten uitstellen of verkleinen, en helpen om productieoverschotten van elektriciteit uit zonne- en windenergie op te vangen ('power-to-heat').
- Andere ordening vraag en aanbod: Tot slot is het mogelijk om vraag en aanbod van elektriciteit op een andere manier te ordenen in de ruimte en/of tijd. Denk daarbij aan de ruimtelijke ordening van grote energieproducenten en -vragers, of innovatieve technieken die vraag en aanbod bijsturen (zoals smart grids, woningen met thuisopslag van PV-stroom, batterijtoepassingen in gebieden, flexibel laden en ontladen van elektrische auto's, of tijdelijk beperken van de levering van windparken en zonneparken).

5. Conclusies en aanbevelingen

Deze studie maakt onderscheid in conclusies en aanbevelingen voor heel Noord-Holland en voor drie deelgebieden met elk een aantal specifieke knelpunten en opgaven. De conclusies en aanbevelingen voor heel Noord-Holland gelden óók voor de drie deelgebieden.
De ontwikkelingen zijn verbeeld in Figuur 2. Bij de aanbevelingen is steeds ook vermeld wanneer de actie nodig is.

Voor heel Noord-Holland

Er bestaan op korte termijn reeds knelpunten in het elektriciteitsnet en die zullen, als er geen maatregelen worden getroffen, op grote schaal toenemen op alle spanningsniveaus in het net, in alle gebieden. Ook ontstaat vraag naar groengas (in plaats van aardgas), en vanaf 2030 krijgt de hele provincie te maken met een substantiële vraag naar waterstof. Daarnaast is er vraag naar uitbreiding van warmtenetten en naar realisatie van een CO_2-keten.

Algemene aanbevelingen:

1. Richt proactief een programma in om een waterstofketen in Noord-Holland te realiseren die aansluit op het beoogde landelijke waterstofnet[5]. In alle scenario's neemt waterstof een belangrijke rol in en het is van strategische waarde voor de flexibiliteit van het toekomstig energiesysteem. Zonder dit proactief handelen komt een waterstofnetwerk naar onze verwachting niet snel genoeg tot stand. Tijdpad: nu starten, met uitvoeringstermijnen van de verschillende onderdelen tot na 2030.
2. Houd in de Regionale EnergieStrategieën (RES) rekening met inzichten uit deze studie, bijvoorbeeld door bij locaties voor zonneweides en windparken samen met netbeheerders te zoeken naar optimale inpassing in de energie-infrastructuren. Tijdpad: opnemen in de nu lopende RES-processen.
3. Stel gezamenlijk een investeringsprogramma op voor de energie-infrastructuren in de provincie, op basis van de in deze studie geïdentificeerde knelpunten en opgaven. Betrek daarin ook de ruimtelijke ordening. Tijdpad: nu starten, met uitvoeringstermijnen van de verschillende onderdelen tot na 2030.

[5] Opslag van waterstof (en van energie in het algemeen) is niet onderzocht in deze studie, het is onderdeel van de 'oplossingsruimte' voor eventuele knelpunten. Bij opslag moet onderscheid worden gemaakt naar de tijdsduur van de benodigde opslag, bijvoorbeeld dag/nacht-opslag of seizoensopslag. Opslag van waterstof, ook seizoensopslag, is het onderwerp van landelijke studies die in samenhang worden uitgevoerd met studies naar het genoemde landelijke waterstofnet.

4. Verken als onderdeel van dat investeringsprogramma ook of – en waar- een ‘moleculen-route’ een haalbare oplossing zou kunnen zijn, tegen lagere maatschappelijke kosten dan een grootschalige elektriciteitsnetverzwaring. Zo ja, dan is de logische vervolgstap een demonstratieproject met conversie van elektriciteitsoverschotten naar waterstof (en/of warmte) en een conversie andersom van methaan en/of waterstof naar decentrale vraagvolgende elektriciteitsproductie. Tijdpad: nu starten, met uitvoerings-termijnen van de verschillende onderdelen tot na 2030.
5. Organiseer in het programma ook tijdige planologische voorbereiding voor de gestelde knelpunten en opgaven, door in de provinciale en gemeentelijke omgevingsplannen binnen de daarvoor geldende regels voldoende ruimte te reserveren voor (onder- en bovengrondse) tracés en knooppunten. Betrek hierin tevens in een vroeg stadium de betreffende handhavende en vergunningverlenende instanties. Dit vergroot de flexibiliteit, snelheid en implementeerbaarheid van de noodzakelijke maatregelen. Tijdpad: zie vorige punt.
6. Zorg voor periodieke updates van deze systeemstudie. Tijdpad: bijvoorbeeld elke vijf jaar.

Voor deelgebied Noord-Holland Noord
De genoemde groei van datacenters in Agriport en het groeiende aanbod van zonne- en windenergie in NH-Noord leggen een zware claim op de capaciteit van het elektriciteitsnet. Knelpunten in het net zullen in hoog tempo toenemen. In het geval als oplossing wordt gekozen voor verzwaring van het elektriciteitsnetwerk vergen de momenten met groot-schalige tekorten of overschotten (oplopend tot 6 GW in scenario Regionaal) een verzwaring van het gehele elektriciteitsnetwerk om de elektriciteit te kunnen aanvoeren en afvoeren.

Specifieke aanbevelingen Noord-Holland Noord:
7. Zie ook de algemene aanbevelingen voor de provincie als geheel voor het opzetten van een investeringsprogramma energie-infrastructuren inclusief onderzoek naar de ‘moleculenroute’. Dit is onder andere van belang voor de toevoer en afvoer van energie van en naar Noord-Holland Noord. Zet een zoekproces in werking naar ruimte voor eventuele verzwaring van het elektriciteitsnet en eventuele infrastructuur voor de ‘moleculenroute’. Zet zo snel mogelijk de noodzakelijke planologische procedures in gang, aangezien deze de belangrijkste factor vormen in de doorlooptijd van infrastructuuraanpassingen. Tijdpad: nu starten.

Voor stedelijk gebied Noord-Holland Zuid
Het geheel aan kennisintensieve werklocaties, datacenters, woonwijken, forse mobiliteits-stromen en de luchthaven Schiphol legt een zware druk op alle lagen van het elektriciteits-netwerk. Op korte termijn zijn er al serieuze knelpunten in het regionale net. De oorzaken zijn echter zeer divers en liggen op alle spanningsniveaus van het elektriciteitsnet. Verzwaring van het elektriciteitsnet én op specifieke locaties oplossingen via de ‘moleculenroute’ zoals in Noord-Holland Noord zullen parallel moeten worden gerealiseerd om overbelasting te voorkomen en een betrouwbare energievoorziening te kunnen behouden.

Specifieke aanbevelingen stedelijk gebied Noord-Holland Zuid:
8. Zet in op verzwaring/uitbreiding van het elektriciteitsnet. Sluit daarbij ook aan op de recente detailstudie van Liander en de gemeente Amsterdam, waarin geconcludeerd wordt dat er zes tot acht nieuwe hoogspanningsstations nodig zijn in Amsterdam. Tijdpad: nu starten.
9. Zoek gezamenlijk naar oplossingen voor inpassing van de vraag (ook in de tijd) in het elektriciteitsnet en naar ruimtelijke inpassing van netverzwaring binnen de daarvoor geldende regels. Tijdpad: nu starten.

10. Ontzie in dit gebied het elektriciteitsnet, bijvoorbeeld door samen met de net-beheerders te zoeken naar optimale ruimtelijke inpassing van zonne- en windenergie en van datacenters. Tijdpad: nu starten.
11. Voer pilots uit met slim laden van elektrische auto's (aanbodafhankelijk, optie van teruglevering aan het net) en lokale energieopslag (zoals buurtbatterijen) om te bepalen in hoeverre deze helpen bij het voorkomen van knelpunten. Tijdpad: nu starten met opzetten van pilotprogramma.
12. Voer pilots uit om de invoering van waterstof voor zwaar en lang transport (bijv. vervoer over water, goederenvervoer, stadsreinigingsvoertuigen, regionaal OV) te stimuleren en de noodzakelijke tankinfrastructuur te faciliteren. Tijdpad: nu starten met opzetten van programma.

Voor industriegebied NZKG en de Zaanstreek
De verschillende energienetten en -systemen in dit gebied raken sterk met elkaar verknoopt. De schaal en omvang van het industriegebied NZKG biedt ook kansen, om de energie-infrastructuren als vliegwiel te laten fungeren voor verdere transitie in de regio. De elektriciteitsvraag in het gebied neemt toe en er is behoefte aan een zwaarder elektriciteitsnet. Om de industrie in het gebied klimaatneutraal te laten worden ('van het aardgas af') is bovendien behoefte aan een waterstofnet, warmtenet, stoomnet en een CO_2-net. Waterstof en CO_2 zijn bovendien noodzakelijk voor de beoogde ontwikkeling van CCU-industrie (koolstofvastlegging en -gebruik) in het gebied. De exacte omvang van deze behoeften is overigens afhankelijk van de keuzes die Tata Steel voor de periode na 2030 gaat maken.

Specifieke aanbevelingen NZKG:
13. Regel in overleg met Liander en TenneT de benodigde verzwaring/uitbreiding van het elektriciteitsnet. Sluit daarbij aan op de recente detailstudie van Liander en de gemeente Amsterdam, waarin geconcludeerd wordt dat er 6-8 nieuwe hoogspannings-stations nodig zijn in Amsterdam, onder andere in het havengebied. Tijdpad: nu starten, uitvoering kan doorlopen tot na 2030.
14. Gezien de toenemende behoefte aan waterstof is het wenselijk om een verkenning uit te voeren naar verdere uitbreiding van de aanlanding van wind op zee in IJmuiden (en naar mogelijke aanlanding in Den Helder). De opgave daarbij is om te zoeken naar vormen waarbij de (extra) aanlanding niet leidt tot een benodigde grootschalige verzwaring van de hoogspanningsnetten, bijvoorbeeld door te kijken naar aanlanding in de vorm van waterstof, of door conversie naar waterstof op het aanlandingspunt. Tijdpad: nu starten met verkenning.
15. Zet een Masterplan NZKG op om in het NZKG de realisatie van de benodigde energie-infrastructuren verder vorm te geven. Waaronder de realisatie van een CO_2-keten, waterstofketen, warmte- en stoomleidingen, en verduurzaming van de transport-brandstoffen. Zonder die proactieve inzet komt de beoogde energietransitie in het NZKG naar onze verwachting niet snel genoeg tot stand. Tijdpad: nu starten met opzetten van het Masterplan, uitvoering kan doorlopen tot na 2030.
16. Betrek in dat Masterplan NZKG ook de benodigde kennisontwikkeling en capaciteitsopbouw voor vergunningverlening en handhaving.

Tot slot

De scenario's gaan uit van de klimaatdoelen zoals die zijn geformuleerd voor 2030 en 2050. Er zijn stevige inspanningen nodig om te zorgen dat die doelen daadwerkelijk worden gehaald. Dat ligt buiten scope van deze energie-infrastructuur systeemstudie. Deze studie gaat in op de effecten, mogelijke knelpunten en opgaves voor de energie-infrastructuren. Als die opgaves worden gerealiseerd en als mogelijke knelpunten worden opgelost bieden die infrastructuren ook kansen voor een duurzame ontwikkeling van wonen en werken.

Figuur 2 – Overzicht van opgaven en knelpunten in de energie-infrastructuren in Noord-Holland t/m 2050

Het energie-infrastructuursysteem in Noord-Holland kent forse opgaves (zie de stippellijnen), ook al in de periode tot 2030. Het gaat om realisatie van een waterstofketen, een CO2-keten en van warmtenetten, andere voor de verduurzaming van transport en mobiliteit. De toenemende vraag en aanbod van elektriciteit leidt tot knelpunten in het elektriciteitssysteem, op alle spanningsniveaus. Mogelijke oplossingen daarvoor kunnen worden geboden door de inzet van gassen als waterstof en (bio)methaan, maar verzwaring van het elektriciteitsnet in bepaalde gebieden zal nodig zijn. Ook vanuit de ruimtelijke ordening zijn oplossingen voor knelpunten mogelijk. De in de kaart getekende benodigde verzwaringen van het elektriciteitsnet kunnen dus ook mogelijk via de andere infrastructuren worden opgelost.

Disclaimer: Aan de informatie in deze figuur kunnen geen rechten worden ontleend. De netbeheerders geven met het delen van deze informatie geen advies, maar een zo goed mogelijke duiding vanuit de beschikbare informatie.

1 Inleiding

1.1 Introductie

Dit rapport van CE Delft, ECN (part of TNO) en Studio Marco Vermeulen beschrijft de uitkomsten van de Systeemstudie energie-infrastructuur Noord-Holland 2020-2050.
De opdrachtgevers, provincie Noord-Holland, gemeente Amsterdam en Havenbedrijf Amsterdam, hebben behoefte aan inzicht in de mogelijke ontwikkelingen in vraag en aanbod van energie in Noord-Holland tot 2030 en 2050. Ook wenst men inzicht te krijgen in waar mogelijke knelpunten in de energie-infrastructuren kunnen ontstaan en wat de mogelijke oplossingen zijn. Deze integrale systeemstudie voorziet in deze behoefte en dient daarmee als een gezamenlijke kennisbasis en als input voor de beide Regionale Energie-Strategieën (RESsen) in de provincie.

1.2 Aanleiding: waarom dit onderzoek?

Een robuuste, betrouwbare en betaalbare energievoorziening is noodzakelijk voor onze maatschappij en economie, maar momenteel vinden een aantal parallelle ontwikkelingen plaats waarop het energiesysteem niet is ontworpen. Ten eerste, groeit de vraag naar energie in het algemeen. Ten tweede, groeit de vraag naar duurzame energie door de noodzaak om de CO_2-emissies in alle sectoren terug te dringen. Deze reductie is nodig om de verschillende klimaatdoelstellingen te halen. Zo willen we in Nederland in 2050 energie-neutraal zijn en in 2030 moet de CO_2-emissie aan de atmosfeer met 49% zijn gereduceerd. Ook voor 2020 zijn er doelen gesteld, zowel binnen Nederland als binnen Europa. Op korte termijn sluiten daarom diverse kolencentrales. Ten derde, verschuift de energieopwekking van vooral centraal, naar meer decentraal. Het aanbod van decentraal opgewerkte duurzame energie groeit daarom snel. Het huidig energiesysteem is echter niet ontworpen op deze drie ontwikkelingen. Dit geldt niet alleen voor de technische en fysieke kant, maar ook voor de regulering van de elektriciteits-, gas- en warmtesystemen die onderdeel zijn van dit systeem. Zo zijn en worden de onderdelen van de huidige energievoorziening relatief los van elkaar ontwikkeld. In de praktijk raken de verschillende onderdelen echter meer en meer verwerven en wordt het energiesysteem daarmee steeds complexer.
De afhankelijkheden tussen energiedragers (elektriciteit, methaan, waterstof, warmte), sectoren (gebouwen, industrie, landbouw en mobiliteit) en schaalniveaus (landelijk, regionaal, lokaal) maken een integrale benadering noodzakelijk.

Wanneer we specifiek inzoomen op de huidige situatie in de provincie Noord-Holland zorgen drie specifieke ontwikkelingen vooral voor de vraag naar een integrale systeemstudie. Allereerst, het huidige capaciteitstekort in de elektriciteitsvoorzieningen in sommige delen van Noord-Holland. Ten tweede, de te maken keuzes voor aanlanding van ‘wind op zee’, en als laatste de nog op te stellen Regionale EnergieStrategieën (RES).

Huidig capaciteitstekort

Het elektriciteitsnetwerk in Noord-Holland loopt nu al tegen zijn grenzen aan, met name rond Amsterdam en in Noord-Holland Noord. Doordat het systeem nu al tegen de grenzen aanloopt, is het netwerk momenteel reeds beperkend voor waar en wanneer ruimtelijk-economische ontwikkelingen kunnen plaatsvinden.

Ook ontbreekt er energie-infrastructuur, waar deze mogelijk wel gewenst is voor de energietransitie. Denk bijvoorbeeld aan uitbreiding van warmtenetten, een waterstofketen, en een CO_2-netwerk. Het tijdig beschikbaar hebben van voldoende energie-infrastructuur-capaciteit is een belangrijke randvoorwaarde voor de realisatie van de gewenste transities. Dit huidig capaciteitstekort vormt dus een risico voor het slagen van de energietransitie in de provincie Noord-Holland.

Aanlandingstracés 'wind op zee'

De tweede belangrijke ontwikkeling is de aanleg van windparken ter hoogte van de Noord-Hollandse kust. De offshore windparken Hollandse Kust Noord en Hollandse Kust West Alpha (totaal 1.400 MW) worden aangesloten op de elektriciteitsinfrastructuur in Noord-Holland Zuid (NHZ). Onherroepelijke besluiten daarover worden eind 2019 genomen.[6] Daarnaast wordt het offshore windpark Hollandse Kust West Beta (700 MW) zeer waarschijnlijk aangesloten op de elektriciteitsinfrastructuur in Noord-Holland Zuid.[7]

Regionale EnergieStrategieën (RESsen)

In het kader van de energietransitie is landelijk besloten om Regionale EnergieStrategieën (RESsen) op te stellen. Binnen de provincie Noord-Holland (NH) worden twee RESsen opgesteld: één voor Noord-Holland Zuid (NH-Z) en één voor Noord-Holland Noord (NH-N). De RES is het instrument om te komen tot gedragen keuzes voor de opwekking van duurzame elektriciteit en de warmtetransitie in met name de gebouwde omgeving.
De ontwikkelingen voor industrie, landbouw en mobiliteit maken geen deel uit van de RESsen. Er zijn al diverse onderzoeken naar mogelijkheden van verduurzaming van deze sectoren uitgevoerd, die in deze studie zijn meegenomen.

1.3 Onderzoeksvragen

Gezien deze drie bovenstaande ontwikkelingen is het noodzakelijk om voor de periode tot 2030 en 2050 de mogelijke vraag- en aanbodontwikkeling van (duurzame) energie in Noord-Holland in kaart te brengen en te onderzoeken welke behoefte aan (aanvullende) energie-infrastructuur nodig zou zijn om deze ontwikkeling te kunnen faciliteren. Daartoe dient deze studie. Daarbij vraagt dit om een goed beeld van de belangrijkste knelpunten, met mogelijke oplossingsrichtingen.
De onderzoeksvragen van deze studie zijn daarom als volgt:

1. Wat is de ontwikkeling van vraag en aanbod van energie (incl. energiedragers als grondstof) in locaties, volumes en energiemix? En wat is de vraag en aanbod van CO_2?
2. Wat is de mogelijkheid om met de bestaande en geplande energie-infrastructuur deze ontwikkeling te faciliteren – uitgewerkt naar locatie, volume en energiemix?
3. Wat zijn de kritieke knelpunten en drivers voor die knelpunten, o.b.v. de huidige kaders (ruimtelijke inpassing, technisch, wet- en regelgeving, financieel, capaciteit, planning, et cetera), die het voorzien in de infracapaciteitsbehoefte sterk compliceren, of zelfs onmogelijk maken?
4. Wat zijn de belangrijkste oplossingsrichtingen voor die knelpunten, wat zijn belemmeringen voor die oplossingen, en waar liggen optimalisatiekansen?

[6] Zie: Net op zee Hollandse Kust (noord).

[7] Eventuele toekomstige plannen voor verdere uitbreiding van wind op zee ná 2030 voor de kust van Noord-Holland zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten. Feit is wel dat wind op zee een belangrijke rol gaat spelen in de importbehoefte van de energiebalans in Noord-Holland.

1.4 Aanpak

De integrale systeemstudie is in de volgende stappen uitgevoerd:
1. Scenario-ontwikkeling.
2. Doorrekening netbeheerders.
3. Tussenuitkomsten vraag- en aanbod.
4. Knelpuntenanalyse.
5. Oplossingsrichtingen.

1. Scenario-ontwikkeling
Allereerst zijn scenario's opgesteld en gevuld met data van energievraag en -aanbod voor 2030 en 2050, uitgaande van de landelijke scenario's uit 'Net voor de Toekomst', die vervolgens zoveel mogelijk specifiek gemaakt zijn voor Noord-Holland op basis van eerdere onderzoeken en aanvullende informatie uit onder andere interviews. Voor zichtjaar 2030 sluiten de scenario's zoveel mogelijk aan bij bestaande plannen.

Inzicht in de hoeken van het speelveld:
Scenario's zijn een hulpmiddel om toekomstige situaties te verkennen. De scenario's die in deze studie zijn bepaald spannen de 'hoeken van het speelveld' op waarbinnen het energiesysteem zich naar verwachting zal bewegen. Voor 2030 zijn de scenario's zoveel mogelijk gebaseerd op bestaande plannen, en kennen ze een relatief klein 'speelveld'. Voor 2050 lopen de mogelijke ontwikkelingen veel verder uiteen dan in 2030. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3 - De scenario's spannen de hoeken van het speelveld op waarbinnen het energiesysteem zich naar verwachting zal ontwikkelen

De basis van de scenario's: vier maatschappijbeelden:
De vier scenario's zijn gebaseerd op de vier maatschappijbeelden zoals die zijn ontwikkeld in de Net voor de Toekomst-studie (zie Figuur 4). Die scenario's zijn ook gebruikt in de recente 'National Infrastructure Outlook 2050' van TenneT en Gasunie. De maatschappij-beelden verschillen in de sturing op het energiesysteem, en leveren daarmee een goede basis voor een set scenario's die bedoeld is om de beoogde 'hoeken van het speelveld' op te spannen. De beelden zijn vervolgens voor 2030 en 2050 gevuld met cijfermatige informatie over de verschillende onderdelen en sectoren van het energiesysteem, zoals de industrie, de warmtevoorziening, het transport, en kracht en licht. Hierbij is de informatie zoveel mogelijk specifiek op Noord-Holland gericht. De jaartallen 2030 en 2050 sluiten aan bij de peiljaren van de RESsen en bij de peiljaren, zoals gehanteerd in het Klimaatakkoord (i.e. gericht op 2030 met doorkijk naar 2050). Het jaar 2050 is relevant omdat het als peiljaar is gehanteerd in het Klimaatakkoord van Parijs, en ook omdat investeringen in energie-infrastructuren zowel lange doorlooptijden kennen bij de aanleg (oplopend tot soms 20 jaar inclusief alle ruimtelijke procedures) als lange afschrijftermijnen tot 50 jaar.

Figuur 4 - De vier maatschappijbeelden van 'Net voor de Toekomst'

Beschrijving van de vier scenario's:
De vier scenario's oftewel toekomstbeelden worden nu eerst kort beschreven:

Regie Regionaal (veel decentrale productie duurzame energie)
In dit toekomstbeeld hebben provincies en gemeenten veel regie. Zoveel mogelijk energie voor de productie van elektriciteit en warmte komt uit lokale energiebronnen, zoals zon, wind, biomassa en geothermie. Er is veel meer energie-infrastructuur dan nu nodig om de ongelijktijdigheid en afstand tussen vraag en aanbod op te lossen. Warmtenetten groeien sterk onder de regionale regie.

Regie Nationaal (veel centrale productie duurzame energie op NL grondgebied)
De Rijksoverheid heeft in dit toekomstbeeld veel regie en stuurt op 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 'regionaal'. Er is minder energie-infrastructuur nodig dan in 'regionaal'. Doordat er waterstofdistributie in de gebouwde omgeving beschikbaar komt nemen hybride warmtepompen een deel van de gebieden over die in 'Regionaal' met warmtenetten worden voorzien.

Regie Internationaal (veel import)
Nederland is in dit toekomstbeeld een mondiaal georiënteerd land dat verschillende vormen van hernieuwbare energie(dragers) importeert, zoals biomassa (groengas en pellets), en waterstof. Er is een internationale productie en handel in waterstof uit klimaatneutrale bronnen (hernieuwbaar en fossiel+CCS). De omvang van zon en wind in Noord-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 klein ten opzichte van de scenario's 'Regionaal' en 'Nationaal' (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.

Generieke sturing (combinatie)
In dit toekomstbeeld komt de energievoorziening via een organisch proces tot stand, gestuurd door een stevig CO_2-prijssignaal, maar zonder verdere regie van de overheid. De energievoorziening is een mix van lokale en internationale opties. De industrie kiest voor 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 klein ten opzichte van de scenario's 'Regionaal' en 'Nationaal' (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 op wordt gestuurd om ze te realiseren.

In de rest van dit rapport verwijzen we naar de scenario's met 'Regionaal', 'Nationaal', 'Internationaal' en 'Generiek'.

Belangrijk voor een goed begrip van de scenario's is dat in deze energiesysteemstudie de ruimtelijke ontwikkelingen *wel* zijn meegenomen als ontwikkeling in de tijd (2030, 2050), maar *niet* zijn gevarieerd in de verschillende scenario's onderling. Het gaat om ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld de aantallen en ruimtelijke verdeling van woningnieuwbouw in de provincie, oppervlaktes datacenters en oppervlaktes glastuinbouw. Het opnemen van andere ruimtelijke ontwikkelingen in de scenario's zou een geheel ander type studie vergen dan deze energiesysteemstudie. Wat wel is gevarieerd, is de invulling van de verschillende soorten energievraag met verschillende energiedragers, en het energieaanbod met zon-PV en wind, aangezien elk scenario een eigen sturing op de inzet van verschillende energiedragers heeft. De mogelijkheid van andere ruimtelijke keuzes wordt benoemd bij de oplossingsrichtingen voor optredende knelpunten in het energiesysteem.

Tabel 1 bevat een samenvatting van de (technische) kenmerken van het Noord-Hollandse energiesysteem in de vier scenario's. De data die gebruikt is in de scenario's en de verantwoording hiervan, is terug te vinden in de uitgebreide bijlagenset.

Tabel 1 – Overzichtstabel regionale scenario's Noord-Holland. De waarden in de tabel zijn voor 2050, de waarden voor 2030 liggen tussen de huidige situatie en de 2050-waarden in (zie de bijlagen)

2050	Regie Regionaal	Regie Nationaal	Regie Internationaal	Generieke sturing
Kracht en Licht gebouwde omgeving	25% besparing door zuiniger apparaten		25% besparing door zuiniger apparaten	25% besparing door zuiniger apparaten
Lagetemperatuur-warmte gebouwde omgeving*	– Veel warmtenetten (restwarmte en geothermie) en all electric – Beperkingen op beschikbaarheid groengas – Geen import van biomassa, alleen Nederlands groengas, naar rato toebedeeld aan NH (11,3 PJ) – Geen waterstof-distributie – Hybride warmte-pompen op groengas	– Veel hybride warmtepompen op waterstof en op groengas – Waterstof wordt grootschalig en centraal gepro-duceerd (o.a. veel wind op zee) – Beperkingen op beschikbaarheid groengas (alleen Nederlands potentieel, naar rato toebedeeld aan NH (11,3 PJ)	– Veel hybride warmtepompen op waterstof en op groengas – Import van houtpellets, groengas en waterstof – Geen beperking op beschik-baarheid groengas (want ook import)	– Mix van indivi-duele opties op gebouwniveau – Geen grote collectieve warmtesystemen – Import van houtpellets, groengas en waterstof – Geen beperkingen (op o.a. beschik-baarheid groengas)

2050	Regie Regionaal	Regie Nationaal	Regie Internationaal	Generieke sturing
Hoge temperatuur & feedstock industrie**	Circulaire industrie en ambitieuze procesinnovatie: 88% elektrisch 10% H_2 2% warmte	Circulaire industrie en ambitieuze procesinnovatie: 90% elektrisch 10% H_2	Biomassa-gebaseerde industrie en CCS: 35% elektrisch 52% H_2 12% biomethaan	Geleidelijke ontwikkeling, business as usual en CCS: 25% elektrisch 2% H_2 68% methaan & CCS 5% biomethaan
Datacenters	Snelle groei op locatie Middenmeer (Agriport) tot 2030, daarna afvlakking. Ook rond Amsterdam snelle groei, daarna gestage doorgroei. 2030: 1,68 GW 2050: 2,25 GW NB: betreft ruimtelijke ontwikkeling, (dus) niet gedifferentieerd in de scenario-inputs			
Landbouw (glastuinbouw)	— 25% efficiencyverbetering elektriciteits-vraag — Basislastwarmte: 100% uit warmtebronnen — Pieklast warmte: 50% warmtebronnen, 50% gas — Elektriciteit: 75% uit het net, 25% WKK — CO_2: 90% externe aanvoer, 10% uit WKK		— 25% efficiencyverbetering elektriciteits-vraag — Basislastwarmte: 75% uit warmte-bronnen, 25% gas — Pieklast warmte: 20% warmtebronnen, 80% gas — Elektriciteit: 50% uit het net, 50% WKK — CO_2: 75% externe aanvoer, 25% uit WKK	
Personenvervoer	100% elektrisch	75% elektrisch 25% H_2-brandstofcel	50% elektrisch; 25% groengas; 25% H_2	
Goederenvervoer weg	50% groengas; 50% H_2		25% biobrandstof; 25% groengas; 50% H_2	
Goederenvervoer water	25% (bio)LNG; 25% methanol; 25% NH_3; 25% H_2		50% (bio)LNG; 25% methanol; 25% H_2	
Thuisopslag elektriciteit in NH	4,3 GW	1,7 GW	0,2 GW	-
Hernieuwbare opwek in NH	— 13.4 GW zon — 2.5 GW wind op land — 2.1 GW wind op zee — Totaal 18,0 GW	— 5.4 GW zon — 2,2 GW wind op land — 4,1 GW wind op zee — Totaal 11,7 GW	— 2.6 GW zon — 0,8 GW wind op land — 2,1 GW wind op zee — Totaal 5,5 GW	— 2.9 GW zon — 0,8 GW wind op land — 2,1 GW wind op zee — Totaal 5,8 GW

* Met lagetemperatuurwarmte wordt hier bedoeld: warmtevraag van gebouwen (<100°C).

** Met hogetemperatuurwarmte wordt hier bedoeld: industriële proceswarmte- en stoomvraag (>100°C).

2. Doorrekening van de scenario's door de netbeheerders
Vervolgens hebben de netbeheerders (Liander, TenneT en Gasunie) die scenariodata doorgerekend op mogelijk optredende capaciteitsknelpunten op hun netwerken.
Dat is bottom-up gedaan, waarbij bijvoorbeeld eerst Liander de lagere spanningsniveaus van het elektriciteitsnetwerk heeft doorgerekend om de belastingprofielen op de koppelpunten met het TenneT-net te bepalen, waarmee TenneT de bovenliggende hoogspanningsnetten heeft doorgerekend met een landelijk integraal infrastructuurrekenmodel. Door deze werkwijze is inzicht ontstaan in eventuele knelpunten op alle niveaus in de regionale distributienetwerken, hetgeen onder andere relevant is voor de RESsen. Die doorrekeningen door de gas- en elektriciteitsnetbeheerders zijn aangevuld met beelden voor de andere delen van het energiesysteem, zoals warmtenetten, ontwikkelingen op het gebied van waterstof en ontwikkelingen op het gebied van de brandstofvoorziening (anders dan via leidingen en pijpen) van mobiliteit en transport.
Als derde stap zijn de knelpunten gezamenlijk verkend en zijn oplossingsmogelijkheden over de verschillende netten heen geïdentificeerd (bijvoorbeeld door slim gebruik te maken van keuzes tussen energie uit elektronen en energie uit moleculen).

De uitkomsten van deze systeemstudie leveren relevante informatie over knelpunten, oorzaken, oplossingsrichtingen en belemmeringen voor onder andere de RESsen en het NZKG. Op basis van de uitkomsten kunnen nu acties worden ondernomen om het optreden van knelpunten in 2030 en 2050 te voorkomen. Specifiek voor de RESsen is het relevant dat er bij de keuzes rekening gehouden wordt met de inzichten uit deze systeemstudie over capaciteitsknelpunten in de netwerken. Een bijkomend belangrijk effect is dat overheden en netbeheerders gezamenlijk bij de systeemstudie betrokken zijn, en op die manier aan een organisatorische basis werken om de uitdagingen die de energietransitie voor het integrale energiesysteem betekent gezamenlijk op te pakken.

Betrokken stakeholders:
De studie kent vele stakeholders, zie Bijlage B voor een overzicht. Naast de partijen die betrokken zijn door hun vertegenwoordiging in de begeleidingscommissie zijn interviews gehouden met enkele stakeholders met een dominante invloed op de ontwikkeling van het energiesysteem, waarvan bij het consortium en uit beschikbare informatie nog onvoldoende informatie voorhanden was om goed te kunnen weergeven in de scenario's. Daarnaast zijn er twee ateliers gehouden in NH-Noord en NH-Zuid om andere stakeholders de gelegenheid te geven om te reageren op de eerste bevindingen. Die partijen zijn ook gevraagd om aanvullingen te geven op de lijst met informatiebronnen, en om te reageren op de concept-samenvatting van de studie.

1.5 Leeswijzer

Dit is een integrale energiesysteemstudie. De vier belangrijkste dimensies van het integrale verhaal van de ontwikkeling van het energiesysteem in Noord-Holland zijn:
- Tijd (huidige situatie, 2030, 2050), met daarbij de vier scenario's.
- De verschillende sectoren (zoals gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit, etc.) die allen gebruik maken van dezelfde 'netwerken'.
- De verschillende 'netwerken': van elektriciteit, gassen (waaronder aardgas, CO_2, H_2, etc.), warmte en vloeibare brandstoffen.
- De verschillende gebieden in Noord-Holland, elk met een eigen karakter wat energie betreft. In het rapport worden op veel plekken cijfers getoond per subregio.
  De verdeling van gemeenten over de subregio's en de verdeling van subregio's over de RES-regio's Noord-Holland Noord en Noord-Holland Zuid, staan in Figuur 5. De drie subregio's Kop van Noord-Holland, Alkmaar en West-Friesland vormen tezamen de RES-

regio Noord-Holland Noord (NH-N), de vijf andere regio's vormen tezamen de RES-regio Noord-Holland Zuid (NH-Z). De industrie in het Noordzeekanaalgebied (NZKG) vormt een deelgebied binnen NH-Zuid dat zich uitstrekt over verschillende subregio's maar niet gehele subregio's omvat. Het NZKG is een deelgebied met een bijzondere positie in het energiesysteem.

Figuur 5 - (RES-)Regio- en subregio-indeling in de provincie Noord-Holland

De structuur van dit rapport is als volgt:

- Hoofdstuk 2 beschrijft het huidig energiesysteem aan de hand van de netwerken. Daarna wordt inzichtelijk gemaakt wat deze scenario's per sector betekenen, maar ook wat dit betekent voor het energiesysteem in Noord-Holland en de hoofdgebieden (Noord-Holland Noord, Noord-Holland Zuid en het industriegebied Noordzeekanaal-gebied).
- In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de effecten van de ontwikkelingen op de netwerken en waar knelpunten zullen ontstaan. Net als in het vorige hoofdstuk wordt hierbij allereerst ingegaan op de netwerken voordat wordt ingezoomd op de hoofdgebieden.
- Een uitwerking van de oplossingsrichtingen (en belemmeringen) voor het oplossen van de knelpunten uit Hoofdstuk 3 is te vinden in Hoofdstuk 4.
- Dit rapport sluit af met de belangrijkste conclusies en aanbevelingen in Hoofdstuk 5.

Details zijn opgenomen in de (vele) bijlagen.

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.

2 Ontwikkeling energiesysteem Noord-Holland

2.1 Introductie

Voor een begrip van hoe het energiesysteem zich ontwikkelt in de toekomst is het belangrijk om te begrijpen hoe het systeem er nu uitziet. Dit hoofdstuk beschrijft daarom allereerst het huidige energiesysteem in Noord-Holland. Eerst worden de hoofdlijnen van het energiesysteem in Noord-Holland beschreven, opgebouwd naar de verschillende 'netwerken' van elektriciteit, gas(sen), warmte, en vloeibare brandstoffen.

Het tweede deel van dit hoofdstuk laat zien hoe de vraag en aanbod van energie zich ontwikkelt onder de verschillende scenario's, zowel in 2030 als 2050. Het is van belang daarbij te beseffen dat de scenario's uitgaan van de klimaatdoelen zoals die zijn geformuleerd voor 2030 en 2050. Er zijn stevige maatschappelijke inspanningen nodig om te zorgen dat die doelen daadwerkelijk worden gehaald. Deze systeemstudie focust op de implicaties daarvan voor de energie-infrastructuren.

Het hoofdstuk eindigt met een duiding wat er gebeurt met energievraag en -aanbod in het energiesysteem in Noord-Holland, gegeven de scenario's voor de toekomst. Eerst voor ontwikkelingen die opvallen in geheel Noord-Holland, vervolgens voor drie gebieden die qua energiesysteem en ontwikkeling daarvan elk een geheel eigen karakter hebben: Noord-Holland Noord, Noord-Holland Zuid, en industriegebied NZKG.

2.2 Huidig systeem

Het huidige energiesysteem is nog sterk gebaseerd op fossiele energiebronnen[8].
Het energiesysteem kent verschillende energie-infrastructuren en bijbehorende energiedragers c.q. brandstoffen. In de volgende paragrafen staat een kort overzicht, per 'netwerk'. Details en netkaarten zijn opgenomen in Bijlage C.

[8] CBS-cijfers over 2018 voor Nederland als geheel: 7,4% van het energiegebruik komt van hernieuwbare bronnen, de rest is vooral uit aardgas, aardolie en steenkool.

Figuur 6 - Energiesysteem en energievraag in Noord-Holland in 2020 (excl. bunkering zeevaart en luchtvaart, incl. walstroom)

2.3 Aanbod: Productie, transport en distributie van de verschillende energiedragers

2.3.1 Elektriciteit

Het huidig elektriciteitssysteem wordt gekenmerkt door overwegend centrale productie (2,8 GW) en een groeiend aandeel decentrale, hernieuwbare opwek uit 'zon en wind' met een totaal opgesteld vermogen in 2020 van 1,4 GW. Daarvan is 0,3 GW aanlanding wind op zee in IJmuiden, 0,7 GW wind op land, en 0,4 GW zon-PV. In de periode tot en met 2030 gaat 1,4 GW van dat huidige centrale vermogen uit bedrijf. Dat betreft de kolencentrale aan de Hemweg en de centrales in het Velsencluster. De centrale productie is 'vraag-volgend', de hernieuwbare productie met 'zon en wind' is weersafhankelijk en niet vraagvolgend.

Elektriciteitsproductie

Centrale elektriciteitsproductie vindt momenteel plaats middels kolen, gas of afvalverbranding:

- kolen: Hemweg 8 (Amsterdam Westpoort (Vattenfall);
- gas: Hemweg 9 (Amsterdam Westpoort (Vattenfall)) en Diemen (Vattenfall);
- hoogovengas: Velsencluster (Vattenfall);
- afvalverbranding (AVI) : Amsterdam Westpoort (AEB) en Alkmaar (HVC).

Daarnaast zijn er enkele industriële bedrijven met eigen gasgestookte WKK-installaties die elektriciteit en warmte produceren, en is er elektriciteitsproductie met windturbines (op land én op zee) en met zonnecelinstallaties.

De productielocatie Velsen (725 MW) gaat rond 2030 uit bedrijf[9]. De kolencentrale Hemweg-8 (630 MW) op de Hemweg sluit binnenkort. Dit levert uitdagingen op voor de elektriciteitsinfrastructuren omdat de elektriciteitsstromen wijzigen. In totaal neemt het opgesteld vermogen dus met circa 1,4 GW af.
De gasgestookte centrale Hemweg-9 (435 MW) op de Hemweg-locatie blijft in bedrijf.
Deze gebruikt hoogcalorisch gas als energiebron en zal op termijn (na 2030) mogelijk gestookt worden met waterstof. Voor de beide Diemen-centrales (samen 700 MW) geldt dat deze laagcalorisch gas (lees: Groningen gas) gebruiken maar binnen enkele jaren naar hoogcalorisch gas zullen gaan. De inzet van de gascentrales is vraaggestuurd, maar overigens niet per se reagerend op de lokale vraag uit de directe omgeving.

Voor 'zon en wind' worden sterke toenames verwacht in de scenario's, naar 6,2 GW in 2030 en 5,5-18 GW in 2050, in verschillende samenstellingen van de verschillende soorten 'wind en zon', en in omvang afhankelijk van het scenario[10]. De sterke toenames zijn een gevolg van de klimaatdoelen die als uitgangspunt zijn gehanteerd. Hoofdstuk 3.2 gaat in op de effecten op het elektriciteitsnetwerk.

Noord-Holland heeft een gunstige geografische positie ten aanzien van de grootschalige ontwikkeling van wind op zee. Bij wind op zee speelt de vraag waar grote nieuwe windparken worden aangeland, hoe de energie aan land komt (AC, DC, H_2), en hoe en in welke vorm de energie naar het achterland zal worden getransporteerd. Noord-Holland Noord ligt gunstig voor wind op land vanwege de relatief hoge opbrengsten t.o.v. meer landinwaarts gelegen regio's.

Voor wind op zee is uitgegaan van aannames in de 'Infrastructure Outlook 2050' van TenneT en Gasunie, en nadere afstemming daarover met TenneT. Het betreft aanlanding in de vorm van elektriciteit van 2,1 GW op locatie IJmuiden. In scenario Nationaal is dat opgehoogd naar 4,1 GW, in combinatie met een toenemende belastingvraag bij Tata Steel, waarvan het vraagpatroon overigens niet gelijk is aan het aanbodpatroon van wind op zee.

Tabel 2 - Hernieuwbare opwek met zon-PV en wind in Noord-Holland in 2050 per scenario (in GW)

	Regie Regionaal	Regie Nationaal	Regie Internationaal	Generieke sturing
Zon	13,4	5,4	2,6	2,9
Wind op land	2,5	2,2	0,8	0,8
Wind op zee	2,1	4,1	2,1	2,1
Totaal (GW)	**18,0**	**11,7**	**5,5**	**5,8**

[9] In ieder geval de eenheden Velsen24 en Velsen25, de kleinere IJmond1-eenheid (144 MW) blijft naar verwachting langer in bedrijf.

Transport en distributie

Noord-Holland kent provinciedekkende netten voor transport en distributie van elektriciteit. Het elektriciteitsnetwerk in Noord-Holland is via het 'landelijke koppelnet' (380 kV) verbonden met de nationale en internationale netwerken. Het netbeheer is een gereguleerd monopolie, en is voor de spanningsniveaus 380 kV t/m 110 kV in handen van de landelijk netbeheerder TenneT, en voor de regionale netten op spanningsniveaus 50 kV en lager in handen van regionale netbeheerder Liander, met uitzondering van het net in de gemeente Heemstede dat beheerd wordt door regionaal netbeheerder Stedin[11]. Zie Figuur 7 voor de schematische netopbouw en de aantallen stations en installaties in Noord-Holland. In Noord-Holland zijn er 19 koppelpunten tussen het TenneT-netwerk en het Liander-netwerk, waarbij er zeer recent één bij is gekomen (Middenmeer) en nog één in aanbouw is (De Weel).

Figuur 7 – Schematische opbouw van het elektriciteitsnetwerk, met daarin de aantallen stations c.q. onderverdeelinstallaties in Noord-Holland, en de spanningsniveaus van TenneT en Liander. (Klant)aansluitingen zijn er op alle spanningsniveaus van het net

Nadere informatie over de specifieke geografische netopbouw, voorzieningsgebieden van de 150 kV-stations, en de namen van stations is opgenomen in Bijlage C.

[10] De vraag waar precies is een RO-vraagstuk, die ook in de RESsen aan bod komt (uitgezonderd voor wind op zee en zon op daken).

[11] Voor deze systeemstudie heeft Liander, in overleg met Stedin, de belasting/opwek voor dat (kleine) Stedin-gebied gealloceerd op de Liander-onderverdeelinstallaties. Daarmee zijn de stations die er omheen liggen iets hoger belast.

Regelgeving elektriciteitsnetwerken
Aanleg en beheer van elektriciteitsnetten is gereguleerd in de energiewet- en regelgeving, het zogenoemde 'regulatorisch kader'. De Autoriteit Consument en Markt (ACM) houdt toezicht. Er is sprake van non-discriminatoire aansluit- en transportplicht. Aanvragen voor nieuwe aansluitingen dienen altijd gehonoreerd te worden. Deze aanvragen worden verzorgd door Liander, tenzij het om grote aansluitingen gaat van 80 MW of groter, die rechtstreeks door TenneT worden verzorgd. Het maakt daarbij niet uit of het om levering of om teruglevering gaat. De aansluit- en andere nettarieven zijn gereguleerd. In het geval dat het Liander-netwerk meer vermogen nodig heeft dan het koppelpunt kan leveren doet Liander een aanvraag bij TenneT voor uitbreiding. De kosten om het bovenliggend netwerk te verzwaren worden gesocialiseerd, de spelregels daarvoor zijn vastgelegd in het 'regulatorisch kader'.

Relevant voor deze studie is dat de netbeheerders geacht worden om doelmatig te investeren. Dat betekent dat investeringsprocessen pas in gang worden gezet als er getekende contracten met een klant zijn. Er mag niet worden voor-geïnvesteerd op basis van bijvoorbeeld verwachte groei van de vraag naar netcapaciteit. Juist dit principe, waarbij netbeheerders niet geacht worden om voor te investeren staat op gespannen voet met de noodzaak om voor de transitie anticiperend te investeren in duurzame alternatieven. Overigens wordt er op nationaal niveau overlegd over mogelijke versoepeling van deze regels.

Relevant voor deze systeemstudie is verder dat uitbreidingen van hoogspanningsstations of –verbindingen lange doorlooptijden kennen. Het gaat dan om 5-8 jaar voor 50kV-netwerkonderdelen van Liander en tot soms 10-15 jaar of meer als het gaat om 380 kV-verbindingen. Die doorlooptijd zit voor het overgrote deel in de planologische- en vergunningsprocedures, en niet zozeer in de fysieke bouwtijd.

2.3.2 Gas - methaan

Noord-Holland is slechts in zeer beperkte mate een gas producerende regio. Wel speelt gas een belangrijk onderdeel in het energiesysteem. Jaarlijks wordt er circa 123 PJ aan 'methaan' gebruikt door de verschillende sectoren[12], waarvan meer dan 99% aardgas. Dat is 52% van het totale energie-eindgebruik in de provincie. Het aardgas wordt aangevoerd via de hogedruktransportnetten, uit zee en over land.

'Methaan'	Groengasproductie	Huishoudens	Utiliteit	Mobiliteit	Landbouw	Industrie
2020 (cijfers in PJ/jaar)						
Totaal Noord-Holland	0,82	57,94	23,37	0,00	17,48	24,79

Aardgas wordt zowel vanuit het buitenland en vanuit winningsgebieden op de Noordzee geïmporteerd als geproduceerd in Groningen. Daarbij is sprake van een verschil in gassamenstelling. Hoogcalorisch gas is gang-baar in het internationaal gastransport, en wordt gebruikt door enkele grote bedrijven en de meeste (nog niet alle) gasgestookte elektriciteits-centrales. De meeste bedrijven, en alle gasgebruikers in de gebouwde omgeving, gebruiken laagcalorisch gas, beter bekend als: 'Groningengas'. Groningengas kan ook worden gemaakt van hoogcalorisch gas door het te mengen met stikstof.

[12] Dit cijfer is exclusief de (niet bekende) inzet van aardgas in de verschillende elektriciteitscentrales.

Productie
Vergisting van lokale natte biomassareststromen zoals RWZI-slib en GFT wordt steeds vaker een bron van lokale en relatief kleinschalige biogas-productie (0,8 PJ in 2020). Het biogas wordt vervolgens ofwel verstookt in een WKK waarbij warmte en elektriciteit worden geproduceerd, ofwel opgewerkt tot groengas en ingevoegd in het lokale gasdistributie-netwerk.
Op grotere schaal wordt gewerkt aan het ontwikkelen van vergassings-technieken waarbij per eenheid biomassa-input een hogere groengasproductie wordt gehaald en ook meer soorten biomassabronnen kunnen worden toegepast, ook houtige.[13]

Transport en distributie
Noord-Holland kent provinciedekkende netten voor transport en distributie van aardgas met aansluitingen op de nationale en inter-nationale netwerken. Zie Bijlage C.3 voor een geografische netkaart. Het netbeheer is een gereguleerd monopolie, en voor de hogedruknetten in handen van de landelijk netbeheerder Gasunie, en voor de regionale netten in handen van vooral regionale netbeheerder Liander, en in het zuidelijk deel van de kuststreek van regionaal netbeheerder Stedin. De hogedruknetten van Gasunie transporteren zowel zogenoemd hoogcalorisch gas als zogenoemd laagcalorisch 'Groningengas'.

Op de Gasunie-transportnetten vindt ook invoeding plaats van aardgas uit winningslocaties op land en op de Noordzee, o.a. in Den Helder. In Den Helder staan daartoe ook installaties om het gas geschikt te maken voor invoeding op het Nederlandse transportnetwerk.

Invoeding van groengas – tot aardgaskwaliteit opgewerkt biogas – uit kleinschalige vergistingsinstallaties vindt plaats op de Liander-gasnetten. De grootschaliger biomassavergassingsinstallatie op het Investa-testcentrum bij Alkmaar voedt in op het hoogcalorisch gasnet van Gasunie.

Via het gastransportnetwerk wordt methaan in principe ook beschikbaar gesteld aan de tanklocaties voor de bunkerbrandstoffen van de scheep-vaart, de bunkering van LNG voor de scheepvaart in het NZKG wordt momenteel echter beleverd met een bunkerschip vanuit Rotterdam. In de Amsterdamse haven vindt momenteel op kleinere schaal productie van bioLNG plaats.

Aanvragen voor nieuwe aansluitingen worden verzorgd door Liander, tenzij het om heel grote aansluitingen gaat, die rechtstreeks door Gasunie worden verzorgd. Het maakt daarbij niet uit of het om levering of om teruglevering gaat. De aansluit- en andere nettarieven zijn gereguleerd. De kosten van transport en distributie worden gesocialiseerd.

Noord-Holland kent ook twee grote ondergrondse seizoensopslaglocaties van (hoogcalorisch) gas bij Bergen en bij Alkmaar, beide van het bedrijf TAQA.

[13] CO_2 uit biomassa is kort-cyclisch en wordt daarom als CO_2-neutraal gezien.

2.3.3 Waterstof

Waterstof heeft in het huidige energiesysteem vooralsnog een kleine rol. De verwachtingen rond waterstof als belangrijke klimaatneutrale energiedrager van de toekomst zijn daarentegen hooggespannen. Waterstof kan immer als buffer fungeren voor onregelmatige hernieuwbare productie, als drager om overschotten van hernieuwbare elektriciteit af te voeren naar elders, het kan als bouwsteen dienen voor schone brandstoffen en ook zelf als energiedrager worden gebruikt bijvoorbeeld in de transportsector. In de scenario's in deze studie loopt de waterstofvraag op tot 16-88 PJ in 2050 (6-31% van de totale energievraag in 2050). Er ligt dus een opgave op korte termijn al de keten van productie-infrastructuurvraag op te bouwen, en de productietechniek fors op te schalen om het nu nog hoge kostenniveau (ten opzichte van bijvoorbeeld aardgas) omlaag te brengen.

Productie
Waterstof wordt op dit moment op relatief kleine schaal geproduceerd en gebruikt op het terrein van Tata Steel in Velsen, het wordt geproduceerd uit aardgas (zogenoemde 'grijze waterstof') en gebruikt door Tata Steel. Daarnaast vindt, ook op relatief kleine schaal, waterstofproductie plaats bij IGES in het Amsterdams havengebied t.b.v. brandstofproductie uit niet-recyclebaar plastic.
Waterstof wordt een belangrijke energiedrager/brandstof. Er zijn concrete plannen voor de bouw van een 20 MW elektrolyser bij Tata Steel in IJmuiden, een initiatief van Nouryon, Tata Steel en Havenbedrijf Amsterdam. De bedoeling is dat die installatie daarna opschaalt naar 100 MW (in 2023) en daarna mogelijk nog verder.[14] Ook is het mogelijk om waterstof te importeren die op zee of elders in de wereld met elektrolysers wordt geproduceerd. Aanlanding van grote hoeveelheden energie in de vorm van waterstof uit windparken ver op zee (waarbij de elektrolyser dus op zee staat) wordt naar verwachting in de verdere toekomst belangrijk, vanwege kostenefficiëntievoordelen ten opzichte van aanlanding als elektriciteit. Noord-Holland heeft daarvoor een gunstige ligging. Dit kan zowel in IJmuiden als in Den Helder.

Transport en distributie
Er is nu nog geen waterstofnetwerk. Waterstof wordt een belangrijke energiedrager/brandstof, want conversie van duurzame (piek)stroom naar groene waterstof (= CO_2-vrij) is een belangrijke schakel voor zowel duurzame energievoorziening (i.p.v. bijv. Groningengas) alsook voor de transitie in de chemie en mobiliteit.[15] Aangezien afnemers behoefte hebben aan een continue ongestoorde levering is een groot landelijk netwerk nodig (de 'backbone') dat de verschillende productielocaties en opslaglocaties verbindt met de klanten, en ook met bijvoorbeeld aan-landings- en havenlocaties voor waterstofimport en bunkering. Voor wat betreft de backbone kan dit door het separeren van huidige hoge-drukaardgastransportverbindingen door Gasunie.

[14] Er loopt momenteel een eerste verkenning in kader van ISPT naar mogelijkheden en inpasbaarheid van een op termijn 1 GW-elektrolysecentrale.

[15] Recent onderzoek van KIWA/Netbeheer Nederland heeft aangetoond dat van het bestaande gasnetwerk in Nederland ca. 95% geschikt is voor conversie naar waterstoftransport. (Huidige gasnet geschikt te maken voor waterstof)

Het Noordzeekanaalgebied en ook Den Helder zijn nu al goed aangesloten op dat bestaande aardgasnet. Aansluiting tot toekomstige waterstofbackbone, behoort nadrukkelijk tot de mogelijkheden. Voor een regionaal waterstofnet, bijvoorbeeld in het NZKG, zal netaanleg moeten plaatsvinden, zodat IJmuiden en Amsterdam met elkaar verbonden worden, inclusief een aansluiting op de landelijke backbone.

Gasunie ziet waterstof als een belangrijke toekomstige energiedrager/brandstof en is daarom voornemens een 'waterstofbackbone' voor waterstoftransport te realiseren. In Figuur 8 staat deze landelijke backbone voor waterstof schetsmatig getoond. De backbone kan gerealiseerd zijn in 2030, maar ook eerder indien daar behoefte aan is. Bij de ontwikkeling wordt gebruik gemaakt van bestaande gastransportverbindingen, waarbij dan één of meerdere buizen, waaruit de huidige verbinding bestaat, worden omgezet van aardgas naar waterstof.

Figuur 8 – Schematische weergave van de landelijke waterstofbackbone waarvan Gasunie als trekker optreedt

Bron afbeelding: Gasunie.

2.3.4 Warmte

Warmte uit warmtedistributienetten levert in 2020 5 PJ aan energie. Dat is 2,2% van de energievraag in 2020. De werkelijke behoefte aan warmte, voor ruimteverwarming en proceswarmte, is vele malen groter. In die behoefte wordt nu vooral voorzien met aardgas als energiedrager. Een situatie die drastisch gaat veranderen vanwege het klimaatbeleid.

Warmte uit warmtedistributienetten (en een stoomnet in het NKZG) vormt een deel van de oplossing voor de klimaatopgave. Het betreft zowel warmte voor de gebouwde omgeving (huishoudens en utiliteitbouw), de glastuinbouw, als industriële processen.

Scenario	Huishoudens	Utiliteit	Glastuinbouw	Industrie	Totaal
2020 (cijfers in PJ/jaar)					
Totaal Noord-Holland	3,65	1,04	0,53	0,00	5,22

Productie
In Noord-Holland Noord zullen geothermie en datacenters op de Agriport-locatie in potentie in de lokale vraag naar warmte kunnen voorzien. De potentie van geothermie is dusdanig groot dat er zelfs een mogelijk overschot aan warmte is, maar het is de vraag hoe ver dit over grote afstanden vervoerd kan worden, aangezien de aanleg van warmtenetten grote investeringen vergt. Ook de AVI van HVC fungeert als warmtebron in Noord-Holland Noord.

Bronnen in Noord-Holland Zuid zijn in de huidige situatie onder andere de biomassacentrale in Purmerend, de AVI van AEB, de beide gas-gestookte warmtekracht-eenheden in Diemen en een warmtekracht-centrale in Saendelft. Een onderzoeksprogramma naar de mogelijk-heden van geothermie in Noord-Holland Zuid is in uitvoering. Daar zullen bijkomen als bronnen: restwarmte van de industrie, oppervlakte-water, datacenters, biomassacentrales. Voor het MRA-gebied zijn de mogelijkheden beschreven in de recente Grand Design 2.0-studie.

Transport en distributie
Grootschalige warmtenetten voor warmtelevering aan gebouwen zijn er in het huidig systeem in Amsterdam en Amstelveen (met als hoofdbronnen de beide Diemen-centrales en AEB), in Zaanstad (hoofdbron: WKK-installatie bij Saendelft en – recent - een biomassacentrale in Zaandam-Oost), in Purmerend (hoofdbron: biomassacentrale), in Alkmaar en van daaruit noordwaarts richting Heerhugowaard (hoofdbron: HVC).
Op de Agriport-A7-glastuinbouwlocatie ligt een warmtenet met als hoofdbronnen geothermie en restwarmte van een datacenter op die locatie.
In Amsterdam Westpoort zijn er plannen om met een warmte- en een stoomnet warmte en stoom aan de industrie te leveren.

Warmtelevering is geen monopolie en de kosten worden niet gesociali-seerd. De levering is wel vergunningsplichtig en gereguleerd via de warmtewet. Via die wet onder wordt andere de maximumhoogte van de tarieven geregeld die in rekening mogen worden gebracht bij de klanten.

Daarbij wordt het 'Niet Meer Dan Anders'-principe toegepast waarbij vergeleken wordt met de situatie waarin afnemers aardgas zouden gebruiken voor hun warmtevoorziening.

Warmteproducenten willen zich vaak niet voor lange termijn binden aan verplichte levering, en door afnemers worden warmtenetten regelmatig als niet aantrekkelijk genoeg beschouwd vanwege gebrek aan prijsvoordeel ten opzichte van verwarming met aardgas, en afhankelijkheid van één leverancier.

2.3.5 CO_2

CO_2 is in principe geen energiedrager en/of bron, maar een bijproduct van fossiele energie-productie of van industriële processen. Voor sommige industrieën is CO_2 echter ook een belangrijke grondstof. Denk bijvoorbeeld aan de glastuinbouw. Naar de toekomst toe zijn er tevens mogelijkheden om CO_2 als circulaire grondstof te benutten (bijv. gasbeton). In het NZKG wordt ook ingezet op verkenning van productie van synthetische brandstoffen zoals synkerosine (in combinatie met waterstof). CO_2-infrastructuur is belangrijk voor de transitie naar een klimaatneutrale en circulaire industrie.

Productie
Bestaande CO_2-bronnen in de regio zijn geconcentreerd bij de elektriciteitscentrales (Hemweg, Velsen), de AVI's (AEB en HVC)[16] en bij Tata Steel. Daarnaast zijn er zeer vele kleinschalige CO_2-uitstoters bij zowel kleinere industrieën alsook de mobiliteit en gebouwde omgeving. Voor hergebruik of opslag is schaalgrote noodzakelijk vanwege de benodigde investeringen in afvang-, compressie- en purificatie-installaties.

De meest recente cijfermatige informatie over CO_2-vraag en aanbod en de ontwikkeling in de tijd daarvan is afkomstig uit (Navigant, 2019).
Het aanbod ontstaat tot 2025 eerst bij de beide afvalverbrandings-installaties in Noord-Holland (AEB (Amsterdam): 0,5 Mton/jaar; HVC (Alkmaar) 0,1 Mton/jaar oplopend naar 0,2 Mton/jaar in 2030. De CO_2 van de afvalverbranders is grotendeels (circa 80%) biogeen van aard.
De kwaliteit van die CO_2 is geschikt voor direct gebruik in de glastuin-bouw. In de periode 2025-2030 ontstaat naar verwachting ook groot-schaliger CO_2-aanbod bij Tata Steel (tot 5 Mton/jaar), afkomstig van fossiele bronnen, en qua zuiverheid niet direct geschikt voor gebruik in de glastuinbouw.

Transport
Er loopt een CO_2-buisleiding (van OCAP) vanuit het havengebied van Rotterdam tot aan het havengebied van Amsterdam. Vanuit de OCAP-leiding kan CO_2 worden geleverd aan glastuinbouwgebieden in Noord-Holland Zuid, die de CO_2 nodig hebben voor het bevorderen van het groeiproces. PrimA4a is al aangesloten op deze OCAP-leiding.
Het voornemen is deze aftakking uit te breiden richting Kwakel (Uithoorn) en Schinkelpolder (Amstelveen).

[16] AVI's zijn vooralsnog uitgesloten van CO_2-afvangmaatregelen gegeven het feit dat hun 'bron'-materiaal overwegend een organische herkomst heeft.

In Noord-Holland Noord is aansluiting op de OCAP-leiding nu niet aan de orde. Op Agriport-A7 heeft ECW een lokaal leidingnetwerk ('minigrid') aangelegd voor CO_2-transport. Die CO_2 wordt geleverd per vrachtwagen. Levering per vrachtwagen zou ook aan de orde zijn voor de glastuinders in Grootslag en Alton. Voor de Glasdriehoek wordt gedacht aan het afvangen, vloeibaar maken en distribueren van CO_2 van afvalcentrale HVC. Er zullen wel meer CO_2-bronnen nodig zijn dan alleen HVC om in de vraag te kunnen voorzien.

CO_2 voor de glastuinbouw moet van voldoende zuivere kwaliteit zijn. Filtering is soms nodig. Ook deze kosten spelen een rol in de businesscase.
CO_2-afvang is nodig voor enkele bedrijven (AEB, HVC, Tata Steel) om klimaatneutraal te kunnen worden.
AEB zal worden verbonden met de OCAP-leiding. Binnen het NZKG zal een tweetal aanvullende CO_2-verbindingen moeten komen. Het is allereerst de bedoeling dat in het NZKG een CO_2-leiding wordt aangelegd van de IJmond (Tata Steel) naar het Amsterdams havengebied, ten behoeve van CCU toepassingen. Naast vraag vanuit de glastuinbouw ontstaat er op termijn vraag vanuit de industrie, bijvoorbeeld om (syn)kerosine, nafta of andere grondstoffen mee te produceren. Hierbij is in de meeste gevallen ook aansluiting op een waterstofnetwerk nodig. Ten behoeve van de opslag van overtollige CO_2 zal aanvullende uitleg naar lege gasvelden onder de Noordzee nodig zijn voor opslag (CCS).

2.3.6 Vloeibare brandstoffen

Vloeibare brandstoffen zijn van oudsher brandstoffen die hun oorsprong in aardolieraffinage hebben. In toenemende mate worden ook hernieuwbare 'biobased' en synthetische bronnen gebruikt voor de productie van vloeibare brandstoffen. In de energietransitie worden vloeibare (bio)brandstoffen m.n. als oplossing in het zwaar en lang transport verwacht (trucks, scheepvaart, luchtvaart).

Productie
Het Noordzeekanaalgebied kent geen grootschalige raffinagevoorzieningen voor de productie van vloeibare brandstoffen zoals in Rotterdam en Antwerpen. Amsterdam is met name een handels- en bewerkingshaven voor brandstoffen zoals benzine, diesel en kerosine voor het verkeer en vervoer. Daarnaast vindt in het Amsterdams havengebied op beperkte schaal biobrandstof productie plaats uit biomassareststromen (o.a. bioLNG, biodiesel) en productie van groene waterstof. Om in te kunnen spelen op toenemende vraag naar deze hernieuwbare brandstoffen zal tijdig en actief gekeken moeten worden om hier voldoende (milieu)ruimte voor beschikbaar te houden.

Opslag, transport en distributie
Het Amsterdamse havengebied is de grootste benzinehaven ter wereld. Amsterdam beschikt over een zeer hoogwaardige en fijnmazige opslag- en transportinfrastructuur voor het verwerken en distribueren van vloeibare brandstoffen.
De kerosine voor Schiphol wordt per buisleiding geleverd vanuit de opslagtanks in het Amsterdamse havengebied, en wordt daar aangevoerd met tankschepen. De bunkering van scheepsbrandstof van schepen

(waaronder ook LNG) wordt beleverd vanuit tankschepen. Amsterdam voorziet deels ook in de strategische opslag van vloeibare brandstoffen in het kader van de nationale Wet voorraadvorming aardolieproducten.

2.3.7 Opslag

Opslag en conversie van energiedragers reageren net als vraaggestuurde elektriciteits-productie op momentane marktcondities en zijn in deze studie als oplossingsmogelijkheden voor eventuele knelpunten beschouwd. Ze zijn om die reden niet opgenomen als harde waarden in de scenario-inputs. Een uitzondering is daarbij gemaakt voor kleinschalige thuisaccu's.
Bij de oplossingsmogelijkheden voor knelpunten gaat het bijvoorbeeld om de conversie van moleculen naar elektronen voor decentrale elektriciteitsproductie, en omgekeerd van elektronen naar moleculen (waterstof). De conversie naar waterstof gaat via elektrolysers en vormt een mogelijke oplossing voor aanbodknelpunten voor hernieuwbare energie-bronnen als zon-PV en wind.

2.4 Vraag vanuit de verschillende sectoren

Deze paragraaf schetst de mogelijke ontwikkelingen in Noord-Holland per sector op hoofd-lijnen, waar mogelijk met een indicatie van de tijdlijn. Het cluster Schiphol is apart op-genomen omdat gebruik is gemaakt van specifieke informatie van Schiphol die geaggregeerd ter beschikking is gesteld. In de uitgebreide bijlagenset in dit rapport zijn de details en aannames beschreven per sector, ook hoe is omgegaan met regiospecifieke kenmerken. Aan het eind van dit hoofdstuk staat de energievraag grafisch weergegeven per subregio, met doorsnijdingen naar sector en naar energiedrager of brandstof.

2.4.1 Sector Gebouwde omgeving

De totale energievraag van de gebouwde omgeving daalt van 118 PJ in 2020 naar circa 80-100 PJ in 2050, als gevolg van energiebesparing, en ondanks de groei van het aantal gebouwen. De vraag naar aardgas neemt sterk af, van 81 PJ in 2020 naar 11-48 PJ in 2050, door besparing en inzet van alternatieven. Daardoor stijgt de elektriciteitsvraag en breiden in stedelijke zones ook warmtenetten uit. In de scenario's Nationaal en Internationaal komt er vanaf 2030 vraag naar waterstof (gas) in de gebouwde omgeving.

De Gebouwde omgeving gaat van het aardgas af. Het tempo dat daarbij gemaakt wordt is afhankelijk van beleid en kostenontwikkeling, die bepaalt ook welke oplossing waar wordt gekozen, en dat is weer onder andere afhankelijk van de beschikbaarheid van restwarmte (op hoge en lage temperatuur), geothermie, en van groengas en waterstof. In grote lijnen geldt dat nieuwe woningen meer opties hebben richting warmtenetten en elektrisch. Oudere woningen zijn veelal slechter geïsoleerd en mogelijk beter geschikt voor 'groengas'- en waterstofalternatieven. Noord-Holland (en in het bijzonder Noord-Holland Zuid) wordt gekenmerkt door sterk verstedelijkte gebieden. Het aantal woonaansluitingen is derhalve groot.
Tevens valt te bezien dat het merendeel van de bestaande energiebehoefte vervuld wordt door aardgas. Daarnaast geldt dat er naar de toekomst toe een aanzienlijke bouwproductie verwacht wordt[17]. Tabel 3 geeft per subregio weer hoeveel nieuwbouwwoningen er ten opzichte van de huidige situatie nog bijkomen in 2030 en 2050.

[17] Deze cijfers overgenomen van PRIMOS en afgestemd met Provincie Noord-Holland, met als uitzondering subregio Amsterdam waar in overleg met de gemeente cijfers uit het Amsterdamse hoog-scenario zijn gehanteerd.

Figuur 9 - Huidig aantal aansluitingen en energiegebruik van de gebouwde omgeving

Tabel 3 - Aantallen nieuwbouwwoningen t.o.v. 2018, in 2030 en 2050, per subregio

Gebied	2030	2050
Alkmaar	12.544	12.804
Kop van Noord-Holland	3.501	3.535
West-Friesland	10.870	11.040
Amsterdam	125.258	244.270
Amstelland-Meerlanden	47.499	70.534
Gooi- en Vechtstreek	13.653	19.439
Kennemerland en IJmond	27.598	43.883
Zaanstreek en Waterland	35.285	58.768
Noord-Holland Noord	26.915	27.379
Noord-Holland Zuid	249.293	436.894
Totaal Noord-Holland	**276.208**	**464.273**

2.4.2 Sector Mobiliteit en Transport

Het huidig energiegebruik van de sector mobiliteit en transport in Noord-Holland is 49 PJ/jaar. Dat is 21% van het totale energiegebruik in de provincie. Bunkering van scheepvaart en luchtvaart is niet in deze cijfers opgenomen (zie daarvoor Paragraaf 2.4.7).

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Biobrandstof	Benzine	Diesel	LPG	Totaal
2020 (cijfers in PJ/jaar)[18]								
Totaal Noord-Holland	**0,91**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**22,30**	**25,36**	**0,53**	**49,10**

Personenmobiliteit gaat voor een belangrijk deel richting elektrische aandrijving, al dan niet met een brandstofcel op waterstof voor personenauto's voor langere afstanden.

Bij het goederenvervoer over weg en water is er een mix van oplossingen beschikbaar. Voor korte afstanden en licht transport zijn er, net als bij personenmobiliteit, elektrische opties in ontwikkeling. Voor zwaar en lang transport is er een brede mix in ontwikkeling, zoals biobrandstoffen, synthetische brandstoffen, LNG (is nu al een bunkerbrandstof in de Amsterdamse haven) en bioLNG, groene methanol en waterstof. Welke oplossing door een ondernemer zal worden gekozen, en wanneer, hangt af van beleidsontwikkeling die zich richt op de beschikbaarheid van 'tank- en laadinfrastructuur' en kostenontwikkeling. Gericht stimuleringsbeleid kan bijdragen aan een versnelde uitrol van de noodzakelijke

[18] Cijfers in deze tabel zijn excl. bunkering van scheepvaart en luchtvaart.

waterstofinfrastructuur. Dit draagt tevens bij aan het inbouwen van flexibiliteit in het energiesysteem als geheel.

2.4.3 Sector Industrie

De huidige energievraag van de industrie in Noord-Holland is 44 PJ/jaar, waarvan bijna 25 PJ methaan (aardgas) en bijna 20 PJ elektriciteit. Dit is 19% van de totale energievraag in de provincie, 20% van de totale methaanvraag en 32% van de totale elektriciteitsvraag.

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Warmte (uit warmtenet)	Totaal
2020 (cijfers in PJ/jaar)					
Totaal Noord-Holland	**19**	**25**	**0**	**0**	**44**

Ook bij de industrie speelt de omschakeling naar klimaatneutraal; opties zijn onder andere elektrificatie, geothermie, groengas en waterstof. Ook CO_2-afvang en ondergrondse opslag of hergebruik (CCU/CCS) is een mogelijkheid. De grootste industriële clusters In Noord-Holland zijn: IJmond (en daarbinnen met name Tata Steel), en de bedrijven in het Amsterdamse havengebied. Daarnaast onder andere de industrie in Den Helder, en de industrieën in de Zaanstreek.
De grote vragen voor de toekomst zijn: welke energiedragers worden gebruikt c.q. in welke mix, en wanneer? Beide hangen in belangrijke mate af van de vraag of er een positieve businesscase ontstaat voor de betreffende bedrijven.

Vanwege het grote aandeel dat de industrie in het NZKG inneemt in het geheel van de sector industrie in de provincie Noord-Holland, is nadere informatie over het NZKG opgenomen in volgend tekstkader.

Industriegebied NZKG
Het NZKG is een grootschalig haven- en industriegebied geconcentreerd langs het Noordzeekanaal.
De aanwezige veelal grootschalige industrie- en havenactiviteiten stellen speciale eisen aan het bestaande en verder te ontwikkelen energie-infrastructuursysteem. De industrie in het NZKG gebruikt bijvoorbeeld grote hoeveelheden aardgas voor het produceren van proceswarmte. Elektrificatie van de industriële processen kan bijdragen aan energietransitie, maar is niet de enige oplossingsmogelijkheid. Andere mogelijkheden zijn bijvoorbeeld het gebruik van (diepe) geothermie, groengas, biomassa, of waterstof. De haven speelt een belangrijke rol op nationaal en internationaal gebied als energiehaven, zowel voor wat betreft de opwek van energie als opslag en distributie. Het NZKG is bijvoorbeeld op dit moment de grootste benzinehaven ter wereld.

Fossiele brandstoffen gebaseerd op aardolie (benzine, diesel, kerosine) en steenkolen spelen nog steeds een belangrijke rol maar er zijn diverse ontwikkelingen op gebied van productie van duurzame brandstoffen en energiedragers (bijvoorbeeld biofuels, waterstof, wind op land, aanlanding wind op zee). Voor wat betreft mobiliteit en transport is elektrisch vervoer zeker voor personenvervoer en lichter regionaal transport van goederen de geëigende ontwikkelingsroute. Voor zwaarder transport en voor langere afstanden, zoals per truck, per zee- en binnenvaartschip, en per vliegtuig, is de ontwikkeling van bio- en synthetische brandstoffen van belang.

Het NZKG heeft een goede uitgangspositie voor de ontwikkeling tot een duurzaam haven- en industrieel complex, en fungeert als draaischijf in de energietransitie van de regio. Er zijn sterke clusters van relevante bedrijven (staal, brandstoffen, circulaire industrie, voedingsmiddelen, datacenters, terminals en logistiek). De ontwikkeling van grootschalige wind op zee voor de kust van IJmuiden draagt bij aan ontwikkeling van dit gebied tot de beoogde Hydrogen Valley (Port of Amsterdam, 2018). De industrie heeft de wens uitgesproken samen met overheden en kennisinstellingen te komen tot een klimaatneutrale en circulaire hotspot (Industrietafel NZKG, 2018). Deze ontwikkeling valt en staat met de juiste energie-infrastructuur (CE Delft,

2018c). Elektrificatie van de industrie en mobiliteit/transport vraagt om versterking van het bestaande elektriciteitsnetwerk, maar ook andere energie-infrastructuren zijn noodzakelijk om verder te ontwikkelen, waaronder waterstof, CO_2, warmte en stoom. Er zijn zeven speerpunten gedefinieerd die de komende jaren gezamenlijk verder worden ontwikkeld in de vorm van diverse projecten.

- Aardgasvrij: Naast elektrificatieontwikkeling van warmte- en stoomleidingnetwerken en toepassen van groengas en waterstof voor de opwek van met name proceswarmte gezien de veelal hogere temperaturen die gebruikt worden.
- Vervoer emissieloos: Voor elektrisch vervoer zorgen voor voldoende elektriciteit- en oplaadinfrastructuur, waterstof, bio- en synthetische brandstoffen voor het zwaardere vervoer en de luchtvaart. Ontwikkeling van de volledige keten, van opwek, transport, distributie en e-bunkering.
- Afval is grondstof: Hergebruik van diverse afvalstromen, zowel biologische als bijvoorbeeld plastics voor de opwek van duurzame brandstoffen via o.a. bioraffinage en gassificatieprocessen.
- Duurzame brandstoffen: Als energiehaven ontwikkelen van de markt voor productie, op- en overslag en distributie in bio- en synthetische brandstoffen. Voor de ontwikkeling van synthetische brandstoffen is de beschikbaarheid van zowel een CO_2- als waterstofketen in het gebied van wezenlijk belang.
- Circulaire industrie. Sluiten van grondstofketens en leveren van duurzame producten en technologieën.
- Duurzame datacenters: Bijvoorbeeld door een efficiënte benutting van de restwarmte van deze datacenters.

Een korte opsomming van relevante voorbeeldprojecten:

- ontwikkeling van duurzame energieopwek op diverse locaties voor wind en zon;
- ontwikkeling van een 100 MW groene waterstoffabriek in IJmuiden (Tata Steel, Nouryon en Havenbedrijf Amsterdam);
- ontwikkeling van een 5 MW productiefaciliteit voor vergassing van restafval en biomassa naar waterstof (Bio Hydrogen Netherlands);
- bouw van eerste waterstoftankstations in de regio voor trucks en personen auto's;
- afvang van CO_2 bij Tata en AEB en de ontwikkeling van toepassingen voor CCS en CCU (o.a. via de OCAP-pijpleiding naar de glastuinbouwgebieden);
- Studie naar de ontwikkeling van bio- en synthetische kerosine;
- Studie naar de ontwikkeling van een stoomleidingnetwerk in het Amsterdamse havengebied;
- Diverse projecten waar biogeen afval en plastic verwerkt worden tot duurzame brandstoffen en gassen.

2.4.4 Sector Glastuinbouw

De glastuinbouw in Noord-Holland is geclusterd in enkele grote gebieden in Noord-Holland Noord en Noord-Holland Zuid, daarnaast zijn er kleinere glastuinbouwarealen verspreid over de gehele provincie. Het huidige totale areaal bedraagt 12,8 miljoen m^2. Het energie-verbruik van de sector is 20 PJ/jaar, dat is 8,5% van het totale energiegebruik in de provincie. Bijna 90% van dat energiegebruik is aardgas ('methaan' in de figuren), 8% is elektriciteit, en een kleine 3% warmtelevering. Bij die cijfers hoort de opmerking dat het cijfers 'op de energiemeter' zijn. De glastuinders produceren met hun aardgasgestookte WKK-installaties warmte, elektriciteit en CO_2 (voor CO_2-bemesting van de gewassen).

Tabel 4 – Areaal glastuinbouw per subregio[19] (cijfers in m²)

Subregio	Huidig	2030	2050
Kop van NH	4.005.132	5.505.132	8.730.132
Alkmaar	1.096.369	1.496.369	2.046.369
W-Friesland	2.627.369	3.127.369	4.797.369
Amsterdam	27.800	27.800	27.800
Kennemerland en IJmond	232.300	332.300	332.300
Amstelland Meerlanden	4.582.882	5.500.000	6.700.000
't Gooi en Vechtstreek	19.445	19.445	19.445
Zaanstreek en Waterland	197.660	197.660	197.660
Totaal	**12.788.957**	**16.206.075**	**22.851.075**

NB: Bij toepassing van geothermie en/of restwarmte, of van waterstof, is ook CO_2-aanvoer nodig, via een CO_2-net of met aanvoer via binnenvaartschip of tubetrailer.

2.4.5 Sector Datacenters

De sector kent een onstuimige groei, en stuit op capaciteitsproblemen van de huidige elektriciteitsnetten. Momenteel verbruikt de sector 6,2 PJ aan elektriciteit. Dit is ongeveer 10% van de huidige totale elektriciteitsvraag in Noord-Holland. De restwarmte van de datacenters biedt een mogelijkheid van warmtelevering (aan o.a. glastuinbouw en gebouwde omgeving). De verdere ontwikkeling van de sector is ook een ruimtelijke ordeningsvraagstuk. Het overzicht van de vermogensvraag van datacenters per subregio in Tabel 5 is ontleend aan de ontwikkeling van oppervlaktes aan datacenters per gemeente, en geeft weer welke subregio's met name een rol spelen en gaan spelen. Vooral rond Amsterdam en in het Agriport-gebied groeit het aantal datacenters. De elektriciteitsvraag van de datacenters groeit met een factor 5, naar 32 PJ in 2050. In de Kop van Noord-Holland domineren de datacenters op de Agriport-locatie zelfs de (knelpunten en oplossingsrichtingen van de) energie-infrastructuur. Dit geldt voor alle scenario's.

De ontwikkeling van het oppervlak (en daarmee MW) aan datacenters betreft ruimtelijke ontwikkeling en is daarom (dus) niet gedifferentieerd in de scenario-inputs waarin steeds gevarieerd is in de invulling van de vraag met verschillende energiedragers, net zoals bijvoorbeeld de ontwikkeling van de aantallen woningen of de uitgifte van industrie-terreinen. De ruimtelijke ontwikkelingen zijn benoemd als mogelijke oplossing voor optredende knelpunten.

Tabel 5 - Overzicht vermogensvraag in MW voor datacenters per subregio in de scenario's

Subregio	2020	2030	2050
Alkmaar	0	0	0
Kop van Noord-Holland	111	890	890
West-Friesland	0	0	0
Amsterdam	181	431	1,101
Amstelland-Meerlanden	143	261	261
Gooi- en Vechtstreek	1	1	1
Kennemerland en IJmond	0	0	0
Zaanstreek en Waterland	0	0	0
Totaal Noord-Holland Noord	*111*	*890*	*890*
Totaal Noord-Holland Zuid	*325*	*694*	*1,363*
Totaal Noord-Holland	**437**	**1,584**	**2,254**

[19] Cijfers zijn afgestemd met Provincie Noord-Holland. De arealen zijn in alle scenario's gelijk gehouden.

2.4.6 Schiphol (elektriciteit)

Voor de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag[20] van Schiphol hebben we informatie gekregen uit een vertrouwelijke studie van Schiphol[21]. Die informatie mocht worden gedeeld en is opgenomen in Bijlage I. Schiphol gaat uit van drie groeiscenario's (laag, midden, hoog) tot en met 2040 voor het elektriciteitsgebruik. De aannames in de drie scenario's konden niet gedeeld worden door Schiphol.

Schiphol laat een matige tot sterke groei zien van de elektriciteitsvraag. Belangrijke factoren daarbij zijn de groei van elektrisch vervoer van passagiers, WKO voor gebouwen, en het elektrisch taxiën van vliegtuigen. De elektrificatie van onder andere de energie-voorziening van de gebouwen en van het 'landside' vervoer is onderdeel van het actieplan 'Slim en Duurzaam' van de luchtvaartsector.

NB: In de figuren en grafieken met 'energiegebruik per sector' is Schiphol meegeteld bij de sector Industrie (in subregio Amstelland-Meerlanden).

2.4.7 Zeevaart en luchtvaart

De zee- en luchtvaart verdienen afzonderlijk aandacht. Enerzijds zijn zowel de luchtvaart als de zeevaart grote vragers van energie (resp. kerosine en bunkerbrandstoffen). Anderzijds zijn ze slechts beperkt verbonden met het regionale energie-infrastructuur-systeem.

De huidige bunkering van de scheepvaart in het NZKG bedraagt 90 PJ/jaar. De huidige bunkering van kerosine op Schiphol bedraagt 155 PJ/jaar[22], waarvan 50% beleverd wordt vanuit de pijplijnverbinding met het NZKG. Kerosine blijft voorlopig dé brandstof voor de luchtvaart, wel met de ambitie om geleidelijk over te schakelen van fossiele naar klimaat-neutrale(re) kerosine.

De brandstoffen voor de zee- en luchtvaart worden momenteel voor het overgrote deel elders geproduceerd en via tankschepen naar de regio getransporteerd. Het NZKG biedt grootschalige opslagfaciliteiten.

Tegelijkertijd staan de zee- en luchtvaart voor omvangrijke opgaven om te verduurzamen. Met name in het NZKG wordt ingezet op de ontwikkeling van synthetische vloeibare brandstoffen (CCU), waarvoor zowel een CO_2-net als een waterstofnet nodig is.
In de landelijke Net voor de Toekomstscenario's worden voor de scheepvaart de volgende verdelingen over de verschillende brandstoffen aangehouden, in het zichtjaar 2050.
Voor de luchtvaart is zo'n prognose (nog) niet bekend.

2050	Regie Regionaal	Regie Nationaal	Regie Internationaal	Generieke sturing
Goederenvervoer water	25% (bio)LNG; 25% methanol; 25% NH_3; 25% H_2		50% (bio)LNG; 25% methanol; 25% H_2	

NB: In de figuren en grafieken in dit hoofdstuk met 'energiegebruik per sector' is bunkering van de zee- en luchtvaart niet meegenomen. Walstroom is wel meegenomen.

[20] De (aard)gasvraag van 'Schiphol', en de ontwikkeling daarvan, is niet bekend.
[21] Mails van mevrouw Nadine Catz van Schiphol d.d. 28 feb. 2019 en 1 mrt 2019.
[22] 3,6 Mton/jaar, uit: Quintel/Kalavasta, 2018.

2.5 Uitkomsten energievraag en -aanbod

Deze paragraaf toont eerst de scenario-uitkomsten in energievraag en -aanbod per jaar in de acht Noord-Hollandse subregio's. De uitkomsten worden getoond als verdeling over de sectoren en als verdeling over de energiedragers. Naar deze set platen wordt regelmatig vanuit de verdere hoofdstukken verwezen. De bijbehorende cijfers bij de platen staan opgenomen in de tabellen in Bijlage D.

Vervolgens worden de uitkomsten geduid. Eerst voor Noord-Holland als geheel, daarna voor de drie gebieden die elk een eigen signatuur hebben in de ontwikkeling van het energie-systeem in de provincie, te weten NH-Noord, NH-Zuid en het industriegebied NZKG.
Die gebieden worden ook beschouwd bij de bespreking van de effecten en oplossingen op de infrastructuren in de Hoofdstukken 3 en 4.

2.5.1 Elektriciteitsvraag en -aanbod

Figuur 10 toont dat zowel vraag als aanbod van elektriciteit sterk toenemen, in alle subregio's van Noord-Holland. De vraag groeit van 60 PJ in 2020, via circa 100-110 PJ in 2030, naar uiteindelijk 120-220 PJ in 2050. In de figuur is het grote aandeel in de vraag van datacenters op de Agriport-locatie zichtbaar. In de regio Amsterdam zijn datacenters ook sterk zichtbaar, maar daar als onderdeel van de totale vraag die ook vanuit de gebouwde omgeving, mobiliteit en industrie komt. In de figuur valt daarnaast de omvang van het industrieel elektriciteitsgebruik in de regio 'Kennemerland en IJmond' op, vooral in de scenario's 'Regionaal' en 'Nationaal' in 2050. Dit heeft te maken met de verschillende procesvarianten voor Tata Steel die in de scenario's zijn opgenomen. Het aandeel industrieel elektriciteitsgebruik in de regio 'Amstelland-Meerlanden' is afkomstig van Schiphol dat bij de sector Industrie is meegeteld.

Het jaarlijks aanbod van elektriciteit uit zonne- en windenergie groeit in de scenario's van 13 PJ in 2020 naar 60 PJ in 2030 en groeit na 2030 in één scenario door tot 120 PJ in 2050. De verdeling over de subregio's hangt samen met het oppervlak van de subregio en met de mate van en verdeling van de bebouwing in de regio. In vijf van de acht regio's is er in alle scenario sprake van substantieel meer vraag dan aanbod uit 'zon en wind', op jaarbasis. In de subregio's Kop NH en West-Friesland is er in 2050 in de scenario's Regionaal en Nationaal op jaarbasis een overschot aan hernieuwbare productie, vooral in scenario Regionaal. En in de subregio Kennemerland en IJmond is dat in 2030 al het geval, in alle scenario's. Dat is vanwege de aanlanding van wind op zee in die regio. In 2050 is dat effect omgeslagen, in drie van de vier scenario's, door de sterke groei van de elektriciteitsvraag in die subregio.

Op jaarbasis importeert Noord-Holland nu al meer elektriciteit dan het exporteert, en dat zal toenemen naar de toekomst (tenzij andere oplossingsrichtingen worden ingezet dan alle elektriciteitsvraag en –aanbod via de elektriciteitsnetwerken te faciliteren). Die transporten lopen via het landelijke hoogspanningsnet (380 kV).

2.5.2 Hernieuwbare elektriciteitsproductie

Figuur 11 toont de onderverdeling van de hernieuwbare elektriciteitsproductie uit 'zon en wind' die in Figuur 10 als totaal werd getoond. De aanlanding van 'wind op zee' in subregio Kennemerland en IJmond is duidelijk zichtbaar. Verder is zichtbaar dat wind op land met name in Kop van NH is geconcentreerd. Het aandeel wind op land in Amsterdam is vooral in het havengebied. De bijdrage van zon-PV op daken is vooral zichtbaar in de stedelijke gebieden.

2.5.3 Methaanvraag- en aanbod

Figuur 12 geeft inzicht in de methaanvraag- en aanbod. De vraag naar aardgas (als bron van methaan) neemt tot 2050 sterk af (van 124 in 2020 naar 16-46 PJ/jaar in 2050), in drie van de vier scenario's en in alle subregio's. De inzet zal geleidelijk verschuiven van aardgas naar groengas. Alleen in het Generiek-scenario blijft de methaanvraag gelijk (door inzet van methaan t.b.v. CCS bij industrie IJmond in dat scenario, i.e. Tata Steel). In de andere scenario's ontstaat dus ruimte in het huidige aardgasnet, die bijvoorbeeld kan worden gebruikt om waterstof te transporteren.
Ook zichtbaar in de figuur zijn de verschillen tussen de scenario's bij de aardgasvraag van de gebouwde omgeving. Dat komt doordat in de scenario's Internationaal en Generiek in 2050 grote hoeveelheden groengas uit het buitenland worden geïmporteerd.

2.5.4 Waterstofvraag- en aanbod

In alle maatschappelijke sectoren en toekomstscenario's zal de vraag naar waterstof toenemen, zoals te zien in Figuur 13. De vraag ontstaat vooral ná 2030 en loopt op tot 16-88 PJ in 2050[23]. Als totaal volume blijft de vraag naar waterstof echter kleiner dan de huidige aardgasvraag in drie van de vier scenario's. De uitzondering daarop vormt het toekomstscenario Internationale sturing, waarbij de industrie in de IJmond (m.n. Tata Steel) veel waterstof vraagt om de productieprocessen te verduurzamen.
Uitgezonderd de subregio IJmond vertonen alle subregio's min of meer hetzelfde patroon in de tijd en wat betreft verdeling over sectoren. De ontwikkeling van de vraag start bij mobiliteit/transport en in de industrie. Na 2030 groeit ook de inzet in de gebouwde omgeving.

Niet getoond in deze figuur, maar wel meegenomen in de scenario's, is de groei van waterstofvraag in het lang en zwaar transport, met in 2050 een aandeel van 25% in de bunkerbrandstoffen voor de scheepvaart.

De waterstofproductie en -vraag voor bijvoorbeeld toekomstige synfuelproductie in het Amsterdams havengebied is nog niet opgenomen in deze cijfers[24]. Hetzelfde geldt voor de flexoplossingen om waterstof te produceren uit momentane overschotten van hernieuwbare elektriciteitsproductie. Deze hebben een opwaarts effect op de waterstofvraag en –aanbod.

2.5.5 Energievraag gebouwde omgeving

Figuur 14 toont de ontwikkeling van de energievraag van de gebouwde omgeving, verdeeld naar de verschillende energiedragers/brandstoffen. De figuur laat de duidelijke afname zien van de vraag naar methaan, met een verschuiving naar elektriciteit en warmte, en – na 2030- ook naar waterstof. Warmte is er vooral in de stedelijke gebieden.
De totale energievraag daalt door energiebesparing, ondanks de groei van het aantal woningen en van het oppervlak aan utiliteitbouw. In cijfers: totale energievraag van de gebouwde omgeving is 118 PJ in 2020, 84-111 PJ in 2030, en 79-99 PJ in 2050.

[23] Cijfers exclusief bunkeren door scheepvaart.

[24] Synfuelproductie uit niet-recyclebaar plastic vindt nu al op relatief kleine schaal plaats bij IGES in het Amsterdams havengebied.

2.5.6 Energievraag industrie

Figuur 15 toont de ontwikkeling van de energievraag van de industrie. Daarbij is ook de elektriciteitsvraag van Schiphol meegeteld, in subregio Amstelland-Meerlanden. De grote omvang van het industrieel energiegebruik in de IJmond (Tata Steel) valt direct op ten opzichte van het energiegebruik door de industrie in de andere subregio's.

De totale energievraag van de industrie blijft toenemen tussen 2020 en 2050, van 44 PJ in 2020 naar circa 110-135 PJ in 2050. Het industriecluster in de IJmond heeft daarin in 2020 een aandeel van 60% en dat aandeel neemt toe naar circa 80% in 2050. De toename in energiegebruik is grotendeels het gevolg van energiegebruik voor 'carbon capture' in de scenario's (waarvoor veel warmte nodig is), en deels van groei van de industriesector (waaronder Schiphol). Daarbij neemt ook de vraag naar waterstof substantieel toe, naar 5-60 PJ in 2050, omdat er voor hogetemperatuurprocessen weinig andere duurzame energiedragers voorhanden zijn. Wat ook opvalt is het toenemende belang van elektriciteit bij de industriële processen. Het elektriciteitsgebruik van de industrie neemt toe van 19 PJ in 2020 naar 37-118 PJ in 2050.

2.5.7 Energievraag mobiliteit

Figuur 16 laat de ontwikkeling in de energievraag van mobiliteit zien, exclusief de bunker-volumes voor lucht- en zeevaart. Door de forse groei van elektrisch rijden neemt de vraag naar elektriciteit toe (accu's) van circa 1 PJ in 2020 naar 10-18 PJ in 2050, en begint vanaf 2030 ook de vraag naar waterstof toe te nemen (brandstofcel), tot 4-10 PJ in 2050.

Het totale eindverbruik aan energie vanuit mobiliteit neemt overigens na 2030 af, omdat in elektrische voertuigen geen omzetting meer plaatsvindt van benzine of diesel naar 'kracht'. Dit geldt voor alle scenario's. Bij het zwaar en lang transport ontstaat een verschuiving van fossiele brandstoffen naar bio- en synthetische brandstoffen, en naar waterstof.

Bij het goederenvervoer over weg en water is er een mix van oplossingen beschikbaar. Voor korte afstanden en licht transport zijn er, net als bij personenmobiliteit, elektrische opties in ontwikkeling. Voor zwaar en lang transport is er een brede mix in ontwikkeling, zoals biobrandstoffen, synthetische brandstoffen, LNG (is nu al een bunkerbrandstof in de Amsterdamse haven) en bioLNG, groene methanol en waterstof. Welke oplossing door een bedrijf zal worden gekozen, en wanneer, hangt af van beleidsontwikkeling die zich richt op de beschikbaarheid van 'tank- en laadinfrastructuur' en kostenontwikkeling.

Voor het havengebied Amsterdam is ook de ontwikkeling van bunkerbrandstoffen voor zeevaart en luchtvaart van belang (biofuel, synfuel, bioLNG, waterstof), de handel en opslag daarin, en de beoogde productie van synfuels voor die beide sectoren. Die beide deelsectoren zijn niet in deze figuur getoond.

Figuur 10 – Jaarlijkse elektriciteitsvraag, en aanbod uit zon en wind, per subregio, met opdeling naar sector. Voor huidige situatie, en de 4 scenario's in 2030 en 2050. Tekorten en overschotten op jaarbasis zijn in elke kolom getoond

Figuur 11 – Elektriciteitsproductie met zon-PV en wind, per subregio, met opdeling naar soort. Voor huidige situatie, en de 4 scenario's in 2030 en 2050

Figuur 12 - Jaarlijkse methaanvraag (aardgas + groengas) en aanbod groengas, per subregio, met opdeling naar sector. Voor huidige situatie, en de 4 scenario's in 2030 en 2050. Tekorten en overschotten op jaarbasis zijn in elke kolom getoond

Figuur 13 - Jaarlijkse waterstofvraag en aanbod[25], per subregio, met opdeling naar sector. Voor huidige situatie, en de 4 scenario's in 2030 en 2050. Tekorten en overschotten op jaarbasis zijn in elke kolom getoond[26]

Figuur 14 - Jaarlijkse energievraag gebouwde omgeving, per subregio, met opdeling naar energiedrager/brandstof. Voor huidige situatie, en de 4 scenario's in 2030 en 2050

[25] Waterstofproductie uit overschotten van elektriciteit van zon en wind is beschouwd als mogelijke oplossing voor knelpunten en daarom niet in de scenario-inputs opgenomen.

[26] Waterstofproductie bij IGES in het Amsterdams havengebied is nog niet in deze cijfers opgenomen.

Figuur 15 - Jaarlijkse energievraag industrie (incl. Schiphol), per subregio, met opdeling naar energiedrager/brandstof. Voor huidige situatie, en de 4 scenario's in 2030 en 2050

Figuur 16 - Jaarlijkse energievraag mobiliteit[27], per subregio, met opdeling naar energiedrager/brandstof. Voor huidige situatie, en de 4 scenario's in 2030 en 2050

[27] Excl. bunkering scheepvaart en luchtvaart.

2.6 Conclusies ontwikkelingen energievraag en -aanbod

2.6.1 Noord-Holland als geheel

Ontwikkeling elektriciteit:
De elektriciteitsvraag verdubbelt of verviervoudigt in de scenario's, van 60 PJ in 2020 naar minimaal 120 en maximaal 220 PJ in 2050. Die groei is niet alleen van traditionele aard (voor licht, motoren, airconditioning en ICT), maar komt ook door de onstuimige toename van bijvoorbeeld elektrisch rijden en warmtepompen.

De elektriciteitsproductie van zonnepanelen en windmolens in Noord-Holland neemt in de scenario's sterk toe van 13 PJ in 2020 naar 55-120 PJ in 2050, met een totaal opgesteld vermogen in 2050 in de scenario's van 5,5 tot 18 GW (Gigawatt). Bekend probleem bij hernieuwbare bronnen is de ongelijktijdigheid van vraag en productie van elektriciteit. Dat leidt tot momenten met grote overschotten (veel zon en wind, weinig vraag) en momenten van grote tekorten (avond of winter, en windstil). De momenten van grote tekorten nemen toe met de voorgenomen sluiting van bestaande elektriciteitscentrales, die immers beter in staat zijn om mee te bewegen met de veranderende vraag. De aard en omvang van het probleem verschillen per subregio en treden zowel op in het laagspanningsnet, het middenspanningsnet, als in het hoogspanningsnet.

Op jaarbasis importeert Noord-Holland nu al meer elektriciteit dan het exporteert en dat zal toenemen naar de toekomst, tenzij andere oplossingsrichtingen worden ingezet. Die transporten lopen via het landelijke hoogspanningsnet (380 kV).

Ontwikkeling andere energienetten:
Ook voor de andere energienetten staan belangrijke ontwikkelingen op stapel. Dat geldt met name voor het uitbouwen van warmtenetten, de geleidelijke overgang van aardgas naar groengas, het realiseren van een waterstofketen (productie, transport en gebruik), duurzamer brandstoffen in de transportsector en de opzet van een CO_2-keten. Die ontwikkelingen brengen flinke opgaves met zich mee. Zij kunnen echter ook bijdragen aan het oplossen van (toekomstige) knelpunten in de elektriciteitsvoorziening, omdat zij via hun netwerk een deel van de energievraag en -aanbod kunnen overnemen en zo het elektriciteitsnet kunnen ontlasten.

Ontwikkeling energievraag per maatschappelijke sector:
De vraag naar energie ontwikkelt zich per sector op eigen wijze:
- De totale energievraag van de gebouwde omgeving van 118 PJ in 2020 naar circa 80-100 PJ in 2050, als gevolg van energiebesparing. Dat is ondanks de groei van het aantal gebouwen door nieuwbouw. De vraag naar aardgas in de gebouwde omgeving neemt sterk af, van 81 PJ in 2020 naar 11-48 PJ in 2050, door besparing en inzet van alternatieven. Daardoor stijgt de elektriciteitsvraag en breiden in stedelijke zones ook warmtenetten uit. In de scenario's Nationaal en Internationaal ontstaat er vanaf 2030 vraag naar waterstof (gas) in de gebouwde omgeving.
- Mobiliteit: Door de forse groei van elektrisch rijden neemt de vraag naar elektriciteit toe (accu's) van circa 1 PJ in 2020 naar 10-18 PJ in 2050, en begint vanaf 2030 ook de vraag naar waterstof toe te nemen (brandstofcel), tot 4-10 PJ in 2050. Op de elektriciteitsvoorziening als geheel valt het effect van elektrisch rijden mee ten opzichte van andere ontwikkelingen, maar lokaal (in straten en wijken) kunnen wel vraagknelpunten optreden. Het totale eindverbruik aan energie vanuit mobiliteit neemt overigens na 2030 af, omdat in elektrische voertuigen geen omzetting meer plaatsvindt van benzine of diesel naar 'kracht'. Dit geldt voor alle scenario's. Bij het zwaar en lang

transport ontstaat een verschuiving van fossiele brandstoffen naar bio- en synthetische brandstoffen, en naar waterstof.

- Industrie: De vier gehanteerde toekomstscenario's geven zeer verschillende uitkomsten voor de industrie voor wat betreft de verschillende energiedragers c.q. brandstoffen. Het staat vast dat de energievraag tot 2050 blijft toenemen, van 44 PJ in 2020 naar circa 110-135 PJ in 2050. Het industriecluster in de IJmond heeft daarin in 2020 een aandeel van 60% en dat aandeel neemt toe naar circa 80% in 2050. De toename in energiegebruik is grotendeels het gevolg van energiegebruik voor 'carbon capture' in de scenario's (waarvoor veel warmte nodig is), en deels groei van de industriesector (waaronder Schiphol). Daarbij neemt ook de vraag naar waterstof substantieel toe, naar 5-60 PJ in 2050, omdat er voor hogetemperatuurprocessen weinig andere duurzame energiedragers voorhanden zijn. Het elektriciteitsgebruik van de industrie neemt toe van 19 PJ in 2020 naar 37-118 PJ in 2050.
- Datacenters: Vooral rond Amsterdam en in het Agriport-gebied groeit het aantal datacenters. De elektriciteitsvraag van de datacenters groeit met een factor 5, naar 32 PJ in 2050. In de Kop van Noord-Holland domineren de datacenters zelfs de ontwikkelingen van de energievraag. Dit geldt voor alle scenario's.

Analyse vraag en aanbod per energiedrager:
Vraag en aanbod ontwikkelt zich tot 2050 voor iedere energiedrager op eigen wijze:

- Elektriciteit: Vraag en aanbod nemen sterk toe, in alle subregio's van Noord-Holland. De vraag groeit van jaarlijks 60 PJ in 2020 naar 120-220 PJ in 2050. Het jaarlijks aanbod van zonne- en windenergie groeit in de scenario's tot 2030 naar 60 PJ en groeit na 2030 in één scenario door tot 120 PJ, als consequentie van de opgave om een klimaatneutrale energievoorziening te hebben in 2050. In alle scenario's blijft Noord-Holland afhankelijk van import op jaarbasis van elektriciteit voor de eigen behoefte.
- Voor de aanlanding van windelektriciteit van zee bij IJmuiden is vooralsnog uitgegaan van een aanbod van 2,1 tot 4,1 GW, afhankelijk van het gekozen scenario. Er is in de scenario's geen rekening gehouden met eventuele extra aanlanding (meer dan 4,1 GW) van windelektriciteit van zee. Eventuele uitbreiding van capaciteit van wind op zee (al dan niet als gevolg van een eventuele uitruil van hernieuwbare productie met 'zon en wind' op land), zal gepaard moeten gaan met versterking van de waterstofproductie-capaciteit bij de aanlanding of op zee, teneinde de bestaande capaciteit te beheersen van het 380kV-knooppunt Beverwijk en achterliggende verbindingen.
- Methaan: De vraag naar aardgas (als bron van methaan) neemt tot 2050 sterk af (van 124 naar 16-46 PJ/j) en zal geleidelijk verschuiven naar groengas. Alleen in het Generiek-scenario blijft de methaanvraag gelijk (door inzet methaan t.b.v. CCS bij industrie IJmond). In de andere scenario's ontstaat dus ruimte in het huidige aardgas-net, die bijvoorbeeld kan worden gebruikt om waterstof te transporteren.
- Waterstof: In alle maatschappelijke sectoren en toekomstscenario's zal de vraag naar waterstof toenemen. De vraag neemt vooral toe ná 2030 en loopt op tot 16-88 PJ in 2050[28]. In aanloop naar 2030 zal de basisinfrastructuur hiervoor gereed moeten worden gemaakt. Als totaal volume blijft de vraag naar waterstof kleiner dan de huidige aardgasvraag (behalve in het toekomstscenario Internationale sturing, waarbij de industrie van IJmond veel waterstof vraagt). Dat betekent dat er ruimte komt in het aardgasnet om waterstof te transporteren.
- Warmte: Ook de vraag naar warmte voor warmtenetten neemt toe, van jaarlijks 5 PJ naar 11-37 PJ in 2050. De vraag ligt vooral in stedelijk gebieden, glastuinbouw en industrie. Warmtebronnen zijn onder andere restwarmte van de industrie, geothermie, biomassacentrales, en lagetemperatuurwarmtebronnen.

[28] De genoemde cijfers zijn exclusief bunkeren door scheepvaart.

2.6.2 Deelgebied Noord-Holland Noord (naast de punten voor geheel NH)

Er is een sterke toename van vraag en aanbod van elektriciteit. De vraagtoename vooral vanwege de groei van datacenters op de Agriport-locatie, en het groeiende aanbod vanuit zon-PV en wind in de regio. De haven van Den Helder is een mogelijk aanlandingspunt van waterstof vanuit verre windparken op zee. Op de locatie zou ook blauwe waterstof geproduceerd kunnen worden, waarbij de vrijkomende CO_2 via bestaande gasnetwerken naar lege aardgasvelden onder de Noordzee zou kunnen worden getransporteerd.

2.6.3 Deelgebied: Noord-Holland Zuid (stedelijke omgeving) (naast de punten voor geheel NH)

Er is een sterke toename van vraag en aanbod van elektriciteit, met een diverse mix van oorzaken aan de vraagzijde (o.a. datacenters, gebouwde omgeving, mobiliteit, Schiphol), en op alle lagen van het elektriciteitsnetwerk.

2.6.4 Deelgebied: Industriegebied NZKG (inclusief industrie langs de Zaan) (naast de punten voor geheel NH)

De verschillende energiedeelsystemen zullen in dit gebied sterk verknoopt raken.
De elektriciteitsvraag in het gebied neemt toe. Om de industrie in het gebied klimaat-neutraal te kunnen laten worden is er bovendien behoefte aan waterstof, al vóór 2030. Ook (diepe) geothermie is een mogelijke oplossing voor een klimaatneutrale industriële warmte- en stoomvraag. Waterstof en CO_2 zijn ook benodigd voor ontwikkeling van CCU-industrie in het gebied. De precieze omvang van de behoeftes is overigens sterk afhankelijk van de keuzes die Tata Steel maakt, vooral voor de periode na 2030.

Door de klimaattafel Industrie NZKG is het programma “Industrie Noordzeekanaalgebied: “Vliegwiel voor een duurzame toekomst” ontwikkeld (Industrietafel NZKG, 2018). Door Port of Amsterdam is het programma “Strategic plan – realization of a hydrogen cluster around the Port of Amsterdam” ontwikkeld (Port of Amsterdam, 2018). De inzichten en projecten van beide programma’s zijn gebruikt in deze systeem studie. Het havengebied Amsterdam is ook onderdeel in de detailstudie elektriciteit die Liander en gemeente Amsterdam recent hebben uitgevoerd (Gemeente Amsterdam & Liander, 2019).

Voor deze ‘systeemstudie energie-infrastructuur’ is uit die plannen en studies ten eerste belangrijk dat het NZKG een waterstofhub wil worden, en behoefte heeft aan een water-stofnetwerk in het gebied, dat verbonden wordt met de beoogde landelijke waterstof-backbone. De bevindingen uit de scenario-analyses bevestigen dat er vraag naar waterstof komt. Ten tweede dat er behoefte is aan een CO_2-netwerk in het gebied, waarbij die behoefte deels samengaat met de behoefte aan waterstof, voor de ontwikkeling van CCU-industrie. Ten derde de groeiende vraag naar elektriciteit in het gebied die uitstijgt boven de huidige capaciteit van het netwerk.

3 Effecten op de infrastructuren

3.1 Introductie

Dit hoofdstuk beschrijft de effecten op de energie-infrastructuren, als gevolg van de ontwikkelingen in energievraag en -aanbod zoals die in het vorige hoofdstuk zijn beschreven. We maken daarbij achtereenvolgens onderscheid tussen het elektriciteitsnet, het methaannet (aardgas, later groengas), waterstofnet, warmtenetten (en stoomnet), en het CO_2-net.

De meeste aandacht in dit hoofdstuk gaat uit naar de effecten op de elektriciteits-infrastructuur. De reden daarvoor is dat in dat netwerk de grote knelpunten ontstaan, als gevolg van alle ontwikkelingen zoals beschreven in Paragraaf 2.3.1.

Voor de knelpunten in de elektriciteitsnetten kunnen oplossingen worden gezocht *binnen* het elektriciteitssysteem, maar ook daarbuiten. Oplossingen buiten het elektriciteits-systeem zijn bijvoorbeeld de inzet van 'moleculen' (zoals lokale productie van elektriciteit vanuit methaan of waterstof, en omzetting van elektriciteit naar waterstof) en van warmte (voor conversie van overschotten van elektriciteit, maar ook als alternatief voor elektrici-teitsvraag). Dit soort integrale oplossingen tussen de verschillende netwerksystemen komt aan bod in Hoofdstuk 4.

Effecten op infrastructuren van elektriciteit en gas zijn bepaald op basis van capaciteits-berekeningen door de netbeheerders. De energievraag en -aanbod die in het vorige hoofd-stuk zijn beschreven zijn daartoe uitgesplitst naar zogenaamde 'profielen', waarin op elk uur in een jaar de capaciteitsvraag is bepaald. In deze studie zijn de infrastructuren door de netbeheerders volledig doorgerekend. Dat heeft zeer grote hoeveelheden data op-geleverd. Die detailinformatie en -inzichten zijn belangrijk voor de RESsen en kunnen door de netbeheerders worden ingebracht bij de totstandkoming van de RESsen, zodat optimaal gebruik kan worden gemaakt van de resultaten en inzichten uit deze studie. Uitkomsten van de analyses zijn opgenomen in Bijlage S, op hoofdlijnen, vanwege de omvang van de informatie. De complete lijst knelpuntmeldingen is opgenomen in Bijlage T.

Jaarvolume (PJ/jaar) versus capaciteit (MW)
In Hoofdstuk 2 zijn steeds platen getoond met energievraag en -aanbod uitgedrukt in PJ per jaar. Waar het bij de energie-infrastructuren echter om gaat is de benodigde **netwerkcapaciteit** die nodig is om in die energie-vraag en -aanbod te voorzien. Capaciteit van een knooppunt of verbinding wordt uitgedrukt in Watt of veel-vouden daarvan (kW, MW, GW).

Dit laat zich het best illustreren met een (fictief) voorbeeld. Stel als dat in een gebied een zon-PV-centrale staat met een piekvermogen van 100 kW, die jaarlijks in de zomer 100.000 kWh produceert. Stel verder dat in hetzelfde gebied enkele gebouwen staan die in de winter verwarmd worden met elektrische kachels, met een totaal jaarverbruik van eveneens 100.000 kWh en een gezamenlijke piekvraag van 150 kW, en stel verder dat de gebouwen verder geen elektriciteit gebruiken.

Op jaarbasis lijkt het dan ten eerste net alsof deze jaarvolumes tegen elkaar wegvallen. In de praktijk moet er echter in dit voorbeeld in de zomerperiode 100.000 kWh elektriciteit worden afgevoerd naar elders, en in de winterperiode worden toegevoerd naar het gebied. Ten tweede blijkt uit dit voorbeeld dat de infrastructuur een piekvermogen van 150 kW aan moet kunnen. In de zomer moet tot 100 kW worden afgevoerd naar 'elders',

waar wel een vraag is naar de geproduceerde elektriciteit. In de winter moet tot 150 kW worden aangevoerd van een ander 'elders' waar productievermogen staat opgeteld dat op dat piekmoment kan leveren. Waar dat 'elders' zich precies bevindt, is afhankelijk van hoe het netwerk precies is uitgelegd (de netwerkconfiguratie). Die configuratie bepaalt de paden waarlangs de energie kan worden aangevoerd en afgevoerd.

Aan het eind van dit hoofdstuk worden de resultaten van de analyses eerst geduid voor wat betreft de effecten voor Noord-Holland als geheel. Vervolgens wordt ingegaan op de drie gebieden die qua energiesysteem en ontwikkeling daarvan elk een geheel eigen karakter hebben: NH-Noord, NH-Zuid, en het industriegebied NZKG.

3.1.1 Terminologie

Bij het beschrijven van de effecten maken we onderscheid tussen 'knelpunten' en 'opgaven'. Als het gaat om een probleem of beperking in de *bestaande* energie-infrastructuur spreekt deze studie van een knelpunt. Het gaat dan bijvoorbeeld om een transformator in het elektriciteitsnet die overbelast gaat raken als gevolg van te hoge vraag in het net. Als er niet vooraf maatregelen worden getroffen valt het net uit (storing).
Als het gaat om de gewenste oplossingen in de *nieuwe* energie-infrastructuur dan wordt gesproken van een opgave. Knelpunten en opgaven liggen in elkaars verlengde. Ter illustratie: een capaciteitsprobleem in het elektriciteitsnet (een knelpunt) kan mogelijk worden opgelost door een deel van het aardgasnet te bestemmen voor waterstoftransport (opgave).

Bij mogelijke oplossingen kunnen er 'belemmeringen' zijn om die oplossing te realiseren. Bijvoorbeeld een ruimtelijke of juridische beperking.

De gehanteerde terminologie en de samenhang tussen termen is weergegeven in Figuur 17.

Figuur 17 – Terminologie en samenhang: oorzaken, knelpunt, opgave, oplossing, belemmering bij een oplossing

3.1.2 Mogelijke oorzaken van knelpunten en opgaven

Zoals schematisch weergegeven in Figuur 17 hebben knelpunten (en opgaven) een oorzaak. De mogelijke oorzaken zijn:

Vraagknelpunt (door toename van de vraag). De totale vraag op een bepaald moment ('piekmoment') overstijgt dan de maximaal mogelijke capaciteit van een knooppunt of verbinding in de infrastructuur. De totale vraag is de optelsom van de vraag van de verschillende vraagsectoren, minus het aanbod in hetzelfde gebied (uit bijvoorbeeld 'zon en wind'). Vraagknelpunten treden op op momenten met hoge vraag en laag aanbod. Dit kan op alle niveaus van het netwerk optreden. Het kan zijn dat op een bepaald piekmoment één specifieke sector dominant is in de piek, maar op een ander piekmoment een andere sector. Het 'tekort' moet van elders worden aangevoerd en kan daarmee ook op bovenliggende netniveaus tot knelpunten leiden.

Aanbodknelpunt (door toename van het aanbod). Het totale aanbod op een piekmoment overstijgt de maximale capaciteit van een specifiek knooppunt of verbinding. Het totale aanbod is de optelsom van het aanbod van de verschillende bronnen, minus de vraag vanuit de verschillende sectoren. Dit betreft momenten met lage vraag en hoog aanbod.
Dit kan op alle niveaus van het netwerk optreden. Het 'overschot' moet naar elders worden afgevoerd en kan daarmee ook op bovenliggende netniveaus tot capaciteitsknelpunten leiden.

Zowel vraagknelpunt als aanbodknelpunt. Het kan zijn dat er bij een bepaald knooppunt of verbinding piekmomenten zijn waarop er een vraagknelpunt is, en er op andere piekmomenten een aanbodknelpunt is.

Sluiting van bestaande productie-eenheden. Voor het elektriciteitsnet is nog relevant dat bestaande productie-eenheden (Velsen, Hemweg-8) sluiten, waardoor elektriciteit van elders moet worden aangevoerd.

Netwerk en/of keten bestaat nog niet ('opgave'). Typerend voor wat we in deze studie 'opgaven' hebben genoemd is dat het netwerk en/of de keten (van productie – transport - vraag) nog niet bestaat. Voorbeelden zijn: een warmtenet of stoomnet in een gebied, een waterstofnet, of een CO_2-net. Hier kan sprake zijn van een klassieke kip-ei-situatie: omdat er nog geen vraag is komen productie en netwerk niet tot stand, en vice versa.

3.2 Effecten op elektriciteitsnet

3.2.1 Introductie

Zoals uit de grote toename van zowel vraag als aanbod (zie Paragraaf 2.3.1) te verwachten was, is het elektriciteitsnetwerk het netwerk dat op grote schaal knelpunten vertoont in de scenariodoorrekeningen door de netbeheerders. De jaarvraag verdubbelt tot verviervoudigt, het aanbod uit 'zon en wind' groeit zelfs met een factor 5 tot 9, als gevolg van klimaatdoelstellingen.

Daarbij horen twee belangrijke kanttekeningen. De eerste is dat bij die doorrekeningen is uitgegaan van het huidige netwerk plus reeds geplande investeringen. De praktijk is uiteraard dat het netwerk in 2030 of 2050 niet meer hetzelfde zal zijn als het huidige.
Een knelpunt zoals dat nu uit de doorrekeningen blijkt moet dan ook worden beschouwd als indicatie dat actie nodig is om dat knelpunt te voorkomen. De tweede is dat het gaat om

toekomstscenario's die zijn doorgerekend. Een knelpunt betekent dus nadrukkelijk niet dat er geen netwerkcapaciteit meer beschikbaar is, maar dat er een knelpunt zal gaan ontstaan als alle geprognosticeerde vraag en aanbod wordt gerealiseerd en daar niet tijdig op wordt geanticipeerd.

NB: In dit hoofdstuk worden namen van specifieke stations en verbindingen genoemd.
De locaties daarvan zijn terug te vinden op de netwerkkaarten in Bijlage C.2.

Relatie tussen deze systeemstudie en de meer gedetailleerde Themastudie Elektriciteit Amsterdam (TSA)
Liander en gemeente Amsterdam hebben de Themastudie Elektriciteit verricht (TSA). De studie toont aan dat het huidige elektriciteitsnetwerk op Amsterdams grondgebied niet gedimensioneerd is voor de toekomst. Daarom werken Liander en gemeente, op basis van de studie, de komende jaren intensief samen aan het toekomstbestendig maken van dit netwerk. Dit doen zij door (1) ruimte te vinden voor uitbreiding, (2) het onderzoeken en toepassen van innovatieve oplossingen om de impact op en van het netwerk te reduceren, en (3) ambities en opgaven integraal te plannen. Daarnaast wordt de themastudie op regelmatige basis van een update voorzien op basis van nieuwe inzichten en ontwikkelingen.
In de themastudie zijn specifiek voor de stad Amsterdam ontwikkelingen op elektriciteitsvraag en -/aanbod in meer detail onderzocht. Verschillen in uitkomsten met de systeemstudie lijken vooral te ontstaan doordat de input voor scenario's op met name datacenters en mobiliteit van elkaar afwijken. De themastudie bevat voor de Amsterdamse situatie meer gedetailleerde informatie over het elektriciteitssysteem. Voor specifieke acties in het Amsterdamse elektranet is de themastudie daarom leidend en wordt deze gebruikt als belangrijke input voor de RES in Amsterdam.
Systeemstudie en themastudie zijn complementair omdat de systeemstudie meer inzicht geeft in andere energiesystemen (o.a. de moleculenroute). Deze energiesystemen zijn oplossingsrichtingen voor knelpunten in het elektriciteitsnetwerk. Daarnaast beschouwt de systeemstudie ook (HS-) verbindingen en wordt de energievraag van Amsterdam in de regionale context beschouwd.
Verschillen tussen beide studies zijn benoemd in voetnoten, zie bijvoorbeeld bij Tabel 8.

3.2.2 Overzicht knelpunten elektriciteitsnet (2020, 2030 en in 2050)

Aantallen en percentages:
In 2020 vertoont 37% (7 van de 19) van de huidige 150 kV-stations reeds een knelpunt.
De oorzaken van de knelpunten verschillen van station tot station. In de zes van die zeven gevallen is er in 2020 een vraagknelpunt, waarbij er in de verdere toekomst ook aanbod-knelpunten ontstaan. Een uitzondering vormt station Westwoud (Noord-Holland Noord) waar in 2020 al een aanbodknelpunt ontstaat.

In Tabel 6 en Tabel 7 staan cijfers opgenomen van de stations die respectievelijk in 2030 en 2050 knelpunten vertonen. Uit de tabellen blijkt dat de aantallen knelpunten toenemen in de tijd, in alle spanningsniveaus van het netwerk.

Tabel 6 - Huidige stations die in de scenario's in 2030 een capaciteitsknelpunt vertonen

Soort station	Regionaal 2030	Nationaal 2030	Internationaal 2030	Generiek 2030
Huidige 150 kV-stations met knelpunt	14 van de 19 stations (dus 75%) hebben een knelpunt, in **alle** scenario's 12 van die 14 stations vertonen een aanbodknelpunt, in **alle** scenario's			
Onderverdeelinstallaties met knelpunt (totaal aantal is ca. 200)	Circa 30% In alle scenario's			
Middenspanningsruimtes met knelpunt (totaal aantal is ca. 11.500)	50%			40%

Tabel 7 - Huidige stations die in de scenario's in 2050 een capaciteitsknelpunt vertonen

Soort station	Regionaal 2050	Nationaal 2050	Internationalal **2050**	Generiek 2050
Huidige 150 kV-stations met vraagknelpunt	16 stuks (84%)			
Huidige 150 kV-stations met aanbodknelpunt	18 stuks (95%)	14 stuks (74%)	9 stuks (47%)	10 stuks (53%)
Onderverdeelinstallaties met knelpunt (totaal aantal is ca. 200)	50%	45%	40%	35%
Middenspanningsruimtes met knelpunt (totaal aantal is ca. 11.500)	80%	65%	65%	60%

De negen huidige 150 kV-stations met een aanbodknelpunt in 2050 in scenario 'Internationaal' hebben óók aanbodknelpunten in de andere scenario's. Het treffen van maatregelen bij die stations is daarmee een 'no regret'-optie, want het optreden van knelpunten in die stations is niet scenario-afhankelijk. Die stations zijn weergegeven in Figuur 18. Wat in Figuur 18 onder andere opvalt is het cluster van 150 kV-stations met aanbodknelpunten in het gebied NH-Noord. Met de opmerking daarbij dat daar aan TenneT-zijde van de stations ook *vraag*knelpunten optreden, doordat de grote datacenters op de Agriport-locatie rechtstreeks op TenneT-net aansluiten. Er is bij die stations dus sprake van zowel een aanbod- als een vraagknelpunt.

Liander heeft ook de 'onderverdeelinstallaties' geteld die in 2030 een capaciteitsknelpunt hebben. De aantallen per subregio staan in Figuur 18. De installaties in scenario 'Generiek' (het scenario met de minste knelpunten) hebben óók een knelpunt in de andere scenario's. In totaal zijn er circa 200 onderverdeelinstallaties.

Figuur 18 – Huidige 150 kV-stations die in alle scenario's in 2050 een aanbodknelpunt hebben

Per 150 kV-station:
In Tabel 8 zijn de knelpunten bij de huidige 150 kV-stations bij elkaar gezet. De tabel bevat zowel knelpunten aan de Liander-zijde als aan de TenneT-zijde van de 150 kV-stations.
De volgende zaken vallen op:

- Veertien van de negentien stations vertonen een knelpunt in 2030, in alle scenario's. Dat betekent ook dat 'sturen naar een andere hoek van het speelveld' geen soelaas biedt.
- In 2050 vertoont vrijwel alle stations knelpunten. Met uitzondering van station Zorgvlied (dat alleen een knelpunt vertoont in scenario 'Regionale sturing') treden die knelpunten in 2050 op in alle scenario's.
- Enkele uitzonderingen daargelaten kunnen de knelpunten niet aan de Liander-zijde van de 150 kV-stations worden opgelost (zoals aangeduid met de oranje velden in Tabel 8).

Tabel 8 - Overzichtstabel capaciteitsknelpunten bij de 19 huidige 150 kV-stations, grofweg gesorteerd van noord naar zuid, uit de combinatie van de doorrekeningen door TenneT en Liander[29,30]

Stationsnaam	2020	Reg. 2030	Nat. 2030	Int. 2030	Gen. 2030	Reg. 2050	Nat. 2050	Int. 2050	Gen. 2050
Anna Paulowna									
Oterleek									
Westwoud									
Wijdewormer									
Velsen									
Hemweg									
Noord Papaverweg[31]									
Venserweg									
Hoogte Kadijk									
Waarderpolder									
Vijfhuizen									
Watergraafsmeer[32]									
Zorgvlied									
s Graveland									
Bijlmer Zuid[33]									
Bijlmer Noord[34]									
Amstelveen									
Nieuwe Meer[35]									
Haarlemmermeer									

Groen betekent 'geen knelpunt'; rood betekent een knelpunt; oranje betekent een knelpunt dat aan de Liander-zijde van het station ontstaat en binnen de fysieke ruimte van het station opgelost kan worden.

Niet in de tabel opgenomen (want geen huidig station) is het geplande station 'A4-zone', waar het in de praktijk moeilijk blijkt om geschikte fysieke ruimte te vinden.

Per verbinding (150 kV of 380 kV):
De knelpunten in de stations in Noord-Holland Noord leiden ook tot knelpunten in de verbindingen tussen het noordelijk en zuidelijk deel van de provincie die moeten zorgen voor de aan- en/of afvoer van de elektriciteit naar en van Noord-Holland Noord.

[29] De nieuwe 150 kV-stations Middenmeer (net in gebruik) en De Weel (in aanbouw) zijn niet opgenomen in deze tabel. Die zijn ook niet gemeld als knelpunt in de doorrekeningen. Hetzelfde (i.e. geen capaciteitsknelpunt bij het station in de doorrekening) geldt voor de twee 150 kV-klantstations van TenneT in Noord-Holland (Agriport en Boekelermeer Zuid) en voor het TenneT-station Noord-Klaprozenweg.

[30] Er is in deze systeemstudie geen capaciteitsknelpunt op het 380 kV-station Beverwijk geconstateerd. Dat kan wel optreden als er veel meer wind op zee wordt aangeland. In scenario 'Nationaal' is gerekend met 4,1 GW aanlanding wind op zee, waarbij knelpunten ontstaan op de 380 kV-verbindingen Beverwijk–Oostzaan en Oostzaan–Diemen.

[31] In de TSA-studie treedt al eerder (vanaf 2025) een knelpunt op voor Noord Papaverweg.

[32] In de TSA is Watergraafsmeer op korte termijn al een knelpunt door de groei van datacenters in die regio (in deze tabel is rekening gehouden met een lopende uitbreidingsinvestering).

[33] In de TSA wordt een ander beeld gepresenteerd voor Bijlmer Zuid. Vanaf 2030 treedt in die detailstudie een knelpunt op met name door mobiliteit en nieuwbouw.

[34] In de TSA treedt al eerder (vanaf 2025) een knelpunt op voor Bijlmer Noord door de groei van datacenters in die regio (in deze tabel is rekening gehouden met een lopende uitbreidingsinvestering).

[35] In de TSA is Nieuwe Meer nu al een rood knelpunt. Daarin is de geplande uitbreiding op het station nog niet meegenomen, in deze systeemstudie wel.

De elektriciteit moet immers ergens naartoe gaan of vandaan komen.
Het betreft de verbindingen:
- Middenmeer-Westwoud;
- De Weel-Oterleek;
- Oterleek-Westwoud;
- Beverwijk-Oterleek;
- Oterleek-Wijdewormer;
- Wijdewormer-Diemen.

In Figuur 19 is schetsmatig weergegeven dat alle 150 kV-verbindingen van en naar Noord-Holland Noord knelpunten gaan vertonen.

Figuur 19 – Verbindingsknelpunten van en naar Noord-Holland Noord in de 150 kV-verbindingen

In Tabel 9 staan alle achttien TenneT-verbindingen die een knelpunt gaan vertonen[36], waarvan zestien 150 kV-verbindingen en twee 380 kV-verbindingen.

[36] Het totaal aantal 150 kV-verbindingen in Noord-Holland bedraagt 35 stuks, inclusief die van en naar de beide nieuwe 150 kV-stations en naar de beide TenneT-klantstations.

In de andere delen van de provincie is het beeld qua verbindingsknelpunten genuanceerder dan in NH-Noord. Enkele uitzonderingen daargelaten (zoals de verbinding Diemen-'s Graveland als gevolg van het stationsknelpunt bij station 's Graveland in 2030) treden de verbindingsknelpunten die optreden in de andere delen van de provincie dan NH-Noord vooral op richting 2050, en daarbij ook niet in alle scenario's. Zie Tabel 9. Dat maakt het mogelijk om met beleid te sturen naar de andere hoeken van het speelveld, zodat knelpunten niet gaan optreden.

In Tabel 9 is een visuele kleurcodering toegepast, zodat makkelijk overzicht verkregen kan worden. De relatieve grootte van de optredende knelpunten in de verbindingen naar Noord-Holland Noord valt daardoor meer op. Ook valt op dat in 2050 het scenario 'Regionaal' tot zware knelpunten leidt, in vooral de landelijke gebieden van de provincie.

Tabel 9 - Overzichtstabel capaciteitsknelpunten bij de TenneT-verbindingen in Noord-Holland, grofweg gesorteerd van naar noord naar zuid, en naar spanningsniveau

Verbinding	Capaciteit (MVA) ("MW")	Spanning (kV)	2020	Reg. 2030	Nat. 2030	Int. 2030	Gen. 2030	Reg. 2050	Nat. 2050	Int. 2050	Gen. 2050
Anna Paulowna-De Weel	480	150	0%	36%	35%	20%	31%	26%	26%	32%	35%
Anna Paulowna-Middenmeer	300	150	0%	75%	75%	87%	75%	70%	79%	69%	68%
Middenmeer-Westwoud	300	150	0%	246%	246%	231%	246%	240%	240%	244%	245%
De Weel-Oterleek	780	150	0%	149%	103%	86%	100%	95%	95%	100%	103%
Oterleek-Westwoud	730	150	13%	45%	43%	38%	38%	36%	36%	41%	42%
Beverwijk-Oterleek	1.180	150	0%	30%	27%	21%	16%	14%	20%	13%	27%
Oterleek-Wijdewormer	720	150	1%	21%	21%	17%	22%	126%	16%	38%	22%
Wijdewormer-Diemen	720	150	18%	56%	54%	47%	43%	149%	41%	67%	52%
Velsen-Beverwijk	1.500	150	0%	0%	0%	0%	0%	124%	0%	21%	0%
Amstelveen-Bijlmer Zuid	132	150	270%	228%	209%	221%	121%	260%	266%	377%	397%
Diemen-Bijlmer Noord	500	150	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	39%	42%
Venserweg-Bijlmer Zuid	280	150	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	44%	50%
Diemen-Watergraafsmee	250	150	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	44%	47%
Diemen-Venserweg	480	150	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	17%
Diemen-'s Graveland	480	150	0%	26%	18%	15%	0%	87%	0%	10%	14%
Amstelveen-Venserweg	250	150	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	54%	60%
Beverwijk-Oostzaan	3.800	380	0%	0%	0%	0%	0%	2%	7%	0%	0%
Oostzaan-Diemen	3.800	380	0%	0%	0%	0%	0%	4%	9%	0%	0%

Alleen de verbindingen met een knelpunt zijn opgenomen in de tabel. Zie de TenneT-netkaart (Figuur 27) voor álle verbindingen. Als een verbinding in een scenario geen knelpunt heeft is de cel groen gekleurd. Verbindingen met capaciteitsoverschrijding tot en met 50% zijn oranje gekleurd, overschrijding met >50% is rood gekleurd. De keuze voor kleurcodering bij 50% heeft geen speciale betekenis, maar maakt een visueel overzicht mogelijk van de mate van overschrijding.

De knelpunten in het bestaande (plus reeds door TenneT geplande) elektriciteitsnetwerk zijn op kaart getoond in Figuur 20, inclusief de voorzieningsgebieden aan Liander-zijde van de 150 kV-stations.

Figuur 20 – Knelpuntenkaart elektriciteitsnetwerk, in stations en in TenneT-verbindingen, met daarbij de voorzieningsgebieden van de 150 kV-stations gemarkeerd

Zie de legenda: des te feller de kleur, des te eerder in tijd treedt het knelpunt op (rood= 2020, oranje= 2030, geel=2050). Stations met een knelpunt én een uitbreidingsbelemmering zijn extra gemarkeerd. NB: Aan deze informatie kunnen geen rechten worden ontleend. Liander en TenneT geven met het delen van deze informatie geen advies, maar een zo goed mogelijke duiding vanuit de beschikbare informatie.

3.2.3 Import en export van elektriciteit

Een relevante vraag is hoe het Noord-Hollandse elektriciteitssysteem zich verhoudt tot het omliggend gebied. Uit de analyses blijkt in 2020 een totale vraag van 59,5 PJ en een aanbod uit 'zon en wind' van 12,9 PJ. Het saldo tussen vraag en aanbod uit 'zon en wind' bedraagt 46,4 PJ/jaar, dat deels wordt ingevuld met de elektriciteitsproductiecentrales in de provincie[37].

Voor de elektriciteitsnetwerken is echter niet het jaarvolume relevant, maar de verdeling van dat jaarvolume over de tijd. Om zo'n verdeling over de tijd te kunnen analyseren is het gebruikelijk om alle momenten te sorteren van hoge naar lage vraag, in een zogenoemde jaarbelastingduurkromme.

Jaarbelastingduurkromme
Vraag en aanbod van energievraag en -aanbod variëren in de tijd. Een figuur van vraag en aanbod met een verdeling over de tijd is daardoor moeilijk te analyseren als het er om gaat om antwoord te krijgen op de vraag hoeveel tijd een bepaald vermogen wordt gevraagd of aangeboden. Voor dergelijke vragen worden de patronen van vraag (en aanbod) gesorteerd naar grootte van het gevraagde vermogen, en weergegeven in een zogenoemde jaarbelastingduurkromme. Zo ontstaat een curve met vermogen op de verticale as, en de 8760 uren van het jaar op de horizontale as. Gangbare begrippen zijn pieklast en basislast. Vraag en aanbod, alsook het verschil daartussen op elk moment van het jaar, kunnen in dezelfde figuur worden getoond, waarbij echter wel in het achterhoofd moet worden gehouden dat de pieken van de verschillende curves op verschillende tijdstippen in het jaar optreden.

In de jaarbelastingduurkrommes in Figuur 21 valt af te lezen dat de totale vermogensvraag in 2020 Noord-Holland een maximum heeft van 2,7 GW. Het aanbod van 'zon en wind' in 2020 heeft een maximum van 1,3 GW. Het huidig opgestelde vermogen aan elektriciteits-centrales in Noord-Holland in 2020 bedraagt 2,9 GW[38]. Uit het feit dat het opgesteld vermogen groter is dan de vraagpiek mag echter niet worden geconcludeerd dat er geen sprake is van import of export van elektriciteit via het 380 kV-netwerk, omdat de centrales worden ingezet op basis van de marktsituatie.

In 2050 is de situatie veranderd. De verandering is het meest in het oog springend in scenario 'Regionaal', zoals getoond in de jaarbelastingduurkromme in Figuur 22. De totale vraag naar elektriciteit is in dat scenario bijna verviervoudigd, naar 217 PJ/jaar, en het aanbod uit 'zon en wind' is zelfs vernegenvoudigd, naar 120 PJ/jaar. Het saldo tussen vraag en aanbod uit 'zon en wind' is bijna verdubbeld naar 97 PJ/jaar. Het aanbod uit 'zon en wind' vertoont in dat scenario een piek tot 18 GW, en de vraagpiek is gestegen tot 9 GW. Daarnaast is in de tussenliggende periode de kolengestookte Hemweg-8-centrale gesloten, alsook de Velsencentrales. De resterende productiecapaciteit van gasgestookte centrales in 2050 bedraagt 1,1 GW.

Uit Figuur 22 blijkt dat Noord-Holland in 2050 in dat scenario het grootste deel van het jaar netto importeur is; gedurende een klein deel van het jaar wordt er geëxporteerd, tot een vermogen van 10 GW. Uit de scenarioanalyses blijkt dat die export voor een belangrijk deel in Noord-Holland Noord ontstaat. In de andere drie scenario's zijn deze effecten ook zichtbaar maar minder uitgesproken.

[37] De precieze inzet van die centrales wordt bepaald door de marktvraag op elk moment en door de kosten van de inzet van elke centrale. In de netberekeningen door TenneT is de inzet van die centrales gemodelleerd en meegenomen in de knelpuntbepalingen.
[38] Hierbij is de kolengestookte Hemweg-8-centrale meegeteld (0,6 GW).

Uit de knelpuntanalyses door de netbeheerders, zoals onder andere getoond in Tabel 9, blijkt verder dat de grote hoeveelheden opgesteld vermogen aan 'zon en wind' in de scenario's (en met name in scenario Regionaal) slechts leiden tot relatief lichte capaciteits-overschrijdingen in de 380 kV-verbindingen. Een toename van de aanlanding van wind op zee, naar 4,1 GW in scenario Nationaal, doet de knelpunten in de 380 kV-verbindingen wel in omvang toenemen. Variantanalyses van TenneT laten zien dat een eventuele verdere stijging dan 4,1 GW van het aan te landen vermogen aan wind op zee in de vorm van elektriciteit in IJmuiden leiden tot verdere groei van de knelpunten in het 380 kV-net. Eventuele uitbreiding van capaciteit van wind op zee (al dan niet als gevolg van een eventuele uitruil van hernieuwbare productie met 'zon en wind' op land), zal gepaard moeten gaan met versterking van de waterstofproductiecapaciteit bij de aanlanding of op zee, teneinde de bestaande capaciteit te beheersen van het 380 kV-knooppunt Beverwijk en achterliggende verbindingen.

Figuur 21 – Jaarbelastingduurkrommes elektriciteit van Noord-Holland als geheel, in 2020. De verticale as is gelijk gehouden aan die van Figuur 22

Figuur 22 – Jaarbelastingduurkromme elektriciteit van NH als geheel, in 2050 in scenario 'Regionaal' (het scenario dat de grootste effecten op het elektriciteitsnetwerk oplevert). Bij de curve van netto-vraag betekenen negatieve waarden een overschot

3.3 Effecten op methaannetten (aardgas en groengas)

Uit de scenarioanalyses blijkt dat het belang van de rol van methaan (aardgas & groengas) verschuift in alle scenario's. Er zal een geleidelijke verschuiving plaatsvinden van aardgas naar groengas, tussen nu en 2050. In drie van de vier scenario's neemt de vraag naar methaan af, van 124 PJ in 2020 naar 16-46 PJ in 2050. De afname is zichtbaar in alle subregio's. De enige uitzondering vormt het scenario Generiek, waar de methaanvraag gelijkt blijft, door een grootschalige inzet van methaan ten behoeve van 'carbon capture' in industriecluster IJmond. Via de landelijke en regionale gastransport- en distributienetten (incl. gasopslag) wordt vraag en aanbod met elkaar in evenwicht gehouden.

De analyses van de ontwikkeling van de gasvraag laten zien dat er een omvangrijke opgave ligt om het aardgassysteem te verduurzamen naar groengas, en om het gehele 'gassysteem' geschikt te maken voor waterstoftransport en -distributie. Uit de doorrekeningen door Liander en Gasunie van de scenario's blijkt ook dat in het gasnet geen knelpunten optreden. Dit was te verwachten, vanwege de afname van de methaanvraag. Wel zouden er mogelijk in bepaalde gebieden knelpunten kunnen ontstaan bij de invoeding van groengas vanuit vergisters op de regionale gasnetten, op momenten dat er weinig gasvraag is in de zomer. De doorrekeningen laten echter zien dat dat echter in de praktijk goed valt op te lossen, met bijvoorbeeld een zogenoemde booster (waarmee groengas in het Gasunie-netwerk wordt gebufferd) of eventueel met een aansluiting op een hoger drukniveau, en het leidt niet tot knelpunten. De grootschalige vergassers sluiten rechtstreeks aan op het hogedruk-transportnet, de capaciteit van dat transportnet is zodanig dat dat niet leidt tot knelpunten.

De vrijkomende capaciteit in het huidige aardgastransportnet kan worden benut om een deel van de buizen van die verbindingen geschikt te maken voor waterstofstransport, zodat een landelijke 'waterstofbackbone' kan worden gerealiseerd.

Daarnaast kan de capaciteit van de gasnetten worden benut om lokale vraaggestuurde elektriciteitsproductie met methaan (of waterstof) als brandstof te realiseren, die in de scenario's als mogelijke oplossing van knelpunten is ingezet en niet als vaste waarde in de scenario's is opgenomen.

3.4 Effecten op waterstofnetwerk

In alle scenario's en in alle subregio's stijgt de vraag naar waterstof, vooral ná 2030, tot een totale vraag van 16-88 PJ in 2050. In de aanloop naar 2030 zal de basisinfrastructuur hiervoor gereed moeten worden gemaakt. Veruit de grootste vraag ontstaat in de industrie, vooral in de IJmond[39] en daarnaast in de Zaanstreek en in het havengebied Amsterdam. In de genoemde drie gebieden is er ook al enige industriële vraag naar waterstof ontstaan in 2030, van in totaal circa 3 PJ. De vraag naar waterstof vanuit mobiliteit en vanuit de gebouwde omgeving ontstaat vooral ná 2030. De productie van de beoogde 100 MW elektrolyser in de IJmond bedraagt ruim 2 PJ in 2030.

Eventuele waterstofproductie uit momentane overschotten van elektriciteit uit 'zon en wind' is in de scenario's als mogelijke oplossing van knelpunten beschouwd, en niet als vaste waarde in de scenario's opgenomen. Hetzelfde geldt voor de eventuele inzet van waterstof als brandstof voor lokale vraaggestuurde elektriciteitsproductie.

Hoewel er dus in alle scenario's sprake is van waterstofvraag, is er op dit moment nog geen waterstofnetwerk in Noord-Holland. In het geval van bevoorrading van tankstations (voor mobiliteit) kan dat in principe plaatsvinden per tankauto. Voor de scheepvaart zullen in de haven nieuwe bunkerfaciliteiten moeten worden ontwikkeld. Om in de toekomstige waterstofvraag in de industrie en uiteindelijk in de gebouwde omgeving (bijvoorbeeld voor piekketels in stadswarmtenetten) te kunnen voorzien zal een basisinfrastructuur nodig zijn die met de benodigde betrouwbaarheid in een volcontinue levering kan voorzien[40]. Gasunie heeft daartoe in het proces van het Klimaatakkoord voorgesteld een landelijke waterstof-backbone te realiseren, gebruikmakend van de vrijkomende capaciteit in het landelijke aardgastransportnetwerk. Die backbone zal ook door Noord-Holland lopen, zie Figuur 23. De backbone kan een aftak naar Den Helder krijgen om eventuele aanlanding van wind-energie op zee in de vorm van waterstof te faciliteren, en/of productie van 'blauwe waterstof' uit aardgas+CCS. Volgens Gasunie kan de backbone al vóór 2030 gerealiseerd worden. Na 2030 wordt verwacht dat er ook grootschalige import van waterstof per tanker over zee op gang kan komen, die vervolgens in de haven kan invoeden op de landelijke backbone.

Voor de realisatie van de genoemde landelijke 'waterstofbackbone' is het mogelijk om enkele buizen in de huidige aardgastransportverbindingen te separeren van aardgas naar waterstof, zodat huidig aangesloten grote methaanafnemers kunnen kiezen voor methaan of waterstof. Voor de regionale gasnetten, bijvoorbeeld in het NZKG, is dat echter niet mogelijk omdat die niet meervoudig zijn uitgevoerd met parallelle buizen. Voor aansluiting van regionale waterstofafnemers op een waterstofnetwerk moet daarom ofwel een water-stofleiding worden aangelegd vanuit de 'backbone', ofwel alle gasafnemers in het gebied tegelijkertijd overstappen van aardgas naar waterstof.

[39] In drie van de vier scenario's.

[40] NB: Waterstof kan op zich worden bijgemengd in het aardgasnet, net als groengas, maar dat kan in het geval van waterstof vanwege de verschillende gaseigenschappen maar tot een beperkt percentage (naar verwachting tot circa 20%). Daarmee blijft het in dat geval een methaannetwerk, oftewel met koolstof bevattende gas-moleculen en met CO_2-emissies bij gebruik als brandstof, en geen puur waterstofnetwerk.

De hele keten van waterstofaanbod, -infrastructuur en -vraag zal echter vanwege de hoge aanloopkosten niet vanzelf (of te langzaam) tot stand komen. Het gaat hier om een klassieke kip-ei-situatie.

Daarbij zijn er drie te onderscheiden infrastructuuronderdelen:

1. Aanleg van een regionale backbone in het NZKG (IJmond-havengebied Amsterdam), met aansluiting op de beoogde landelijke waterstofbackbone.
2. Realisatie van de genoemde landelijke backbone.
3. Aantakken van Den Helder op die backbone.

Figuur 23 – Mogelijke waterstofbackbone in Noord-Holland, als onderdeel van de landelijke waterstofbackbone

De getrokken delen zijn separeerbare verbindingen van het huidige aardgastransportnetwerk, de gestreepte delen vergen uitbreidingsinvesteringen.

3.5 Effecten op warmtenetten

De vraag naar warmte uit warmtenetten neemt toe van 5 PJ in 2020 naar 11-37 PJ in 2050. Hierbij zijn de warmtenetten in het scenario met 11 PJ een deelverzameling van de warmtenetten in het scenario met 37 PJ. De vraag ligt vooral in de stedelijke gebouwde omgeving, glastuinbouw, en industrie. In het NZKG is ook een mogelijkheid voor een stoomnet.

Voor de gebouwde omgeving gaat het in scenario Regionaal om een groei van 87.000 op warmtenetten aangesloten woningequivalenten in 2020, naar 279.000 in 2050. Dat is een groei met een ruime factor 3 in aantallen aansluitingen. De warmteafname groeit in dat scenario van 5 naar 19 PJ in 2050. De totale benodigde capaciteit van de warmtenetten zal in dat scenario met circa dezelfde groeifactor toenemen. In het scenario Generiek is de groei van 'warmte' het kleinst, in de gebouwde omgeving naar 135 duizend aansluitingen in 2050 (groei met factor 1,5).

Om warmtenetten te realiseren, is het volgende nodig: inzicht in waar welke vraag en aanbod van warmte is, inzicht in wat optimale tracés zijn, een heldere rolverdeling/ marktordening die zorgt voor sluitende businesscases en natuurlijk de daadwerkelijke aanleg van de benodigde infrastructuur, evenals de fysieke ruimte hiervoor.

De aanleg van warmtenetten vormt technisch gezien geen grote uitdaging, maar vergt meestal wel langlopende planprocessen, met lokaal soms ruimtelijke inpassingsproblemen (ook ondergronds) en met hoge aanvangsinvesteringen. Deze studie leent zich niet voor het in beeld brengen waar de netten precies gaan lopen en waar mogelijk ruimtegebrek zich voordoet. Dit soort tracé-verkenningen zal uitgevoerd moeten worden op het moment dat er lokaal sprake is van realisatie van een nieuw warmtenet, of uitbreiding van een bestaand net.

In Noord-Holland Noord zal er voldoende aanbod van warmte zijn vanuit geothermie, HVC, en (lagetemperatuurwarmte) vanuit datacenters op de Agriport-locatie. Voor Noord-Holland Zuid geldt dat de potentie van geothermie nu nog onzeker is (een geologisch programma is in uitvoering), maar dat grote aanbieders van restwarmte de industrie in het NZKG, de gascentrales en de afvalenergiecentrale van AEB zouden zijn, plus biomassainstallaties (havengebied Amsterdam, Diemen, Purmerend, Zaandam), naast bijvoorbeeld lage-temperatuurwarmte van datacenters[41] en uit oppervlaktewater. Wel moet rekening gehouden worden met het feit dat de huidige grootaanbieders in de toekomst misschien minder aanbod aan restwarmte hebben door (bijvoorbeeld door energiebesparings-maatregelen in de industrie, uitfasering fossiele elektriciteitscentrales en circulaire economie-maatregelen). Hier is meer onderzoek naar nodig, om eventuele toekomstige desinvesteringen in warmtenetten te voorkomen.

In opdracht van de MRA is al onderzocht hoe het restwarmteaanbod zelf verduurzaamd kan worden, dus hoe restwarmtebronnen kunnen worden vervangen door CO_2-vrije bronnen. De provincie Noord-Holland heeft een warmtebronnenkaart ontwikkeld voor de bekende bronnen.

Warmtenetten zijn echter vaak nog niet rendabel, afgezet tegen de huidige referentie-situatie van verwarmen met aardgas. Warmteleveranciers (bijvoorbeeld de industrie) willen

[41] In een recente studie heeft D-Cision laten zien dat er een serieuze mogelijkheid is om de lagetemperatuur-warmte van datacenters met grote industriële schaal warmtepompen naar een hogere temperatuur te brengen zodat de warmte aan de bestaande gebouwde omgeving geleverd kan worden (D-Cision, 2019).

zich vaak niet voor langere termijn binden aan verplichte levering, en voor afnemers zijn warmtenetten vaak nog niet aantrekkelijk genoeg vanwege gebrek aan prijsvoordeel (t.o.v. verwarmen met aardgas) en afhankelijkheid van één leverancier. Dit geldt ook voor het beoogde stoomnet in het NZKG.

Wat ook nodig is, is het in beeld brengen wat de optimale tracés zijn, mede in relatie tot eventuele cascadering. Ook zal duidelijk moeten zijn wie waarvoor verantwoordelijk is en wie welke kosten draagt. Hoewel lokaal maatwerk nodig is, is regionale afstemming en sturing soms handig. Zo kan het vanuit maatschappelijk kostenperspectief zinvol zijn een lokaal aan te leggen warmtenet te overdimensioneren, zodat dit later doorgetrokken kan worden naar een andere wijk, soms in een andere gemeente. Vanuit regionaal perspectief zijn dan de kosten van lokale overdimensionering te rechtvaardigen.

In de RESsen zal bepaald worden hoe de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving eruit zal komen te zien, en daarmee ook waar precies de warmtenetten zullen groeien en met welke warmtebronnen de productie wordt ingevuld. Bij de inzet van warmtebronnen kan er daarbij ook een ontwikkeling in de tijd zijn. Dit aangezien er op korte termijn vanuit de klimaatdoelen al actie nodig is over te stappen van bestaande (fossiele) warmtebronnen naar duurzame bronnen, terwijl de inzet van geothermie in NH-Zuid, en de grootschalige inzet van lagetemperatuurwarmtebronnen, een langere ontwikkeltijd vergt.

3.6 Effecten op CO_2-net

In het NZKG-gebied en in de glastuinbouwgebieden van NH-Noord en NH-Zuid ontstaat zowel vraag naar als aanbod van CO_2. Het aanbod ontstaat tot 2025 eerst bij de beide afval-verbrandingsinstallaties in Noord-Holland (AEB (Amsterdam): 0,5 Mton/jaar; HVC (Alkmaar) 0,1 Mton/jaar oplopend naar 0,2 Mton/jaar in 2030. De CO_2 van de afvalverbranders is grotendeels (circa 80%) biogeen van aard. De kwaliteit van die CO_2 is geschikt om voor direct gebruik in de glastuinbouw. In 2030 ontstaat naar verwachting ook grootschaliger CO_2-aanbod bij Tata Steel (5 Mton/jaar), afkomstig van fossiele bronnen, en qua zuiverheid niet geschikt voor direct gebruik in de glastuinbouw (tenzij aanvullende gasreinigingsstap).

De vraag naar CO_2 is er nu reeds in de glastuinbouwgebieden in de provincie (0,4 Mton, oplopend naar 1,1 Mton in 2025 t.g.v. de het afstappen van aardgas). Vanaf 2025 kan een vraag ontstaan vanuit CCU. Het betreft 'mineralisatie' (circa 0,1 Mton/jr), en vanuit geleidelijke opbouw van synfuelproductie. Synfuelproductie zal naar verwachting pas op grotere schaal gerealiseerd kunnen zijn in 2040 en verder kunnen oplopen richting 2050. Ook in 2050 is de verwachting dat de vraag vanuit CCU-processen substantieel kleiner is dan het aanbod (3,9 Mton versus 6,4 Mton). Bovenstaande cijfers zijn ontleend aan (Navigant, 2019).

Voor de tuinbouwgebieden in NH-Noord wordt vooralsnog uitgegaan van levering van CO_2 via binnenvaartschip en tube trailer, met een lokaal mini-grid op de glastuinbouwcomplexen zelf. Hiervoor is dus geen grootschalige nieuwe infrastructuur nodig. In het zuidelijk deel van de provincie kan de glastuinbouw ook CO_2 krijgen via de reeds bestaande leiding van OCAP, waarvoor dan in dat geval wel aftakkingen benodigd zijn. Ook is daarbij aansluiting van AEB op de OCAP-leiding voorzien, als bron van CO_2 die geschikt is voor de glastuinbouw.

In het industriegebied NZKG als geheel ligt de situatie voor CO_2 heel anders. Er is behoefte aan een CO_2-net voor zowel ondergrondse CO_2-opslag (CCS) in lege aardgasvelden onder de Noordzee als voor CO_2-hergebruik (CCU) voor uiteindelijk vooral synfuelproductie. Bij dat laatste is ook waterstof nodig.

De CO_2-leiding voor CCS is al in 2030 nodig om de afgevangen CO_2 van Tata Steel te kunnen opslaan. Realisatie van mineralisatie-installaties staat reeds gepland om operationeel te zijn in 2025. Rond 2030 staan productie-installaties voor synfuels gepland. Die investeringsplannen worden stap voor stap verder uitgewerkt. In geval van productie van synthetische kerosine kan die vervolgens worden opgeslagen in de bestaande tankopslag in het Amsterdamse havengebied, en worden geleverd aan Schiphol via de al bestaande kerosinepijpleiding vanuit het Amsterdams havengebied naar Schiphol.

Figuur 24 – Bestaande CO_2-leiding (OCAP) en mogelijke loop van het CO_2-net in het NZKG

3.7 Duiding effecten per gebied

3.7.1 Geheel Noord-Holland

Er bestaan op korte termijn reeds knelpunten in het elektriciteitsnet en die zullen, als er geen maatregelen worden getroffen, op grote schaal toenemen op alle spanningsniveaus in het net, in alle subregio's. Ook ontstaat vraag naar groengas (in plaats van aardgas), en vanaf 2030 krijgt de hele provincie te maken met een substantiële vraag naar waterstof en daarmee aan een waterstofnetwerk dat aansluit c.q. onderdeel uitmaakt van de beoogde landelijke waterstofbackbone. Daarnaast is er behoefte aan realisatie c.q. uitbreiding van warmtenetten in de stedelijke gebieden, naar een stoomnet in het NZKG, en naar realisatie van een CO_2-keten.

Relevant is nog dat Noord-Holland op dit moment het hele jaar door netto-importeur is van elektriciteit, maar dat die situatie in 2050 kan zijn omgeslagen naar een situatie waarin gedurende een deel van het jaar grote vermogens worden geëxporteerd (tot 10 GW in scenario Regionaal). Die aanvoer en afvoer van elektriciteit naar en van Noord-Holland loopt via het landelijke 380 kV-net.

3.7.2 Noord-Holland Noord

De grote datacenters op de Agriport-locatie groeien in aantal en benodigde elektrische vermogens, en sluiten rechtstreeks aan bij TenneT op het 150 kV-netwerk. In Noord-Holland Noord treden op de lagere spanningsniveaus (in de Liander-elektriciteitsnetten) vooral aanbodknelpunten op, door de sterke groei van zon-PV en wind op land.

De genoemde groei van datacenters in Agriport en het groeiende aanbod van zonne- en windenergie in NH-Noord leggen een zware claim op de capaciteit van het gehele elektriciteitsnet. Knelpunten in het net zullen in hoog tempo toenemen, in aantallen en in zwaarte. In het geval als oplossing wordt gekozen voor verzwaring van het elektriciteitsnetwerk, vergen de momenten met grootschalige tekorten of overschotten (oplopend tot 6 GW in scenario Regionaal) een verzwaring van het gehele elektriciteitsnetwerk van/naar Noord-Holland Noord om de elektriciteit te kunnen aanvoeren en afvoeren.

3.7.3 Stedelijk gebied Noord-Holland Zuid

Het geheel aan ontwikkeling van kennisintensieve werklocaties, datacenters, woonwijken, forse mobiliteitstromen en van de luchthaven Schiphol legt een zware druk op alle lagen van het elektriciteitsnetwerk. Op korte termijn zijn er al serieuze knelpunten in het regionale net. De oorzaken zijn echter zeer divers en liggen op alle spanningsniveaus van het elektriciteitsnet. In het kustgebied en in het Gooi ontstaat er een dominantie van aanbodknelpunten, terwijl vraagknelpunten dominant zijn in de meer stedelijke gebieden.

Daarnaast zijn er opgaves om de warmtenetten te realiseren c.q. uit te breiden die voorzien zijn in de gebouwde omgeving (korte termijn), een waterstofketen te realiseren t.b.v. de gebouwde omgeving (2030), en de CO_2-voorziening van de glastuinbouwlocaties. Bij de bestaande warmtenetten is ook de verduurzaming van de warmtebronnen een opgave, aangezien het onderzoek naar de geologische mogelijkheden van geothermie pas net gestart is, en grootschalige inzet van lagetemperatuurwarmte nog een geruime ontwikkeltijd vergt.

3.7.4 Industriegebied NZKG

De verschillende energienetten en -systemen in dit gebied raken sterk met elkaar verknoopt. De elektriciteitsvraag in het gebied neemt toe en er is behoefte aan een zwaarder elektriciteitsnet, met onder andere een nieuw station in het Amsterdams havengebied (Gemeente Amsterdam & Liander, 2019).
Om de industrie in het gebied klimaatneutraal te laten worden is er bovendien behoefte aan een warmtenet, stoomnet, een waterstofnet (met aansluiting op de beoogde landelijke waterstofbackbone) en een CO_2-net. Waterstof en CO_2 zijn bovendien noodzakelijk voor de beoogde ontwikkeling van CCU-industrie (koolstofvastlegging en -gebruik) in het gebied.
De exacte omvang van deze behoeften is overigens afhankelijk van de keuzes die Tata Steel voor de periode na 2030 gaat maken. Tot slot is er een opgave om de brandstofvoorziening van transport over weg, water en door de lucht klimaatneutraal te maken.

De knelpunten in het elektriciteitssysteem verschillen van aard qua deelgebied en in de tijd. In het Amsterdams havengebied betreft het in 2030 vraagknelpunten, als gevolg van de groei van de elektriciteitsvraag in het gebied door datacenters, elektrificatie van bestaande industrie, groei van de industrie door uitgiftes van terrein, en elektrificatie van mobiliteit/ transport. In 2050 ontstaan er door de groei van de elektriciteitsproductie met zon-PV en wind in de scenario's 'Regionaal' en 'Nationaal' ook aanbodknelpunten. in de andere twee scenario's blijven vraagknelpunten dominant. In het IJmondcluster van het NZKG ontstaan zowel vraag- als aanbodknelpunten in het elektriciteitssysteem vanaf 2030, maar de aanbodknelpunten zijn daar qua omvang dominant.

De aanlanding van wind op zee in IJmuiden van 4,1 GW in scenario Nationaal zorgt voor knelpunten in de 380 kV-verbindingen. Variantanalyses van TenneT laten zien dat een eventuele verdere stijging van aan te landen vermogen aan wind op zee in de vorm van elektriciteit in IJmuiden leiden tot verdere groei van de omvang van knelpunten in het 380 kV-net. Eventuele uitbreiding van capaciteit van wind op zee (al dan niet als gevolg van een eventuele uitruil van hernieuwbare productie met 'zon en wind' op land), zal gepaard moeten gaan met versterking van de waterstofproductiecapaciteit bij de aanlanding of op zee, teneinde de bestaande capaciteit te beheersen van het 380kV-knooppunt Beverwijk en achterliggende verbindingen.

3.8 Conclusies uit dit hoofdstuk

Zoals eerder gesteld: we maken bij de effecten onderscheid te maken tussen 'knelpunten' en 'opgaven'. Als het gaat om een probleem of beperking in de *bestaande* energie-infrastructuur spreekt deze studie van een knelpunt. Als het gaat om de gewenste oplossingen in de *nieuwe* energie-infrastructuur dan wordt gesproken van een opgave.
De oplossingsrichtingen en belemmeringen daarbij komen in Hoofdstuk 4 aan de orde.

Elektriciteit
Het elektriciteitsnetwerk is de enige energie-infrastructuur in Noord-Holland die op grote schaal knelpunten zal vertonen, op twee niveaus:

- Hoogspanningsnet: in NH-Noord en rond Amsterdam ontstaat er op korte termijn (2020) al bij 37% van de bestaande 150 kV-stations een capaciteitsknelpunt en dat loopt in 2050 op naar 90-95%. Ongeveer 85% van die stations kampt in 2050 met een vraagknelpunt (door lokaal te hoge consumptie) en afhankelijk van het toekomst-scenario kampt 50 tot 95% met een aanbodknelpunt (door lokaal te veel aanbod van zonne/windenergie). Tenminste 50% van de stations heeft in 2050 zowel een aanbod- als vraagknelpunt, op verschillende momenten in het jaar. Ook een deel van de 150 kV-

verbindingen (TenneT) vertoont knelpunten in de scenario's, met name verbindingen die de toe- en afvoer van elektriciteit naar en van Noord-Holland Noord verzorgen.
- Midden- en laagspanningsnet: ook de Liander-netten (50 kV en lager) vertonen op grote schaal capaciteitsknelpunten in de scenario's. Afhankelijk van het toekomstscenario vertoont 35-50% van de circa 200 onderverdeelinstallaties in 2050 een capaciteits-knelpunt. Dat geldt daarnaast voor 60-80% van de circa 11.500 middenspanningsruimtes.

Waterstof
In de (aard)gasnetten treden geen knelpunten op. Er ligt echter wel een omvangrijke opgave om het gasnet geschikt te maken voor duurzame gassen, zoals waterstof. Een landelijke 'waterstofbackbone' zal mogelijk al voor 2030 gerealiseerd worden door enkele buizen van het huidige aardgastransportnet ('backbone') te bestemmen (separeren) voor waterstof. Grote afnemers die direct op die backbone zijn aangesloten, kunnen dan kiezen tussen aardgas en waterstof. Voor de regionale gasnetten is separatie van buizen beperkt mogelijk, omdat die netten in het algemeen niet uit parallelle buizen bestaan. Per gebied moet in dat geval worden gekozen voor aanleg van een aparte waterstofleiding of een lokale overstap van alle afnemers van aardgas naar waterstof. De toekomstige bevoorrading van tankstations voor het wegverkeer met waterstof zal vanuit kostenoogpunt vermoedelijk meestal via tankwagens gebeuren. Voor de scheepvaart zullen in de haven nieuwe bunker-faciliteiten moeten worden ontwikkeld. Voor de toevoer van klimaatneutralere brandstoffen naar Schiphol, zoals biokerosine en op waterstof gebaseerde synthetische brandstoffen, kan gebruik worden gemaakt van de bestaande pijpleiding in het Amsterdamse havengebied.

De productie van waterstof kan plaatsvinden via elektrolysers op land, in windparken op zee en in de vorm van 'blauwe waterstof'. Voor de hand liggende locaties voor waterstof-productie zijn het NZKG-gebied en Den Helder. Na 2030 wordt verwacht dat er ook groot-schalige import van waterstof per tanker over zee op gang kan komen, die vervolgens in de haven kan invoeden op de landelijke backbone. De hele keten van aanbod, infrastructuur en vraag zal echter naar onze verwachting vanwege de hoge aanloopkosten niet vanzelf (of te langzaam) tot stand komen. Het gaat hier om een klassieke kip-ei-situatie.

Warmtenetten
In drie van de vier toekomstscenario's is de groei van warmtenetten een belangrijk middel om de stedelijke omgeving klimaatneutraal te maken. In die scenario's worden warmte-netten overigens ook ingezet voor het verwarmen van de glastuinbouw (zoals nu ook al in Agriport gebeurt) en voor proceswarmte (en stoom) in de industrie van het NZKG. Warmtenetten en een stoomnet zijn technisch gezien geen grote uitdaging, maar vergen wel langlopende planprocessen, met lastige ruimtelijke consequenties en zeer hoge aanvangsinvesteringen.

CO_2
In het NZKG-gebied en in de glastuinbouw van NH-Noord en NH-Zuid is er zowel vraag naar als aanbod van CO_2. Het CO_2-aanbod vanuit 'carbon capture' in het NZKG en HVC kan oplopen tot ruim 6 megaton per jaar. Transport van CO_2 per tankauto en binnenvaartschip naar de glastuinbouw in het noorden lijkt uit kostenoogpunt een logischer keuze dan het doortrekken van een CO_2-pijpleiding vanuit het NZKG.
In het zuidelijk deel van de provincie kan de glastuinbouw ook CO_2 krijgen via de reeds bestaande leiding van OCAP. In het industriegebied NZKG ligt de situatie voor CO_2 heel anders. Hier is behoefte aan een CO_2-net voor zowel ondergrondse CO_2-opslag (CCS) als voor CO_2-hergebruik (CCU). In geval van CCU is daarbij ook waterstof nodig. Net als bij waterstof gaat het bij de CO_2-keten om een klassieke kip-ei-situatie.

4 Oplossingsrichtingen & belemmeringen

4.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden oplossingsrichtingen voor de geïdentificeerde knelpunten en opgaves verkend, en eventuele belemmeringen die er kunnen zijn bij die oplossingen. Eerst wordt een overzicht gegeven van mogelijke oplossingsrichtingen en mogelijke belemmeringen, met nadere uitleg. De daarbij gebruikte termen worden in de rest van het hoofdstuk steeds gebruikt.

4.2 Overzicht mogelijke oplossingsrichtingen bij knelpunten

We onderscheiden de volgende mogelijke oplossingsrichtingen voor knelpunten.
Zoals beschreven in Hoofdstuk 3 ontstaan knelpunten alleen bij het elektriciteitsnetwerk. Om die reden beschrijft deze paragraaf oplossingen 'binnen het elektriciteitssysteem' en 'buiten het elektriciteitssysteem' . Oplossingen buiten het elektriciteitssysteem vergen inzet vanuit andere netwerken, waar een opgave kan ontstaan op het moment dat dat netwerk nog gerealiseerd moet worden. Oplossingsrichtingen kunnen ook gecombineerd worden. De huidig gangbare oplossing voor knelpunten in het elektriciteitssysteem is het verzwaren c.q. uitbreiden van de netcapaciteit door de netbeheerders. De regelgeving en processen zijn hier op ingericht. De andere opties vergen veelal meer maatschappelijke creativiteit om te kunnen realiseren.

Oplossingen binnen het elektriciteitssysteem

Netverzwaring

Wat: De huidig gangbare oplossing voor knelpunten in het elektriciteitssysteem is investeren in verzwaring (c.q. uitbreiding) van de elektrische infrastructuur.

Wie: De netbeheerder van het betreffende onderdeel van het netwerk is verantwoordelijk voor het net en voor de benodigde investeringen. Eens in de twee jaar moeten de netbeheerders aan de toezichthouder, de Autoriteit Consument & Markt (ACM), een Kwaliteits- en Capaciteitsdocument (KCD) afgeven.
De netbeheerders brengen daarin verslag uit over hun prestaties op het gebied van de kwaliteit en de capaciteit van hun net. Ook presenteren ze daarin hun plannen om de kwaliteit en capaciteit op niveau te houden, bijvoorbeeld plannen voor investeringen in vervanging en uitbreiding van hun netten.

Welke: Netverzwaring is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten.

Potentie: Verzwaren van de elektriciteitsnet kan in principe alle geïdentificeerde knelpunten oplossen. Er kunnen echter belemmeringen zijn, zoals ruimtegebrek, en het kan zijn dat andere oplossingen tot lagere kosten voor de maatschappij leiden.

Aansluiten met lagere zekerheid (n-0)

Wat: Netbeheerders moeten zorgen voor voor voldoende zekerheid voor het transport van elektriciteit, ook in situaties van onderhoud en storing van onderdelen van het net. Dat betekent dat de netwerken bij normale bedrijfssituaties (geen onderhoud, geen storing) altijd een mate van overdimensionering hebben. Een alternatief voor netverzwaring kan zijn om elektriciteitsproductie-installaties, zoals zon-PV en windenergie, aan te sluiten met lagere zekerheid, een zogenaamde 'n-0'-aansluiting. Met als beoogd doel de capaciteit van het netwerk beter te kunnen benutten. De consequentie is dat het aanbod niet in alle situaties kan worden opgenomen in het net, hetgeen de businesscase van de aanbieder negatief kan beïnvloeden.

Wie: Aansluiten met lagere zekerheid kan onder de huidige regelgeving op vrijwillige basis als de aanbieder daarmee akkoord gaat, maar kan niet worden afgedwongen.

Welke: Aansluiten met lagere zekerheid is een mogelijke oplossing bij aanbodknelpunten.

Potentie: Aansluiten met lagere zekerheid is een oplossing die slechts een deel van de aanbodknelpunten kan oplossen, namelijk in die netwerkonderdelen waar slechts sprake is van lichte overschrijdingen van de beschikbare capaciteit. Dat is het kennisdomein van de netbeheerders. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving om deze oplossing te realiseren.

Aansluiten met lagere capaciteit (curtailment)

Wat: In situaties waarin gedurende een gering aantal uren per jaar veel vermogen wordt gevraagd kan aansluiten met een lagere dan de piekcapaciteit een alternatief zijn voor netverzwaring. Het effect is dat het netwerk niet geschikt hoeft te worden gemaakt voor de volledige piekcapaciteit van een klant. Als voorbeeld van het potentieel effect: een zonnecelcentrale die op 50% van het piekvermogen wordt aangesloten, levert op jaarbasis 14% minder elektriciteit aan het net. Het netwerk hoeft in dat geval maar de helft van het vermogen van de zonnecelinstallatie te kunnen accommoderen, zodat een netverzwaring die anders nodig zou zijn kan worden uitgesteld of in het geheel niet nodig is.

Wie: De structuur van de aansluittarieven van de netbeheerders maakt dat het voor een klant financieel aantrekkelijk kan zijn om dat op vrijwillige basis te doen. De netbeheerder mag het echter niet afdwingen.

Welke: Curtailment is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten.

Potentie: Curtailment is een oplossing die slechts een deel van de knelpunten kan oplossen, namelijk alleen die situaties waar sprake is van kortdurende grote pieken in vraag en/of aanbod. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving om deze oplossing te realiseren.

Innovatieve technieken

Wat: Onderzoeksinstituten, bedrijven en netbeheerders werken aan innovatieve technieken als alternatief voor de 'traditionale' netverzwaring. Het gaat bijvoorbeeld om demonstratieprojecten met supergeleidende kabels, waarbij met lage spaningen toch grote stromen getransporteerd kunnen worden zonder dat de kabels oververhit raken als gevolg van hun elektrische weerstand. Het voert te ver om hier een uitgebreide verhandeling over innovatieve technieken op te nemen.

Wie: De toepassing van de technieken in de netwerken is de verantwoordelijkheid van de netbeheerders.

Welke: Dit is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten.
Potentie: Het is onbekend met welke omvang innovatieve technieken kunnen bijdragen aan het oplossen van knelpunten. De technieken moeten eerst via pilots en demonstratieprojecten tot volle wasdom worden gebracht voordat ze op grote schaal kunnen worden ingezet in energienetwerken.

Flexibiliteit

Wat: Netwerken worden gedimensioneerd op de piekcapaciteit die nodig is. Netinvesteringen kunnen worden uitgesteld of voorkomen als die pieken kunnen worden afgevlakt, door flexibiliteit in vraag en aanbod te organiseren. Dat kan op vele manieren: met 'smart grids' die vraag en aanbod slim op elkaar afstemmen, met slim laden en ontladen van autoaccu's, met elektriciteits-opslag in accu's in gebouwen of in gebieden, met verschuiven van elektriciteitsvraag naar momenten waarop er geen vraagknelpunt is (en/of elektriciteit goedkoop is op de markt), etc.
Wie: Flexibiliteit organiseren is onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving een marktactiviteit.
Welke: Flexibiliteit is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten.
Potentie: De potentie van flexibiliteit om knelpunten te voorkomen is groot, en is toepasbaar bij alle situaties met sterk fluctuerende vraag en/of aanbod. Flexibiliteit is niet geschikt om knelpunten op te lossen waarbij de basislast van vraag of aanbod de capaciteit van het netwerk overstijgt. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving voor de netbeheerders om deze oplossing te realiseren, voor marktpartijen is de uitdaging om een positieve businesscase te realiseren met flexibiliteitoplossingen.

Oplossingen vanuit de ruimtelijke ordening

Wat: De locatie waar bijvoorbeeld een nieuwe industrie, datacenter, glastuin-bouwbedrijf, nieuwbouwwijk, zonneweide of windpark wordt gerealiseerd kan een knelpunt in de energie-infrastructuur veroorzaken, indien de capaciteit van het bestaande netwerk ontoereikend is. Inzicht in die mogelijke knelpunten (zoals uit deze systeemstudie) levert in principe de mogelijkheid om een andere ruimtelijke ordening toe te passen. Bijvoorbeeld een realisatie elders waar nog wel ruimte in het netwerk aanwezig is of een andere infrastructuur die in de vraag kan voorzien, of om te faseren in de tijd waardoor tijd ontstaat om het knelpunt tijdig te voorkomen.
Wie: Ruimtelijke ordening is een verantwoordelijkheid van de overheden.
Welke: Dit is een mogelijke oplossing bij zowel vraag- als aanbodknelpunten.
Potentie: Ruimtelijke ordening kan in potentie een deel van de knelpunten zoals geidentificeerd in deze studie voorkomen. Om dat te onderzoeken vergt nadere 'wat-als'-studies. Een belemmering kan onstaan als andere maatschappelijk/ economische belangen prevaleren.

Systeemoplossingen, met inzet van andere energienetwerken

Conversies van de ene energiedrager naar de andere

Wat: In het geval in een bepaald gebied een vraagknelpunt ontstaat, is een mogelijke oplossing om de elektriciteit niet naar het gebied toe te voeren, maar om die ter plekke te produceren op het moment van het vraagknelpunt. Dat kan bijvoorbeeld met een gasmotor of gasturbine, gevoed met methaan (aardgas, groengas) of waterstof, of met een brandstofcel gevoed met waterstof.

Wie: Elektriciteitsproductie is onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving een marktactiviteit.

Wat: In het geval er sprake is van een aanbodknelpunt in een gebied 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[42]).

Wie: Ook dit zijn onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving marktactiviteiten.

Welke: Dit zijn mogelijke oplossingen bij zowel vraag- als aanbodknelpunten.

Potentie: Conversies van moleculen naar elektronen en vice versa kunnen in principe veel van de geïdentificeerde knelpunten oplossen, aangezien er capaciteitsruimte is in de gasnetwerken. Bij aanbodknelpunten is wel een waterstofnetwerk (of lokale opslag) nodig. De oplossing lijkt met name geschikt bij grote 'pad-problemen' als gevolg van een klein aantal 'drivers', waarbij elektriciteitsverbindingen over grote afstanden verzwaard zouden moeten worden om toevoer naar of afvoer van een knelpuntgebied te realiseren. De oplossing lijkt niet geschikt in geval van vraagknelpunten die ontstaan vanuit een groot aantal verschillende oorzaken. Er zijn belemmeringen in de huidige regelgeving voor de netbeheerders om deze oplossing te realiseren, voor marktpartijen is de uitdaging om een positieve businesscase te realiseren.

Aan de vraag voldoen met een andere energiedrager

Wat: Dat vraag naar elektriciteit ook met elektriciteit moet worden ingevuld is niet altijd de enige mogelijkheid. In bepaalde gevallen is het ook mogelijk om in de achterliggende behoefte aan energie te voorzien met een andere energiedrager, vanuit een ander netwerk. Bijvoorbeeld door een woonwijk niet uit te rusten met elektrische warmtepompen maar met een warmtenetewerk, of door elektrische mobiliteit of transport op te lossen met een brandstofcel-elektrische aandrijving waarbij waterstof wordt getankt in plaats van elektriciteit, of door hybride systemen.

Wie: Dit zijn onder de huidige (Europese en Nederlandse) regelgeving marktactiviteiten.

Welke: Dit is een mogelijke oplossing bij vraagknelpunten.

Potentie: De potentie van deze oplossingen om knelpunten op te lossen vergt nadere 'wat-als'-studie. De andere netwerken zijn immers al in de verschillende scenario's ingezet, en veel van de geidentificeerde knelpunten ontstaan in alle scenario's, zei het in mindere mate. Er zijn belemmeringen in de huidige

[42] Er zijn meer 'Power-to'-conversies mogelijk, onder de algemene term 'Power-to-X'. Naast Power-to-Heat wordt er gesproken van onder andere Power-to-Ammonia, Power-to-Hydrogen, Power-to-Products, etc.

regelgeving voor de netbeheerders om deze oplossing te realiseren, voor marktpartijen is de uitdaging om een positieve businesscase te realiseren.

Figuur 25 - Schematisch overzicht van de verschillende 'moleculenroutes'[43]

4.3 Overzicht mogelijke belemmeringen bij oplossingsrichtingen

Oplossingsrichtingen kennen op hun beurt weer mogelijke belemmeringen om die oplossing te kunnen realiseren. In deze paragraaf staan die 'eerste orde' belemmeringen beschreven, per soort. Bij elke mogelijke belemmering horen vervolgens weer mogelijke oplossingen, die op hun beurt weer mogelijke 'tweede orde' belemmeringen kennen, etc. We hebben ons hier beperkt tot de eerste orde belemmeringen, zonder daarbij alle mogelijke oplossingen te benoemen.

Regels en procedures

Reguleringskader verbiedt anticiperen

Netbeheerders mogen onder de huidige regelgeving niet investeren in netuitbreiding op basis van verwachtingen[44], er moet eerst een getekende klantvraag zijn. Dit kan er toe leiden dat de realisatietermijn van een verzwaring langer is dan maatschappelijk wenselijk. In de praktijk komt het voor dat netverzwaringen een doorlooptijd hebben van 7-10 jaar of zelfs langer, waardoor ontwikkelingen in de provincie in de tijd vertraagd kunnen worden.

Lange doorlooptijden voor planologische procedures en vergunningen

Het overgrote deel van de doorlooptijd van een netverzwaring zit in de praktijk in de doorlooptijd van de planologische- en vergunningsprocedures. Bijvoorbeeld voor een wijziging van een bestemmingsplan. Dit kan ertoe leiden dat de realisatietermijn van een

[43] Deze figuur is gebaseerd op: https://www.researchgate.net/publication/322698780_Comparative_Analysis_of_Infrastructures_Hydrogen_Fueling_and_Electric_Charging_of_Vehicles

[44] Overigens wordt er op nationaal niveau overlegd over mogelijke versoepeling van deze regels.

verzwaring langer is dan maatschappelijk wenselijk is, bezien vanuit de ontwikkeling van het energiesysteem.
Daarnaast is het kennisniveau ten aanzien van nieuwe energiedragers (zoals waterstof) en de inzet hiervan in productieprocessen, mobiliteit, etc. versnipperd. Dit zorgt voor landelijke en regionale interpretatieverschillen bij vergunningverlening en bij inrichting van milieu- en veiligheidscontouren. Ook dit kan er toe leiden dat implementatie en uitroltrajecten vertraagd worden of zelfs in het geheel niet van de grond komen.

Uitbreiding niet mogelijk

Geen fysieke ruimte of milieuruimte beschikbaar

Netverzwaring (of een andere oplossing vanuit een andere energie-infrastructuur) is soms niet mogelijk wegens het ontbreken van fysieke- of milieu-ruimte bij een verbinding of een station. Dit kan er toe leiden dat, ingeval van netverzwaring, een complexere oplossing moet worden gevonden, waardoor de oplossing moeilijker te realiseren is en mogelijk meer tijd kost.

Ouderdom van installaties

Soms is netuitbreiding niet meer mogelijk wegens een verouderde stationsinstallatie.
Dit kan ertoe leiden dat, ingeval van een benodigde netverzwaring, een geheel nieuw (en groter) station moet worden gebouwd inclusief verbindingen, bij voorkeur nabij het bestaande station, terwijl het huidige station gedurende die tijd ook in bedrijf moet blijven, waardoor de oplossing moeilijker te realiseren is en mogelijk meer tijd kost.

Geld/businesscases

Kosten

Het komt voor dat ruimte voor netuitbreiding wel fysiek beschikbaar is, maar kostbaar.
Dit kan leiden tot hogere kosten voor de maatschappij (aangezien de netkosten worden gesocialiseerd).

Geen positieve businesscase

Deze belemmering kan verschillende vormen hebben:

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

Overig

Speculatief gedrag

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

Geen uitvoeringscapaciteit

De benodigde uitvoeringscapaciteit voor een oplossing is mogelijk niet tijdig voorhanden, wat er toe kan leiden dat de benodigde werkzaamheden om een knelpunt op te lossen niet kunnen worden uitgevoerd in het maatschappelijk gewenste tempo.

Andere belangen kunnen prevaleren

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

4.4 Oplossingen knelpunten elektriciteitsnetten

Knelpunten in het elektriciteitsnet gaan op grote schaal optreden, op alle spanningsniveaus en in alle subregio's, en doen dat rond Amsterdam en in Noord-Holland Noord op korte termijn al. De aard van de knelpunten verschilt van gebied tot gebied.

Algemeen

De mogelijke oplossing van verzwaring van de elektriciteitsnetten kent lange tot zeer lange doorlooptijden, waarbij het overgrote deel van de doorlooptijd komt door planologische- en vergunningsprocedures. Gezien de onzekerheden van de andere mogelijke oplossingsrichtingen is het daarom raadzaam om binnen de huidige regelgeving alvast de ruimtelijke processen in gang te zetten voor de verzwaring van de elektriciteitsnetten die nodig is om de geïdentificeerde knelpunten op te lossen. Met een focus op die knelpunten die al in 2020 of 2030 optreden, en in alle scenario's (de no-regret-situaties).

Verder kan in de RESsen rekening worden gehouden met de knelpunten zoals geïdentificeerd in deze studie, bij positionering van zonneweides en windparken en bij keuzes voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving.

Gebied Noord-Holland Noord

Grootschalige vraagknelpunten in het gebied worden veroorzaakt door de vestiging van grote datacenters op de Agriport-locatie[45]. Die knelpunten leveren een 'padprobleem' op, in het gehele 150 kV-netwerk vanuit de 380 kV-ring naar Noord-Holland Noord. Die situatie lijkt geschikt voor een 'moleculenoplossing', waarbij methaan (of waterstof) op de locatie wordt gebruikt voor vraagvolgende elektriciteitsproductie. Mogelijk biedt dit een beter alternatief met lagere kosten voor de maatschappij dan netverzwaring. Deze oplossingsrichting kan ook de ruimtelijke kwaliteit van de leefomgeving ten goede komen.
De oplossing vergt nader onderzoek naar de vraag of een positieve businesscase mogelijk is. Een eerste stap daarbij is de dimensionering. Dat kan met een analyse met het geïntegreerde rekenmodel van Gasunie en TenneT, waarbij de elektronenroute en moleculenroute naast elkaar kunnen worden geplaatst.

De aanbodknelpunten in het gebied als gevolg van de toename van 'zon en wind' treden op in de Liander-netten, en leiden door hun cumulatieve omvang tot aanbodknelpunten op de 150 kV-stations. Ook hier lijkt de situatie geschikt voor een 'moleculenoplossing', waarbij overschotten aan elektriciteit worden omgezet naar waterstof en afgevoerd via een (nog te realiseren) waterstofnet. Hiervoor is nader onderzoek nodig van dimensionering en businesscases, met als eerste stap een analyse met het geïntegreerde rekenmodel van Gasunie en TenneT. Andere oplossingen, zoals n-0-aansluitingen, curtailment, en flexibiliteit, kunnen helpen de optredende knelpunten te verkleinen en uit te stellen.

Stedelijk gebied Noord-Holland Zuid

De knelpunten in de elektriciteitsnetten in het gebied worden gekenmerkt door een grote verscheidenheid aan 'drivers', op alle spanningsniveaus. In het stedelijk gebied zijn vraagknelpunten dominant[46]. Naast netverzwaring die in veel situaties nodig zal zijn (zie onder andere de recente themastudie Amsterdam (Gemeente Amsterdam & Liander, 2019), lijkt de situatie geschikt voor 'flexoplossingen', zoals slim laden (en ontladen) van elektrische auto's, lokale opslag, et cetera. Uit die studie blijkt ook dat er in en rond Amsterdam zes tot acht nieuwe hoogspanningsstations ('onderstations') bij moeten komen. Met name voor de locaties met vestiging van grote datacenters kan adequate ruimtelijke ordening zoals vestiging in 'load pockets in het elektriciteitsnet naar verwachting een oplossing bieden, zoals beschreven in (D-Cision, 2019), ook voor het integreren van restwarmteproductie van datacenters in de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw.
Tot slot kunnen de genoemde 'moleculenroutes' mogelijke oplossingen bieden voor een deel van de optredende knelpunten, zoals ook genoemd bij Noord-Holland Noord.
Dat vergt nader onderzoek.

[45] De datacenters worden overigens rechtstreeks aangesloten op het 150kV-netwerk van TenneT.

[46] Met 'dominant' wordt hier bedoeld: groter qua vermogensomvang dan – in dit geval- vraagknelpunten bij hetzelfde station c.q. dezelfde stationsinstallatie.

Industriegebied NZKG

De verschillende energienetten en -systemen in dit gebied raken sterk met elkaar verknoopt. De elektriciteitsvraag in het gebied neemt toe, door groei, door elektrificatie van de industrie en van mobiliteit. Er is behoefte aan een zwaarder elektriciteitsnet, maar er liggen ook opgaves voor de andere netten. Voor het Amsterdamse havengebied zijn er in de recente themastudie elektriciteit van gemeente en Liander detailverkenningen uitgevoerd naar de benodigde verzwaring van het elektriciteitsnetwerk, zie (Gemeente Amsterdam & Liander, 2019). Uit die detailstudie blijkt dat er in en rond Amsterdam zes tot acht nieuwe hoogspanningsstations ('onderstations') bij moeten komen.

Mocht er sprake zijn van meer aanlanding van windstroom van zee (meer dan de 2,1-4,1 GW die nu in de scenario's is doorgerekend), dan is het raadzaam om in te zetten op aanlanding die geen extra verzwaring van het elektriciteitsnet in het gebied vergt. Bijvoorbeeld aanlanding in de vorm van waterstof of een directe conversie naar waterstof op het aanlandingspunt.

4.5 Opgave: realisatie waterstofketen

Waterstofvraag treedt in de gehele provincie op, met name na 2030, en in alle scenario's. Er is echter nog geen waterstofnetwerk. Er ligt een opgave om het gasnet geschikt te maken voor duurzame gassen, zoals waterstof, te beginnen met de realisatie van de regionale verbinding IJmuiden-Amsterdam. Een landelijke 'waterstofbackbone' kan al voor 2030 gerealiseerd worden door enkele buizen van het huidige aardgastransportnet ('backbone') te bestemmen (separeren) voor waterstof. Grote afnemers die direct op die backbone zijn aangesloten, kunnen dan kiezen tussen aardgas en waterstof. Voor de regionale gasnetten is separatie van buizen beperkt mogelijk, omdat die netten in het algemeen niet uit parallelle buizen bestaan. Per gebied moet in dat geval worden gekozen voor aanleg van een aparte waterstofleiding of een lokale overstap van alle afnemers van aardgas naar waterstof. De toekomstige bevoorrading van tankstations voor het wegverkeer met waterstof zal vanuit kostenoogpunt vermoedelijk meestal via tankwagens gebeuren. Voor realisatie van een klimaatneutrale scheepvaart zullen in de haven nieuwe bunkerfaciliteiten moeten worden ontwikkeld.

De productie van waterstof kan plaatsvinden via elektrolysers op land, in windparken op zee en in de vorm van 'blauwe waterstof'. Voor de hand liggende locaties voor waterstof-productie zijn het NZKG-gebied en Den Helder, mits er ruimte beschikbaar is. Na 2030 wordt verwacht dat er ook grootschalige import van waterstof per tanker over zee op gang kan komen, die in de haven in kan voeden op de landelijke backbone. De hele keten van aanbod, infrastructuur en vraag zal echter vanwege de hoge aanloopkosten niet vanzelf (of te langzaam) tot stand komen.
Het gaat hier om een klassieke kip-ei-situatie, die alleen kan worden doorbroken door overheidsondersteuning en een goed gecoördineerd samenwerkingsprogramma.
Daarbij zijn er drie te onderscheiden infrastructuuronderdelen:

1. Aanleg van een regionale backbone in het NZKG (IJmond-havengebied Amsterdam), met aansluiting op de beoogde landelijke waterstofbackbone.
2. Realisatie van de genoemde landelijke backbone.
3. Aantakken van Den Helder op die backbone.

4.6 Opgave: uitbreiding warmtenetten, en realisatie stoomnet NZKG

In drie van de vier toekomstscenario's is de groei van warmtenetten een belangrijk middel om de stedelijke omgeving klimaatneutraal te maken. In die scenario's worden warmtenetten overigens ook ingezet voor het verwarmen van de glastuinbouw (zoals nu ook al in Agriport gebeurt) en voor proceswarmte (en stoom) in de industrie van het NZKG. Warmtenetten en een stoomnet zijn technisch gezien geen grote uitdaging, maar vergen wel langlopende planprocessen, met lastige ruimtelijke consequenties en zeer hoge aanvangsinvesteringen.

Om warmtenetten te realiseren, is het volgende nodig: inzicht in waar welke vraag en aanbod van warmte is, inzicht in wat optimale tracés zijn, een heldere rolverdeling/ marktordening die zorgt voor sluitende businesscases en natuurlijk de daadwerkelijke aanleg van de benodigde infrastructuur, evenals de fysieke ruimte hiervoor.
Warmtenetten zijn echter vaak nog niet rendabel, afgezet tegen de huidige referentiesituatie van verwarmen met aardgas. Warmteleveranciers (bijvoorbeeld de industrie) willen zich vaak niet voor langere termijn binden aan verplichte levering, en voor afnemers zijn warmtenetten vaak nog niet aantrekkelijk genoeg vanwege gebrek aan prijsvoordeel (t.o.v. verwarmen met aardgas) en afhankelijkheid van één leverancier. Dit geldt ook voor het beoogde stoomnet in het NZKG.

In de RESsen zal bepaald worden hoe de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving eruit zal komen te zien, en daarmee ook waar precies de warmtenetten zullen groeien en met welke warmtebronnen de productie wordt ingevuld. Bij de inzet van warmtebronnen kan er daarbij ook een ontwikkeling in de tijd zijn. Dit aangezien er op korte termijn vanuit de klimaatdoelen al actie nodig is over te stappen van bestaande (fossiele) warmtebronnen naar duurzame bronnen, terwijl de inzet van geothermie in Noord-Holland Zuid, en de grootschalige inzet van lagetemperatuurwarmtebronnen, een langere ontwikkeltijd vergt.

4.7 Opgave: realisatie CO_2-keten

Zoals eerder gemeld is er in het NZKG-gebied en in de glastuinbouw van NH-Noord en NH-Zuid zowel vraag naar als aanbod van CO_2. Het CO_2-aanbod vanuit 'carbon capture' in het NZKG en HVC kan oplopen tot ruim 6 megaton per jaar. Transport van CO_2 per tankauto en binnenvaartschip naar de glastuinbouw in het noorden lijkt uit kostenoogpunt een logischer keuze dan het doortrekken van een CO_2-pijpleiding vanuit het NZKG. In het zuidelijk deel van de provincie kan de glastuinbouw ook CO_2 krijgen via de reeds bestaande leiding van OCAP.
In het industriegebied NZKG ligt de situatie voor CO_2 heel anders. Hier is behoefte aan een CO_2-net voor zowel ondergrondse CO_2-opslag (CCS) als voor -gebruik (CCU).
In geval van CCU is daarbij ook waterstof nodig. De CO_2-leiding voor CCS is al nodig in 2030 om de afgevangen CO_2 van Tata Steel te kunnen opslaan. Rond 2030 staan ook de eerste productie-installaties voor synfuels gepland in het Amsterdams havengebied. De opgave is dan ook om de CO_2-keten tijdig te realiseren, inclusief de leidingverbinding IJmond-havengebied Amsterdam, de aansluiting op de OCAP-leiding, de afvoermogelijkheid naar lege gasvelden onder de Noordzee (CCS), en de ontwikkeling van CCU-industrie.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Introductie

Deze integrale systeemstudie bestaat uit twee hoofdonderdelen. Eerst is in kaart gebracht hoe vraag en aanbod van energie zich naar verwachting tussen 2020 en 2050 zullen ontwikkelen in de provincie Noord-Holland. Dat is gedaan met behulp van vier verschillende toekomstscenario's. Vervolgens is op basis van die scenario's verkend waar in het energiesysteem knelpunten en opgaves ontstaan, en wat daarvoor mogelijke oplossingsrichtingen zijn. Bij het nagaan van mogelijke oplossingen is steeds gekeken naar integrale oplossingen, over de grenzen van de individuele infrastructuren heen.

De ontwikkelingen leiden met name tot een sterk toenemende belasting van het elektriciteitsnet, waarbij grote knelpunten ontstaan indien niet tijdig actie wordt ondernomen. Dat is de reden dat elektriciteitsinfrastructuur relatief veel aandacht krijgt in de studie, zonder afbreuk te doen aan het belang van de andere energie-infrastructuren. De andere infrastructuren kunnen oplossingen bieden om optredende knelpunten in de elektriciteitsinfrastructuur te helpen voorkomen.

5.2 Conclusies ontwikkelingen energievraag en -aanbod

Ontwikkeling elektriciteit
De elektriciteitsvraag verdubbelt of verviervoudigt in de scenario's, van 60 PJ in 2020 naar minimaal 120 en maximaal 220 PJ in 2050. Die groei is niet alleen van traditionele aard (voor licht, motoren, airconditioning en ICT), maar komt ook door de onstuimige toename van bijvoorbeeld elektrisch rijden en warmtepompen.

De elektriciteitsproductie van zonnepanelen en windmolens in Noord-Holland neemt in de scenario's sterk toe van 13 PJ in 2020, naar 60 PJ in 2030, en vervolgens naar 55[47]-120 PJ in 2050, met een totaal opgesteld vermogen in 2050 in de scenario's van 5,5 tot 18 GW (Gigawatt). Bekend probleem bij hernieuwbare bronnen is de ongelijktijdigheid van vraag en productie van elektriciteit. Dat leidt tot momenten met grote overschotten (veel zon en wind, weinig vraag) en momenten van grote tekorten (avond of winter, en windstil). De momenten van grote tekorten nemen toe met de voorgenomen sluiting van bestaande elektriciteitscentrales, die immers beter in staat zijn om mee te bewegen met de veranderende vraag. De aard en omvang van het probleem verschillen per subregio en treden zowel op in het laagspanningsnet, het middenspanningsnet, als in het hoogspanningsnet.

Op jaarbasis importeert Noord-Holland nu al meer elektriciteit dan het exporteert en dat zal toenemen naar de toekomst, tenzij andere oplossingsrichtingen worden ingezet.
Die transporten lopen via het landelijke hoogspanningsnet (380 kV).

[47] De daling tussen 2030 en 2050 in twee van de vier toekomstscenario's komt doordat in die beide scenario's grote importen vanuit het buitenland mogelijk worden, van onder andere waterstof. Die importen concurreren met hernieuwbare energieproductie in Nederland, waardoor afgeschreven installaties in die scenario's uiteindelijk niet worden vervangen aan het eind van hun levensduur. In de beide andere scenario's groeit de productie in Noord-Holland juist sterk door na 2030.

Ontwikkeling andere energienetten
Ook voor de andere energienetten staan belangrijke ontwikkelingen op stapel. Dat geldt met name voor het uitbouwen van warmtenetten, de geleidelijke overgang van aardgas naar groengas, het realiseren van een waterstofketen (productie, transport en gebruik), duurzamer brandstoffen in de transportsector en de opzet van een CO_2-keten. Die ontwikkelingen brengen flinke opgaves met zich mee. Zij kunnen echter ook bijdragen aan het oplossen van (toekomstige) knelpunten in de elektriciteitsvoorziening, omdat zij via hun netwerk een deel van de energievraag en -aanbod kunnen overnemen en zo het elektriciteitsnet kunnen ontlasten.

Ontwikkeling energievraag per maatschappelijke sector
De vraag naar energie ontwikkelt zich per sector op eigen wijze:
- Gebouwde omgeving: De totale energievraag van de gebouwde omgeving daalt van 118 PJ in 2020 naar circa 80-100 PJ in 2050, als gevolg van energiebesparing. Dat is ondanks de groei van de aantallen gebouwen. De vraag naar aardgas in de gebouwde omgeving neemt sterk af, van 81 PJ in 2020 naar 11-48 PJ in 2050, door besparing en inzet van alternatieven. Daardoor stijgt de elektriciteitsvraag en breiden in stedelijke zones ook warmtenetten uit.
  In de scenario's Nationaal en Internationaal ontstaat er vanaf 2030 vraag naar waterstof (gas) in de gebouwde omgeving.
- Mobiliteit en transport: Door de forse groei van elektrisch rijden neemt de vraag naar elektriciteit toe (accu's) van circa 1 PJ in 2020 naar 10-18 PJ in 2050, en begint vanaf 2030 ook de vraag naar waterstof toe te nemen (brandstofcel), tot 4-10 PJ in 2050.
  Op de elektriciteitsvoorziening als geheel valt het effect van elektrisch rijden mee ten opzichte van andere ontwikkelingen, maar lokaal (in straten en wijken) kunnen wel vraagknelpunten optreden. Het totale eindverbruik aan energie vanuit mobiliteit neemt overigens na 2030 af, omdat in elektrische voertuigen geen omzetting meer plaatsvindt van benzine of diesel naar 'kracht'. Dit geldt voor alle scenario's. Bij het zwaar en lang transport ontstaat een verschuiving van fossiele brandstoffen naar bio- en synthetische brandstoffen, en naar waterstof.
- Industrie: De vier gehanteerde toekomstscenario's geven zeer verschillende uitkomsten voor de industrie voor wat betreft de verschillende energiedragers c.q. brandstoffen. Het staat vast dat de energievraag tot 2050 blijft toenemen, van 44 PJ in 2020 naar circa 110-135 PJ in 2050. Het industriecluster in de IJmond heeft daarin in 2020 een aandeel van 60% en dat aandeel neemt toe naar circa 80% in 2050. De toename in energiegebruik is grotendeels het gevolg van energiegebruik voor 'carbon capture' in de scenario's (waarvoor veel warmte nodig is), en deels groei van de industriesector (waaronder Schiphol). Daarbij neemt ook de vraag naar waterstof substantieel toe, naar 5-60 PJ in 2050, omdat er voor hogetemperatuurprocessen weinig andere duurzame energiedragers voorhanden zijn. Het elektriciteitsgebruik van de industrie neemt toe van 19 PJ in 2020 naar 37-118 PJ in 2050.
- Datacenters: Vooral rond Amsterdam en in het Agriport-gebied groeit het aantal datacenters. De elektriciteitsvraag van de datacenters groeit met een factor 5, naar 32 PJ in 2050. In de Kop van Noord-Holland domineren de datacenters zelfs de (knelpunten en oplossingsrichtingen van de) energie-infrastructuur. Dit geldt voor alle scenario's.

Analyse vraag en aanbod per energiedrager
Vraag en aanbod ontwikkelt zich tot 2050 voor iedere energiedrager op eigen wijze:
- Elektriciteit: Vraag en aanbod nemen sterk toe, in alle subregio's van Noord-Holland. De vraag groeit van jaarlijks 60 PJ in 2020 naar 120-220 PJ in 2050. Het jaarlijks aanbod van zonne- en windenergie groeit in de scenario's tot 2030 naar 60 PJ en groeit na 2030 in één scenario door tot 120 PJ, als consequentie van de opgave om een klimaatneutrale

energievoorziening te hebben in 2050. In alle scenario's blijft Noord-Holland afhankelijk van import op jaarbasis van elektriciteit voor de eigen behoefte.

- Voor de aanlanding van windelektriciteit van zee bij IJmuiden is vooralsnog uitgegaan van een aanbod van 2,1 tot 4,1 GW, afhankelijk van het gekozen scenario. Er is in de scenario's geen rekening gehouden met eventuele extra aanlanding (meer dan 4,1 GW) van windelektriciteit van zee. Eventuele uitbreiding van capaciteit van wind op zee (al dan niet als gevolg van een eventuele uitruil van hernieuwbare productie met 'zon en wind' op land), zal gepaard moeten gaan met versterking van de waterstofproductie-capaciteit bij de aanlanding of op zee, teneinde de bestaande capaciteit te beheersen van het 380kV-knooppunt Beverwijk en achterliggende verbindingen.
- Methaan: De vraag naar aardgas (als bron van methaan) neemt tot 2050 sterk af (van 124 naar 16-46 PJ/j) en zal geleidelijk verschuiven naar groengas. Alleen in het Generiek-scenario blijft de methaanvraag gelijk (door inzet methaan t.b.v. CCS bij industrie IJmond). In de andere scenario's ontstaat dus ruimte in het huidige aardgas-net, die bijvoorbeeld kan worden gebruikt om waterstof te transporteren.
- Waterstof: In alle maatschappelijke sectoren en toekomstscenario's zal de vraag naar waterstof toenemen. De vraag neemt vooral toe ná 2030 en loopt op tot 16-88 PJ in 2050[48]. In aanloop naar 2030 zal de basisinfrastructuur hiervoor gereed moeten worden gemaakt. Als totaal volume blijft de vraag naar waterstof kleiner dan de huidige aardgasvraag (behalve in het toekomstscenario Internationale sturing, waarbij de industrie van IJmond veel waterstof vraagt). Dat betekent dat er ruimte komt in het aardgasnet om waterstof te transporteren.
- Warmte: Ook de vraag naar warmte voor warmtenetten neemt toe, van jaarlijks 5 PJ naar 11-37 PJ in 2050. De vraag ligt vooral in stedelijk gebieden, glastuinbouw en industrie. Warmtebronnen zijn onder andere restwarmte van de industrie, geothermie, biomassacentrales, en lagetemperatuurwarmtebronnen.

5.3 Conclusies knelpunten, oplossingsrichtingen, opgaven

We maken in de gehanteerde terminologie zoals eerder beschreven een onderscheid tussen 'knelpunten' en 'opgaven'. Als het gaat om een probleem of beperking in de *bestaande* energie-infrastructuur spreekt deze studie van een knelpunt. Als het gaat om de gewenste oplossingen in de *nieuwe* energie-infrastructuur dan wordt gesproken van een opgave.

Elektriciteitsnetwerk
Het elektriciteitsnetwerk is de enige energie-infrastructuur in Noord-Holland die op grote schaal knelpunten zal vertonen, op twee niveaus:

1. Hoogspanningsnet: In NH-Noord en rond Amsterdam ontstaat er op korte termijn al bij 37% van de bestaande 150 kV-stations een capaciteitsknelpunt en dat loopt in 2050 op naar 90-95%. Ongeveer 85% van die stations kampt in 2050 met een vraagknelpunt (door lokaal te hoge consumptie) en afhankelijk van het toekomstscenario kampt 50 tot 95% met een aanbodknelpunt (door lokaal teveel aanbod van zonne/windenergie). Tenminste 50% van de stations heeft in 2050 zowel een aanbod- als vraagknelpunt, op verschillende momenten in het jaar. Ook een deel van de 150 kV-verbindingen (TenneT) vertoont knelpunten in de scenario's, met name verbindingen die de toe- en afvoer van elektriciteit naar en van NH-Noord verzorgen.
2. Midden- en laagspanningsnet: Ook de Liander-netten van 50 kV en lager vertonen op grote schaal capaciteitsknelpunten in de scenario's. Afhankelijk van het toekomst-scenario vertoont 35-50% van de circa 200 onderverdeelinstallaties in 2050 een

[48] De genoemde cijfers zijn exclusief bunkeren door scheepvaart.

capaciteitsknelpunt. Dat geldt daarnaast voor 60-80% van de circa 11.500 midden-spanningsruimtes.

Waterstofnetwerk
In de (aard)gasnetten treden geen knelpunten op. Er ligt echter wel een omvangrijke opgave om het gasnet geschikt te maken voor duurzame gassen, zoals waterstof. Een landelijke 'waterstofbackbone' kan al vóór 2030 gerealiseerd worden door enkele buizen van het huidige aardgastransportnet ('backbone') te bestemmen (separeren) voor waterstof. Grote afnemers die direct op die backbone zijn aangesloten, kunnen dan kiezen tussen aardgas en waterstof. Voor de regionale gasnetten is separatie van buizen beperkt mogelijk, omdat die netten in het algemeen niet uit parallelle buizen bestaan. Per gebied moet in dat geval worden gekozen voor aanleg van een aparte waterstofleiding of een lokale overstap van alle afnemers van aardgas naar waterstof. De toekomstige bevoorrading van tankstations voor het wegverkeer met waterstof zal vanuit kostenoogpunt vermoedelijk meestal via tankwagens gebeuren. Voor de klimaatneutrale scheepvaart zullen in de haven nieuwe bunkerfaciliteiten moeten worden ontwikkeld.

De productie van waterstof kan plaatsvinden via elektrolysers op land, in windparken op zee en in de vorm van 'blauwe waterstof'. Voor de hand liggende locaties voor waterstof-productie zijn het NZKG-gebied en Den Helder. Na 2030 wordt verwacht dat er ook grootschalige import van waterstof per tanker over zee op gang kan komen, die in de haven in kan voeden op de landelijke backbone. De hele keten van aanbod, infrastructuur en vraag zal echter vanwege de hoge aanloopkosten niet vanzelf (of te langzaam) tot stand komen. Het gaat hier om een klassieke kip-ei-situatie, die alleen kan worden doorbroken door overheidsondersteuning en een goed gecoördineerd samenwerkingsprogramma.

Warmtenetten
In drie van de vier toekomstscenario's is de groei van warmtenetten een belangrijk middel om de stedelijke omgeving klimaatneutraal te maken. In die scenario's worden warmte-netten overigens ook ingezet voor het verwarmen van de glastuinbouw (zoals nu ook al in Agriport gebeurt) en voor proceswarmte (en stoom) in de industrie van het NZKG. Warmtenetten en een stoomnet zijn technisch gezien geen grote uitdaging, maar vergen wel langlopende planprocessen, met lastige ruimtelijke consequenties en zeer hoge aanvangsinvesteringen.

CO_2-netwerk
In het NZKG-gebied en in de glastuinbouw van NH-Noord en NH-Zuid is er zowel vraag naar als aanbod van CO_2. Het CO_2-aanbod vanuit 'carbon capture' in het NZKG en HVC kan oplopen tot ruim 6 megaton per jaar. Transport van CO_2 per tankauto en binnenvaartschip naar de glastuinbouw in het noorden lijkt uit kostenoogpunt een logischer keuze dan het doortrekken van een CO_2-pijpleiding vanuit het NZKG. In het zuidelijk deel van de provincie kan de glastuinbouw ook CO_2 krijgen via de reeds bestaande leiding van OCAP. In het industriegebied NZKG ligt de situatie voor CO_2 heel anders. Hier is behoefte aan een CO_2-net voor zowel ondergrondse CO_2-opslag (CCS) als voor CO_2-hergebruik (CCU). In geval van CCU is daarbij ook waterstof nodig. Net als bij waterstof gaat het bij de CO_2-keten om een klassieke kip-ei-situatie die alleen kan worden doorbroken door overheidsondersteuning en een goed gecoördineerd stimuleringsprogramma.

Oplossingsrichtingen
De gebruikelijke oplossing voor knelpunten in het elektriciteitsnet is dat de netbeheerders investeren in verzwaring ervan. Die ingreep kan kostbaar zijn, en er kunnen belemmeringen zijn om dat op tijd te realiseren. Zo kan ruimtegebrek het uitbreiden van een onderstation parten spelen. Belemmeringen of niet, feit is dat complexe ruimtelijk-juridische procedures

het overgrote deel van de doorlooptijd in beslag nemen - tot 8 jaar voor verzwaringen van het 150 kV-net, en tot 20 jaar voor 380 kV-verbindingen - en vereisen daarom voorbereidende actie op korte termijn. Er zijn echter ook andere oplossingsrichtingen:

- ‘Moleculenroutes’: van elektronen naar moleculen en vice versa. Door lokaal elektriciteit (elektronen) om te zetten in waterstof, of methaan of waterstof (moleculen) in elektriciteit, kan energie via een parallel netwerk worden vervoerd, waarbij het elektriciteitsnet dus wordt ontlast.
  Deze bypassroute is een mogelijke oplossing voor vraagknelpunten (door moleculen lokaal om te zetten in elektronen) of aanbodknelpunten (door het teveel aan lokale energie tijdelijk op te slaan of af te voeren). Deze oplossingsrichting kan ook de ruimtelijke kwaliteit van de leefomgeving ten goede komen.
- Warmtenetten: Ook warmtenetten vervoeren veel (thermische) energie die anders (naast de optie van gas) door het elektranet had moeten worden geleverd. In de onderzochte scenario’s is de inzet van warmtenetten echter al meegenomen als invulling van de energievraag, dus warmtenetten zijn op zichzelf blijkbaar niet in staat om de capaciteitsvraagknelpunten van het elektriciteitsnet te voorkomen. Wel kunnen warmtenetten knelpunten uitstellen of verkleinen, en helpen om productieoverschotten van elektriciteit uit zonne- en windenergie op te vangen (‘power-to-heat’).
- Andere ordening vraag en aanbod: Tot slot is het mogelijk om vraag en aanbod van elektriciteit op een andere manier te ordenen in de ruimte en/of tijd. Denk daarbij aan de ruimtelijke ordening van grote energieproducenten en -vragers, of innovatieve technieken die vraag en aanbod bijsturen (zoals smart grids, woningen met thuisopslag van PV-stroom, batterijtoepassingen in gebieden, flexibel laden en ontladen van elektrische auto’s, of tijdelijk beperken van de levering van windparken en zonneparken).

5.4 Aanbevelingen

Deze studie maakt onderscheid in aanbevelingen voor heel Noord-Holland en voor drie deelgebieden met elk een aantal specifieke knelpunten en opgaven: Noord-Holland Noord, het stedelijk gebied van Noord-Holland Zuid, en het industriegebied NZKG. De conclusies en aanbevelingen voor heel Noord-Holland gelden óók voor de drie deelgebieden. Bij de aanbevelingen is steeds ook vermeld wanneer de actie nodig is.

Voor heel Noord-Holland
Er bestaan op korte termijn reeds knelpunten in het elektriciteitsnet en die zullen, als er geen maatregelen worden getroffen, op grote schaal toenemen op alle spanningsniveaus in het net, in alle gebieden. Ook ontstaat vraag naar groengas (in plaats van aardgas), en vanaf 2030 krijgt de hele provincie te maken met een substantiële vraag naar waterstof. Daarnaast is er vraag naar uitbreiding van warmtenetten en naar realisatie van een CO_2-keten.

Algemene aanbevelingen:

1. Richt proactief een programma in om een waterstofketen in Noord-Holland te realiseren die aansluit op het beoogde landelijke waterstofnet[49]. In alle scenario's neemt waterstof een belangrijke rol in en het is van strategische waarde voor de flexibiliteit van het toekomstig energiesysteem. Zonder dit proactief handelen komt een waterstofnetwerk naar onze verwachting niet snel genoeg tot stand. Tijdpad: nu starten, met uitvoeringstermijnen van de verschillende onderdelen tot na 2030.
2. Houd in de Regionale EnergieStrategieën (RES) rekening met inzichten uit deze studie, bijvoorbeeld door bij locaties voor zonneweides en windparken samen met netbeheerders te zoeken naar optimale inpassing in de energie-infrastructuren. Tijdpad: opnemen in de nu lopende RES-processen.
3. Stel gezamenlijk een investeringsprogramma op voor de energie-infrastructuren in de provincie, op basis van de in deze studie geïdentificeerde knelpunten en opgaven. Betrek daarin ook de ruimtelijke ordening. Tijdpad: nu starten, met uitvoeringstermijnen van de verschillende onderdelen tot na 2030.
4. Verken als onderdeel van dat investeringsprogramma ook of – en waar- een 'moleculenroute' een haalbare oplossing zou kunnen zijn, tegen lagere maatschappelijke kosten dan een grootschalige elektriciteitsnetverzwaring. Zo ja, dan is de logische vervolgstap een demonstratieproject met conversie van elektriciteitsoverschotten naar waterstof (en/of warmte) en een conversie andersom van methaan en/of waterstof naar decentrale vraagvolgende elektriciteitsproductie. Tijdpad: nu starten, met uitvoeringstermijnen van de verschillende onderdelen tot na 2030.
5. Organiseer in het programma ook tijdige planologische voorbereiding voor de gestelde knelpunten en opgaven, door in de provinciale en gemeentelijke omgevingsplannen binnen de daarvoor geldende regels voldoende ruimte te reserveren voor (onder- en bovengrondse) tracés en knooppunten. Betrek hierin tevens in een vroeg stadium de betreffende handhavende en vergunningverlenende instanties. Dit vergroot de flexibiliteit, snelheid en implementeerbaarheid van de noodzakelijke maatregelen. Tijdpad: zie vorige punt.
6. Zorg voor periodieke updates van deze systeemstudie. Tijdpad: bijvoorbeeld elke vijf jaar.

Voor deelgebied Noord-Holland Noord

De genoemde groei van datacenters in Agriport en het groeiende aanbod van zonne- en windenergie in NH-Noord leggen een zware claim op de capaciteit van het elektriciteitsnet. Knelpunten in het net zullen in hoog tempo toenemen. In het geval als oplossing wordt gekozen voor verzwaring van het elektriciteitsnetwerk vergen de momenten met grootschalige tekorten of overschotten (oplopend tot 6 GW in scenario Regionaal) een verzwaring van het gehele elektriciteitsnetwerk om de elektriciteit te kunnen aanvoeren en afvoeren.

Specifieke aanbevelingen Noord-Holland Noord:

7. Zie ook de algemene aanbevelingen voor de provincie als geheel voor het opzetten van een investeringsprogramma energie-infrastructuren inclusief onderzoek naar de 'moleculenroute'. Dit is onder andere van belang voor de toevoer en afvoer van energie van en naar Noord-Holland Noord. Zet een zoekproces in werking naar ruimte voor eventuele verzwaring van het elektriciteitsnet en eventuele infrastructuur voor de 'moleculenroute'. Zet zo snel mogelijk de noodzakelijke planologische procedures in

[49] Opslag van waterstof (en van energie in het algemeen) is niet onderzocht in deze studie, het is onderdeel van de 'oplossingsruimte' voor eventuele knelpunten. Bij opslag moet onderscheid worden gemaakt naar de tijdsduur van de benodigde opslag, bijvoorbeeld dag/nacht-opslag of seizoensopslag. Opslag van waterstof, ook seizoensopslag, is het onderwerp van landelijke studies die in samenhang worden uitgevoerd met studies naar het genoemde landelijke waterstofnet.

gang, aangezien deze de belangrijkste factor vormen in de doorlooptijd van infrastructuuraanpassingen. Tijdpad: nu starten.

Voor stedelijk gebied Noord-Holland Zuid
Het geheel aan kennisintensieve werklocaties, datacenters, woonwijken, forse mobiliteitsstromen en de luchthaven Schiphol legt een zware druk op alle lagen van het elektriciteitsnetwerk. Op korte termijn zijn er al serieuze knelpunten in het regionale net. De oorzaken zijn echter zeer divers en liggen op alle spanningsniveaus van het elektriciteitsnet. Verzwaring van het elektriciteitsnet én op specifieke locaties oplossingen via de 'moleculenroute' zoals in Noord-Holland Noord zullen parallel moeten worden gerealiseerd om overbelasting te voorkomen en een betrouwbare energievoorziening te kunnen behouden.

Specifieke aanbevelingen stedelijk gebied Noord-Holland Zuid:
8. Zet in op verzwaring/uitbreiding van het elektriciteitsnet. Sluit daarbij ook aan op de recente detailstudie van Liander en de gemeente Amsterdam, waarin geconcludeerd wordt dat er zes tot acht nieuwe hoogspanningsstations nodig zijn in Amsterdam. Tijdpad: nu starten.
9. Zoek gezamenlijk naar oplossingen voor inpassing van de vraag (ook in de tijd) in het elektriciteitsnet en naar ruimtelijke inpassing van netverzwaring binnen de daarvoor geldende regels. Tijdpad: nu starten.
10. Ontzie in dit gebied het elektriciteitsnet, bijvoorbeeld door samen met de netbeheerders te zoeken naar optimale ruimtelijke inpassing van zonne- en windenergie en van datacenters. Tijdpad: nu starten.
11. Voer pilots uit met slim laden van elektrische auto's (aanbodafhankelijk, optie van teruglevering aan het net) en lokale energieopslag (zoals buurtbatterijen) om te bepalen in hoeverre deze helpen bij het voorkomen van knelpunten. Tijdpad: nu starten met opzetten van pilotprogramma.
12. Voer pilots uit om de invoering van waterstof voor zwaar en lang transport (bijv. vervoer over water, goederenvervoer, stadsreinigingsvoertuigen, regionaal OV) te stimuleren en de noodzakelijke tankinfrastructuur te faciliteren. Tijdpad: nu starten met opzetten van programma.

Voor industriegebied NZKG en de Zaanstreek
De verschillende energienetten en -systemen in dit gebied raken sterk met elkaar verknoopt. De schaal en omvang van het industriegebied NZKG biedt ook kansen, om de energie-infrastructuren als vliegwiel te laten fungeren voor verdere transitie in de regio. De elektriciteitsvraag in het gebied neemt toe en er is behoefte aan een zwaarder elektriciteitsnet. Om de industrie in het gebied klimaatneutraal te laten worden ('van het aardgas af') is bovendien behoefte aan een waterstofnet, warmtenet, stoomnet en een CO_2-net. Waterstof en CO_2 zijn bovendien noodzakelijk voor de beoogde ontwikkeling van CCU-industrie (koolstofvastlegging en -gebruik) in het gebied. De exacte omvang van deze behoeften is overigens afhankelijk van de keuzes die Tata Steel voor de periode na 2030 gaat maken.

Specifieke aanbevelingen NZKG:
13. Regel in overleg met Liander en TenneT de benodigde verzwaring/uitbreiding van het elektriciteitsnet. Sluit daarbij aan op de recente detailstudie van Liander en de gemeente Amsterdam, waarin geconcludeerd wordt dat er 6-8 nieuwe hoogspanningsstations nodig zijn in Amsterdam, onder andere in het havengebied. Tijdpad: nu starten, uitvoering kan doorlopen tot na 2030.
14. Gezien de toenemende behoefte aan waterstof is het wenselijk om een verkenning uit te voeren naar verdere uitbreiding van de aanlanding van wind op zee in IJmuiden (en

naar mogelijke aanlanding in Den Helder). De opgave daarbij is om te zoeken naar vormen waarbij de (extra) aanlanding niet leidt tot een benodigde grootschalige verzwaring van de hoogspanningsnetten, bijvoorbeeld door te kijken naar aanlanding in de vorm van waterstof, of door conversie naar waterstof op het aanlandingspunt. Tijdpad: nu starten met verkenning.

15. Zet een Masterplan NZKG op om in het NZKG de realisatie van de benodigde energie-infrastructuren verder vorm te geven. Waaronder de realisatie van een CO_2-keten, waterstofketen, warmte- en stoomleidingen, en verduurzaming van de transport-brandstoffen. Zonder die proactieve inzet komt de beoogde energietransitie in het NZKG naar onze verwachting niet snel genoeg tot stand. Tijdpad: nu starten met opzetten van het Masterplan, uitvoering kan doorlopen tot na 2030.
16. Betrek in dat Masterplan NZKG ook de benodigde kennisontwikkeling en capaciteitsopbouw voor vergunningverlening en handhaving.

Tot slot

De scenario's gaan uit van de klimaatdoelen zoals die zijn geformuleerd voor 2030 en 2050. Er zijn stevige inspanningen nodig om te zorgen dat die doelen daadwerkelijk worden gehaald. Dat ligt buiten scope van deze energie-infrastructuur systeemstudie. Deze studie gaat in op de effecten, mogelijke knelpunten en opgaves voor de energie-infrastructuren. Als die opgaves worden gerealiseerd en als mogelijke knelpunten worden opgelost bieden die infrastructuren ook kansen voor een duurzame ontwikkeling van wonen en werken.

6 Bibliografie

ACM, 2019. *Levering van warmte : Warmtetarieven.* [Online]
Available at: https://www.acm.nl/nl/warmtetarieven
[Geopend 2019].

ARCADIS ; PONDERA, 2018. *Afwegingsnotitie : Verkenning aanlanding netten op zee 2030,* Den Haag: RVO.

AT Osborne, 2016. *Onderzoek initiatieven invoedbeperkingen groen gas : Eindrapport,* Baarn: AT Osborne B.V..

Benzinestations.nu, 2019. *Tankstations in Noord-holland.* [Online]
Available at: https://tankstations.nu/provincie/noord-holland.html
[Geopend 2019].

Berenschot ; EnergyMatters; CE Delft; Industrial Energy Experts, 2017. *Electrification in the Dutch process industry : In-depth study of promising transition pathways and innovation opportunities for electrification in the Dutch process industry,* Utrecht: Berenschot Groep B.V..

Bosch & Van Rijn, 2016. *Windlocaties Westpoort : Ruimtelijke onderbouwing Windlocatie Hornweg,* Utrecht: Bosch & Van Rijn.

Buck Consultants, 2017. *Circulaire werklocaties Westas : Quickscan vestigingscriteria,* Den Haag: Buck Consultants International.

Bureau Waardenburg, ROM 3D en anteagroup, 2014. *Herstructurering wind op land Noord-Halland,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

CBS Statline, 2019. *Energieverbruik particuliere woningen; woningtype, wijken en buurten, 2016.* [Online]
Available at: https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83800NED/table?dl=16999
[Geopend 2019].

CBS Statline, lopend. *Banen van werknemers; geslacht, leeftijd, woon- en werkregio's.* [Online]
Available at: https://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=83658NED
[Geopend 2019].

CBS, 2018. *Kerncijfers wijken en buurten 2017.* [Online]
Available at:
https://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=83765NED&D1=85&D2=6211&HDR=T&STB=G1&VW=T
[Geopend 2019].

CE Delft ; DLR, 2013. *Zero emissions trucks : An overview of state-of-the-art technologies and their potential,* Delft: CE Delft.

CE Delft ; Infinitus, 2015. *MKBA Warmte MRA,* Delft: CE Delft.

CE Delft ; TNO ; Connekt, 2018. *Outlook Internationaal : factor 6, powerpoint presentatie 2050,* Delft: CE Delft ; TNO ; Connekt.

CE Delft en ECN-TNO, 2018. *Flexibiliseringsmechanismen in relatie tot saldering,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014. *Energiegebruik Nederlandse commerciële datacenters 2014-2017,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015a. *Duurzaam gas in zwaar goederenvervoer over de weg, visie 2025-2050,* Delft: CE Delft.

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

CE Delft, 2015c. *Gas als zonnebrandstof : verkenning,* Delft: CE Delft.

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

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

CE Delft, 2017c. *Ondergrondse elektriciteitsinfrastructuur Amsterdamse haven, niet openbaar,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018a. *Contouren en instrumenten voor een Routekaart Groengas 2020-2050,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018b. *EU ETS and research by CE Delft.* [Online]
Available at: https://www.cedelft.eu/en/eu-ets-1
[Geopend 2018].

CE Delft, 2018c. *Ontwikkelstrategie energietransitie NZKG : Kansen en acties, nu en later,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018d. *Verkenning BioLNG voor transport : Fact finding, marktverkenning, businesscases,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018e. *Waterstofroutes Nederland, blauw, groen en import, Dutch only,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2019. *Verduurzaming warmteproductie Diemen : Second opinie CO2-roadmap,* Delft: CE Delft.

Connekt ; TNO ; CE Delft, 2018. *Annual Outlook Hinterland and Continental Freight,* Delft: Topsector Lofgistiek (Connekt).

Davidse Consultancy, 2012. *Warmte-energie, de motor van de industrie : Ontwikkelingen in het gebruik en de opwekking van industriële warmte,* Bennekom: Davidse Consultancy.

D-Cision, 2019. *Kansen en bedreigingen voor datacenters in de Metropool Regio Amsterdam* , Zwolle: D-Cision N.V..

DDA, 2018. *Datacenter Restwarmte & Innovatie 2018* , Amsterdam: Dutch Data Center Association.

De Gemeynt, 2018. *Green Liaisons : Hernieuwbare moleculen naast duurzame elektronen ; Contouren van een routekaart Hernieuwbare Gassen 2050,* Klarenbeek: De Gemeynt Coöperatie u.a..

DNV GL, 2017. *Biomassapotentieel in Nederland : verkennende studie naar vrij beschikbaar biomassapotentieel voor energieopwekking in Nederland,* sl: DNV GL.

DNV.GL, 2017. *Verkenning waterstofinfrastructuur, revisie 2,* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Dutch Smart Thermal Grid, 2016. *Strategie voor de verduurzaming van de warmtevoorziening : Vergroening stedelijke infrastructuur,* Rotterdam: Studio Marco Vermeulen.

EBN en Gasunie, 2010. *CO2 transport- en opslagstrategie,* sl: Gasunie ; Energie Beheer Nederland B.V. (EBN).

EBN en Gasunie, 2017. *Transport en opslag van CO2 in Nederland, verkennende studie,* Utrecht: Energie Beheer Nederland B.V. (EBN) ; Gasunie.

ECN & TNO, 2017. *Warmteladder voor MRA, notitie,* Delft: TNO.

ECN, et al., 2017. *Nationale Energieverkenning 2017 (NEV),* Petten: ECN.

ECN, 2011. *Restwarmtebenutting : Potentiëlen, besparing en alternatieven,* Petten: ECN.

ECN, 2012. *Factsheet toekomstperspectieven energietransitie : Vraag en aanbod energie 2012 en 2050,* Petten: ECN.

ECN, 2013. *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector: : voorraadgegevens, energiegebruik, besparingspotentieel, investeringskosten, arbeidsinzet,* Petten: ECN.

ECN, 2015. *De ruimtelijke effecten van de energietransitie in Noord-Holland,* Petten: ECN.

ECN, 2015. *De ruimtelijke effecten van de energietransitie in Noord-Holland,* Petten: ECN.

ECN, 2016. *Perspectieven op een volledig hernieuwbare energievoorziening in Noord-Holland,* Petten: ECN.

ECN, 2016. *Perspectieven op een volledig hernieuwbare energievoorziening in Noord-Holland,* Petten: ECN.

ECN, 2017a. *Staat van de energietransitie Noord-Holland,* Petten: Energy research Centre of the Netherlands (ECN).

ECN, 2017b. *Nulmeting energiebesparing industrie Noord-Holland : Energiebesparingspotentieel bij industrie waarvoor de provincie Noord-Holland het bevoegd gezag is,* Petten: ECN.

ECN, 2017c. *Dutch program for the acceleration of sustainable heat management in industry ,* Petten: ECN.

ECN, 2017d. *Dutch program for the Accelaration of Sustainable Heat management in industry: Scoping Study Final report ,* Petten: ECN.

Ecofys; Berenschot, 2018. *Chemistry for Climate: Acting on the need for speed Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050,* Utrecht: Ecofys.

Ecofys, 2017. *Prefeasibility study CO2 Smart Grid : the potential of carbon capture, transport, usage and storage, final version,* Utrecht: Ecofys, a Navigant company.

Ecorys & BVR, 2017. *Naar een meer circulaire economie in de Metropoolregio Amsterdam : Ruimtelijke impact,* sl: sn

Ecorys, 2018. *Goederenstroomprognoses Havens Noordzeekanaalgebied 2050 : Goederenstromen aan zeezijde en achterland, concept,VERTROUWELIJK,* sl: Ecorys.

EIB & TNO, 2018. *Quickscan Impact assessment (circulaire) bouwopgave MRA : materiaalstromen, logistiek en ruimtegebruik,* Amsterdam: Economisch Instituut voor de Bouw (EIB).

EIB en TNO, 2018. *Quickscan Impact Assessment (circulaire) Bouwopgave MRA : Materiaalstromen, Logistiek en Ruimtegebruik,* Amsterdam: TNO/EIB.

Energy Academy Europe, TNO, ECN, 2016. *SENSEI : Strategies towards an efficient future North Sea energy infrastructure.* [Online]
Available at: https://www.ecn.nl/publications/PdfFetch.aspx?nr=ECN-O--16-053
[Geopend 2018].

FastNed, 2019. *175 kW snelladers.* [Online]
Available at: https://support.fastned.nl/hc/nl/articles/115015420127-175-kW-snelladers
[Geopend 2019].

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

Gemeente Amsterdam & Liander, 2019. *Thematische studie elektriciteit Amsterdam (nog niet gepubliceerd),* Amsterdam: Gemeente Amsterdan & Liander.

Gemeente Amsterdam, 2011. *Structuurvisie Amsterdam 2040 : Economisch sterk en duurzaam,* Amsterdam: Gemeente Amsterdam.

Gemeente Amsterdam, 2016. *Koers 2025 : Ruimte voor de stad, versie april 2016.,* Amsterdam: Gemeente Amsterdam.

Gemeente Amsterdam, 2017a. *Haven-Stad : Transformatie van 12 deelgebieden - Concept Ontwikkelstrategie, 20 juni 2017.*, Amsterdam: Gemeente Amsterdam : Programmabureau Haven-Stad, Ruimte en Duurzaamheid.

Gigler, J. & Weeda, M., 2018. *Contouren van een Routekaart Waterstof,* sl: TKI Nieuw Gas.

Haven Amsterdam, 2009. *Gebiedsvisie externe veiligheid Westpoort, definitief rapport,* Amsterdam: Haven Amsterdam.

Havenbedrijf Amsterdam, 2015. *Visie 2030 : Port of Amsterdam, Port of partnerships,* Amsterdam: Havenbedrijf Amsterdam.

IF Technology , 2016. *Kamp onderzoekt pilot Ultra Diepe Geothermie (UDG) voor industriële warmte.* [Online]
Available at: http://www.iftechnology.nl/kamp-onderzoekt-pilot-ultra-diepe-geothermie-udg-voor-industri-le-warmte
[Geopend 2018].

Industrietafel NZKG, 2018. *Noordzeekanaalgebied - Vliegwiel voor een duurzame toekomst,* Amsterdam: Industrietafel NZKG.

Klimaatakkoord.nl, 2019. *Gebouwde omgeving - Achtergrondnotitie Verduurzaming bestaande woningen.* [Online]
Available at:
https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/01/08/achtergrondnotitie-gebouwde-omgeving-verduurzaming-bestaande-woningen
[Geopend 2019].

Klimaatberaad, 2018. *Ontwerp van het Klimaatakkoord,* Den Haag: Rijksoverheid.

Krmelj, V., 2011. *Selected industrial processes which require low temperature heat , presentation,* Podavje: Energy Agency of Podavje.

Liander, 2017. *Kwaliteits- en Capaciteitsdocumenten (KCD's).* [Online]
Available at: https://www.liander.nl/over-liander/bedrijf/financieel/kwaliteit-capaciteit
[Geopend 2019].

Liander, 2018. *Kavelplanning en ontwikkelingen Haven van Amsterdam,* Arnhem: Liander.

Lieshout, M. v., 2017. *Visie op de toekomst van de Nederlandse procesindustrie : en de rol van het lectoraat Procesoptimalisatie en -intensificatie bij de realisatie daarvan.* Rotterdam: Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.

LTO Glaskracht, 2016. *CO2-vraag glastuinbouw, notitie.,* Zoetermeer : Glastuinbouw Nederland.

Malins, C., 2017. *What role is there for electrofuel technologies in European transport's low carbon future?, ,* sl: Cerulogy.

Marco.broekman; Posad; ECN, 2017. *Ruimtelijke verkenning energietransitie MRA, eindrapportage,* Amsterdam: Metropoolregio Amsterdam (MRA).

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

Metropoolregio Amsterdam, 2016. *Ruimtelijk-economische Actie-Agenda 2016-2020.,* Amsterdam: MRA Bureau.

Ministerie van EZ, 2016. *Energieagenda : Naar een CO_2-arme energievoorziening.,* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken (EZ).

Ministerie van EZK, 2017a. *Resultaten transitiepaden, uitwerking,* Den Haag: Ministerie van Economisache Zaken en Klimaat (EZK).

Ministerie van EZK, 2017b. *Uitwerking Energieagenda : Dwarsdoorsnijdend thema Ruimte, ambtelijke verkenning.,* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).

MRA & Royal HaskoningDHV, 2018. *Innovatieprogramma Smart Energy Systems Metropool Regio Amsterdam, aanpak,* Amsterdam: Metropool Regio Amsterdam (MRA) Bureau.

MRA, 2018. *Grand design 2.0,* Amsterdam: Metropoolregio Amsterdam Bureau (MRA).

Navigant, 2019. *CCU Potential in the North Sea Canal Region (Not Public),* sl: Navigant.

Netbeheer Nederland, 2018. *Toekomstbestendige gasdistributienetten.* [Online] Available at: https://www.netbeheernederland.nl/_upload/RadFiles/New/Documents/Kiwa%20-Toekomstbestendige%20gasdistributienetten%20-%20GT170272%20-%202018-07-05%20-D.._.pdf [Geopend 2019].

Netbeheer Nederland, 2019. *Basisinformatie over energie-infrastructuur : opgesteld voor de Regionale Energie Strategieën,* Den Haag: Netbeheer Nederland.

OCAP, 2018. *Persoonlijke communicatie, mbt. project 'MKBA CCU Smart Grid: Onderzoek maatschappelijke welvaartseffecten' van CE Delft, mei 2018.,* sl: sn

P+, 2018. Grootste afvanginstallatie in Nederland : Bio-CO2. *P+ special,* Issue week 20, pp. 1-4.

Pardo, N. et al., 2012. *Heat and cooling demand and market perspective,* Luxembourg: Publications Office of the European Union.

PBL & ECN, 2017. *Analyse regeerakkoord Rutte-II I: Effecten op klimaat en energie, notitie,* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2018. *De toekomst van de Noordzee : De Noordzee in 2030 en 2050: een scenariostudie,* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Port of Amsterdam, 2018. *Strategisch plan realisatie waterstofcluster rond de haven van Amsterdam* , Amsterdam: Havenbedrijf Amsterdam.

Port of Amsterdam, 2019. *Persoonlijke communicatie, Dhr. Reuchlin, maart 2019.*, sl: sn

Port of Den Helder, 2017. *Port of Den Helder Routekaart : Programma voor ontwikkelling,* Den Helder: NV Port of Den Helder.

PRIMOS, 2017-. *Ontwikkeling woningvoorraad-Noord-holland.* [Online]
Available at: https://primos.abfresearch.nl/jive?workspace_guid=2611874b-604d-4bed-b9dd-d3281536b22c
[Geopend 2019].

Projectbureau NZKG, 2016. *Uitvoeringsprogramma Noordzeekanaalgebied 2016,* IJmuiden: Projectbureau Noordzeekanaalgebied (NZKG).

Projectbureau NZKG, 2017. *Uitvoeringsprogramma Noordzeekanaalgebied 2017,* IJmuiden: Projectbureau Noordzeekanaalgebied (NZKG).

Provincie Noord-Holland; Gemeente Amsterdam; Omgevingsdienst NZKG; Veiligheidsregio Amsterdam-Amstelland; Havenbedrijf Amsterdam NV, 2014a. *Veiligheidscontour Afrika- en Amerikahaven,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2014b. *Herstructurering Wind op Land Noord-Holland, Plan-MER,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2016a. *Internationale benchmark Westas, (Deelrapportage voor de Ruimtelijk-Economische Verkenning Westas),* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2016b. *Beleidsagenda Energietransitie 2016 – 2020,* Haarlem: Provincie Noord-Holland, Directie Beleid, Sector Milieu.

Provincie Noord-Holland, 2016c. *Landschap Noordzeekanaalgebied: Kijkwijzer.,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2017a. *Koers NH2050 : Balans tussen economische groei en Leefbaarheid,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2017b. *Ruimtelijk-Economische Verkenning; de circulaire Westas : wending naar een nieuwe economie.* [Online]
Available at: https://www.amsterdamlogistics.nl/wp-content/uploads/2017/07/01-Westas-rapport-28juni2017.pdf
[Geopend 2018].

Provincie Noord-Holland, 2017c. *Structuurvisie Noord-Holland 2040 : Kwaliteit door veelzijdigheid,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2018a. *Energie Infrastructuur Energie Labs : november 2017-maart 2018,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2018b. *Uitvoeringsparagraaf 2018 : Bij Beleidsagenda Energietransitie 2016-2020,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2018c. *Omgevingsvisie NH2050 : Balans tussen economische groei en leefbaarheid,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland, 2018d. *Routeplanner Energietransitie 2020-2050,* Haarlem: Provincie Noord-Holland.

Provincie Zuid-Holland, 2018-2019. *Smart Multi Commodity Grid - MAINFRAME- Zuid-Holland | Ruimtelijke en systemische ontwikkelstrategie voor de verduurzaming van de energievoorziening en bijbehorende (energie-)infrastructuur ,* Den Haag: Provincie Zuid-Holland.

Provincie Zuid-Holland, 2018-lopend. *Ruimtelijke en systemische ontwikkelstrategie voor de verduurzaming van de energievoorziening en bijbehorende (energie-)infrastructuur,* Den haag: Provincie Zuidholland.

Quintel Intelligence, 2016. *Industrie in Transitie: een visie op de toekomstige energie- en grondstofvraag van de energie-intensieve industrie in Nederland vanuit inconsistenties in het huidige denken,* Amsterdam: Quintel Intelligence B.V..

Quintel Intelligence, 2017. *Havenbedrijf Amsterdam als drijvende kracht achter de energietransitie van de haven en haar omgeving, presentatie,* Amsterdam: Quintel Intelligence B.V..

Quispel, M., 2017. *LNG in de scheepvaart, presentatie, Nationaal LNG Platform, IJmuiden, 1 november 2017,* sl: Deltalinqs.

Rekenkamer Amsterdam, 2016. *Aanbod openbaar vervoer, onderzoeksrapport,* Amsterdam: Rekenkamer Amsterdam.

RH DHV, 2014. *Technische, ruimtelijke en organisatorische aspecten van het elektriciteitsnet voor de verbinding van windparken op zee op het landelijke hoogspanningsnet,* Amersfoort: RH DHV.

Rijksoverheid , 2015. *Biomassa 2030: Strategische visie voor de inzet van biomassa op weg naar 2030,* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Rijksoverheid, 2019a. *Emissieregistratie : Database van emissie van Nederlandse bedrijven.* [Online]
Available at: http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/facility.aspx
[Geopend februari 2019].

Rijksoverheid, 2019b. *Nationale Omgevingsvisie (NOVI),* Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Rijkswaterstaat, lopend. *Klimaatmonitor.* [Online]
Available at: https://klimaatmonitor.databank.nl/dashboard/Dashboard/
[Geopend 2018].

RUIMTEVOLK; Posad; H+N+S; FABRICations; Studio Marco Vermeulen; NRG Lab, 2018. *Ruimtelijke Verkenning Energie en Klimaat,* Utrecht: RUIMTEVOLK.

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

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

SER, 2013. *Energieakkoord voor duurzame groei,* Den Haag: Sociaal-Economische Raad (SER).

STOWA, 2014. *CO2-winning op RWZI's,* Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).

Stratix, 2018. *Toekomstbeelden datacentra in de Metropoolregio Amsterdam, versie 1.0.,* Hiversum: Stratix BV.

Stuurgroep Visie NZKG , 2013. *Visie Noordzeekanaalgebied 2040 : Duurzame ontwikkeling van een economische motor,* sl: Stuurgroep Visie Noordzeekanaalgebied.

TAQA , 2016. *TAQA in Nederland, Factsheet.* [Online]
Available at: http://www.taqainnederland.nl/wp-content/uploads/2016/02/Factsheet-TAQA-in-Nederland.pdf
[Geopend 2019].

Tata Steel, 2016. *Sustainability Report Tata Steel in the Netherlands 2015/2016,* IJmuiden: Tata Steel Nederland B.V..

TenneT & Gasunie, 2019. *Infrastructure Outlook 2050 : A joint study by Gasunie and TenneT on integrated energy infrastructure in the Netherlands and Germany.* [Online]
Available at: https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/02/22/tennet-gasunie-infrastructure-outlook-2050
[Geopend 2019].

Tennet, 2017. *Kwaliteits- en Capaciteitsdocument (KCD).* [Online]
Available at: https://www.tennet.eu/nl/bedrijf/publicaties/technische-publicaties/
[Geopend 2019].

Van den Dobbelsteen, A., 2018. *Roadmap Amsterdam : Energietransitieroutekaart naar Parijs, presentatie, 15 maart, Pakhuis De Zwijger, Amsterdam,* Amsterdam: sn

Voskuilen, T. & Bremer, R., 2016. *Grand Design Warmte Metropoolregio Amsterdam.* [Online]
Available at: https://onepager.totalactivemedia.nl/wp-content/uploads/sites/17/2016/07/0003aerapportwarmteenkoude-160615155629.pdf
[Geopend 2018].

Weeda, M., 2017. *Waterstof in de scheepvaart : Status en overzicht, presentatie, ECN, IJmuiden, 1 november 2017,* Petten: ECN.

Weide, H. v. d., 2017. *Informatiebijeenkomst schone scheepvaart, presentatie, haven Amsterdam, 1 november* , sl: Port of Amsterdam.

WindStats, lopend. *Windenergie statistieken van Nederland : Locaties, vermogen, real-time productie & voorspellingen.* [Online]
Available at: https://windstats.nl/
[Geopend 2019].

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

WUR, 2011. *CO2-dosering in de biologische glastuinbouw. Onderzoek naar alternatieve bronnen : Toepassingen in gangbare tuinbouw,* Wageningen: WUR GBT.

WUR, 2018. *Energiemonitor van de Nederlandse Glastuinbouw 2017,* Wageningen: Wageningen Economic Research (voorheen LEI).

A Geraadpleegde bronnen

Het overzicht van geraadpleegde bronnen is onderverdeeld in een lijst die (in ieder geval deels) specifiek betrekking heeft op het grondgebied van de provincie Noord-Holland, en daaronder een lijst die landelijk of algemeen is. De lijsten verwijzen naar het uitgebreide literatuuroverzicht in de BIBLIOGRAFIE.

A.1 Rapportages over grondgebied provincie Noord-Holland (soms deels)

Bosch & Van Rijn, 2016
Buck Consultants, 2017
CE Delft, 2017a
CE Delft, 2017c
CE Delft, 2018c
CE Delft, 2019
CE Delft ; Infinitus, 2015
D-Cision, 2019
DDA, 2018
DNV.GL, 2017
EBN en Gasunie, 2017
ECN, 2015
ECN, 2016
ECN, 2017a
ECN, 2017b
ECN & TNO, 2017
Ecorys & BVR, 2017
Ecorys, 2018
EIB & TNO, 2018
Energy Academy Europe, TNO, ECN, 2016
Haven Amsterdam, 2009
Gemeente Amsterdam, 2011
Gemeente Amsterdam, 2016
Gemeente Amsterdam, 2017a en verkorte versie
Gemeente Amsterdam & Liander, 2019
Havenbedrijf Amsterdam, 2015
Liander, 2017
LTO Glaskracht, 2016
Marco.broekman; Posad; ECN, 2017
Metropoolregio Amsterdam, 2016
MRA, 2018
MRA & Royal HaskoningDHV, 2018
Navigant , 2019 [Not Public]
P+, 2018
PBL, 2018
Port of Den Helder, 2017
Projectbureau NZKG, 2016
Projectbureau NZKG, 2017
Provincie Noord-Holland, 2016a

Provincie Noord-Holland, 2016b
Provincie Noord-Holland, 2016c
Provincie Noord-Holland, 2017a
Provincie Noord-Holland, 2017b
Provincie Noord-Holland, 2017c
Provincie Noord-Holland, 2018a
Provincie Noord-Holland, 2018b
Provincie Noord-Holland, 2018c
Provincie Noord-Holland, 2018d
Provincie Noord-Holland; Gemeente Amsterdam; Omgevingsdienst NZKG; Veiligheidsregio Amsterdam-Amstelland; Havenbedrijf Amsterdam NV, 2014
Quintel Intelligence, 2017
Stuurgroep Visie NZKG , 2013
Port of Amsterdam, 2018
Stratix, 2018
Tata Steel, 2016
TAQA, 2016 (over ondergrondse gasopslag)
TenneT, 2017
TenneT & Gasunie, 2019 (deels NH, o.a. aanlanding wind op zee)
Van den Dobbelsteen, 2018
Voskuilen & Bremer, 2016
Weide, 2017

A.2 Rapportages die landelijk, algemeen of over andere gebieden zijn

AT Osborne, 2016
Berenschot; EnergyMatters; CE Delft; Industrial Energy Experts, 2017
CE Delft, 2015a
CE Delft, 2015b
CE Delft, 2015c
CE Delft, 2018a
CE Delft, 2018b
CE Delft, 2018d
CE Delft, 2018[e]
CE Delft ; TNO ; Connekt, 2018
CE Delft ; DLR, 2013
Connekt ; TNO ; CE Delft, 2018
DNV GL, 2017
De Gemeynt, 2018
Dutch Smart Thermal Grid, 2016
ECN, 2012
Ecofys, 2017
Ecofys; Berenschot, 2018
Gigler & Weeda, 2018
IF Technology , 2016
Klimaatakkoord.nl, 2019
Malins, 2017
Ministerie van EZ, 2016
Ministerie van EZK, 2017b
Netbeheer Nederland, 2019

PBL & ECN, 2017
Provincie Zuid-Holland, 2018-2019
Provincie Zuid-Holland, 2018-lopend
Quintel Intelligence, 2016
Quispel, 2017
Rijksoverheid , 2015
Rijksoverheid, 2019b
RUIMTEVOLK; Posad; H+N+S; FABRICations; Studio Marco Vermeulen; NRG Lab, 2018
STOWA, 2014
Weeda, 2017
TenneT Position Paper "Nationale Ruimtelijke Strategie Datacenters"
Circular Mainframe, 2018. Ruimtelijke en systemische ontwikkelstrategie voor de verduurzaming van de industriële clusters
Regio van de Toekomst, 2018-2019. Ontwerpend onderzoek naar kansen voor een biobased bouwcyclus en CO_2-reductiedoelstellingen, landschapsontwikkeling en een aantrekkelijke woonomgeving
Circular Mainframe, 2018-heden. Robuuster en efficiënter systeem op nationale schaal voor energie en grondstoffen
Nationaal perspectief energietransitie, 2017. Ruimtelijke en systemische strategie voor de verduurzaming van de energievoorziening
Greentech Brabant, 2016. Ruimtelijke ontwikkelstrategie voor valorisatie van biomassa

B Begeleidingscommissie, ateliers en interviews

B.1 Begeleidingscommissie (leden en plaatsvervangers)

Naam	Organisatie
Ad Schoof	Ministerie van Economische Zaken
Art van der Giessen	gemeente Amsterdam
Bart van Leeuwen	Provincie Noord-Holland
Casper Roos	Liander
Eduard de Visser	Port of Amsterdam
Geert Haenen	provincie Noord-Holland
Jan Egbertsen	Port of Amsterdam
Jan Willem Reuchlin	Port of Amsterdam
Jarig Steringa	Gasunie
Maaike Kamps	provincie Noord-Holland
Maarten Mangnus	Liander
Marco Berkhout	RES-manager NHZ
Marijke Kellner	Gasunie
Martijn Douwes	Gasunie
Martijn Middel	Gasunie
Martijn van Eerden	Liander
Odile Rasch	RES-manager NHN
Peter Kwakman	TenneT
Ruben Voerman	gemeente Amsterdam
Shiromani Goerdin	TenneT
Tjeerd Stam	gemeente Amsterdam
Wies Thesingh-van Eijk	gemeente Alkmaar

B.2 Atelier Zuid

Naam	Organisatie
Bart van Manen	regio Gooi en Vechtstreek
Boris Alers	OD NZKG
Cock Pietersen	Tata Steel
Ed Koelemeijer	Schiphol
Edwin Oskam	MRA
Ingrid Giebels	Servicepunt Duurzame Energie NH
Juliane Kürschner	gemeente Amsterdam
Juliette Cohen	ORAM
Maria Santman	gemeente Zaanstad
Martijn Haeser	gemeente Velsen
Micha Hes	AEB
Michelle Koppert	gemeente Haarlemmermeer
Petrus Postma	Greenport
Rogier van der Laan	gemeente Amstelveen
Stefan Mol	Waternet
Vera van Vuuren	OD IJmond

B.3 Atelier Noord

Naam	Organisatie
Ben Schopman	Gemeente Koggenland
Daniël Banis	Ontwikkelbedrijf NHN/Agriport
Dirk Meijer	Defensie
Donald Mollee	PWN
Erik Ham	ECW
Erik Vos	Gemeente Hoorn
Frank Brandsen	New Energy Coalition en Ontwikkelbedrijf NHN
Geert Snelten	SED
Gine Nicolai-Hop	RUDNHN
Jos Scheurs	Defensie
Kees Turnhout	Port of Den Helder
Max van Gils	Gemeente Den Helder
Peter Paul Smoor	Servicepunt Duurzame Energie Noord-Holland
Peter van Dorsten	gemeente Alkmaar
Pierre Kas	gemeente Hollands Kroon
Ragna Kroes	provincie Noord-Holland
Ron Stapel	provincie Noord-Holland
Sigrid van der Valk	gemeente Medemblik
Thijs Pennink	Ontwikkelbedrijf NHN

B.4 Interviews en gesprekken

Naam	Organisatie
Jan Egbertsen	HbA
Arie-Willem Bijl	Programmamanager warmte MRA
Micha Hes	AEB
Petrus Postma	Greenports
Daniël Banis	Greenports
Nadine Catz	Schiphol
Mark Valkering	HVC
Ruud Snelderswaard	Vattenfall
Barbara Huneman	Nouryon
Cock Pietersen	Tata Steel
Geert Haenen/Matthijs van Oosterhout	provincie Noord-Holland
Stijn Grove	Dutch Datacenter Association

C Netkaarten energie-infrastructuur

In deze bijlage zijn kaartweergaves van de energie-infrastructuren in de provincie Noord-Holland opgenomen.

C.1 Algemene oriëntatiekaart

Figuur 26 - Algemene kaart ter oriëntatie, met de namen van enkele grote plaatsen, en het hoofdwegennet

C.2 Elektriciteitsinfrastructuur

Figuur 27 – Netkaart TenneT (380 kV (rood) en 150 kV (blauw)) inclusief enkele reeds in uitvoering zijnde uitbreidingen

In de knelpuntanalyseberekeningen door TenneT is al rekening gehouden met die in uitvoering zijnde uitbreidingen. In de kaart zijn ook de capaciteiten van de verbindingen getoond.

Figuur 28 – Voorzieningsgebieden 150 kV-stations, met bijbehorende stationsnamen

NB: in de praktijk zijn de grenzen van de gebieden niet zo scherp als nu in de kaart getoond, en wordt bij capaciteitsvraagstukken gezocht naar oplossingen op het dichtstbijzijnde station.

C.3 Gastransportinfrastructuur

D Overzicht energiedata scenario's

Deze bijlage bevat de cijfers (in PJ/jaar) die zijn gepresenteerd in de energiekaarten in de figuren in de hoofdtekst van het rapport. De tabellen zijn hier opgenomen voor lezers die specifieke cijfers willen aflezen in een figuur, of een totaal per sector of energievorm voor Noord-Holland. NB: de cijfers in deze bijlage kunnen alleen goed begrepen worden met de bijbehorende teksten in de hoofdstukken en in de bijlagen met scenariodetails!

Tabel 10 - Elektriciteitsvraag- en aanbod (PJ/jaar)

Scenario	Wind en zon totaal	Huis-houdens	Utiliteit	Mobiliteit	Landbouw	Industrie	Data-centers
2020							
Alkmaar	0,40	1,39	1,94	0,01	0,18	0,36	0,00
Kop van Noord-Holland	5,36	0,78	1,27	0,01	0,25	0,30	1,58
West-Friesland	0,61	1,00	1,04	0,00	0,27	0,51	0,00
Amsterdam	1,23	3,63	6,32	0,86	0,00	1,55	2,57
Amstelland-Meerlanden	0,50	1,71	2,81	0,01	0,78	2,68	2,03
Gooi- en Vechtstreek	0,14	1,29	1,49	0,01	0,00	0,44	0,01
Kennemerland en IJmond	4,35	1,73	1,73	0,01	0,04	11,91	0,00
Zaanstreek en Waterland	0,33	1,56	1,82	0,01	0,03	1,49	0,01
Totaal Noord-Holland	*12,93*	*13,11*	*18,42*	*0,91*	*1,57*	*19,25*	*6,20*
2030 - Sturing regionaal							
Alkmaar	1,90	2,74	1,96	0,42	0,30	0,51	0,00
Kop van Noord-Holland	10,94	1,60	1,38	0,29	1,09	0,37	12,63
West-Friesland	3,66	2,07	1,05	0,30	0,62	0,64	0,00
Amsterdam	3,07	7,94	6,23	2,78	0,01	2,47	6,12
Amstelland-Meerlanden	2,48	3,91	2,89	0,57	1,09	5,19	3,70
Gooi- en Vechtstreek	0,60	2,72	1,66	0,32	0,00	0,57	0,01
Kennemerland en IJmond	36,13	3,20	1,60	0,57	0,07	16,10	0,00
Zaanstreek en Waterland	1,32	3,42	1,58	0,46	0,04	2,56	0,01
Totaal Noord-Holland	*60,10*	*27,59*	*18,34*	*5,71*	*3,21*	*28,41*	*22,47*
2030 - Sturing nationaal							
Alkmaar	1,90	2,74	1,96	0,42	0,30	0,84	0,00
Kop van Noord-Holland	10,94	1,60	1,38	0,29	1,09	0,63	12,63
West-Friesland	3,66	2,07	1,05	0,30	0,62	0,77	0,00
Amsterdam	3,07	7,95	6,23	2,68	0,01	3,76	6,12
Amstelland-Meerlanden	2,48	3,91	2,89	0,57	1,09	5,30	3,70
Gooi- en Vechtstreek	0,60	2,72	1,66	0,32	0,00	0,69	0,01
Kennemerland en IJmond	36,13	3,20	1,60	0,57	0,07	16,62	0,00
Zaanstreek en Waterland	1,32	3,42	1,58	0,46	0,04	3,44	0,01
Totaal Noord-Holland	*60,10*	*27,60*	*18,35*	*5,61*	*3,21*	*32,06*	*22,47*
2030 - Sturing internationaal							
Alkmaar	1,90	2,15	1,94	0,42	0,10	0,58	0,00
Kop van Noord-Holland	10,94	1,19	1,30	0,29	0,36	0,71	12,63
West-Friesland	3,66	1,65	1,01	0,30	0,21	0,52	0,00
Amsterdam	3,07	6,67	6,37	3,19	0,00	2,49	6,12
Amstelland-Meerlanden	2,48	3,33	2,86	0,57	0,36	5,08	3,70
Gooi- en Vechtstreek	0,60	2,14	1,64	0,32	0,00	0,45	0,01
Kennemerland en IJmond	36,13	2,88	1,64	0,57	0,02	16,09	0,00
Zaanstreek en Waterland	1,32	2,85	1,57	0,46	0,01	1,67	0,01
Totaal Noord-Holland	*60,10*	*22,85*	*18,33*	*6,12*	*1,07*	*27,60*	*22,47*

Scenario	Wind en zon totaal	Huis-houdens	Utiliteit	Mobiliteit	Landbouw	Industrie	Data-centers
2030 - Generieke sturing							
Alkmaar	1,90	1,82	1,92	0,42	0,10	0,58	0,00
Kop van Noord-Holland	10,94	0,92	1,27	0,29	0,36	0,71	12,63
West-Friesland	3,66	1,32	0,97	0,30	0,21	0,52	0,00
Amsterdam	3,07	6,37	6,47	3,19	0,00	2,49	6,12
Amstelland-Meerlanden	2,48	2,93	2,75	0,57	0,36	5,08	3,70
Gooi- en Vechtstreek	0,60	1,81	1,63	0,32	0,00	0,45	0,01
Kennemerland en IJmond	36,13	2,44	1,64	0,57	0,02	17,94	0,00
Zaanstreek en Waterland	1,32	2,50	1,54	0,46	0,01	1,67	0,01
Totaal Noord-Holland	*60,10*	*20,11*	*18,20*	*6,12*	*1,07*	*29,45*	*22,47*
2050 - Sturing regionaal							
Alkmaar	7,51	2,84	1,91	1,72	0,03	0,44	0,00
Kop van Noord-Holland	28,05	1,65	1,34	1,17	0,14	0,34	12,63
West-Friesland	12,64	2,19	1,00	1,26	0,08	0,58	0,00
Amsterdam	11,56	9,54	5,96	5,43	0,00	2,31	15,63
Amstelland-Meerlanden	10,02	4,42	2,83	2,67	0,11	9,89	3,70
Gooi- en Vechtstreek	3,05	2,73	1,56	1,42	0,00	0,53	0,01
Kennemerland en IJmond	41,40	3,58	1,52	2,49	0,01	101,93	0,00
Zaanstreek en Waterland	5,50	3,76	1,47	2,20	0,00	2,11	0,01
Totaal Noord-Holland	*119,73*	*30,70*	*17,60*	*18,36*	*0,37*	*118,13*	*31,98*
2050 - Sturing nationaal							
Alkmaar	3,35	2,46	1,92	1,29	0,03	0,55	0,00
Kop van Noord-Holland	18,79	1,40	1,33	0,87	0,14	0,46	12,63
West-Friesland	6,05	1,84	1,00	0,95	0,08	0,61	0,00
Amsterdam	6,59	9,34	6,02	4,54	0,00	3,44	15,63
Amstelland-Meerlanden	4,27	3,96	2,83	2,00	0,11	9,92	3,70
Gooi- en Vechtstreek	1,42	2,43	1,55	1,07	0,00	0,63	0,01
Kennemerland en IJmond	70,68	3,23	1,56	1,86	0,01	102,07	0,00
Zaanstreek en Waterland	2,62	3,49	1,53	1,65	0,00	2,36	0,01
Totaal Noord-Holland	*113,75*	*28,15*	*17,75*	*14,24*	*0,37*	*120,04*	*31,98*
2050 - Sturing internationaal							
Alkmaar	1,59	2,00	1,88	0,86	0,01	0,46	0,00
Kop van Noord-Holland	6,99	1,06	1,26	0,58	0,05	0,47	12,63
West-Friesland	2,25	1,51	0,97	0,63	0,03	0,52	0,00
Amsterdam	3,38	8,68	6,07	3,65	0,00	1,98	15,63
Amstelland-Meerlanden	1,91	3,52	2,74	1,33	0,04	9,84	3,70
Gooi- en Vechtstreek	0,91	2,04	1,55	0,71	0,00	0,45	0,01
Kennemerland en IJmond	36,16	2,96	1,58	1,24	0,00	34,70	0,00
Zaanstreek en Waterland	1,42	2,99	1,51	1,10	0,00	1,67	0,01
Totaal Noord-Holland	*54,59*	*24,75*	*17,56*	*10,11*	*0,12*	*50,10*	*31,98*
2050 - Generieke sturing							
Alkmaar	1,74	1,96	1,90	0,86	0,01	0,46	0,00
Kop van Noord-Holland	7,28	1,06	1,27	0,58	0,05	0,47	12,63
West-Friesland	2,49	1,47	0,99	0,63	0,03	0,52	0,00
Amsterdam	3,53	8,41	6,14	3,65	0,00	1,98	15,63
Amstelland-Meerlanden	2,13	3,46	2,75	1,33	0,04	9,84	3,70
Gooi- en Vechtstreek	0,96	2,02	1,58	0,71	0,00	0,45	0,01
Kennemerland en IJmond	36,29	2,97	1,60	1,24	0,00	21,37	0,00
Zaanstreek en Waterland	1,52	3,06	1,53	1,10	0,00	1,67	0,01
Totaal Noord-Holland	*55,94*	*24,40*	*17,76*	*10,11*	*0,12*	*36,77*	*31,98*

Tabel 11 - Hernieuwbare elektriciteitsproductie (PJ/jaar) van 'zon en wind'

Scenario	Aanlanding wind op zee	Wind op land	Zon-PV op daken	Zonneweides	Totaal
2020					
Alkmaar	0,00	0,20	0,16	0,05	0,40
Kop van Noord-Holland	0,00	5,24	0,10	0,02	5,36
West-Friesland	0,00	0,41	0,12	0,09	0,61
Amsterdam	0,00	0,88	0,35	0,00	1,23
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,16	0,18	0,16	0,50
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,13	0,01	0,14
Kennemerland en IJmond	3,74	0,42	0,19	0,00	4,35
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,14	0,16	0,02	0,33
Totaal Noord-Holland	*3,74*	*7,44*	*1,39*	*0,36*	*12,93*
2030 - Sturing regionaal					
Alkmaar	0,00	0,39	0,70	0,82	1,90
Kop van Noord-Holland	0,00	8,34	0,45	2,15	10,94
West-Friesland	0,00	1,32	0,52	1,82	3,66
Amsterdam	0,00	1,42	1,55	0,09	3,07
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,29	0,80	1,39	2,48
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,58	0,01	0,60
Kennemerland en IJmond	34,47	0,43	0,85	0,39	36,13
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,29	0,73	0,30	1,32
Totaal Noord-Holland	*34,47*	*12,47*	*6,18*	*6,98*	*60,10*
2030 - Sturing nationaal					
Alkmaar	0,00	0,39	0,70	0,82	1,90
Kop van Noord-Holland	0,00	8,34	0,45	2,15	10,94
West-Friesland	0,00	1,32	0,52	1,82	3,66
Amsterdam	0,00	1,42	1,55	0,09	3,07
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,29	0,80	1,39	2,48
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,58	0,01	0,60
Kennemerland en IJmond	34,47	0,43	0,85	0,39	36,13
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,29	0,73	0,30	1,32
Totaal Noord-Holland	*34,47*	*12,47*	*6,18*	*6,98*	*60,10*
2030 - Sturing internationaal					
Alkmaar	0,00	0,39	0,70	0,82	1,90
Kop van Noord-Holland	0,00	8,34	0,45	2,15	10,94
West-Friesland	0,00	1,32	0,52	1,82	3,66
Amsterdam	0,00	1,42	1,55	0,09	3,07
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,29	0,80	1,39	2,48
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,58	0,01	0,60
Kennemerland en IJmond	34,47	0,43	0,85	0,39	36,13
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,29	0,73	0,30	1,32
Totaal Noord-Holland	*34,47*	*12,47*	*6,18*	*6,98*	*60,10*
2030 - Generieke sturing					
Alkmaar	0,00	0,39	0,70	0,82	1,90
Kop van Noord-Holland	0,00	8,34	0,45	2,15	10,94
West-Friesland	0,00	1,32	0,52	1,82	3,66
Amsterdam	0,00	1,42	1,55	0,09	3,07
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,29	0,80	1,39	2,48
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,58	0,01	0,60
Kennemerland en IJmond	34,47	0,43	0,85	0,39	36,13
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,29	0,73	0,30	1,32
Totaal Noord-Holland	*34,47*	*12,47*	*6,18*	*6,98*	*60,10*

Scenario	Aanlanding wind op zee	Wind op land	Zon-PV op daken	Zonneweides	Totaal
2050 - Sturing regionaal					
Alkmaar	0,00	0,65	3,64	3,23	7,51
Kop van Noord-Holland	0,00	16,89	2,32	8,84	28,05
West-Friesland	0,00	2,70	2,69	7,24	12,64
Amsterdam	0,00	3,12	8,06	0,39	11,56
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,59	4,17	5,26	10,02
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	3,03	0,01	3,05
Kennemerland en IJmond	34,47	0,94	4,40	1,59	41,40
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,52	3,80	1,18	5,50
Totaal Noord-Holland	*34,47*	*25,41*	*32,11*	*27,74*	*119,73*
2050 - Sturing nationaal					
Alkmaar	0,00	0,59	1,68	1,08	3,35
Kop van Noord-Holland	0,00	14,83	1,07	2,88	18,79
West-Friesland	0,00	2,39	1,25	2,41	6,05
Amsterdam	0,00	2,74	3,73	0,13	6,59
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,53	1,93	1,81	4,27
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	1,40	0,01	1,42
Kennemerland en IJmond	67,30	0,82	2,04	0,52	70,68
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,47	1,76	0,40	2,62
Totaal Noord-Holland	*67,30*	*22,37*	*14,86*	*9,23*	*113,75*
2050 - Sturing internationaal					
Alkmaar	0,00	0,26	1,07	0,25	1,59
Kop van Noord-Holland	0,00	5,72	0,68	0,58	6,99
West-Friesland	0,00	0,91	0,79	0,55	2,25
Amsterdam	0,00	0,98	2,37	0,02	3,38
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,20	1,23	0,48	1,91
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,89	0,01	0,91
Kennemerland en IJmond	34,47	0,29	1,30	0,10	36,16
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,20	1,12	0,10	1,42
Totaal Noord-Holland	*34,47*	*8,56*	*9,46*	*2,10*	*54,59*
2050 - Generieke sturing					
Alkmaar	0,00	0,26	1,14	0,34	1,74
Kop van Noord-Holland	0,00	5,72	0,73	0,83	7,28
West-Friesland	0,00	0,91	0,84	0,75	2,49
Amsterdam	0,00	0,98	2,52	0,04	3,53
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,20	1,30	0,63	2,13
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,95	0,01	0,96
Kennemerland en IJmond	34,47	0,29	1,38	0,15	36,29
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,20	1,19	0,13	1,52
Totaal Noord-Holland	*34,47*	*8,56*	*10,04*	*2,87*	*55,94*

Tabel 12 - Methaanvraag en -aanbod (PJ/jaar)

Scenario	Groengas-productie	Huis-houdens	Utiliteit	Mobiliteit	Landbouw	Industrie
2020						
Alkmaar	0,00	6,47	2,46	0,00	1,82	0,57
Kop van Noord-Holland	0,30	3,86	1,56	0,00	3,87	0,31
West-Friesland	0,16	4,60	1,13	0,00	3,25	0,52
Amsterdam	0,03	14,78	9,03	0,00	0,05	4,61
Amstelland-Meerlanden	0,17	6,93	3,05	0,00	7,73	0,46
Gooi- en Vechtstreek	0,00	6,74	2,13	0,00	0,03	0,62
Kennemerland en IJmond	0,16	8,59	2,40	0,00	0,39	13,69
Zaanstreek en Waterland	0,00	5,97	1,62	0,00	0,34	4,00
Totaal Noord-Holland	*0,82*	*57,94*	*23,37*	*0,00*	*17,48*	*24,79*
2030 - Sturing regionaal						
Alkmaar	0,22	1,71	0,21	0,11	0,12	0,36
Kop van Noord-Holland	0,54	0,90	0,16	0,09	0,45	0,22
West-Friesland	0,27	1,33	0,29	0,09	0,26	0,33
Amsterdam	0,09	6,60	0,71	0,22	0,00	3,34
Amstelland-Meerlanden	0,21	1,95	0,41	0,12	0,45	0,30
Gooi- en Vechtstreek	0,09	2,13	0,31	0,09	0,00	0,44
Kennemerland en IJmond	0,07	3,94	0,32	0,11	0,03	11,95
Zaanstreek en Waterland	0,27	1,41	0,22	0,16	0,02	2,49
Totaal Noord-Holland	*1,75*	*19,97*	*2,63*	*0,99*	*1,33*	*19,42*
2030 - Sturing nationaal						
Alkmaar	2,71	1,71	0,21	0,42	0,12	0,28
Kop van Noord-Holland	3,04	0,90	0,16	0,42	0,45	0,18
West-Friesland	0,27	1,33	0,29	0,29	0,26	0,25
Amsterdam	6,33	6,57	0,71	0,81	0,00	2,79
Amstelland-Meerlanden	0,21	1,95	0,41	0,64	0,45	0,23
Gooi- en Vechtstreek	0,09	2,13	0,31	0,44	0,00	0,36
Kennemerland en IJmond	0,07	3,97	0,33	0,66	0,03	11,62
Zaanstreek en Waterland	0,27	1,41	0,22	0,62	0,02	1,93
Totaal Noord-Holland	*12,99*	*19,96*	*2,64*	*4,30*	*1,33*	*17,63*
2030 - Sturing internationaal						
Alkmaar	2,71	4,17	1,03	0,80	0,20	0,41
Kop van Noord-Holland	5,53	2,38	0,92	0,80	0,72	0,23
West-Friesland	0,27	2,87	0,71	0,54	0,41	0,38
Amsterdam	10,08	12,46	2,45	1,36	0,00	3,34
Amstelland-Meerlanden	0,21	4,27	1,72	1,21	0,72	0,34
Gooi- en Vechtstreek	0,09	4,26	1,12	0,96	0,00	0,46
Kennemerland en IJmond	6,31	5,99	1,15	1,21	0,04	12,16
Zaanstreek en Waterland	0,27	3,69	0,81	1,25	0,03	2,85
Totaal Noord-Holland	*25,47*	*40,09*	*9,91*	*8,13*	*2,12*	*20,18*
2030 - Generieke sturing						
Alkmaar	2,71	5,55	1,44	0,80	0,20	0,41
Kop van Noord-Holland	5,53	3,46	1,09	0,80	0,72	0,23
West-Friesland	0,27	4,15	0,87	0,54	0,41	0,38
Amsterdam	10,08	13,99	4,18	1,36	0,00	3,34
Amstelland-Meerlanden	0,21	5,88	2,36	1,21	0,72	0,34
Gooi- en Vechtstreek	0,09	5,58	1,45	0,96	0,00	0,46
Kennemerland en IJmond	6,31	7,77	1,44	1,21	0,04	24,78

Scenario	Groengas-productie	Huis-houdens	Utiliteit	Mobiliteit	Landbouw	Industrie
Zaanstreek en Waterland	0,27	5,14	0,98	1,25	0,03	2,85
Totaal Noord-Holland	*25,47*	*51,50*	*13,82*	*8,13*	*2,12*	*32,80*
2050 - Sturing regionaal						
Alkmaar	0,22	0,39	0,03	0,38	0,17	0,00
Kop van Noord-Holland	0,54	0,28	0,05	0,39	0,72	0,00
West-Friesland	0,27	0,40	0,09	0,30	0,39	0,00
Amsterdam	0,09	5,25	0,53	0,64	0,00	0,00
Amstelland-Meerlanden	0,21	0,26	0,16	0,54	0,55	0,00
Gooi- en Vechtstreek	0,09	0,78	0,07	0,42	0,00	0,00
Kennemerland en IJmond	0,07	2,23	0,20	0,55	0,03	0,00
Zaanstreek en Waterland	0,27	0,49	0,09	0,53	0,02	0,00
Totaal Noord-Holland	*1,75*	*10,08*	*1,22*	*3,74*	*1,87*	*0,00*
2050 - Sturing nationaal						
Alkmaar	4,89	0,65	0,10	0,42	0,02	0,00
Kop van Noord-Holland	5,21	0,52	0,11	0,42	0,07	0,00
West-Friesland	0,27	0,33	0,08	0,29	0,04	0,00
Amsterdam	9,43	5,41	0,60	0,81	0,00	0,00
Amstelland-Meerlanden	0,21	0,17	0,18	0,64	0,05	0,00
Gooi- en Vechtstreek	0,09	0,75	0,09	0,44	0,00	0,00
Kennemerland en IJmond	0,07	1,27	0,15	0,66	0,00	0,00
Zaanstreek en Waterland	0,27	0,76	0,12	0,62	0,00	0,00
Totaal Noord-Holland	*20,43*	*9,86*	*1,44*	*4,30*	*0,19*	*0,00*
2050 - Sturing internationaal						
Alkmaar	4,89	2,10	0,58	0,80	0,01	0,28
Kop van Noord-Holland	9,88	1,68	0,64	0,80	0,04	0,16
West-Friesland	0,27	1,66	0,40	0,54	0,02	0,25
Amsterdam	17,60	5,42	1,11	1,36	0,00	2,23
Amstelland-Meerlanden	0,21	1,67	0,96	1,21	0,03	0,23
Gooi- en Vechtstreek	0,09	2,17	0,50	0,96	0,00	0,31
Kennemerland en IJmond	11,75	2,67	0,42	1,21	0,00	7,21
Zaanstreek en Waterland	0,27	2,49	0,53	1,25	0,00	1,90
Totaal Noord-Holland	*44,95*	*19,86*	*5,14*	*8,13*	*0,11*	*12,55*
2050 - Generieke sturing						
Alkmaar	4,89	3,97	1,00	0,78	0,01	0,33
Kop van Noord-Holland	9,88	2,38	0,90	0,78	0,04	0,19
West-Friesland	0,27	2,85	0,69	0,52	0,02	0,31
Amsterdam	17,60	11,56	2,16	1,30	0,00	2,67
Amstelland-Meerlanden	0,21	4,17	1,47	1,17	0,03	0,27
Gooi- en Vechtstreek	0,09	4,28	1,09	0,95	0,00	0,37
Kennemerland en IJmond	11,75	5,64	1,15	1,17	0,00	63,06
Zaanstreek en Waterland	0,27	3,57	0,78	1,22	0,00	2,28
Totaal Noord-Holland	*44,95*	*38,42*	*9,24*	*7,90*	*0,11*	*69,47*

Tabel 13 - Waterstofvraag en -aanbod (PJ/jaar)

Scenario	Power-to-hydrogen[50]	Huis-houdens	Utiliteit	Mobiliteit	Landbouw	Industrie
2020						
Alkmaar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amsterdam	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kennemerland en IJmond	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal Noord-Holland	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*
2030 - Sturing regionaal						
Alkmaar	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Amsterdam	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
Kennemerland en IJmond	2,13	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*0,00*	*0,00*	*1,05*	*0,00*	*0,00*
2030 - Sturing nationaal						
Alkmaar	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Amsterdam	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
Kennemerland en IJmond	2,13	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*0,00*	*0,00*	*1,01*	*0,00*	*0,00*
2030 - Sturing internationaal						
Alkmaar	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,14
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,08
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,13
Amsterdam	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	1,11
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,11
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,15
Kennemerland en IJmond	2,13	0,00	0,00	0,18	0,00	0,55
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,95
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*0,00*	*0,00*	*1,01*	*0,00*	*3,23*
2030 - Generieke sturing						
Alkmaar	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,14
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,08
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,13

[50] Is in de scenario's ingezet als mogelijke oplossing voor optredende knelpunten in de elektriciteitsvoorziening, en daarom niet als input gevarieerd, alleen bestaande investeringsplannen zijn opgenomen. Zie de bijlagen met scenariodetails per onderdeel.

Scenario	Power-to-hydrogen[50]	Huis-houdens	Utiliteit	Mobiliteit	Landbouw	Industrie
Amsterdam	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	1,11
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,11
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,15
Kennemerland en IJmond	2,13	0,00	0,00	0,18	0,00	0,55
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,95
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*0,00*	*0,00*	*1,01*	*0,00*	*3,23*
2050 - Sturing regionaal						
Alkmaar	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,14
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,11
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,13
Amsterdam	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	1,96
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,11
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,23
Kennemerland en IJmond	2,13	0,00	0,00	0,62	0,00	11,07
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,99
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*0,00*	*0,00*	*4,31*	*0,00*	*14,75*
2050 - Sturing nationaal						
Alkmaar	0,00	1,11	0,11	1,01	0,00	0,14
Kop van Noord-Holland	0,00	0,52	0,06	1,01	0,00	0,08
West-Friesland	0,00	1,09	0,16	0,68	0,00	0,13
Amsterdam	0,00	1,14	0,08	1,76	0,00	1,11
Amstelland-Meerlanden	0,00	1,76	0,22	1,53	0,00	0,11
Gooi- en Vechtstreek	0,00	1,47	0,15	1,18	0,00	0,15
Kennemerland en IJmond	2,13	2,55	0,17	1,55	0,00	11,05
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,61	0,10	1,56	0,00	0,95
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*10,25*	*1,05*	*10,28*	*0,00*	*13,73*
2050 - Sturing internationaal						
Alkmaar	0,00	1,59	0,22	1,01	0,02	0,28
Kop van Noord-Holland	0,00	0,61	0,16	1,01	0,07	0,16
West-Friesland	0,00	0,98	0,15	0,68	0,04	0,25
Amsterdam	0,00	4,73	0,55	1,76	0,00	2,23
Amstelland-Meerlanden	0,00	2,21	0,47	1,53	0,05	0,23
Gooi- en Vechtstreek	0,00	1,91	0,32	1,18	0,00	0,31
Kennemerland en IJmond	2,13	2,89	0,52	1,55	0,00	53,79
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,98	0,16	1,56	0,00	1,90
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*15,89*	*2,54*	*10,28*	*0,19*	*59,13*
2050 - Generieke sturing						
Alkmaar	0,00	0,00	0,00	1,01	0,02	0,22
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,00	1,01	0,07	0,12
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,68	0,04	0,20
Amsterdam	0,00	0,00	0,00	1,76	0,00	1,78
Amstelland-Meerlanden	0,00	0,00	0,00	1,53	0,05	0,18
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,25
Kennemerland en IJmond	2,13	0,00	0,00	1,55	0,00	0,88
Zaanstreek en Waterland	0,00	0,00	0,00	1,56	0,00	1,52
Totaal Noord-Holland	*2,13*	*0,00*	*0,00*	*10,28*	*0,19*	*5,16*

Tabel 14 - Warmtevraag (PJ/jaar)

Scenario	Huishoudens	Utiliteit	Landbouw	Industrie	Totaal
2020					
Alkmaar	0,21	0,04	0,05	0,00	0,29
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,17	0,00	0,17
West-Friesland	0,00	0,00	0,11	0,00	0,11
Amsterdam	1,71	0,49	0,00	0,00	2,20
Amstelland-Meerlanden	0,15	0,07	0,19	0,00	0,41
Gooi- en Vechtstreek	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04
Kennemerland en IJmond	0,05	0,01	0,01	0,00	0,07
Zaanstreek en Waterland	1,50	0,43	0,01	0,00	1,94
Totaal Noord-Holland	*3,65*	*1,04*	*0,53*	*0,00*	*5,22*
2030 - Sturing regionaal					
Alkmaar	0,66	1,09	0,97	0,03	2,75
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	3,57	0,02	3,60
West-Friesland	0,00	0,00	2,03	0,05	2,08
Amsterdam	3,29	5,12	0,02	0,26	8,69
Amstelland-Meerlanden	0,48	0,92	3,57	0,02	4,99
Gooi- en Vechtstreek	0,01	0,24	0,01	0,06	0,32
Kennemerland en IJmond	0,88	0,58	0,22	0,21	1,88
Zaanstreek en Waterland	1,46	0,64	0,13	0,33	2,57
Totaal Noord-Holland	*6,78*	*8,61*	*10,51*	*0,99*	*26,89*
2030 - Sturing nationaal					
Alkmaar	0,66	1,09	0,97	0,00	2,72
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	3,57	0,00	3,57
West-Friesland	0,00	0,00	2,03	0,00	2,03
Amsterdam	3,29	5,12	0,02	0,00	8,43
Amstelland-Meerlanden	0,48	0,92	3,57	0,00	4,97
Gooi- en Vechtstreek	0,01	0,24	0,01	0,00	0,27
Kennemerland en IJmond	0,84	0,56	0,22	0,00	1,62
Zaanstreek en Waterland	1,46	0,64	0,13	0,00	2,23
Totaal Noord-Holland	*6,74*	*8,59*	*10,51*	*0,00*	*25,85*
2030 - Sturing internationaal					
Alkmaar	0,32	0,73	0,69	0,00	1,74
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	2,54	0,00	2,54
West-Friesland	0,00	0,00	1,44	0,00	1,44
Amsterdam	2,23	3,44	0,01	0,00	5,68
Amstelland-Meerlanden	0,20	0,29	2,54	0,00	3,02
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,13	0,01	0,00	0,14
Kennemerland en IJmond	0,08	0,10	0,15	0,00	0,33
Zaanstreek en Waterland	1,22	0,46	0,09	0,00	1,77
Totaal Noord-Holland	*4,05*	*5,15*	*7,48*	*0,00*	*16,68*
2030 - Generieke sturing					
Alkmaar	0,28	0,45	0,69	0,00	1,41
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	2,54	0,00	2,54
West-Friesland	0,00	0,00	1,44	0,00	1,44
Amsterdam	1,96	2,49	0,01	0,00	4,46
Amstelland-Meerlanden	0,17	0,12	2,54	0,00	2,82
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Kennemerland en IJmond	0,06	0,01	0,15	0,00	0,23

Scenario	Huishoudens	Utiliteit	Landbouw	Industrie	Totaal
Zaanstreek en Waterland	1,20	0,41	0,09	0,00	1,71
Totaal Noord-Holland	*3,66*	*3,49*	*7,48*	*0,00*	*14,63*
2050 - Sturing regionaal					
Alkmaar	0,87	1,20	1,33	0,07	3,47
Kop van Noord-Holland	0,03	0,14	5,66	0,06	5,90
West-Friesland	0,05	0,14	3,11	0,14	3,44
Amsterdam	4,16	5,43	0,02	0,65	10,26
Amstelland-Meerlanden	0,85	0,97	4,35	0,05	6,22
Gooi- en Vechtstreek	0,76	0,94	0,01	0,14	1,86
Kennemerland en IJmond	1,07	0,58	0,22	0,51	2,38
Zaanstreek en Waterland	1,60	0,68	0,13	0,84	3,24
Totaal Noord-Holland	*9,39*	*10,09*	*14,82*	*2,46*	*36,77*
2050 - Sturing nationaal					
Alkmaar	0,68	1,12	0,13	0,00	1,93
Kop van Noord-Holland	0,03	0,14	0,57	0,00	0,74
West-Friesland	0,04	0,14	0,31	0,00	0,49
Amsterdam	3,52	5,18	0,00	0,00	8,70
Amstelland-Meerlanden	0,57	0,89	0,43	0,00	1,90
Gooi- en Vechtstreek	0,44	0,77	0,00	0,00	1,21
Kennemerland en IJmond	0,83	0,53	0,02	0,00	1,38
Zaanstreek en Waterland	1,60	0,68	0,01	0,00	2,29
Totaal Noord-Holland	*7,70*	*9,46*	*1,48*	*0,00*	*18,64*
2050 - Sturing internationaal					
Alkmaar	0,38	0,82	0,09	0,00	1,29
Kop van Noord-Holland	0,01	0,08	0,40	0,00	0,49
West-Friesland	0,03	0,11	0,22	0,00	0,36
Amsterdam	2,54	4,20	0,00	0,00	6,73
Amstelland-Meerlanden	0,20	0,60	0,31	0,00	1,10
Gooi- en Vechtstreek	0,07	0,47	0,00	0,00	0,54
Kennemerland en IJmond	0,17	0,19	0,02	0,00	0,37
Zaanstreek en Waterland	1,27	0,48	0,01	0,00	1,76
Totaal Noord-Holland	*4,64*	*6,95*	*1,05*	*0,00*	*12,64*
2050 - Generieke sturing					
Alkmaar	0,32	0,73	0,09	0,00	1,15
Kop van Noord-Holland	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40
West-Friesland	0,00	0,00	0,22	0,00	0,22
Amsterdam	2,26	3,51	0,00	0,00	5,77
Amstelland-Meerlanden	0,20	0,57	0,31	0,00	1,08
Gooi- en Vechtstreek	0,00	0,13	0,00	0,00	0,14
Kennemerland en IJmond	0,07	0,04	0,02	0,00	0,13
Zaanstreek en Waterland	1,20	0,46	0,01	0,00	1,67
Totaal Noord-Holland	*4,05*	*5,45*	*1,05*	*0,00*	*10,56*

Tabel 15 - Energievraag gebouwde omgeving (PJ/jaar)

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Warmte	Totaal
2020					
Alkmaar	3,33	8,93	0,00	0,24	12,50
Kop van Noord-Holland	2,05	5,42	0,00	0,00	7,47
West-Friesland	2,04	5,73	0,00	0,00	7,77
Amsterdam	9,95	23,81	0,00	2,20	35,96
Amstelland-Meerlanden	4,52	9,98	0,00	0,22	14,72
Gooi- en Vechtstreek	2,79	8,87	0,00	0,04	11,69
Kennemerland en IJmond	3,46	10,99	0,00	0,06	14,51
Zaanstreek en Waterland	3,38	7,59	0,00	1,93	12,90
Totaal Noord-Holland	*31,53*	*81,31*	*0,00*	*4,69*	*117,53*
2030 - Sturing regionaal					
Alkmaar	4,70	1,92	0,00	1,75	8,37
Kop van Noord-Holland	2,97	1,05	0,00	0,00	4,03
West-Friesland	3,12	1,63	0,00	0,00	4,75
Amsterdam	14,17	7,32	0,00	8,41	29,90
Amstelland-Meerlanden	6,80	2,36	0,00	1,40	10,56
Gooi- en Vechtstreek	4,37	2,43	0,00	0,26	7,06
Kennemerland en IJmond	4,79	4,26	0,00	1,46	10,51
Zaanstreek en Waterland	5,00	1,63	0,00	2,11	8,73
Totaal Noord-Holland	*45,93*	*22,60*	*0,00*	*15,39*	*83,92*
2030 - Sturing nationaal					
Alkmaar	4,70	1,92	0,00	1,75	8,37
Kop van Noord-Holland	2,97	1,05	0,00	0,00	4,03
West-Friesland	3,12	1,63	0,00	0,00	4,75
Amsterdam	14,18	7,28	0,00	8,41	29,87
Amstelland-Meerlanden	6,80	2,36	0,00	1,40	10,56
Gooi- en Vechtstreek	4,37	2,43	0,00	0,26	7,06
Kennemerland en IJmond	4,80	4,30	0,00	1,40	10,50
Zaanstreek en Waterland	5,00	1,63	0,00	2,11	8,73
Totaal Noord-Holland	*45,94*	*22,60*	*0,00*	*15,33*	*83,88*
2030 - Sturing internationaal					
Alkmaar	4,09	5,20	0,00	1,05	10,34
Kop van Noord-Holland	2,48	3,31	0,00	0,00	5,79
West-Friesland	2,66	3,57	0,00	0,00	6,23
Amsterdam	13,04	14,92	0,00	5,67	33,62
Amstelland-Meerlanden	6,18	5,99	0,00	0,49	12,66
Gooi- en Vechtstreek	3,78	5,38	0,00	0,13	9,29
Kennemerland en IJmond	4,52	7,14	0,00	0,18	11,84
Zaanstreek en Waterland	4,42	4,50	0,00	1,68	10,60
Totaal Noord-Holland	*41,17*	*50,00*	*0,00*	*9,20*	*100,37*
2030 - Generieke sturing					
Alkmaar	3,74	6,99	0,00	0,72	11,46
Kop van Noord-Holland	2,18	4,55	0,00	0,00	6,73
West-Friesland	2,30	5,01	0,00	0,00	7,31
Amsterdam	12,84	18,17	0,00	4,45	35,46
Amstelland-Meerlanden	5,68	8,24	0,00	0,28	14,20
Gooi- en Vechtstreek	3,44	7,03	0,00	0,00	10,47
Kennemerland en IJmond	4,08	9,21	0,00	0,07	13,37

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Warmte	Totaal
Zaanstreek en Waterland	4,05	6,12	0,00	1,62	11,79
Totaal Noord-Holland	*38,31*	*65,33*	*0,00*	*7,15*	*110,79*
2050 - Sturing regionaal					
Alkmaar	4,75	0,42	0,00	2,07	7,24
Kop van Noord-Holland	2,99	0,33	0,00	0,17	3,49
West-Friesland	3,19	0,49	0,00	0,19	3,87
Amsterdam	15,50	5,78	0,00	9,59	30,87
Amstelland-Meerlanden	7,25	0,42	0,00	1,82	9,48
Gooi- en Vechtstreek	4,29	0,85	0,00	1,71	6,85
Kennemerland en IJmond	5,10	2,43	0,00	1,65	9,19
Zaanstreek en Waterland	5,23	0,58	0,00	2,28	8,09
Totaal Noord-Holland	*48,29*	*11,30*	*0,00*	*19,48*	*79,07*
2050 - Sturing nationaal					
Alkmaar	4,38	0,75	1,22	1,80	8,15
Kop van Noord-Holland	2,73	0,63	0,58	0,17	4,11
West-Friesland	2,84	0,42	1,25	0,18	4,69
Amsterdam	15,36	6,00	1,23	8,70	31,29
Amstelland-Meerlanden	6,78	0,35	1,98	1,47	10,58
Gooi- en Vechtstreek	3,98	0,84	1,62	1,21	7,65
Kennemerland en IJmond	4,79	1,43	2,71	1,36	10,29
Zaanstreek en Waterland	5,02	0,88	0,71	2,28	8,89
Totaal Noord-Holland	*45,89*	*11,30*	*11,30*	*17,16*	*85,65*
2050 - Sturing internationaal					
Alkmaar	3,87	2,69	1,81	1,20	9,57
Kop van Noord-Holland	2,32	2,32	0,77	0,09	5,49
West-Friesland	2,48	2,06	1,13	0,14	5,81
Amsterdam	14,74	6,53	5,27	6,73	33,28
Amstelland-Meerlanden	6,26	2,62	2,68	0,80	12,36
Gooi- en Vechtstreek	3,59	2,67	2,23	0,54	9,03
Kennemerland en IJmond	4,53	3,09	3,41	0,36	11,39
Zaanstreek en Waterland	4,50	3,02	1,14	1,75	10,41
Totaal Noord-Holland	*42,31*	*25,00*	*18,44*	*11,59*	*97,33*
2050 - Generieke sturing					
Alkmaar	3,85	4,98	0,00	1,05	9,89
Kop van Noord-Holland	2,33	3,28	0,00	0,00	5,61
West-Friesland	2,46	3,55	0,00	0,00	6,01
Amsterdam	14,55	13,72	0,00	5,77	34,05
Amstelland-Meerlanden	6,21	5,63	0,00	0,77	12,61
Gooi- en Vechtstreek	3,60	5,37	0,00	0,13	9,10
Kennemerland en IJmond	4,57	6,79	0,00	0,11	11,47
Zaanstreek en Waterland	4,59	4,35	0,00	1,66	10,60
Totaal Noord-Holland	*42,16*	*47,67*	*0,00*	*9,50*	*99,33*

Tabel 16 - Energievraag industrie (PJ/jaar)

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Warmte	Totaal
2020					
Alkmaar	0,36	0,57	0,00	0,00	0,93
Kop van Noord-Holland	0,30	0,31	0,00	0,00	0,62
West-Friesland	0,51	0,52	0,00	0,00	1,04
Amsterdam	1,55	4,61	0,00	0,00	6,16
Amstelland-Meerlanden	2,68	0,46	0,00	0,00	3,14
Gooi- en Vechtstreek	0,44	0,62	0,00	0,00	1,06
Kennemerland en IJmond	11,91	13,69	0,00	0,00	25,60
Zaanstreek en Waterland	1,49	4,00	0,00	0,00	5,49
Totaal Noord-Holland	*19,25*	*24,79*	*0,00*	*0,00*	*44,04*
2030 - Sturing regionaal					
Alkmaar	0,51	0,36	0,00	0,03	0,90
Kop van Noord-Holland	0,37	0,22	0,00	0,02	0,61
West-Friesland	0,64	0,33	0,00	0,05	1,03
Amsterdam	2,47	3,34	0,00	0,26	6,06
Amstelland-Meerlanden	5,19	0,30	0,00	0,02	5,51
Gooi- en Vechtstreek	0,57	0,44	0,00	0,06	1,06
Kennemerland en IJmond	16,10	11,95	0,00	0,21	28,27
Zaanstreek en Waterland	2,56	2,49	0,00	0,33	5,38
Totaal Noord-Holland	*28,41*	*19,42*	*0,00*	*0,99*	*48,82*
2030 - Sturing nationaal					
Alkmaar	0,84	0,28	0,00	0,00	1,12
Kop van Noord-Holland	0,63	0,18	0,00	0,00	0,81
West-Friesland	0,77	0,25	0,00	0,00	1,02
Amsterdam	3,76	2,79	0,00	0,00	6,56
Amstelland-Meerlanden	5,30	0,23	0,00	0,00	5,53
Gooi- en Vechtstreek	0,69	0,36	0,00	0,00	1,05
Kennemerland en IJmond	16,62	11,62	0,00	0,00	28,24
Zaanstreek en Waterland	3,44	1,93	0,00	0,00	5,37
Totaal Noord-Holland	*32,06*	*17,63*	*0,00*	*0,00*	*49,69*
2030 - Sturing internationaal					
Alkmaar	0,58	0,41	0,14	0,00	1,13
Kop van Noord-Holland	0,71	0,23	0,08	0,00	1,02
West-Friesland	0,52	0,38	0,13	0,00	1,03
Amsterdam	2,49	3,34	1,11	0,00	6,95
Amstelland-Meerlanden	5,08	0,34	0,11	0,00	5,54
Gooi- en Vechtstreek	0,45	0,46	0,15	0,00	1,06
Kennemerland en IJmond	16,09	12,16	0,55	0,00	28,80
Zaanstreek en Waterland	1,67	2,85	0,95	0,00	5,47
Totaal Noord-Holland	*27,60*	*20,18*	*3,23*	*0,00*	*51,00*
2030 - Generieke sturing					
Alkmaar	0,58	0,41	0,14	0,00	1,13
Kop van Noord-Holland	0,71	0,23	0,08	0,00	1,02
West-Friesland	0,52	0,38	0,13	0,00	1,03
Amsterdam	2,49	3,34	1,11	0,00	6,95
Amstelland-Meerlanden	5,08	0,34	0,11	0,00	5,54
Gooi- en Vechtstreek	0,45	0,46	0,15	0,00	1,06
Kennemerland en IJmond	17,94	24,78	0,55	0,00	43,27

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Warmte	Totaal
Zaanstreek en Waterland	1,67	2,85	0,95	0,00	5,47
Totaal Noord-Holland	*29,45*	*32,80*	*3,23*	*0,00*	*65,47*
2050 - Sturing regionaal					
Alkmaar	0,44	0,00	0,14	0,07	0,65
Kop van Noord-Holland	0,34	0,00	0,11	0,06	0,51
West-Friesland	0,58	0,00	0,13	0,14	0,84
Amsterdam	2,31	0,00	1,96	0,65	4,93
Amstelland-Meerlanden	9,89	0,00	0,11	0,05	10,06
Gooi- en Vechtstreek	0,53	0,00	0,23	0,14	0,90
Kennemerland en IJmond	101,93	0,00	11,07	0,51	113,52
Zaanstreek en Waterland	2,11	0,00	0,99	0,84	3,94
Totaal Noord-Holland	*118,13*	*0,00*	*14,75*	*2,46*	*135,35*
2050 - Sturing nationaal					
Alkmaar	0,55	0,00	0,14	0,00	0,69
Kop van Noord-Holland	0,46	0,00	0,08	0,00	0,54
West-Friesland	0,61	0,00	0,13	0,00	0,74
Amsterdam	3,44	0,00	1,11	0,00	4,55
Amstelland-Meerlanden	9,92	0,00	0,11	0,00	10,03
Gooi- en Vechtstreek	0,63	0,00	0,15	0,00	0,79
Kennemerland en IJmond	102,07	0,00	11,05	0,00	113,12
Zaanstreek en Waterland	2,36	0,00	0,95	0,00	3,30
Totaal Noord-Holland	*120,04*	*0,00*	*13,73*	*0,00*	*133,77*
2050 - Sturing internationaal					
Alkmaar	0,46	0,28	0,28	0,00	1,01
Kop van Noord-Holland	0,47	0,16	0,16	0,00	0,78
West-Friesland	0,52	0,25	0,25	0,00	1,03
Amsterdam	1,98	2,23	2,23	0,00	6,44
Amstelland-Meerlanden	9,84	0,23	0,23	0,00	10,30
Gooi- en Vechtstreek	0,45	0,31	0,31	0,00	1,06
Kennemerland en IJmond	34,70	7,21	53,79	0,00	95,69
Zaanstreek en Waterland	1,67	1,90	1,90	0,00	5,47
Totaal Noord-Holland	*50,10*	*12,55*	*59,13*	*0,00*	*121,79*
2050 - Generieke sturing					
Alkmaar	0,46	0,33	0,22	0,00	1,01
Kop van Noord-Holland	0,47	0,19	0,12	0,00	0,78
West-Friesland	0,52	0,31	0,20	0,00	1,03
Amsterdam	1,98	2,67	1,78	0,00	6,44
Amstelland-Meerlanden	9,84	0,27	0,18	0,00	10,30
Gooi- en Vechtstreek	0,45	0,37	0,25	0,00	1,06
Kennemerland en IJmond	21,37	63,06	0,88	0,00	85,31
Zaanstreek en Waterland	1,67	2,28	1,52	0,00	5,47
Totaal Noord-Holland	*36,77*	*69,47*	*5,16*	*0,00*	*111,40*

Tabel 17 - Energievraag mobiliteit - exclusief scheepvaart (PJ/jaar)

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Biobrandstof	Benzine	Diesel	LPG	Totaal
2020								
Alkmaar	0,01	0,00	0,00	0,00	2,53	2,97	0,06	5,57
Kop van Noord-Holland	0,01	0,00	0,00	0,00	2,61	3,06	0,06	5,74
West-Friesland	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	1,75	0,04	3,45
Amsterdam	0,86	0,00	0,00	0,00	3,02	3,80	0,07	7,75
Amstelland-Meerlanden	0,01	0,00	0,00	0,00	2,75	3,05	0,07	5,87
Gooi- en Vechtstreek	0,01	0,00	0,00	0,00	3,21	3,38	0,08	6,68
Kennemerland en IJmond	0,01	0,00	0,00	0,00	3,37	4,02	0,08	7,48
Zaanstreek en Waterland	0,01	0,00	0,00	0,00	3,15	3,33	0,07	6,56
Totaal Noord-Holland	*0,91*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*22,30*	*25,36*	*0,53*	*49,10*
2030 - Sturing regionaal								
Alkmaar	0,42	0,11	0,12	0,00	2,55	2,69	0,06	5,95
Kop van Noord-Holland	0,29	0,09	0,12	0,00	2,54	2,67	0,06	5,77
West-Friesland	0,30	0,09	0,05	0,00	1,71	1,65	0,04	3,84
Amsterdam	2,78	0,22	0,27	0,00	2,74	4,24	0,09	10,34
Amstelland-Meerlanden	0,57	0,12	0,13	0,00	3,37	3,39	0,08	7,65
Gooi- en Vechtstreek	0,32	0,09	0,08	0,00	3,32	3,21	0,08	7,11
Kennemerland en IJmond	0,57	0,11	0,18	0,00	3,61	3,85	0,08	8,40
Zaanstreek en Waterland	0,46	0,16	0,10	0,00	3,62	3,50	0,08	7,93
Totaal Noord-Holland	*5,71*	*0,99*	*1,05*	*0,00*	*23,47*	*25,19*	*0,57*	*56,98*
2030 - Sturing nationaal								
Alkmaar	0,42	0,42	0,12	0,00	2,05	3,12	0,06	6,19
Kop van Noord-Holland	0,29	0,42	0,12	0,00	2,04	3,10	0,06	6,03
West-Friesland	0,30	0,29	0,05	0,00	1,38	1,94	0,04	3,99
Amsterdam	2,68	0,81	0,23	0,00	2,75	4,38	0,07	10,92
Amstelland-Meerlanden	0,57	0,64	0,13	0,00	2,71	3,96	0,07	8,08
Gooi- en Vechtstreek	0,32	0,44	0,08	0,00	2,67	3,78	0,07	7,37
Kennemerland en IJmond	0,57	0,66	0,18	0,00	2,91	4,46	0,08	8,86
Zaanstreek en Waterland	0,46	0,62	0,10	0,00	2,92	4,12	0,08	8,30
Totaal Noord-Holland	*5,61*	*4,30*	*1,01*	*0,00*	*19,43*	*28,88*	*0,53*	*59,75*
2030 - Sturing internationaal								
Alkmaar	0,42	0,80	0,12	0,21	2,05	3,02	0,05	6,67
Kop van Noord-Holland	0,29	0,80	0,12	0,21	2,04	3,00	0,05	6,51
West-Friesland	0,30	0,54	0,05	0,14	1,37	1,88	0,03	4,32
Amsterdam	3,19	1,36	0,23	0,40	2,74	4,25	0,07	12,23
Amstelland-Meerlanden	0,57	1,21	0,13	0,32	2,70	3,83	0,06	8,82
Gooi- en Vechtstreek	0,32	0,96	0,08	0,22	2,67	3,65	0,06	7,97
Kennemerland en IJmond	0,57	1,21	0,18	0,33	2,90	4,32	0,07	9,59
Zaanstreek en Waterland	0,46	1,25	0,10	0,31	2,91	3,98	0,07	9,08
Totaal Noord-Holland	*6,12*	*8,13*	*1,01*	*2,15*	*19,38*	*27,93*	*0,46*	*65,18*
2030 - Generieke sturing								
Alkmaar	0,42	0,80	0,12	0,21	2,05	3,02	0,05	6,67
Kop van Noord-Holland	0,29	0,80	0,12	0,21	2,04	3,00	0,05	6,51
West-Friesland	0,30	0,54	0,05	0,14	1,37	1,88	0,03	4,32
Amsterdam	3,19	1,36	0,23	0,40	2,74	4,25	0,07	12,23
Amstelland-Meerlanden	0,57	1,21	0,13	0,32	2,70	3,83	0,06	8,82
Gooi- en Vechtstreek	0,32	0,96	0,08	0,22	2,67	3,65	0,06	7,97
Kennemerland en IJmond	0,57	1,21	0,18	0,33	2,90	4,32	0,07	9,59

Scenario	Elektriciteit	Methaan	Waterstof	Biobrandstof	Benzine	Diesel	LPG	Totaal
Zaanstreek en Waterland	0,46	1,25	0,10	0,31	2,91	3,98	0,07	9,08
Totaal Noord-Holland	*6,12*	*8,13*	*1,01*	*2,15*	*19,38*	*27,93*	*0,46*	*65,18*
2050 - Sturing regionaal								
Alkmaar	1,72	0,38	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50
Kop van Noord-Holland	1,17	0,39	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96
West-Friesland	1,26	0,30	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88
Amsterdam	5,43	0,64	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	6,83
Amstelland-Meerlanden	2,67	0,54	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	3,88
Gooi- en Vechtstreek	1,42	0,42	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31
Kennemerland en IJmond	2,49	0,55	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	3,65
Zaanstreek en Waterland	2,20	0,53	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	3,41
Totaal Noord-Holland	*18,36*	*3,74*	*4,31*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*26,42*
2050 - Sturing nationaal								
Alkmaar	1,29	0,42	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2,72
Kop van Noord-Holland	0,87	0,42	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31
West-Friesland	0,95	0,29	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92
Amsterdam	4,54	0,81	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00	7,11
Amstelland-Meerlanden	2,00	0,64	1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	4,18
Gooi- en Vechtstreek	1,07	0,44	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	2,69
Kennemerland en IJmond	1,86	0,66	1,55	0,00	0,00	0,00	0,00	4,07
Zaanstreek en Waterland	1,65	0,62	1,56	0,00	0,00	0,00	0,00	3,83
Totaal Noord-Holland	*14,24*	*4,30*	*10,28*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*28,82*
2050 - Sturing internationaal								
Alkmaar	0,86	0,80	1,01	0,21	0,00	0,00	0,00	2,88
Kop van Noord-Holland	0,58	0,80	1,01	0,21	0,00	0,00	0,00	2,60
West-Friesland	0,63	0,54	0,68	0,14	0,00	0,00	0,00	2,00
Amsterdam	3,65	1,36	1,76	0,40	0,00	0,00	0,00	7,17
Amstelland-Meerlanden	1,33	1,21	1,53	0,32	0,00	0,00	0,00	4,40
Gooi- en Vechtstreek	0,71	0,96	1,18	0,22	0,00	0,00	0,00	3,08
Kennemerland en IJmond	1,24	1,21	1,55	0,33	0,00	0,00	0,00	4,33
Zaanstreek en Waterland	1,10	1,25	1,56	0,31	0,00	0,00	0,00	4,22
Totaal Noord-Holland	*10,11*	*8,13*	*10,28*	*2,15*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*30,68*
2050 - Generieke sturing								
Alkmaar	0,86	0,78	1,01	0,21	0,00	0,00	0,00	2,86
Kop van Noord-Holland	0,58	0,78	1,01	0,21	0,00	0,00	0,00	2,58
West-Friesland	0,63	0,52	0,68	0,14	0,00	0,00	0,00	1,98
Amsterdam	3,65	1,30	1,76	0,40	0,00	0,00	0,00	7,11
Amstelland-Meerlanden	1,33	1,17	1,53	0,32	0,00	0,00	0,00	4,36
Gooi- en Vechtstreek	0,71	0,95	1,18	0,22	0,00	0,00	0,00	3,06
Kennemerland en IJmond	1,24	1,17	1,55	0,33	0,00	0,00	0,00	4,29
Zaanstreek en Waterland	1,10	1,22	1,56	0,31	0,00	0,00	0,00	4,19
Totaal Noord-Holland	*10,11*	*7,90*	*10,28*	*2,15*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*30,44*

E Scenariodetails gebouwde omgeving

E.1 Introductie

Deze bijlage bevat de scenariodetails van de sector 'gebouwde omgeving'. Aan het eind van de bijlage zijn ook cirkeldiagrammen opgenomen van de verdeling van het aantal aansluitingen over de energienetwerkaansluitingen, en de verdeling van het energiegebruik per energiedrager. Die cirkeldiagrammen met aantallen aansluitingen zijn complementair aan de sectorfiguur met het energiegebruik in de gebouwde omgeving in het hoofdrapport.

De sector gebouwde omgeving omvat woningen en utiliteitbouw. De gebouwde omgeving maakt grote veranderingen door. Nieuwbouw is in de loop der jaren steeds energie-efficiënter gebouwd en moet conform Europese regelgeving per eind 2020 voldoen aan zogenaamde BENG-eisen (Bijna-EnergieNeutrale Gebouwen). De bestaande bouw wordt nu nog voor het overgrote deel verwarmd met aardgas, en zal tussen nu en 2050 'van het (aard)gas af' gaan. Energiebesparing door isolatie is een deel van de oplossing, daarnaast worden alternatieven ingezet zoals warmtenetten, groengas, elektrische of hybride warmtepompen, WKO, pelletketels, en, later in de tijd, ook waterstof als energiedrager. Naast warmtevraag hebben gebouwen ook energie nodig voor 'kracht en licht', in de vorm van elektriciteit.

NB: Elektriciteitsproductie op gebouwniveau, met zonnecellen, is opgenomen in Bijlage K. Elektriciteitsopslag op gebouwniveau is opgenomen in Bijlage P.

E.2 Data huidige situatie

De huidige energievraag van de gebouwde omgeving is bepaald op buurtniveau (CBS Statline, 2019) en uiteindelijk gesommeerd naar gemeenteniveau en naar stadsdeel voor de gemeente Amsterdam. Per buurt zijn de gebouwaantallen en oppervlakten naar bouwperiode gesommeerd vanuit de BAG, t/m bouwjaar 2017. Hierbij zijn is uitgegaan van de volgende gebruiksfuncties:

- woonfunctie;
- winkelfunctie;
- logiesfunctie;
- gezondheidszorgfunctie;
- kantoorfunctie;
- bijeenkomstfunctie;
- onderwijsfunctie;
- sportfunctie;
- celfunctie.

E.2.1 Woningen

Het huidige finale elektriciteits- en aardgasverbruik voor een buurt is berekend door het aantal woningen te vermenigvuldigen met het gemiddeld elektriciteits- dan wel aardgasverbruik per woning, zoals beschikbaar in de 'Kerncijfers wijken en buurten' van het CBS (CBS, 2018). Indien de verbruiksdata ontbreekt is voor elektriciteit het gemiddelde voor

heel Nederland aangehouden (2.910 kWh/woning/jr) en voor aardgas het gemiddeld verbruik per m^2, naar huidig energielabel van de woningen (WK2020, 2013). Hierbij is rekening gehouden met het aandeel woningen in de buurt dat is aangesloten op stadsverwarming, wat ook onderdeel is van de CBS-data op buurtniveau. Het gemiddeld energielabel van de woningen in een buurt is bepaald door de energielabels uit de RVO-database (RVO, lopend) te combineren met de BAG-gegevens per buurt. Tot slot is het huidige finale warmteverbruik van de woningen ingeschat door het gemiddelde aardgasverbruik in de buurt om te rekenen naar de warmtevraag, indien het aandeel kleiner is dan 60%. Bij deze omrekening is uitgegaan van een HR-ketel met de rendementen en vraagverdeling warmtapwater/ruimteverwarming zoals gebruikt in berekening van de maximumprijs warmtetarieven (ACM, 2019). Indien het aandeel stadsverwarming hoger is dan 60% is uitgegaan van het gemiddeld verbruik op basis van het gemiddelde energielabel in de buurt.

E.2.2 Utiliteit

De warmtevraag van de utiliteitsgebouwen in een buurt is bepaald met behulp van kentallen per functie, m^2 BVO en bouwperiode (ECN, 2013)voor ruimteverwarming en kentallen per functie en m^2 BVO (Meijer Energie & Milieumanagement B.V., 2008) voor warmtapwater. Deze is omgerekend naar een aardgasverbruik door uit te gaan van een HR-ketel en te corrigeren voor het aandeel stadsverwarming vanuit de CBS-buurtdata. De vraag naar koude, ventilatie, apparatuur en hulpenergie is ook bepaald aan de hand van kentallen per functie en m^2 BVO (Meijer Energie & Milieumanagement B.V., 2008). Deze zijn omgerekend naar een elektriciteitsverbruik door uit te gaan van een splitsysteem met een rendement van 3 voor koude en een mechanisch ventilatiesysteem met een rendement van 0,8 voor ventilatie. Tot slot is voor iedere utiliteitsfunctie in een buurt ingeschat of het gemiddeld om een groot- of kleinverbruiker gaat. Hierbij is een ondergrens van 2.000 GJ/jr voor elektriciteit en 5.980 GJ/jr gas/warmte aangehouden.

E.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Specifiek voor de warmtevraagontwikkeling per buurt van de bestaande bouw gebruiken we het CEGOIA-model. Dat is een kostenoptimalisatiemodel waarbij we de hoeken van het speelveld bepalen met beschikbaarheden van energiedragers in de gebouwde omgeving (zoals geothermie, groengas, waterstof) en met de prijzen daarvan. Die gegevens zijn inputgegevens voor het model.

E.3.1 Woningen, ontwikkeling aantallen in de tijd

We starten met de huidige woningvoorraad vanuit de BAG. Cijfers van PRIMOS (PRIMOS, 2017-) geven de ontwikkeling van de woningvoorraad per gemeente tussen nu en 2050, steeds in tijdblokken van vijf jaar, met daarin zowel nieuwbouw als onttrekkingen ('sloop'). Er staat niet bij wáár precies die nieuwbouw en onttrekkingen in de gemeente gaan komen, noch om wat voor woningen het precies gaat. Het totale volume aan nieuwbouw in Noord-Holland t/m 2050 is 32% van de huidige woningvoorraad, het totale volume aan sloop is 6%. De ontwikkeling van totale woningvoorraad volgt goed de toekomstverkenning van de WLO, scenario 'Hoog'. We gaan hier als volgt mee om, en in alle vier de scenario's hetzelfde:

Nieuwbouw: De aanname is dat het allemaal om all electric-woningen gaat, met een lucht-waterwarmtepomp. De praktijk zal zijn dat een deel van de nieuwe woningen een bodem-waterwarmtepomp zal krijgen (die heeft minder impact op het elektriciteitsnet), een deel een biomassaketel (bijvoorbeeld in buitengebieden), en ook een deel op een stadswarmtenet zal worden aangesloten (bijvoorbeeld bij inbreiding in een stadswarmtegebied).

De aanname dat het allemaal all electric wordt met een lucht-waterwarmtepomp leidt tot een voorstelbaar maximale impact op het elektriciteitsnet. De nieuwbouwcijfers zijn op gemeenteniveau (conform PRIMOS-cijfers, zoals afgestemd met Provincie Noord-Holland), met uitzondering van Amsterdam. Voor Amsterdam zijn de cijfers aangeleverd per stadsdeel door de gemeente. Het aangeleverde totaal aantal nieuwbouw woningen in Amsterdam is hoger dan in de PRIMOS-data voor gemeente Amsterdam (resp. +11% in 2030 en +32% in 2050). De gemeente heeft daarover gemeld dat de geleverde cijfers een bewust gekozen hoog-scenario zijn. In de cijfers in Tabel 18 valt de relatieve omvang van de nieuwbouw in Amsterdam op t.o.v. de andere gebieden. Verder valt op dat het verwachte nieuwbouw-realisatietempo in de eerste periode huidig-2030 aanzienlijk hoger ligt dan in de (langere) periode 2030-2050.

Sloop: dat gaat 'maar' om 6% van de totale woningvoorraad; het zijn trendcijfers, en het is niet bekend welke woningen precies zullen worden gesloopt. Het elektriciteitsgebruik is afhankelijk van type en grootte van de woning (en van de bewoners uiteraard, maar in de berekeningen zijn die uitgemiddeld in de kentallen). We nemen in de cijfers aan dat die sloop *niet* plaatsvindt. Deze aanname leidt tot een overschatting van de woningvoorraad (met 6%), en daarmee tot een realistisch maximale impact op de elektriciteits- en andere netten.

Tabel 18 - Aantallen nieuwbouwwoningen t.o.v. huidig, in 2030 en 2050 per subregio

Gebied	2030	2050
Alkmaar	12.544	12.804
Kop van Noord-Holland	3.501	3.535
West-Friesland	10.870	11.040
Amsterdam[51]	125.258	244.270
Amstelland-Meerlanden	47.499	70.534
Gooi- en Vechtstreek	13.653	19.439
Kennemerland en IJmond	27.598	43.883
Zaanstreek en Waterland	35.285	58.768
Noord-Holland Noord	26.915	27.379
Noord-Holland Zuid	249.293	436.894
Totaal Noord-Holland	**276.208**	**464.273**

E.3.2 Utiliteit, ontwikkeling aantallen in de tijd

Ook voor utiliteitsbouw wordt uitgegaan van de huidige voorraad vanuit de BAG.
Voor nieuwbouw loopt er ten tijde van deze studie een onderzoeksproject bij EIB (EIB en TNO, 2018), maar hiervan is nog geen data beschikbaar. Hierom is een bijschatting gehanteerd tot en met 2050 van 20% oppervlaktegroei (m^2 BVO). Er is uitgegaan van een lineaire groei in de tijd. Die 20% staat ook in de Routeplanner Energietransitie 2020-2050 van de provincie Noord-Holland. De nieuwbouw is BENG (bijna-energieneutraal), conform de bouwregelgeving.

[51] Nieuwbouwcijfers Amsterdam zijn opgegeven door gemeente Amsterdam, en zijn hoger dan de PRIMOS-cijfers die (in afstemming met Provincie Noord-Holland) voor alle andere gemeentes zijn gehanteerd. Zie de toelichtende tekst boven de tabel.

E.3.3 Bestaande bouw (woningen + utiliteit); beschikbaarheid energiedragers

De warmtetransitie van de gebouwde omgeving hangt sterk op de beschikbaarheid en de kosten van de klimaatneutrale energiedragers. In de praktijk wordt er geoptimaliseerd op de kosten van besparing (investering in isolatie), gebouwtechniek (bijv. wel/niet vloer-verwarming, warmtepomp, e.d.) en de kosten van het invullen van de resterende energie-vraag met klimaatneutrale energiedragers. Dat levert meteen een goed handvat op voor de inputs voor de verschillende scenario's.

Daarnaast wordt in stedelijk gebied sterk ingezet op (uitbreiding van) warmtedistributie. In Noord-Holland Zuid is in de update van het Grand Design-scenario (GD2.0) gebleken dat er aanzienlijk minder industriële restwarmte beschikbaar is dan eerst aangenomen. Of er geothermie mogelijk is, is nog onduidelijk, er loopt een onderzoeksprogramma waarin eerst (2019 en verder) zgn. seismiek wordt geschoten om de ondergrond in kaart te brengen. Onbekend betekent niet 'onmogelijk', zoals een glastuinder in Heemskerk heeft aan-getoond. Het betekent wel dat – zelfs als het uiteindelijk wel in grote delen van het gebied mogelijk blijkt – dat dat dan niet voor 2030 op grote schaal gerealiseerd zal zijn. Het gehele proces heeft nu eenmaal een forse doorlooptijd. In Noord-Holland Noord is de situatie geheel anders en is geothermie in vrijwel het gehele gebied kansrijk, het wordt bijvoorbeeld al toegepast bij het glastuinbouwcomplex Agriport-A7.

Bij warmte komen er na 2030 ook nog LT-bronnen beschikbaar, zoals restwarmte uit datacenters, warmte uit oppervlaktewater (TEO) en uit afvalwater (TEA). In 2050 zijn alle warmtenetten klimaatneutraal qua warmtebronnen.

E.3.4 Vraag naar elektriciteit voor kracht en licht

De aanname voor de ontwikkeling van de vraag naar elektriciteit voor de toepassingen 'kracht en licht' is 25% efficiencyverbetering elektriciteitsgebruik tussen nu en 2050 door zuiniger apparaten en lampen (oftewel een besparingstempo van steeds 1% per jaar ten opzichte van het jaar ervoor; dit is een gangbare aanname voor het tempo van energie-efficiencyverbetering). Dit is in alle vier de scenario's gelijk gehouden.

E.4 Scenariodata

We gaan als volgt om met de verschillende klimaatneutrale energiedragers in de scenario's (waarbij elektriciteit in alle gevallen ongelimiteerd beschikbaar is):

Tabel 19 - Gebouwde omgeving, warmtevraag bestaande bouw: belangrijkste onderscheidende kenmerken van de scenario's

Scenario	Invulling warmtevraag bestaande gebouwde omgeving (woningen + utiliteit)
Sturing regionaal	– Veel warmtenetten (restwarmte en geothermie) en all electric – Beperkingen op beschikbaarheid groengas – Geen import van biomassa, alleen NL groengas, naar rato toebedeeld aan NH – Geen waterstofdistributie in gebouwde omgeving – Hybride warmtepompen op groengas, niet op waterstof
Sturing nationaal	– Veel hybride warmtepompen op waterstof en op groengas – Waterstof wordt grootschalig en centraal geproduceerd (o.a. veel wind op zee) – Beperkingen op beschikbaarheid groengas (alleen Nederlands potentieel, naar rato toebedeeld aan NH)
Sturing internationaal	– Veel hybride warmtepompen op waterstof en op groengas – Import van houtpellets, groengas en waterstof – Geen beperking op beschikbaarheid groengas (want ook import)

Scenario	Invulling warmtevraag bestaande gebouwde omgeving (woningen + utiliteit)
Generieke sturing	– Mix van individuele opties op gebouwniveau – Geen grote nieuwe collectieve warmtesystemen – Import van houtpellets, groengas en waterstof – Geen beperkingen (op o.a. beschikbaarheid groengas)

Groengas is biogas dat tot aardgaskwaliteit wordt opgewerkt en in het bestaande gasnet kan worden bijgemengd, tot 100%. Het is wel duurder dan aardgas, en (in de scenario's zonder groengas*import*) maar beperkt voorradig omdat de benodigde biomassa binnenlands niet onbeperkt beschikbaar is. Voor de prijsstelling hanteren we het WLO-HOOG-scenario van PBL/CPB voor de aardgasprijsontwikkeling, waarin we aannemen dat de mix richting 2050 lineair wijzigt naar 100% groengas met bijbehorende prijs.

Het *binnenlands* potentieel groengas (in 2050) is naar verwachting 68 PJ/jr ((Gasunie, 2018) voor de gebouwde omgeving. Voor de toedeling van het nationale potentieel aan schaars groengas aan Noord-Holland hanteren we de ratio van het huidig aardgasgebruik van de gebouwde omgeving in het gebied t.o.v. het landelijk totaal van de gebouwde omgeving (i.e. 15 bcm/jr). Dat resulteert in een beschikbaarheid van in totaal 320 mln Nm^3/jr (11,3 PJ/jr) voor Noord-Holland. In welke buurten dat groengas dan precies wordt ingezet is dan de uitkomst van een kostenoptimalisatie. Ook de mate van besparing (isolatie) in elke buurt is uitkomst van diezelfde kostenoptimalisatie.

Voor de beschikbaarheid van restwarmte (HT en LT) en geothermie gebruiken we de laatste thermogiskaarten van TNO en de bronnen zoals opgenomen in o.a. MRA Grand Design 2.0, aangevuld met warmtebronnen in de andere gebieden van Noord-Holland.

Tabel 20 - Getalsmatige inputs van de scenario's

Scenario	Sturing regionaal		Sturing nationaal		Sturing internationaal		Sturing generiek	
Jaar	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Limiet gas	22,6 PJ *	11,3 PJ	22,6 PJ*	11,3 PJ	50 PJ	25 PJ	Geen	Geen
Kostprijs gas	15 €/GJ	21 €/GJ	15 €/GJ	21 €/GJ	15 €/GJ	21 €/GJ	15 €/GJ	21 €/GJ
Limiet waterstof	0	0	0	11,3 PJ	0	25 PJ	0	Geen
Kostprijs waterstof	N.v.t.	24,7 €/GJ	N.v.t.	22,9 €/GJ	N.v.t.	20,4 €/GJ	N.v.t.	20,4 €/GJ
Limiet biomassa	1,66 PJ	1,66 PJ	1,66 PJ	1,66 PJ	1,66 PJ	1,66 PJ	Geen	Geen
Limiet geothermie	0	7,2 PJ	0	5,4 PJ	0	5,4 PJ	0	0
HT-warmte	Basis	Basis	Basis	Basis	Max	Max	Min	Min

* Mix van 50% groengas en 50% aardgas.

E.5 'Uitkomsten' van de scenario's

Volgende cirkeldiagrammen geven de verdeling van het aantal aansluitingen in de gebouwde omgeving over de energienetwerkaansluitingen, en de verdeling van het energiegebruik per energiedrager; per zichtjaar, en per scenario. Die cirkeldiagrammen met aantallen aansluitingen zijn complementair aan de sectorfiguur met het energiegebruik in de gebouwde omgeving in het hoofdrapport. De cirkeldiagrammen met het energiegebruik zijn er naast gezet zodat een goed vergelijk mogelijk is tussen aantallen aansluitingen en energiegebruik.

Figuur 29 – Ontwikkeling energiegebruik sector gebouwde omgeving (woningbouw + utiliteit). Links de verdeling van aantallen[52] aansluitingen over de netcombinaties, rechts het energiegebruik per jaar per drager. De mate van energiebesparing verschilt per scenario

[52] In woningequivalenten; de gangbare manier om utiliteitbouw te kunnen optellen bij woningbouw. Er is gerekend met de (gangbare) factor: 150 m^2 bvo utiliteitbouw = 1 woningequivalent.

2030 Sturing Internationaal: Aantal aansluitingen (duizenden)
135
299
1.282
Gas en elektriciteit
All electric
Warmte en elektriciteit
Vaste biomassa en elektriciteit
Waterstof en elektriciteit
Onbekend

2030 Sturing Internationaal: Energiegebruik GO (PJ/jaar)
9
0
25
40
25
-
Aardgas
Groengas
Waterstof
Elektriciteit
Warmte
Vaste biomassa

2030 Generieke Sturing: Aantal aansluitingen (duizenden)
122
276
1.317
Gas en elektriciteit
All electric
Warmte en elektriciteit
Vaste biomassa en elektriciteit
Waterstof en elektriciteit
Onbekend

2030 Generieke Sturing: Energiegebruik GO (PJ/jaar)
7
0
33
37
-
33
Aardgas
Groengas
Waterstof
Elektriciteit
Warmte
Vaste biomassa

2050 Sturing Regionaal: Aantal aansluitingen (duizenden)
279
18
400
1.208
Gas en elektriciteit
All electric
Warmte en elektriciteit
Vaste biomassa en elektriciteit
Waterstof en elektriciteit
Onbekend

2050 Sturing Regionaal: Energiegebruik GO (PJ/jaar)
1 -
11
19
-
45
Aardgas
Groengas
Waterstof
Elektriciteit
Warmte
Vaste biomassa

2050 Sturing Nationaal: Aantal aansluitingen (duizenden)
9
348
400
12
238
906
Gas en elektriciteit
All electric
Warmte en elektriciteit
Vaste biomassa en elektriciteit
Waterstof en elektriciteit
Onbekend

2050 Sturing Nationaal: Energiegebruik GO (PJ/jaar)
1-
11
17
11
43
Aardgas
Groengas
Waterstof
Elektriciteit
Warmte
Vaste biomassa

E.6 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(CBS, 2016) Kerncijfers wijken en buurten
(Onderzoeksinstituut OTB en de faculteit Bouwkunde van de TU Delft, 2009) Verschil tussen theoretisch en werkelijk energiegebruik voor woningverwarming
(RVO, 2019) Energielabeldatabase 'EP-online'
(ACM,2019) Berekening-maximumprijs-warmtetarieven-2019
(ECN, 2013) Verbetering referentiebeeld utiliteitssector
(Meijer Energie & Milieumanagement B.V., 2008) SWING
(ABF Research, 2017) Primos prognose 2017
(TNO/EIB, 2018) Quickscan Impact assessment (circulaire) bouwopgave MRA
(Gasunie, 2018) Verkenning 2050

F Scenariodetails mobiliteit en transport

F.1 Introductie

Mobiliteit en transport laat zich verdelen in een heterogene set aan energiegebruikers. Zo moet er onderscheid worden gemaakt tussen:

- vervoer over de weg (personenauto's, bestelwagens, bussen, vrachtwagens);
- vervoer of het water (binnenvaart, zeevaart, cruises); en
- vervoer door de lucht.

Met 25% van het provinciale energieverbruik vormt mobiliteit een fors segment van het energiesysteem. Naast het provinciale wegvervoer, speelt ook scheepvaart (in bijv. het Noordzeekanaalgebied) en luchtvaart (Schiphol) een belangrijke rol in de energie-huishouding van de provincie Noord-Holland.

De scenario-ontwikkeling voor de energiebehoefte die bijdraagt aan de belasting van de energietransportinfrastructuur is in de eerste plaats gericht op de elektrificatie van het wegvervoer, mede vanwege de ambitieuze agenda en de voorgestelde instrumentatie voor elektrificatie van personenauto's in het concept klimaatakkoord (m.n. de significante aanschafsubsidie voor private batterij-elektrische voertuigen)[53]. Dit zal naar verwachting een significante bijdrage kunnen gaan leveren aan de belasting van het elektriciteitsnet, zowel op het niveau van laagspanning als de bovenliggende netvlakken. Dit geldt in beperktere mate voor bedrijfswagens (i.e. bestelauto's) en busvervoer, aangezien de aantallen van dergelijke voertuigen op de weg veel lager ligt.

Voor het zware vrachtvervoer is de verwachting dat elektrificatie een beperkte rol zal spelen[54]. Tot 2030 zal waterstof naar verwachting een beperkte rol spelen. In personen-auto's en bedrijfsauto's gaat het nu om aantallen die vergelijkbaar zijn met de elektrische auto in 2000, terwijl bovendien de uitrol van tankinfrastructuur in geval van waterstof complexer is. Ook busvervoer en vrachtvervoer op waterstof staan nog in de kinderschoenen en de eerste commercieel beschikbare voertuigen in deze categorie moeten nog op de markt komen. Wel zien we dat in o.a. Groningen en Brabant de eerste concessies van OV-streekvervoer op basis van waterstof inmiddels plaatsvinden (o.a. Qbuzz).
Tegen 2030 zullen de volumes dan ook relatief bescheiden zijn.

Ontwikkeling van een netwerk van waterstofvulpunten (bijvoorbeeld langs de snelwegen) zal naar de huidige verwachtingen wel op gang gaan komen, maar tot 2030 ligt brandstof-voorziening aan die tankstations per tube trailer het meest voor de hand. Nadien kan bij toenemende volumes eventueel ook brandstofvoorziening per pijplijn een reëel perspectief gaan bieden, al zal dit een hogere capaciteit vergen dan de bestaande gastransport-infrastructuur. Dat geldt ook voor de netinfrastructuur die nodig is voor productie ter plaatse met netgekoppelde elektrolysers. De benodigde verzwaring van de energie-transportinfrastructuur brengt significante kosten met zich mee, vanwege de gewoonlijk

[53] Inmiddels is na de presentatie van de doorrekening van het concept klimaatakkoord bekend geworden dat het kabinet deze sterke inzet op elektrificatie van personenvervoer naar beneden bij zal gaan stellen.

[54] In de stadslogistiek wordt elektrificatie kansrijker geacht, maar deze categorie is niet apart onderscheiden vanwege beperkte databeschikbaarheid.

relatief afgelegen ligging van tankstation langs snelwegen. Tot slot is elektrolyse die is geïntegreerd in een windturbine een denkbare oplossing voor de brandstofvoorziening op tankstations, maar dit zal in dat geval niet de energietransportinfrastructuur belasten. Dat concept vergt bovendien wel realisatie van windturbines ter plaatse, wat minder goed aansluit bij de bestaande visie op mogelijke locaties voor realisatie van windturbines. Daarnaast ligt het concept van dergelijke installaties nog op de tekentafel, al is het goed denkbaar dat dit tot een commercieel beschikbaar concept wordt gebracht richting 2030. Marktintroductie en opschaling nadien behoren dan ook tot de mogelijkheden.

Dat geldt in mindere mate voor scheepvaart. Belangrijkste bijdrage aan elektrificatie in scheepvaart betreft walstroom (i.e. aansluiting aan de kade om zo emissies in verband met het aggregaat aan boord te vermijden). Elektriciteit als brandstofoptie voor binnenvaart wordt ook wel gezien als mogelijke decarbonisatieroute (m.n. dieselelektrisch, batterij-elektrisch en op langere termijn brandstofcel-elektrisch), maar in Nederland is tot op heden nog geen van deze technieken commercieel in de praktijk gebracht. Kansen voor grootschalige inzet in 2030 worden daarom als bescheiden gezien, terwijl op langere termijn juist waterstof als een wat kansrijkere optie wordt beschouwd.

In geval van de zeevaart ligt waterstof minder voor de hand, mede vanwege de minimale vereisten aan zelfstandige voortstuwing. Waterstof is voor deze categorie daarom een relatief volumineuze energiedrager en kan naar de huidige inzichten in onvoldoende volume worden meegenomen aan boord. Voor deze categorie wordt vooralsnog vooral aan ammoniak gedacht als energiedrager. Zowel in geval van waterstof voor de binnenvaart, als in geval van ammoniak voor de zeevaart zullen de benodigde volumes in het havengebied relatief hoog liggen zodat aanvoer naar de Amsterdamse haven per pijplijn niet noodzakelijkerwijs de meest kostenefficiënte oplossing biedt.

In geval van elektriciteitsgebruik van Schiphol incl. t.b.v. luchtvaart wordt in deze analyse uitgegaan van scenario's voor elektriciteitsgebruik die zijn opgesteld door Schiphol, deze cijfers staan in Bijlage I. Hierbij wordt uitgegaan van elektrificatie van het neuswiel van vliegtuigen om op elektriciteit te kunnen taxiën. Ook dit biedt een relatief beperkt technisch potentieel, al kan het ter plaatse van de luchthaven Schiphol al tegen 2030 en nadien een significante bijdrage kunnen leveren aan de netbelasting.

Op langere termijn bieden waterstof, biokerosine en/of synkerosine naar verwachting een mogelijke decarbonisatieroute voor de luchtvaart. De aanvoer daarvan naar de luchthaven Schiphol, zou bijvoorbeeld via de bestaande pijplijn vanaf de Amsterdamse haven kunnen worden gerealiseerd, met opslag en mogelijk ook productie van synkerosine in het Amsterdams havengebied.[55]

F.2 Data huidige situatie

De provincie Noord-Holland liep afgelopen jaren voorop in de adoptie van de elektrische auto (BEV), met aantallen inmiddels ruim boven de 10.000. Met lichte elektrische bedrijfswagens wordt vooralsnog op beperkte schaal geëxperimenteerd. Ook rijden er verschillende elektrische bussen in de regio Amsterdam en zijn er verschillende concessies afgegeven voor regionaal vervoer waarbij zal worden ingezet op de emissieloze bus. Het zwaardere vrachtvervoer is op dit moment nog niet zo ver, en ook voertuigen op waterstof (FCEV) zijn nog

[55] Vandaag de dag wordt ongeveer de helft van de brandstofbehoefte voor luchtvaart op de luchthaven Schiphol voorzien via deze pijplijn.

niet marktrijp zodat inzet zich nog beperkt tot kleinschalige projecten en niet tot uitdrukking komt in percentageverdelingen van het totale vervoer.

F.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Voor de autonome groei van het aantal personenauto's is verondersteld dat die gelijke tred houdt met de groei van het aantal woningen in relatie tot het huidig aantal woningen, met eenzelfde verhouding tussen aantal woningen en aantal personenauto's in een gebied als huidig.

Voor 2030 wordt in het concept-Klimaatakkoord ingezet op een versnelling van de elektrificatie van vervoer met inzet op enkel 100% emissieloze personenauto's (BEV of FCEV) bij nieuwverkopen in 2030 en verdere ondersteuning voor aankopen van elektrische auto's die moet leiden tot 1.9 mln BEV op de weg in 2030. Ook voor FCEV zijn ambitieuze doelen gesteld, met aanleg van een netwerk van 50 tankstations en 300.000 van dergelijke voertuigen op de weg. Slaan we deze getallen om naar de provincie Noord-Holland op basis van inwonertal, dan geldt een schaling van 16%. In dat geval zouden er in 2030 50.000 FCEV en 300.000 BEV zijn in de provincie. De ruimtelijke verdeling van de betreffende elektriciteits- en waterstofvraag is naar rato afgeleid van de huidige registratie van personenauto's. De locatie de elektriciteitsvraag is eveneens naar rato gekoppeld aan benodigd veronderstelde private laadfaciliteiten thuis en op het werk, publieke laadfaciliteiten bij openbare parkeerplaatsen (winkelcentra, stadions, etc.) en tankstations op basis van de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). Voor wat betreft de waterstofvulpunten bij de bestaande 820 tankstations wordt uitgegaan van geleidelijke ontwikkeling van een netwerk langs de corridors (snelwegen) tot 2030, en nadien ook verdere uitrol naar rato van het aantal gebruikers.

In geval van busvervoer is met het bestuursakkoord nul-emissiebusvervoer uit 2016 (en de daaraan voorafgaande Green Deal Zero Emissie Openbaar Busvervoer uit 2012) al de ambitie geformuleerd om vanaf 2025 alleen nieuwe lijnbussen in gebruik te nemen die geen CO_2 uitstoten, en dat de hele Nederlandse lijnbussenvloot in 2030 op deze standaard over is gegaan. Dit is eveneens bestendigd in het concept-Klimaatakkoord.

Tot slot wordt ingezet op zwaar transport met FCEV, en zullen er tegen 2025 ten minste 3.000 van deze FCEV-vrachtauto's rondrijden in Nederland. Op basis van voorgenoemde schaling zou dat dus neerkomen op ongeveer 500 van dergelijke voertuigen in de provincie (op een geschat provinciaal totaal van 22.000).

F.4 Scenariodata

Voor de NvdT-scenario's wordt uitgegaan van inzet van elektriciteit, waterstof, groengas en biobrandstoffen in 2050. Voor personenvervoer gaat het om de verhoudingen zoals weergegeven in volgende tabellen. We houden hier conform afspraak de NvdT-verdeling aan, toegepast op de aantallen auto's in Noord-Holland, aangezien er geen specifieke Noord-Hollandse verdeling beschikbaar is.

Tabel 21 - Verhouding energiebronnen bij personenauto's (2050)

Scenario	Elektriciteit (BEV)	Waterstof (FCEV)	Groengas	Biobrandstoffen
Sturing regionaal	100%			
Sturing nationaal	75%	25%		
Sturing internationaal	50%	25%	25%	
Generieke sturing	50%	25%	25%	

Voor vrachtvervoer over de weg wordt eveneens uitgegaan van de verdeling in de NvdT-scenario's, zoals weergegeven in Tabel 22. Echter voor vrachtvervoer is ten opzichte van de Net voor de Toekomst-studie het aandeel elektrisch naar boven bijgesteld in de zelfvoorzienende scenario's Nationaal en Regionaal.

Tabel 22 - Verhoudingen energiebronnen bij vrachtvervoer over de weg

Scenario	Elektriciteit	Waterstof	Groengas	Biobrandstoffen
Sturing regionaal	50%	25%	25%	
Sturing nationaal	25%	50%	25%	
Sturing internationaal		50%	25%	25%
Generieke sturing		50%	25%	25%

De logica van meer H_2 in scenario Nationaal t.o.v. Regionaal is dat het Regionale scenario een minder uitgebreid waterstofnet kent.

Voor vrachtvervoer over water wordt in 2050, in lijn met de NvdT-scenario's én de routekaart waterstof voor provincie Zuid-Holland, uitgegaan van de kenmerken als weergegeven in Tabel 23.

Tabel 23 - Verhoudingen energiebronnen bij vrachtvervoer over water

Scenario	(bio)LNG	Methanol	NH_3	Waterstof
Sturing regionaal	25%	25%	25%	25%
Sturing nationaal	25%	25%	25%	25%
Sturing internationaal	50%	25%		25%
Generieke sturing	50%	25%		25%

Voor vrachtvervoer over water is ten opzichte van de Net voor de Toekomst-studie het aandeel elektrisch naar boven bijgesteld in de zelfvoorzienende scenario's Nationaal en Regionaal. De logica van meer H_2 in scenario Nationaal t.o.v. Regionaal is dat het Regionale scenario een minder uitgebreid waterstofnet kent.

F.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
CBS Statline (Banen van werknemers; geslacht, leeftijd, woon- en werkregio's)
Tankstations in Noord-holland
Brochure Nissan Leaf
Proterra 40 foot bus specifications
FastNed 175 kW snelladers
Rapport Aanbod openbaar vervoer (Rekenkamer Amsterdam, 2016)
SER Energieakkoord 2013
Nationale Energieverkenning 2017 (ECN, PBL, CBS en RVO)
Emoss full electric truck prospect

G Scenariodetails industrie

G.1 Introductie

De ontwikkeling van het energiesysteem voor de procesindustrie is in belangrijke mate regionaal maatwerk. We maken voor de invulling van de vier NvdT-hoofdrichtingen naar de specifieke ontwikkelingen in Noord-Holland onder andere gebruik van de plannen zoals beschreven door de Industrietafel NZKG (zie (Industrietafel NZKG, 2018) voor het Klimaatakkoordproces en onderliggende rapportages. De ontwikkeling van energievraag op nieuw uit te geven terreinen en met transformatiegebieden is in overleg met het Havenbedrijf Amsterdam gebaseerd op een voorgaande analyse van het Havenbedrijf en Liander (Liander, 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 Noord-Holland ('elektronen vs. moleculen'), de beschikbaarheid van CO_2-infrastructuur, en de ontwikkeling m.b.t. CCU:
- beschikbaarheid van waterstof en van waterstofinfrastructuur;
- beschikbaarheid van warmte- en stoominfrastructuur;
- beschikbaarheid van (diepe) geothermie;
- elektrificatie;
- CO_2-netwerk voor o.a. CCUS bij AEB, HVC en Tata Steel;
- ontwikkeling van andere verwaarding van CO (i.c.m. H_2-vraag) bij Tata Steel.

De ontwikkelingen m.b.t. het energie- en grondstoffensysteem van Tata Steel zijn van grote invloed op de ontwikkelingen in het NZKG. Dit is in de scenario's zo goed mogelijk vormgegeven, op basis van de stukken van de Industrietafel NZKG, afstemming met het Havenbedrijf Amsterdam en een interview met Tata Steel zelf. Tata Steel heeft, net als andere volcontinubedrijven, voor haar processen een volcontinue aanvoer van energie nodig, hiermee is rekening gehouden in de scenariocijfers.

De ontwikkelingen in de echte werkelijkheid zullen sterk afhangen van prijsontwikkelingen van energiedragers en van beleidsontwikkelingen m.b.t. energie en klimaat, die de businesscases bepalen voor de bedrijven. Dit wordt in de scenario's ondervangen door de hoeken van het speelveld op te spannen op basis van de verschillende energiedragers.

G.2 Data huidige situatie

Voor ca. 120 individuele (grote) bedrijven zijn aardgas- en elektriciteitsverbruikdata beschikbaar en is gebruik gemaakt van de rapportage Nulmeting energiebesparing industrie Noord-Holland (zie (ECN, 2017b), de achterliggende database met geschat gasverbruik van alle ETS-bedrijven en de rapportage Ontwikkelstrategie energietransitie NZKG van CE Delft (zie (CE Delft, 2018c)).
Voor bedrijven waarvan het elektriciteitsverbruik onbekend is, maar waarvan het gasverbruik wel bekend is, is het elektriciteitsverbruik ingeschat.

Een classificering is toegepast voor de grootte (energieverbruik) van bedrijven (groot/midden/klein), op basis van de definities in de eerstgenoemde rapportage, uitgebreid met een extra categorie 'zeer groot' (>2 miljoen m^3 gas per jaar) voor de zeer energie-intensieve industrie. Voor de bedrijven die 'zeer groot' zijn wordt aangenomen continu

(hier 'industrie continubedrijf' genoemd) te draaien. Kleinere bedrijven (hier 'industrie dagbedrijf' genoemd) worden aangenomen ruim 4.000 vollasturen per jaar te draaien. Tata Steel vormt een aparte categorie en hiervoor wordt ook aangenomen volcontinu te draaien. Het vermogen van de vraag naar aardgas en elektriciteit per bedrijf is bepaald op basis van het jaarlijks verbruik en de geschatte jaarlijkse vollasturen.

	Gasverbruik (m^3/jaar)		Elektriciteitsverbruik (kWh/jaar)		Bron
Zeer groot (gebruikt mogelijk WKK)	Meer dan of gelijk aan	2 mln.			Aanname
Groot	Meer dan of gelijk aan	75.000	Meer dan of gelijk aan	200.000	(Menkveld, M., Sipma, J. (2017), Nulmeting energiebesparing industrie Noord-Holland)
Midden	Minder dan	75.000	Minder dan	200.000	(Menkveld, M., Sipma, J. (2017), Nulmeting energie-besparing industrie Noord-Holland)
Klein	Minder dan of gelijk aan	25.000	Minder dan of gelijk aan	50.000	Onderliggende Excel-sheet voor Menkveld, M., Sipma, J. (2017) Nulmeting energie-besparing industrie Noord-Holland

Er is ook een 'restport industrie' aangemaakt op basis van het totale gas- en elektriciteits-verbruik van de industrie per gemeente zoals die wordt gerapporteerd in de klimaat-monitor.[56] Voor gemeenten waar het energieverbruik volgens de klimaatmonitor hoger is dan die van de bekende individuele bedrijven in die gemeente, is aangenomen dat hier energiedata ontbreekt. Het ontbrekende wordt toegewezen aan een restpost. Alle restpost industrie wordt aangenomen klein te zijn, en krijgt een 'industrie dagbedrijf'-profiel. Het afnamevermogen voor gas en elektriciteit is ook voor deze categorie bepaald op basis van het jaarlijks verbruik en de geschatte jaarlijkse vollasturen.

Tot slot hebben we uit de opgestelde informatie voor individuele bedrijven en restpostdata het totale vermogen (Mw) voor gas- en elektriciteitsverbruik opgesteld, bepaald per profiel per gemeente en voor Amsterdam per stadsdeel.

G.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Voor de industrie zijn de perspectieven richting 2030 nog beperkt gewijzigd met het Ontwerp Klimaatakkoord (OKA). Voor de navolgende periode bieden de NvdT-scenario's bovendien beperkte aanknopingspunten voor het onderscheiden van de noodzakelijke transportinfrastructuur.

[56] Zie: Klimaatmonitor

De landelijke NvdT-scenario's zijn gebaseerd op een uitgebreide studie voor Port of Rotterdam door het Duitse Wuppertal Institut. In de NvdT-scenario's die daarop gebaseerd zijn wordt beperkt waterstof toegepast voor hogetemperatuurproceswarmte, en ontbreekt een scenario zoals het bijvoorbeeld een scenario als 'nationale/internationale waterstof-hub', zoals ontwikkeld voor de NZKG-studie van CE Delft. In beide studies wordt wel een scenario onderscheiden waarin zowel H_2 als CO en CO_2 op grote schaal worden toegepast; het NvdT-scenario 'internationaal' en het NZKG-scenario 'CO_2 als grondstof'.

In de navolgende schets daarom eerst een perspectief vanuit elektronen versus moleculen. Moleculen omvat dan twee varianten, i.e. een met veel waterstoftoepassing en een met zowel veel H_2 als CO en CO_2. Deze varianten onderscheiden zich in de noodzaak tot aanleg van CO_2-infrastructuur (zie ook Bijlage N).

Voor het opstellen van de decarbonisatieopties is uitgegaan van;
- Warmteverbruik en elektriciteitsverbruik van WKK worden meegenomen op basis van openbare informatie.
- Procestemperaturen voor warmteverbruik worden toegevoegd. Tata Steel wordt hierbij apart behandeld om de opties specifiek voor staalproductie mee te kunnen nemen.
- Voor gegeven jaar en scenario wordt per temperatuurniveau het aandeel gebruik van een optie voor decarbonisatie van de warmtevraag gedefinieerd.
- Het deel van de warmte dat in het gegeven jaar en scenario niet wordt gedecarboniseerd, wordt aangenomen door gas te worden ingevuld.

De scenario's voor 2030 en 2050 zijn als volgt opgesteld:
- **Internationaal**; veel moleculen - sterkere inzet op moleculen en biomassa, maar ook veel procesinnovatie:
  - In dit scenario wordt waterstof, biogas en geothermie vol ingezet voor de warmte-behoefte van de industrie, en slechts beperkt elektrificatie. Bedrijven worden aangesloten op de uitgebreide warmtenetten met veel uitwisseling onderling en met de gebouwde omgeving. Geothermie kan technisch worden ingezet voor de meeste bedrijven vanwege de relatief lage procestemperaturen (<200°C). Voor hogere procestemperaturen wordt waterstof ingezet. Het waterstof wordt opgewekt via steam methane reforming in combinatie met CCS en elektrolysers. Productie van biogas door afvalwaterzuiveringsbedrijven wordt geoptimaliseerd, omgezet groengas en via het gasnet ingezet bij bedrijven ter vervanging van aardgas.
  - Op langere termijn richting 2050 zou ook ingezet kunnen worden op waterstof (als reductiemiddel) in combinatie met een 'electric arc furnace'[57], i.e. het (H-DR) proces.
  - AEB wordt aangesloten op een CO_2-netwerk, ook bij HVC vindt afvang van CO_2 plaats (met afvoer per truck of binnenvaartschip) en CCSU wordt toegepast, en interne warmtestromen worden gebruikt voor de extra benodigde warmte van CCSU-proces.

Voor 2030 wordt ervan uitgegaan dat 25% van het warmteverbruik wordt ingevuld door groengas en 25% door waterstof in 2030. Voor 2050 wordt verondersteld dat 50% van het warmteverbruik wordt ingevuld door groengas en 50% door waterstof in 2050.

- **Nationaal**; veel elektrificatie:
  - Elektrificatie is mogelijk voor de meeste bedrijven en wordt in dit scenario volop uitgevoerd. Waar mogelijk worden warmtepompen ingezet (voor relatief lage-temperatuurwarmteprocessen), en anders elektrische boilers of elektrische fornuizen. Voor processen die lastig te elektrificeren zijn, zoals het calcineerproces van Albemarle, wordt waterstof ingezet.

[57] Het HYBRIT-proces (SEI and Lund University (2018): Hydrogen steelmaking for a low-carbon economy.

- Tata Steel kan op langere termijn richting 2050 (alkalische) elektrolyse gebruiken om ijzererts om te zetten in ijzer.
- AEB wordt aangesloten op een CO_2-netwerk, ook bij HVC vindt afvang van CO_2 plaats (met afvoer per truck of binnenvaartschip).

Voor 2030 vullen elektrische boilers 50% van de warmtevraag <200°C en tussen 200 en 400°C. Voor 2050 is verondersteld dat warmtepompen beschikbaar zijn en 75% van de warmtevraag <200°C voorzien. De overige 25% wordt voorzien met waterstof (voor flexibiliteit). Elektrische boilers leveren 75% van de warmtevraag tussen 200 en 400°C en waterstof levert 25% (voor flexibiliteit). Elektrische fornuizen vullen 75% van de warmtevraag >400°C in en waterstof 25% (voor flexibiliteit).

— **Regionaal**; als nationaal en dus veel elektrificatie, maar meer warmte/geothermie:
  - Elektrificatie is mogelijk voor de meeste bedrijven en wordt in dit scenario volop uitgevoerd. Waar mogelijk worden warmtepompen ingezet (voor relatief lage-temperatuurwarmteprocessen), en anders elektrische boilers of elektrische fornuizen. Voor processen die lastig te elektrificeren zijn, zoals het calcineerproces van Albemarle, wordt waterstof ingezet.
  - Tata Steel kan op langere termijn richting 2050 (alkalische) elektrolyse gebruiken om ijzererts om te zetten in ijzer.[58]
  - AEB wordt aangesloten op een CO_2-netwerk, ook bij HVC vindt afvang van CO_2 plaats (met afvoer per truck of binnenvaartschip).
  - Grotere inzet op warmte, bijv. stoomnet in Westpoort, en geothermie papier en Zaanstad.

Voor 2030 wordt in dit scenario inzet van geothermie en warmtewisseling via stoomnetten tussen bedrijven voorzien. Een voorbeeld van mogelijke warmte-uitwisseling is overigens Crown van Gelder en Tata Steel. Het potentieel van ultra-diepe geothermie en uitwisseling van stoom tussen bedrijven in Noord-Holland is echter onzeker. Voorgaande analyse schat het potentieel voor diepe geothermie voor industrie in als 3,2 PJ (zie (ECN, 2015)). Op basis van het potentieel voor geothermie wordt een conservatieve schatting gemaakt dat 1 PJ in 2030 van het warmteverbruik van industrie wordt ingevuld door geothermie of warmte-wisseling. Elektrische boilers vullen 25% van de warmtevraag <400°C. Voor 2050 wordt uitgegaan van een geschatte 2,5 PJ van warmte geleverd door geothermie of warmte-wisseling. Het resterende deel aardgas voor warmteproductie <200°C wordt vervangen door warmtepompen (50%) en waterstof (25%). Het resterende deel aardgas voor warmte-productie >200°C en <400°C wordt vervangen door elektrische boilers (75%) en waterstof (25%). Het resterende deel aardgas voor warmteproductie >400°C wordt vervangen door 100% waterstof (i.e. geen import van groengas/biomassa).

— **Generiek**: Business as Usual, vooral veel aardgas met CCS maar verder dus weinig H_2 of elektrificatie:
  - Enkel CO_2-prijsbeleid vindt plaats om 85% reductie t.o.v. 1990 in 2050 te behalen. Door gebrek aan steun vind de verdere ontwikkeling van warmtenetten niet plaats. Aangenomen wordt dat import van groengas en waterstof het goedkoopst is en daarom toegepast wordt.
  - Tata Steel kan richting 2030 en nadien (richting 2050) met nieuwe proces-technologie i.c.m. CCS de CO_2-emissie voor het grootste deel reduceren, al vergt dit grote investeringen (zie ook CE Delft, 2018). In dat geval is een CO_2-netwerk nodig, met outlet naar zee en ondergrondse opslag in lege aardgasvelden onder Noordzee.

[58] Het ULCOWIN-process (JRC (2012): Prospective scenarios on energy efficiency and CO_2 emissions in the EU iron and steel industry).

Voor 2030 is ervan uitgegaan dat 25% van het warmteverbruik wordt vervangen door groengas en 25% door waterstof. Tata Steel gebruikt deels CCS (25% van maximum).
Voor 2050 wordt ervan uitgegaan dat 40% van het warmteverbruik wordt vervangen door groengas en 40% door waterstof. Bij Tata Steel wordt CCS maximaal ingezet.

G.4 Scenariodata

Het overzicht van de scenarioveronderstellingen voor industrie in 2050 wordt gepresenteerd in Tabel 24.

Tabel 24 - Verhoudingen energiedragers c.q. brandstoffen industrie

Scenario	Elektrisch	Waterstof	(bio)methaan	Warmte
Sturing regionaal	88%	10%		2%
Sturing nationaal	90%	10%		
Sturing internationaal	35%	52%	12%	
Generieke sturing	25%	2%	5%	

Hierbij wordt verondersteld dat een energievoorziening een zelfvoorzienend karakter heeft voor de scenario's 'Regionaal' en 'Nationaal', terwijl in het scenario 'Internationaal' en 'Generiek' veel energie wordt geïmporteerd.

G.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(ECN, 2017b)Nulmeting energiebesparing industrie Noord-Holland
(Davidse Consultancy, 2012) Warmte-energie, de motor van de industrie
(ECN, 2017c) Dutch program for the acceleration of sustainable heat management in industry
(ECN, 2017d) Heat management in industry, scoping study final report
(Krmelj, 2011) Selected industrial processes which require low temperature heat
(Lieshout, 2017) Visie op de toekomst van de Nederlandse procesindustrie
(ECN, 2011) Restwarmtebenutting
(Pardo, et al., 2012) Heat and cooling demand and market perspective, Report EUR 25381 EN, JRC

H Scenariodetails datacenters

H.1 Introductie

Het aantal datacenters in de provincie laat de laatste jaren een sterke groei zien, en voor de toekomst wordt voortzetting van deze groei verwacht. Datacenters kennen een hoog stroomverbruik en hebben door de snelle ontwikkelingen in het recente verleden al tot problemen met netbelasting geleid, m.n. in gemeente Haarlemmermeer. Datacenters die vandaag de dag worden ontwikkeld kennen een typisch vermogen in de orde van 100 MW, wat een significante belasting voor het lokale elektriciteitsnet met zich meebrengt. Bovendien is het niet ongebruikelijk dat datacenters in elkaars nabijheid worden gevestigd, vanwege goede lokale aansluitmogelijkheden op communicatienetwerken.

Het hoge stroomverbruik van datacenters vertaalt zich ook in een significante hoeveelheid lagetemperatuurrestwarmte, met een temperatuur van circa 30°C. Die warmte kan in principe gebruikt worden om gebouwen mee te verwarmen, mits die zeer goed geïsoleerd zijn en voorzien van een lagetemperatuurafgiftesysteem. In de recente studie van D-Cision (D-Cision, 2019) wordt de restwarmte van datacenters benut voor de gebouwde omgeving door grote industriële warmtepompen bij de datacenters te plaatsen en daarmee de temperatuur op te schroeven tot circa 70°C. Dat is genoeg om ook minder zwaar geïsoleerde gebouwen mee te verwarmen. Er is in beide gevallen wel een warmtenet nodig om de warmte van het datacenter naar de vrager te transporteren.

H.2 Data huidige situatie

Het bepalen van het elektriciteitsverbruik van datacenters per gemeente (en voor Amsterdam per stadsdeel) is in verschillende stappen uitgevoerd, deze worden hieronder toegelicht. Een eventueel gasverbruik is vooralsnog niet meegenomen onder de aanname dat het gasverbruik voor eventuele gasmotoren (voor eigen elektriciteitsproductie) ten opzichte van het directe gebruik van elektriciteit uit het net klein tot nihil is.

Voor de dataverzameling m.b.t. individuele huidige datacenters is als volgt te werk gegaan;

1. Lijst van datacenters van website Dutch Data Center Association aangemaakt;[59]
2. “Gross max power” (kW) en “Net white space” (m^2) per datacenter zijn gebaseerd op Dutch Data Center Association website voor zover beschikbaar. Dit is aangevuld met andere openbare bronnen.
3. Als voor datacenters alleen “Net white space” (m^2) beschikbaar was is “Gross max power” (kW) bepaald op basis van gemiddelde kW/m^2 van wel beschikbare data.
4. Adressen, gemeenten en (alleen voor Amsterdam) wijken en stadsdelen toegevoegd per datacenter.

'Gross max power' is in dit onderzoek geïnterpreteerd als het maximale vermogen dat een datacenter nodig heeft bij draaien op volle capaciteit (servers plus additionele apparatuur die stroom verbruiken). In totaal zijn 35 bestaande datacenters gevonden, waarbij voor één datacenter geen gegevens beschikbaar zijn.

[59] Zie https://map.datacente.rs

Het vermogen per gemeente en voor Amsterdam per stadsdeel is als volgt bepaald;

1. We hebben een lijst aangemaakt van alle gemeenten in de provincie (CBS 2019) en stadsdelen voor Amsterdam.
2. Het maximale vermogen per gemeente, en stadsdelen voor Amsterdam, voor datacenters is daaraan toegevoegd.
3. Op basis van 'Energiegebruik Nederlandse commerciële datacenters 2014-2017' (CE Delft, 2014) is aangenomen dat de gemiddelde serverbelastingsgraad 45% is. Deze factor is gebruikt om het gemiddeld gevraagde vermogen te bepalen.

Het energiegebruik van een server stijgt naarmate de belasting hoger is. Traditioneel draait een server op een gemiddelde belasting van 5-15% (met af en toe een piek). Zwaarder belaste servers draaien gemiddeld tot wel boven de 60%, gevirtualiseerde servers daar weer boven. Bij een goede verdeling van de ICT-functies over de benodigde servers kan door een hogere belasting aan te houden het aantal benodigde systemen gereduceerd worden, wat een efficiëntievoordeel oplevert. Verder wordt in 'Energiegebruik Nederlandse commerciële datacenters 2014-2017' (CE Delft, 2014) ook de 'benuttingsgraad datavloer' en de 'Data-centerefficiëntie (EUE-factor)' besproken. Deze zijn niet meegenomen in de berekeningen omdat het vermogen al bekend is voor een deel van de bedrijven en omdat het onduidelijk is of met MW het vermogen bedoeld wordt dat bij de ICT-apparatuur terechtkomt, of het MW vermogen dat door de datacenter als geheel wordt gebruikt.

Voor vaststelling van het profiel van het elektriciteitsverbruik is uitgegaan van de volgende gegevens:

1. Er wordt van uitgegaan dat een server altijd aan staat en dat de gemiddelde server-belastingsgraad 45% is van het maximale vermogen.
2. Er wordt gebruik gemaakt van profiel ('G') uit Interxion (2016) "Interxion science park" (zie Figuur 30).
3. Op basis van profiel 'G' wordt voor elk uur van de dag de verhouding tussen de serverbelasting en de gemiddelde serverbelasting bepaald (zie Figuur 30).
4. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen weekend- en werkdagen.

Figuur 30 - Profiel 'G'

Bron: (Interxion, 2016).

Figuur 31 - Verhouding tussen serverbelasting en gemiddelde serverbelasting

H.3 Ontwikkelingen t/m 2030 en 2030-2050

Op basis van literatuur zijn aannames gemaakt met betrekking tot de groei van datacenters. Tabel 25 geeft de groei van het vermogen tot 2030 met de bijbehorende onderbouwing.

Tabel 25 - Beschrijving van belangrijke ontwikkelingen en trends op gebied van datacenters in Noord-Holland tot 2030

Ontwikkeling	Bron
Middenmeer lijkt vooral belangrijk. De eerste en tweede zouden al online moeten zijn (2013 en 2017). De derde en vierde worden nog gebouwd. In totaal 112.000 m^2.	Digital gateway to Europe (2018) 2018 North Amsterdam Data Center Campus
Amsterdam en omgeving laten sterke groei van datacenters zien met +30 MW in 2016. Ook in de haven zijn al een tiental datacenters tot 10 MW en worden ook nieuwe opties nabij Hemhaven onderzocht voor 100 MW, mede vanwege beschikbare glasvezel. Op termijn biedt het westelijk deel van de haven meer ruimte ook voor opschaling tot 100 MW.	CE_Delft_E-infra_Amsterdamse_haven_eindrapportage_defcpt_aanv2.pptx
Datacenters zoals die nu gerealiseerd worden in Amsterdam zijn gewoonlijk rond de 6.000-10.000 m^2, 10-20 MW, hoogbouw, aan te sluiten op 50/25 kV. Sinds 2016 wordt echter een 100.000 m^2-vestiging in de Amsterdamse haven onderzocht. De haven biedt rond de Hemhaven een gunstige locatie met koppeling naar de backbone (voor locaties bij bijvoorbeeld Afrikahaven-Ruigoord ontbreekt nu glasvezel).	CE_Delft_E-infra_Amsterdamse_haven_eindrapportage_defcpt_aanv2.pptx
Datacenters geconcentreerd rondom Hemhaven (stations Hemweg, Westhaven, Basisweg) , in de gebieden Teleport, Sloterdijk en Vervoerscentrum vanwege ruimte, elektriciteitsinfrastructuur en glasvezelkabel. Verdere interesse is manifest (ook hyperscale), maar ruimte is beperkt.	CE_Delft_E-infra_Amsterdamse_haven_eindrapportage_defcpt_aanv2.pptx

Ontwikkeling	Bron
In december 2016 berichtte het Parool over het voornemen van de Caransa Groep om een nieuw datacentrum te ontwikkelen in het Westelijk Havengebied. Om de groei van het internet- en datagebruik bij te kunnen houden, komt in het Westelijk Havengebied in Amsterdam een enorm datacenter van 100.000 m^2. Het driedelige gebouw wordt met afstand het grootste datacenter van Amsterdam en moet verrijzen naast het hoofdkantoor van Telegraaf Media Groep aan de Basisweg. Met het nieuwe datacenter, waarbij bijvoorbeeld gegevens van bedrijven, ziekenhuizen en banken worden opgeslagen, moet worden voldaan aan de toekomstige vraag naar serverruimte.	CE_Delft_E-infra_Amsterdamse_haven_eindrapportage_defcpt_aanv2.pptx
In september 2017 is er een aanvraag ingediend voor vestiging van een groot datacenter in de haven van Amsterdam. Het gaat om vestiging van een datacenter tot 100 MW achter de Telegraaf, aan de Donauweg, nabij verdeelstations bij de Hemwegcentrale (Liandel,2017). Het datacenter gaat jaarlijks ongeveer 300.000 MWh aan elektriciteit verbruiken (ingeschat continue vermogen van 30 MW op basis van gegevens van Royal Haskoning resulteert in 300.000 MWh per jaar). Verwachte piekvraag voor elektriciteit: 35-50 MVA Verwacht gevraagd aansluitvermogen: 60-100 MVA	CE_Delft_E-infra_Amsterdamse_haven_eindrapportage_defcpt_aanv2.pptx
Van 2016 tot 2030 neemt elektriciteitsverbruik NZKG van datacenters toe van 5 PJ naar 29 (5+24) PJ.	NZKG Vliegwiel voor een duurzame toekomst.pdf
De bestaande Hyperscale-locaties Middenmeer en Eemshaven dienen verder gefaciliteerd te worden in hun uitbreiding en opgenomen in data-, energie- en warmtenetwerken. Een nieuwe locatie is pas aan de orde als vestiging op eerder-genoemde locaties op bezwaren stuit.	Position paper - 7 december 2018 - versie 5.pdf
Stratix hanteert in het onderzoek voor de MRA als uitersten in het speelveld een groei van circa 250.000 m^2 nu naar 350.000 (scenario 'delete Facebook') tot circa 1 mln. m^2 (scenario 'Amsterdam datah(e)aven') voor de MRA-regio, mede afhankelijk van de beschikbaarheid van stroom. Daarmee zou de groei tussen 40 en 300% komen te liggen. Uitgaande van een vloeroppervlak van bijna 600.000 m^2 in Nederland betekent dit een volume van grofweg 0,8 tot 1,8 mln. m^2 in 2030.	Position paper - 7 december 2018 - versie 5.pdf
Toekomstige technologische ontwikkelingen als gelijkstroomracks, immersion cooling, fotonica en quantuminternet zijn al genoemd. Fotonica en quantumcomputing kunnen vergaande effecten hebben in het stroomverbruik van computers. Deze technologische ontwikkelingen in de ICT gaan snel maar niet zo snel dat het energieverbruik (groot en groeiend) binnen 20 jaar ingrijpend zal wijzigen. Hoewel optische geleiding binnen computers nu al (partieel) mogelijk is (en hierdoor tot 90% energiebesparing gerealiseerd kan worden), zal de grootschalige commerciële toepassing nog minimaal 15-20 jaar duren.	Position paper - 7 december 2018 - versie 5.pdf
In een scenarioanalyse voor Middenmeer tot 2035 ten behoeve van een economische impact studie presenteert Digital Gateway to Europe een drietal scenario's waarbij respectievelijk 1) de voorgenomen hyperscale investeringen van Microsoft worden gerealiseerd tot 2021 (totaal 211MW); 2) aanvullend Microsoft met 15 ha uitbreidt en nog 72 ha aan andere hyperscales wordt gealloceerd (totaal 708 MW, bij gelijkblijvende MW/ha verhouding) en 3) aanvullend nog 80.000 m^2 aan vloeroppervlak wordt ontwikkeld (totaal 944 MW, bij gelijkblijvende MW/m^2 verhouding).	DGTE_Economische Impact Noord Amsterdam Campus.pdf

Op basis van literatuur en recente berichtgeving over plannen en grondaankopen (m.n. in Middenmeer) zijn aannames gemaakt met betrekking tot de groei van datacenters.

De recente grondaankopen in Middenmeer suggereren een versnelde inzet van het hoge scenario voor ontwikkeling van datacenters zoals die is opgesteld in een recente verkenning (zie ook (DGTE, 2018)). Tabel 26 geeft de groei van het vermogen tot 2050 met de bijbehorende onderbouwing.

Tabel 26 - Beschrijving van belangrijke ontwikkelingen en trends op gebied van datacenters in Noord-Holland tot 2050

Bron	Toelichting totaal vermogen in 2050	Totaal vermogen in 2050	Gemeente	Stadsdeel
Toekomstscenarios-datacentra-MRA.pdf	Gemiddeld groeiscenario tot 1 GW in MRA conform aandeel per stadsdeel; voortzetting huidige groei tot 2030, nadien halvering.	495	Amsterdam	Westpoort
Toekomstscenarios-datacentra-MRA.pdf	Gemiddeld groeiscenario tot 1 GW in MRA conform aandeel per stadsdeel; voortzetting huidige groei tot 2030, nadien halvering.	150	Amsterdam	Oost
Toekomstscenarios-datacentra-MRA.pdf	Gemiddeld groeiscenario tot 1 GW in MRA conform aandeel per stadsdeel; voortzetting huidige groei tot 2030, nadien halvering.	345	Amsterdam	Zuidoost
Handmatig toegevoegd	Op basis van 2020 data en groei in 2030.	51	Amsterdam	Nieuw-West
Handmatig toegevoegd	Op basis van 2020 data en groei in 2030.	60	Amsterdam	West
Handmatig toegevoegd	Op basis van 2020 data, bekendgemaakte grondaankopen en veronderstelde grond-ontwikkeling voor 2030; nadien afvlakking verondersteld i.v.m. zeer sterke ontwikkeling andere hyperscale locaties in NW-EU.	890	Hollands Kroon	

H.4 Scenariodata

De hiervoor beschreven uitgangspunten leiden tot de volgende resultaten per subregio, als weergegeven in Tabel 27. NB: deze inputs zijn niet gevarieerd in de scenario's, omdat het ruimtelijke verdelingen betreft, net zoals bijvoorbeeld de ruimtelijke verdeling van woningnieuwbouw niet is gevarieerd in de scenario-inputs.

Tabel 27 - Overzicht piekbelasting in MW voor datacenters per subregio in de scenario's

Subregio	2020	2030	2050
Alkmaar	0	0	0
Kop van Noord-Holland	111	890	890
West-Friesland	0	0	0
Amsterdam	181	431	1,101
Amstelland-Meerlanden	143	261	261
Gooi- en Vechtstreek	1	1	1
Kennemerland en IJmond	0	0	0
Zaanstreek en Waterland	0	0	0
Totaal Noord-Holland Noord	111	890	890
Totaal Noord-Holland Zuid	325	694	1,363
Totaal Noord-Holland	**437**	**1.584**	**2.254**

H.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
Website Dutch Data Center Association; Datacentersworldmap
(CE Delft, 2014) Energiegebruik Nederlandse commerciële datacenters 2014-2017
(CE Delft, 2017c) Ondergrondse Elektriciteitsinfrastructuur Amsterdamse haven
(Industrietafel NZKG, 2018) NZKG Vliegwiel voor een duurzame toekomst
Position paper - Nationale Ruimtelijke Strategie Datacenters van het Bestuurlijk Overleg Ruimtelijk-Economische Ontwikkelstrategie (REOS), gedateerd 7 december 2018 (versie 5)
(D-Cision, 2019)
Data die ter beschikking is gesteld door de netbeheerders TenneT en Liander

I Scenariodetails Schiphol (elektriciteit)

Voor de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag[60] van Schiphol hebben we informatie gekregen uit een vertrouwelijke studie van Schiphol[61]. Die informatie mocht worden gedeeld en is opgenomen in deze bijlage. Schiphol gaat uit van drie groeiscenario's (laag, midden, hoog) tot en met 2040 voor het elektriciteitsgebruik. De aannames in de drie scenario's konden niet gedeeld worden door Schiphol.

In Bijlage F zijn enkele passages opgenomen over (syn- en bio-)kerosine voor Schiphol.

Elektrische vermogensvraag per verbruikscategorie Schiphol
Het vermogen in scenario HOOG stijgt van huidig circa 68 MWe via circa 144 MWe in 2030 naar circa 295 MWe in 2040. De opbouw is (zie ingekopieerde figuur en tabel):
- Een basisverbruik dat licht stijgt over de tijd.
- Omzetting van gebouwensystemen naar WKO voor verwarming en koeling (stevige groei tot 70 MWe in 2040).
- Elektrisch laden voertuigen 'landside' (groei naar 25 MWe in 2040).
- Mobiliteit en services airside (bescheiden groei).
- 'Elektrisch laden/taxiën vliegtuigen' (forse groei vanaf 2030 tot 107 MWe in 2040). De cijfers betreffen het taxiën van de vliegtuigen.

De groeiprognose laat een exponentieel verloop zien, het is daarom niet mogelijk om lineair te extrapoleren tot 2050. De verschillen met de LAAG- en MIDDEN-scenario's van Schiphol zitten net name in de groei bij het elektrisch taxiën/vliegen, bij de WKO-systemen van gebouwen, en bij het elektrisch laden 'landside' van voertuigen.

De oplossing die hiervoor is gekozen voor de twee peiljaren van de systeemstudie is om:
- voor 2030 uit te gaan van de waarden uit het HOOG-scenario;
- voor 2050 uit te gaan van de 2040-waarden uit het HOOG-scenario.

Deze keuzes zijn afgestemd met Schiphol.

[60] De gasvraag of ontwikkeling daarvan is niet bekend.
[61] Mails van mevrouw Nadine Catz van Schiphol d.d. 28 februari 2019 en 1 maart 2019.

	Omschrijving	Aanduiding	2017	2020	2025	2030	2035	2040
		#VERW!						
1	Niet expliciet gemodelleerd en batterij	Startverbruik	67,7	68,5	69,9	71,3	72,7	74,2
2	Elektriciteitsverbruik gebouwen incl. WK	Gebouwen	0,0	6,2	22,3	36,9	55,0	70,5
3	Elektrisch laden voertuigen landside	Mobiliteit landside	0,0	3,9	7,9	11,9	17,2	25,6
4	Elektriciteitsverbruik voertuigen airside	Mobiliteit airside	0,0	0,5	2,4	6,0	6,9	7,7
5	Elektrisch verbruik service equipment air	Services airside	0,0	1,6	4,4	8,6	9,8	10,8
6	Elektrisch laden/taxiën vliegtuigen	Elektrisch vliegen	0,0	0,0	0,0	8,9	53,4	106,7
	Totaal deze tabel	**som1**	**67,7**	**80,7**	**106,9**	**143,7**	**215,0**	**295,5**
	Totaal prognosetabel	som2	67,7	80,7	106,9	143,7	215,0	295,5

Vermogen per inkoopstation

Het vermogen per inkoopstation is ook door Schiphol verstrekt en staat in onderstaande figuur en tabel.

	Omschrijving	Aanduiding	2017	2020	2025	2030	2035	2040
		#VERW!						
1	Schiphol Centrum	Centrum	42,1	47,7	66,4	96,8	159,9	232,4
2	Schiphol Oost	Oost	18,5	24,8	27,5	29,0	31,3	35,8
3	Schiphol Rozenburg	Rozenburg	4,9	5,8	10,0	13,9	17,9	19,1
4	Amstelveen Bolwerk	Bolwerk	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
5	Schiphol A4 (toekomst)	A4-zone	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	Schiphol Rijk (toekomst)	Rijk	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Totaal deze tabel	**som1**	**66,4**	**79,2**	**104,8**	**140,7**	**210,0**	**288,3**
	Totaal prognosetabel	som2	66,4	79,2	104,8	140,7	210,0	288,3

Tot slot is door Schiphol informatie verstrekt over het *HUIDIGE* verbruikprofiel elektriciteit van Schiphol. Of en hoe dit profiel wijzigt in de toekomstprognoses is ons niet bekend. Met Schiphol is afgestemd dat een redelijke schatting voor de impact op het elektriciteits-systeem is om aan te nemen dat het profiel geheel vlak is. Dat leidt tot een lichte overschatting van het daadwerkelijke elektriciteitsgebruik, en is daarmee voor de systeemstudie aan de veilige kant.

J Scenariodetails glastuinbouw

J.1 Introductie

Glastuinbouw en vooral de ontwikkeling daarvan is een economische kans maar ook een mogelijke bron van energie-infrastructuur- en ruimtelijke knelpunten. De glastuinbouw-gebieden in Noord-Holland zijn niet 'standaard' qua energievoorziening, denk bijvoorbeeld aan het gebied Agriport-A7 met grote kassen (groter, en ook nieuwer, dan gemiddeld in Nederland), een eigen geothermienet en restwarmtebenutting van een groot datacenter.

J.2 Data huidige situatie

Voor de huidige energievraag van de glastuinbouw in Noord-Holland is uitgegaan van aangeleverde oppervlaktes vanuit de provincie voor de grotere clusters, aangevuld met oppervlaktes glastuinbouw per gemeente vanuit het CBS. Om het huidige energieverbruik in te schatten is gebruik gemaakt van de hoofdverdeling in soort teelt (op basis van CBS-data) en deze te vermenigvuldigen met een (landelijke) kentallenset voor de energievraag per oppervlakte-eenheid en per soort teelt o.b.v. de LEI - Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw en CBS-gegevens.

J.3 Ontwikkelingen in Noord-Holland en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Er wordt in de provincie Noord-Holland een concentratie verwacht van kleinere glastuin-bouwarealen naar grotere clusters, en een toename in productiviteit per hectare. Voor de ontwikkeling van het areaal per gemeente in 2030 en 2050 is de input van de provincie gebruikt voor de acht grotere glastuinbouwclusters in de provincie. Deze zijn, in overleg met de provincie, aangevuld met de areaalcijfers van de kleinere glastuinbouwgebieden, die gelijk zijn gehouden aan de huidige waarden. De reden daarvoor is dat niet bekend is welke specifieke glastuinbouwarealen zullen 'opgaan' in de clustering en wanneer. Deze aanname leidt tot een lichte overschatting van het areaal aan glastuinbouw van circa 10% ten opzichte van de provinciale areaalcijfers op basis van de som van de acht clusters. Het resultaat staat weergegeven per subregio in Tabel 28.

Tabel 28 - Areaal glastuinbouw per subregio (cijfers in m²)

Subregio	Huidig	2030	2050
Kop van NH	4.005.132	5.505.132	8.730.132
Alkmaar	1.096.369	1.496.369	2.046.369
W-Friesland	2.627.369	3.127.369	4.797.369
Amsterdam	27.800	27.800	27.800
Kennemerland en IJmond	232.300	332.300	332.300
Amstelland Meerlanden	4.582.882	5.500.000	6.700.000
't Gooi en Vechtstreek	19.445	19.445	19.445
Zaanstreek en Waterland	197.660	197.660	197.660
Totaal	**12.788.957**	**16.206.075**	**22.851.075**

NB: Bij toepassing van geothermie en/of restwarmte, of van waterstof, is ook CO_2-aanvoer nodig, via een CO_2-net of met aanvoer via binnenvaartschip of tubetrailer.

J.4 Scenariodata

De scenario's voor de glastuinbouw zijn overgenomen van input van Ontwikkelingsbedrijf Noord-Holland Noord NV, waarin een onderscheid is gemaakt tussen een laag en een hoog scenario. Die laag- en hoog-scenario's zijn vervolgens gebruikt voor de scenario's zoals gehanteerd in deze studie.

Tabel 29 - Scenario's voor ontwikkeling van de energievoorziening van de glastuinbouw in Noord-Holland

Scenario	Warmtevraag, basislast	Warmtevraag, pieklast	Elektriciteitsvraag	CO_2-vraag
2030 Sturing regionaal	100% uit (collectieve) biomassa, geothermie of restwarmte (m.n. datacenters); 0% uit gas.	50% uit (collectieve) biomassa of rest-warmte (m.n. data-centers); 50% uit groengas en 0% fossiel gas (dus geen geo-thermie, want dat is basislastvoorziening)	75% uit het net 25% uit WKK-gas (groen en fossiel). Voorts 9% efficiency-verbetering t.o.v. huidig.	90% extern, uit collectief net of per tube trailer, 10% uit WKK.
2030 Sturing nationaal	100% uit (collectieve) biomassa, geothermie of restwarmte (m.n. datacenters); 0% uit gas.	50% uit (collectieve) biomassa of rest-warmte (m.n. data-centers); 50% uit groengas en 0% fossiel gas (dus geen geo-thermie, want dat is basislastvoorziening)	75% uit het net 25% uit WKK-gas (groen en fossiel). Voorts 9% efficiency-verbetering t.o.v. huidig.	90% extern, uit collectief net of per tube trailer, 10% uit WKK.
2030 Sturing internationaal	75% uit (collectieve) biomassa, geothermie of restwarmte (m.n. datacenters); 25% uit gas.	20% uit (collectieve) biomassa of rest-warmte (m.n. data-centers); 80% uit gas (30% groengas, 50 % fossiel) (dus geen geothermie, want dat is basislast-voorziening)	50% uit het net en 50% uit WKK-gas (groen en fossiel). Voorts 9% efficiency-verbetering t.o.v. huidig.	75% extern, uit collectief net of per tube trailer, 25% uit WKK.
2030 Generieke sturing	75% uit (collectieve) biomassa, geothermie of restwarmte (m.n. datacenters); 25% uit gas.	20% uit (collectieve) biomassa of rest-warmte (m.n. data-centers); 80% uit gas (30% groengas, 50 % fossiel) (dus geen geothermie, want dat is basislast-voorziening)	50% uit het net en 50% uit WKK-gas (groen en fossiel). Voorts 9% efficiency-verbetering t.o.v. huidig.	75% extern, uit collectief net of per tube trailer, 25% uit WKK.
2050, alle scenario's	Idem als in bovenstaande 2030-scenario's, met het verschil met 2030 dat in 2050 alle elektriciteit van het net klimaatneutraal is, en dat alle fossiel gas vervangen is door waterstof. Voorts bij elektriciteitsvraag 25% efficiencyverbetering t.o.v. huidig.			

J.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
Voor de ontwikkeling van oppervlaktes glastuinbouw per gemeente: informatie van provincie Noord-Holland (Dhr. P. Graven)
CBS-data
(WUR, 2018) LEI – Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw

K Scenariodetails productie wind op land, wind op zee, zon op daken, zonneweides

K.1 Introductie

Hernieuwbare elektriciteitsproductie kan in de provincie worden gerealiseerd met wind op land, zon-PV op daken (zon op dak) bij huishoudens en bedrijven, zonneweiden en , tot slot, wind op zee.

Invoeding van hernieuwbare elektriciteit kan een forse bijdrage leveren aan netbelasting op verschillende netvlakken. Kleinere installaties met een aansluitvermogen <80 MW voeden in op het laagspannings- of middenspanningsnet van Liander terwijl grotere parken met een aansluitvermogen >80 MW worden aangesloten op het hoogspanningennet. Voor de scenario ontwikkeling voor wind op land en zonneweiden is in deze studie dan ook onderscheid gemaakt naar deze vermogenscategorieën.

K.2 Data huidige situatie

Startpunt voor de inschatting van **wind op land** in 2020 is het opgesteld vermogen in 2019. Het vermogen per gemeente nu komt uit Windstats[62] (info per park, aantal turbines, vermogen turbines). Het totale opgestelde vermogen voor 2019 is 267 MW. Dit is aangevuld met gegevens voor uitbreidingen t/m 2020 uit de Monitor wind op land 2017 van RVO (zie (RVO, 2018)). Hiervan is 430 MW meegeteld; daarmee kom je op een totaal in 2020 van 697 MW.

Zon op dak voor 2020 is gebaseerd op de modeldoorrekening van plaatsing van zon-PV in de residentiele (huishoudens) en commerciële segmenten (MKB) op basis van voorgaande landelijke analyse in een gezamenlijke studie van CE Delft en ECN.TNO (zie (CE Delft en ECN-TNO, 2018)). De resultaten een Noord-Hollandse bijdrage van 16% aan de landelijke hernieuwbare elektriciteitsproductie (gebaseerd op het aandeel van Noord-Holland in het huidige elektriciteitsgebruik van Nederland, maar eveneens het aantal inwoners) en komt daarmee op een totaal van 313 MW. Hiervan wordt 90% verondersteld te zijn geplaats bij huishoudens en 10% bij het MKB, conform dezelfde uitgave.

Het vermogen voor **zonneweiden** in 2020 is ingeschat op basis van een optelling van parken zoals vermeld in bestand “zonneparken Noord-Holland” uit 2018 van de provincie Noord-Holland en specifiek de figuur “Herijking beleid zonneparken landelijk gebied”. Het daar gepresenteerde overzicht telt op tot 80 MW.

Voor wat betreft wind op zee zijn er nu twee parken aangesloten bij Beverwijk, te weten de windparken Amalia (120 MW) en Egmond aan zee (108 MW) (zie ook (RH DHV, 2014)).

[62] Zie Windstats

K.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Startpunt voor het klimaatakkoord scenario voor 2030 is het doel voor grootschalige hernieuwbare elektriciteitsproductie, namelijk 35 TWh in 2030 met systemen >15 kW. Er is van uitgegaan dat dit zal worden opgewekt met wind op land en zon-PV.[63] Uitgaande van een Noord-Hollandse bijdrage van 16% aan de landelijke ambitie voor hernieuwbare elektriciteit (gebaseerd op het aandeel van Noord-Holland in het huidige elektriciteits-gebruik van Nederland, maar eveneens het aantal inwoners) zou verdere invulling van de ambitie voor 2030 neerkomen op 5,6 TWh voor de provincie. In aansluiting bij de methodiek zoals gehanteerd in het concept klimaatakkoord, wordt hierbij uitgegaan van opschaling van bestaande turbines naar 3 MW, vervolgens gebruik gemaakt van huidige verwachtingen voor zon-PV op dak bij huishoudens en MKB (i.e. eerst inzet op zon op dak) en, tot slot, de provinciale aandeel in de doelstelling verder ingevuld met zonneweiden.

Voor wind op land in 2030 is verondersteld dat alle turbines met een vermogen kleiner dan 3 MW zullen worden opgeschaald naar 3 MW, in aansluiting bij de methodiek zoals gehanteerd in het concept klimaatakkoord. Dit levert 470 MW aanvullend vermogen op en het totaal wordt daarmee 1,17 GW. Hierbij kunnen opschalingen optreden die op maat-schappelijke weerstand kunnen stuiten, namelijk bij het opschalen van parken die nu bestaan uit turbines van rond de 80 kW.

Voor kleinere zon-PV op dak systemen bij huishoudens en MKB gaan we voor 2030 uit van de hiervoor voor al genoemde landelijke analyse in de gezamenlijke studie van CE Delft en ECN/TNO (zie (CE Delft en ECN-TNO, 2018)). De resultaten zijn geschaald naar provinciaal niveau op basis van het aantal inwoners en komt daarmee op een totaal van 1,3 GW. Hiervan wordt wederom 90% verondersteld te zijn geplaats bij huishoudens en 10% bij het MKB, conform dezelfde uitgave.

De rest van het doel voor hernieuwbare elektriciteit in het Klimaatakkoord voor 2030 van 35 TWh voor Nederland als geheel wordt ingevuld met zon-PV > 15 kW-systemen, i.e. systemen op grotere daken en zonneweiden. Verdere invulling van de provinciale ambitie voor 2030 neerkomen op 1,5 GW aan zonneweiden.

Voor de ontwikkeling van wind op land en zon-PV en 2050 is in de eerste plaats het technisch potentieel in kaart gebracht, om zo de contouren van het technisch haalbare potentieel in beeld te brengen. Vervolgens is uitgegaan van de landelijke scenario's uit de studie Net voor de Toekomst (zie (CE Delft, 2017a)), omgerekend naar de provinciale bijdrage voor zover deze binnen het gevonden technische potentieel haalbaar is.

Het maximale technische potentieel voor **wind op land** volgens de studie ruimtelijke effecten van de energietransitie in Noord-Holland voor de provincie (zie ook (ECN, 2015)) komt uit op 13,2 GW. De studie naar een 100% hernieuwbare energievoorziening voor de provincie (zie ook (ECN, 2016)) komt in het toekomstperspectief met het hoogste aandeel wind op land op een vermogen van 4,9 GW, op basis van geheel zelfstandige, kosten-efficiënte invulling van de toekomstige energiebehoefte van de provincie.
Als we de landelijke scenario's voor wind op land in 2050 uit de studie net voor de toekomst omrekenen naar provinciale scenario's (wederom op basis van het provinciale aandeel in landelijk elektriciteitsgebruik), dan volgt respectievelijk 2,5 GW wind op land voor 'Regionaal', 2,2 GW voor 'Nationaal', en 0,8 GW voor zowel 'Internationaal' als 'Generiek'. Daarmee lijkt de toegepaste schaling zeker technisch inpasbaar, i.e. de provinciale scenario's liggen in alle gevallen substantieel lager dan het technische potentieel van

[63] PV >15 kW omvat niet alleen zonneweiden maar ook grotere systemen op daken.

13,2 GW. Bovendien liggen deze scenario's ook substantieel lager dan het optimaal inpasbare vermogen van 4,9 GW bij een zelfstandige invulling van de provinciale energie-behoefte. Gegeven de weerstand tegen wind op land lijkt m.n. het eerste scenario wel ambitieus in verhouding tot het scenario van 1,17 GW wind op land in 2030, tenzij er significante verbetering optreedt in de maatschappelijke acceptatie (bijv. door deelname van omwonenden).

De ruimtelijke toedeling van aanvullend wind op land vermogen, tot slot, is gebaseerd op het rapport Herstructurering Wind op Land Noord-Holland, Plan-MER zoals gepubliceerd door de provincie Noord-Holland in 2014 (zie ook (Bureau Waardenburg, ROM 3D en anteagroup, 2014)). Hierbij is een evenredige verdeling toegepast over de aangegeven herstructureringsgebieden.

Het totale technische potentieel voor **zon-PV** in de provincie ligt volgens de voorgenoemde studie ruimtelijke effecten van de energietransitie in Noord-Holland (zie ook (ECN, 2015)) op 45,4 GW. De studie naar een 100% hernieuwbare energievoorziening voor de provincie (zie ook (ECN, 2016)) komt in het toekomstperspectief met de meeste zonneweiden op een vermogen van 13,5 GW. Dit perspectief is gebaseerd op minimalisatie van het ruimtegebruik.

Als de landelijke scenario's voor zon-PV (zowel daken als zonneweiden) uit de studie Net voor de Toekomst (zie (CE Delft, 2017)) worden omgerekend naar provinciale scenario's, dan volgt respectievelijk 13,4 GW voor 'Regionaal', 5,4 GW voor 'Nationaal', 2,6 GW voor 'Internationaal' en 2,9 GW voor 'Generiek'. Daarmee lijkt de toegepaste schaling in ieder geval fysiek passend in termen van et technische potentieel van 45,4 GW en de 13,5 GW zon-PV die resulteert bij zelfstandige invulling van de provinciale energievoorziening voor de provincie bij minimaal ruimtegebruik. Ook in het geval van zonneweiden is er echter sprake van toenemende weerstand, en bovendien zijn er zorgen over landdegradatie. Realisatie van de scenario's met veel zon-PV zal dus de nodige uitdagingen met zich meebrengen.

De veronderstelde verdeling van zon-PV over zon op dak en zonneweiden gaat uit van een toenemende relatieve bijdrage van zonneweiden bij een toenemend geïnstalleerd vermogen van zon-PV. Voor 2020 bestaat 80% van de 393 MW zon-PV uit zon op dak. Voor de scenario's met minder zon-PV (2,6 GW voor 'Internationaal' en 2,9 GW voor 'Generiek') blijft deze verhouding vergelijkbaar. Bij 13,4 GW in het scenario 'Regionaal', en 5,4 GW in het scenario 'Nationaal' neemt het aandeel zon op dak echter af tot respectievelijk 54 en 62%. Met andere woorden, naarmate er meer zon-PV wordt geïnstalleerd, zijn er minder geschikte, gunstige daken beschikbaar en zal er meer moeten worden ingezet op zonne-weiden. De ruimtelijke verdeling van zon op dak is gebaseerd op een evenredige gemeen-telijke verdeling naar aantal woningen en bedrijfspanden. In geval van zonneweiden is een evenredige verdeling over stadranden op basis van de gebruikte kaartenreeks in het docu-ment "indicatieve kaartbeelden - verbeelding beleidskader zon" zoals verstrekt door de Provincie. Op de "kaart IV – Bouwsteen 6B: stadsranden" worden deze gebieden nabij de gebouwde omgeving aangegeven. In dergelijke zones zullen zowel de ruimtelijke impact, als de netimpact relatief beperkt zijn.

Voor aanlanding van wind op zee zijn we uitgegaan van de studie van ARCADIS en PONDERA (ARCADIS; PONDERA, 2018) waarin verschillende mogelijkheden voor aanlanding van netten op zee worden verkend. In de verkenning wordt aangegeven dat Hollandse Kust West en vooral ook IJmuiden-Ver mogelijk in Zuid-Holland, Noord-Holland, en de Flevopolder kunnen 'aanlanden'. Daarmee zouden natuurlijk grote verschillen ontstaan in de netbelasting in de provincie Noord-Holland. Ook is gebruik gemaakt van de laatste inzichten zoals bekend bij

TenneT, waarmee is afgestemd over deze scenario-inputwaarden. Voor 2030 wordt uitgegaan van 2,1 GW aanlanding bij IJmuiden. De windparken Amalia (120 MW) en Egmond aan zee (108 MW) zullen tegen die tijd zijn uitgefaseerd.

Voor de scenario's is gebruik gemaakt van aanvullende informatie van TenneT m.b.t. aanlanding in Den Helder en IJmuiden n.a.v. TenneT en GTS "Infrastructure Outlook 2050". Voor 2050 wordt de 2,1 GW aanlanding wind op zee bij IJmuiden gehandhaafd, afgezien van het scenario 'Nationaal'; in dat geval wordt nog eens een extra 2 GW aanlanding bij IJmuiden gerealiseerd, oftewel in totaal 4,1 GW.

Aanlanding van wind op zee bij Den Helder in de vorm van elektriciteit wordt in de Infrastructure Outlook 2050 momenteel niet voorzien vanwege de verwachte hoge kosten van de benodigde netuitbreiding (380 kV), maar kan nader worden onderzocht. Aanlanding in de vorm van waterstof (waarbij de conversie op zee plaatsvindt of direct op het aanlandingspunt wordt omgezet in waterstof zonder verdere benodigde netcapaciteit voor de elektrolysers) is een mogelijkheid die wordt onderzocht, zowel voor Den Helder als bij IJmuiden.

K.4 Scenariodata

Tot slot kan nu een overzicht voor de verschillende scenario's voor wind op land en zon-PV in de provincie worden opgesteld, als weergegeven in Tabel 30.

Tabel 30 - Provinciale 2050 scenario's voor wind op land en zon-PV en wind op zee in provincie Noord-Holland

Scenario	Wind-op-Land (GW)	Zon-PV (GW)	Wind-op-Zee (GW)	Totaal (GW)
2020	0,7	0,4	0,3	1,4
2030	1,2	2,9	2,1	6,2
2050 Sturing regionaal	2,5	13,4	2,1	18,0
2050 Sturing nationaal	2,2	5,4	4,1	11,7
2050 Sturing internationaal	0,8	2,6	2,1	5,5
2050 Generieke sturing	0,8	2,9	2,1	5,8

K.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(RVO, 2018) Monitor wind op land 2017
(CE Delft en ECN/TNO, 2018) Flexibiliseringsmechanismen in relatie met saldering
(provincie Noord-Holland, 2018) Zonneparken Noord-Holland
(Klimaatberaad, 2018) Ontwerp klimaatakkoord, 2018 (OKA)
(ECN, 2015) Ruimtelijke effecten van de energietransitie in Noord-Holland voor de provincie
(ECN, 2016) Perspectieven op een volledig hernieuwbare energievoorziening in Noord-Holland
(RH DHV, 2014) Technische, ruimtelijke en organisatorische aspecten van het elektriciteitsnet voor de verbinding van windparken op zee op het landelijke hoogspanningsnet
(CE Delft, 2017a) Net voor de Toekomst
(Provincie Noord-Holland, 2014b) Herstructurering Wind op Land Noord-Holland, Plan-MER
Indicatieve kaartbeelden - verbeelding beleidskader zon, zoals verstrekt door de provincie
(WindStats, lopend), 2019

L Scenariodetails groengas-productie met vergisters en met (superkritische water)vergassers

L.1 Introductie

De levering en het gebruik van aardgas kan in de toekomst worden vervangen door groengas. Groengas heeft dezelfde chemische samenstelling als aardgas, maar wordt geproduceerd uit biomassa. Voor het transport van groengas kan het aardgasnet worden gebruikt zonder dat aanpassingen nodig zijn. Ook kan groengas worden bijgemengd bij het aardgas, wat een geleidelijke transitie van aardgas naar groengas mogelijk maakt.
In tegenstelling tot aardgasproductie kan groengasproductie ook in de provincie Noord-Holland zelf plaatsvinden. Dit gebeurt nu al, en in de toekomst kan de productiecapaciteit verder worden opgeschaald, gebruikmakend van lokaal beschikbare biomassa of ook geïmporteerde biomassa. Een belangrijk onderscheid kan worden gemaakt tussen groengas geproduceerd met vergisters uit vergistbare biomassastromen en groengas geproduceerd met vergassers uit vaste (houtachtige) biomassastromen. Groengasproductie met vergassers is niet in de netbeheerderspreadsheet opgenomen, maar er zijn wel scenarioschattingen gemaakt voor deze technologie.

L.2 Data huidige situatie

Groengasproductie met vergisters

In de database van de Klimaatmonitor staat de productiecapaciteit van groengas per gemeente voor 2016 [64], gespecificeerd voor verschillende reststromen vergistbare biomassa (Rijkwaterstaat, 2019). We nemen aan dat de daadwerkelijke productie van groengas met vergisters per gemeente in 2020 gelijk is aan de totale productiecapaciteit groengas per gemeente in 2016. Hierbij uit uitgegaan van een bedrijfstijd van 8.760 uur per jaar en een energie-inhoud van groengas van 39,8 MJ/Nm^3.

Groengasproductie met vergassers

In de huidige situatie zijn er geen vergassers in Noord-Holland en wordt er dus geen groengas geproduceerd op basis van vergassing.

[64] Dit was het meest recente jaar waarvoor data beschikbaar was op het moment van uitvoering (februari 2019).

L.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Groengasproductie met vergisters

De groengasproductie met vergisters in Noord-Holland in 2030 en 2050 per gemeente baseren we op de huidige beschikbare vergistbare biomassa per gemeente. We nemen dus aan dat alleen lokaal beschikbare biomassa wordt gebruikt en dat de hoeveelheden beschikbare biomassa in 2030 en 2050 gelijk zijn aan de huidige hoeveelheden. Verder kennen we de groengas die kan worden geproduceerd met de in een gemeente beschikbare biomassa toe aan diezelfde gemeente. Tot slot nemen we aan dat groengasproductie met vergisters in alle toekomstscenario's hetzelfde is.
De huidige beschikbare hoeveelheden reststromen biomassa per gemeente (in GJ/jaar) zijn in CE Explorer, het overkoepelende energiemodel van CE Delft, berekend op basis van CBS-gegevens over o.a. arealen gewassen per gemeente, kentallen voor de berekening van lokaal biomassapotentieel (biomassaopbrengst per hectare) en een methaangehalte van biogas van 55% (voor omrekening van biogas- naar groengasproductie). In de berekening zijn de volgende reststromen/feedstocks meegenomen: GFT, RWZI-afvalwater, slootmaaisel, bermgras, dunne mest van rundvee en varken, reststromen van akkerbouw en reststromen van tuinbouw (CE Delft, 2019).

Groengasproductie met vergassers

De productie van groengas met behulp van superkritische watervergassing is ingeschat voor de scenario's in 2030 en 2050 op basis van inschattingen van SCW Systems van de groengasproductiecapaciteit van superkritische vergassers in Noord-Holland, zoals weergegeven in Tabel 31. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen een mediumscenario en een maximumscenario, voor 2030 en 2050. SCW Systems gaat uit van 7.500 draaiuren per jaar en vier locaties waar een vergasser wordt gebouwd (SCW Systems, 2019).
In het scenario 'Sturing regionaal' wordt geen productiecapaciteit van superkritische vergassers gerealiseerd, omdat de vergassers gebruik maken van het hogedrukgastransportnetwerk. Het scenario 'Sturing nationaal' gaat uit van de waarden van groengasproductie van het mediumscenario van SCW. De scenario's 'Sturing internationaal' en 'Generieke sturing' gaan uit van de waarden van groengasproductie van het maximumscenario van SCW, omdat die scenario's uitgaan van de mogelijkheid van grootschalige biomassaimporten en van import en export van groengas en waterstofgas.

Tabel 31 - Productiecapaciteit hoogcalorisch groengas met superkritische vergassers van SCW (o.b.v. informatie SCW Systems, 2019). Alle cijfers in deze tabel zijn in MW

	Locatie Alkmaar (Boekelermeer)	Locatie Haven Amsterdam (Westpoort)	Locatie Wieringermeer/ AgriportA7	Locatie IJmuiden/Tata	Totaal
2030 - medium	100	250	100		450
2030 - maximum	100	400	200	250	950
2050 - medium	200	400	200		800
2050 - maximum	200	750	400	500	1.850

Het benodigde elektrisch vermogen voor de verwarming is maximaal 15% van de groengasproductievermogens (SCW Systems, 2019). De warmte kan met elektrische verwarming en/of verbranding van eigen groengas worden geproduceerd. We nemen aan dat er geen

energieverliezen zijn bij de omzetting van elektriciteit of groengas in warmte, en dat de som van de elektriciteitsverbruik en groengasverbruik in GJ/jaar gelijk is aan 15% van de groengasproductiecapaciteit. Ook wordt aangenomen dat in 2030 50% van de warmte-behoefte wordt voorzien met elektrische verwarming en 50% d.m.v. verbranding van zelfgeproduceerde groengas. Voor 2050 wordt aangenomen dat 10% van de warmtebehoefte met elektriciteit wordt voorzien en de rest met groengas (SCW systems, 2019).

L.4 Scenariodata

In Tabel 32 staat samengevat met welke uitgangspunten/benadering de groengasproductie met vergisters en met superkritische vergassers is bepaald in de verschillende scenario's van de systeemstudie Noord-Holland.

Tabel 32 - Groengasproductie: belangrijkste onderscheidende kenmerken van de scenario's in systeemstudie Noord-Holland

Scenario	Invulling groengasproductie met vergisters	Invulling groengasproductie met superkritische watervergassers
2020	Op basis van huidige productiecapaciteit groengas	Geen productie
Sturing regionaal	Op basis van beschikbaarheid vergistbare biomassa	Geen productie
Sturing nationaal		Op basis van mediumscenario SCW Systems (2019)
Sturing internationaal		Op basis van maximumscenario SCW Systems (2019)
Generieke sturing		Op basis van maximumscenario SCW Systems (2019)

In Tabel 33 staan de groengasproductie en het stroomverbruik van superkritische vergassers voor de systeemstudiescenario's zoals berekend met de in Bijlage L.3 genoemde aanpak en aannames.

Tabel 33 - Scenario's groengasproductie en stroomverbruik van superkritische vergassers in systeemstudie Noord-Holland (alles in GJ/jr)

Scenario	Alkmaar (Boekelermeer)	Westpoort (stadsdeel Amsterdam)	Hollands Kroon (Agriport-A7)	Velsen (Locatie Tata Steel)
Groengasproductie (GJ/jaar)				
2030 - Sturing regionaal	0	0	0	0
2030 - Sturing nationaal	2.497.500	6.243.750	2.497.500	0
2030 - Sturing internationaal	2.497.500	9.990.000	4.995.000	6.243.750
2030 - Generieke sturing	2.497.500	9.990.000	4.995.000	6.243.750
2050 - Sturing regionaal	0	0	0	0
2050 - Sturing nationaal	4.671.000	9.342.000	4.671.000	0
2050 - Sturing internationaal	4.671.000	17.516.250	9.342.000	11.677.500
2050 - Generieke sturing	4.671.000	17.516.250	9.342.000	11.677.500
Elektriciteitsverbruik (GJ/jaar)[a]				
2030 - Sturing regionaal	0	0	0	0
2030 - Sturing nationaal	202.500	506.250	202.500	0
2030 - Sturing internationaal	202.500	810.000	405.000	506.250

Scenario	Alkmaar (Boekelermeer)	Westpoort (stadsdeel Amsterdam)	Hollands Kroon (Agriport-A7)	Velsen (Locatie Tata Steel)
2030 - Generieke sturing	202.500	810.000	405.000	506.250
2050 - Sturing regionaal	0	0	0	0
2050 - Sturing nationaal	81.000	162.000	81.000	0
2050 - Sturing internationaal	81.000	303.750	162.000	202.500
2050 - Generieke sturing	81.000	303.750	162.000	202.500

[a]: Het groengasverbruik voor de eigen warmtevoorziening is afgetrokken van de productiehoeveelheden groengas.

L.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(CE Delft, 2019) Analysekaarten NP RES: Verantwoording bronnen en methoden, versie 1.1, 2
(Rijkswaterstaat, lopend) Klimaatmonitor, data opwekkingscapaciteit groengas, gebaseerd op data van RVO
(SCW Systems, 2019) E-mailcorrespondentie met de heer G. Essing, februari/maart 2019

M Scenariodetails warmte-infrastructuren

M.1 Introductie

Warmtedistributie is in de scenario's ingezet voor de energievraag van de gebouwde omgeving en van de industrie. Voor de industrie in het NZKG gaat het zowel om warmte als om stoom.

Als warmtebronnen is in de scenario's rekening gehouden met geothermie, restwarmte en stoom vanuit procesindustrie en AVI's, en met lagetemperatuurwarmtebronnen zoals oppervlaktewater, afvalwater, datacenters en dergelijke.

Van de reeds bestaande warmtenetten is aangenomen dat ze blijven bestaan, in alle scenario's.

M.2 Data huidige situatie

Er liggen in Noord-Holland al grootschalige warmtenetten voor warmtelevering aan gebouwen in Amsterdam en Amstelveen (met als hoofdbronnen de Diemen-centrales[65] en AEB), in Zaanstad (hoofdbron: WKK-installatie bij Saendelft en – recent - een biomassa-centrale in Zaandam-oost), in Purmerend (hoofdbron: biomassacentrale), in Alkmaar en van daar uit noordwaarts richting Heerhugowaard (hoofdbron: HVC). Op de Agriport-A7-glastuin-bouwlocatie ligt een warmtenet met als hoofdbronnen geothermie en restwarmte van een datacenter op die locatie. In Amsterdam Westpoort is voorts een biomassacentrale in aan-bouw, die warmte gaat leveren aan het bestaande warmtenetwerk en aan procesindustrie en in de toekomst ook stoom kan leveren.

In de gebouwde omgeving in Noord-Holland is op dit moment 6,0% op een warmtenet aangesloten (uitgedrukt in woning-equivalenten). Het huidig aandeel warmte-afname in het totale energiegebruik van de gebouwde omgeving in Noord-Holland is 4,2%.

[65] Vattenfall is bezig om op die locatie een 120 MWth biomassaketel te realiseren t.b.v. de vergroening van de basislast van het warmtenet.

Figuur 32 – Huidige warmtenetwerken c.q. -netwerkgebieden in Noord-Holland

M.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

In de scenario's is rekening gehouden met de volgende hogetemperatuurrestwarmte-bronnen. Voor het MRA-gebied komen die overeen met de bronnen in de Grand Design 2.0-studie.

Naam warmtebron (HT)	Gemeente	Capaciteit (GJ/jaar)	Temperatuurniveau
Tata Steel IJmuiden BV	Velsen	378.000	HT
Crown van Gelder N.V.	Velsen	901.200	HT
Tate & Lyle Netherlands BV	Zaanstad	513.600	HT
Biomassacentrale Purmerend	Purmerend	1.108.800	HT
CONO Kaasmakers (Middenbeemster)	Beemster	48.800	HT
Hemweg 9-gascentrale	Amsterdam	6.552.000	HT
Diemencentrales[66]	Diemen	11.088.000	HT
Cargill BV (Soja)	Zaanstad	4.056.00	HT
Norit Nederland BV (Zaandam)	Zaanstad	172.400	HT
ADM Cocoa BV	Zaanstad	155.200	HT
Forbo Flooring BV	Zaanstad	92.800	HT
Loders Croklaan	Zaanstad	120.800	HT
Gasunie (Beverwijk)	Beverwijk	36.600	HT
HVC (Alkmaar)	Alkmaar	5.962.500	HT
Afval Energie Bedrijf (Amsterdam)	Amsterdam	5.040.000	HT

Voor de geografische potentie van geothermie is de meest recente ThermoGIS-kaart van TNO gebruikt. De gebruikte laagtemperatuurwarmtebronnen zijn weergegeven in Figuur 33.

[66] Het plan van Vattenfall is om de basislastwarmteproductie op de Diemen-locatie te vervangen door een 120 MWth biomassaketel, en later, na 2030 door geothermie en lagetemperatuurrestwarmte. Die plannen zijn niet in detail verwerkt in de scenariocijfers; ze hebben geen impact op de energie-infrastructuurknelpunten in deze studie. Voor de RESsen, die in veel meer detail zullen kijken naar met name de warmtetransitie, zijn die plannen wel van belang.

Figuur 33 – Laagtemperatuurwarmtebronnen

M.4 Scenariodata

De warmtebronnen zijn als volgt meegenomen in de vier scenario's.

Scenario	Omschrijving
Regionale sturing	Behoud bestaande biomassacentrales, geothermie 20 putten a 10 MW, totaal 7,2 PJ/jr, waterstofstook in Hemweg-9 (in 2050), en daarmee klimaatneutrale restwarmtebron, restwarmtebenutting industrie + HVC en bron SV Purmerend in NHN.
Nationale sturing	Behoud bestaande biomassacentrales, geothermie 15 putten a 10 MW, totaal 5,4 PJ/jr, waterstofstook in Hemweg-9 (in 2050) en daarmee klimaatneutrale rest-warmtebron, restwarmtebenutting industrie + HVC en bron SV Purmerend in NHN.
Internationale sturing	Verdere groei AEB, groei bioketels door verdere inzet biomassa, geothermie 15 putten a 10 MW (totaal 5,4 PJ/jr) + HVC en bron SV Purmerend in NHN.
Generieke sturing	Geen geothermie, geen restwarmte industrie, waterstof naar andere sectoren dan naar de gebouwde omgeving, AEB lichte groei en aansluiting Tata + HVC en warmtebron SV Purmerend in NHN (biomassacentrale).

M.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(MRA, 2018) Grand Design 2.0
NH: Warmte in transitie
TNO ThermoGIS-kaart (potentie geothermie)

N Scenariodetails CO_2-infrastructuur

N.1 Introductie

In de systeemstudie voor de provincie Noord-Holland verkennen we ook de mogelijke ontwikkeling van de CO_2-infrastructuur voor de verschillende scenario's in 2030 en 2050, in samenhang met de ontwikkeling van CO_2-aanbod (afvang van CO_2 bij grote industriële bedrijven) en CO_2-vraag (m.n. de glastuinbouw). De CO_2-infrastructuur omvat de capaciteit en topologie van een CO_2-net in de provincie Noord-Holland, waarbij ook CO_2 naar CO_2-opslaglocaties in de Noordzee kan worden getransporteerd.

Momenteel is er nog geen CO_2-net in Noord-Holland, maar voor de transitie naar een klimaatneutrale energievoorziening is zo'n net onmisbaar (CE Delft, 2018c). Carbon capture and storage (CCS) en carbon capture and utilisation (CCU) vergen een CO_2-net, met aansluiting op de OCAP-leiding die tussen het Rotterdams industriegebied en de Zuid-Hollandse glastuinbouw loopt, en afvoer naar lege gasvelden onder de Noordzee (CCS). De gasscheiding bij CO_2-afvang vergt substantiële hoeveelheden energie (warmte), dus CCS zal tot extra warmtevraag leiden. Net als bij de energienetten zijn kosteneffectieve ontwikkeling en voldoende netcapaciteit belangrijke doelstellingen voor een CO_2-net in Noord-Holland.

N.2 Data huidige situatie

CO_2-uitstoot industrie

In de provincie Noord-Holland zijn AEB, HVC en Tata drie bedrijven met een hoge CO_2-uitstoot (zie Tabel 34). Om klimaatneutraal te worden in 2050 zal in 2050 een deel van de fossiele CO_2-uitstoot van de industrie moeten worden afgevangen en opgeslagen. Richting 2030 kan fossiele CO_2 ook worden benut in de glastuinbouw; hier zijn al projecten in voorbereiding (zie onder). In 2050 kan benutting van biogene en fossiele CO_2 plaatsvinden in de glastuinbouw en voor de productie van synthetische kerosine en methanol en voor mineralisatie in bouwmaterialen.

Tabel 34 - CO_2-uitstoot van de in de systeemstudie beschouwde bedrijven in 2016 (Emissieregistratie, 2019)

Bedrijf	Locatie	CO_2-uitstoot (Mton/jr)
AEB	Amsterdam	1,7
HVC	Alkmaar	1,4
Tata	Velsen	6,3
Totaal		**9,4**

Momenteel kijken OCAP en Linde al naar de businesscase van CO_2-afvang bij AEB 450 kton/jr) voor levering aan de glastuinbouw (Industrietafel NZKG, 2018). Voor de HVC-vergister ligt er ook een projectplan klaar om biogeen CO_2 te leveren aan de glastuinbouw (zie onder, en P+ (2018)).

OCAP-leiding

De OCAP-leiding levert CO_2 van Rotterdamse industrie aan glastuinbouw in Zuid-Holland met het bedrijf OCAP als tussenpersoon. OCAP gebruikt daarvoor een ondergrondse pijpleiding die oorspronkelijk was aangelegd voor aardolietransport van Rotterdam naar Amsterdam (Provincie Noord-Holland, 2018a).
Transport in de gasfase vindt plaats bij een druk tot 40 bar; bij transport in de vloeistoffase is een druk van minimaal 75 bar nodig. Bij hogere druk zijn stevigere leidingbuizen nodig, maar kunnen grotere hoeveelheden worden getransporteerd (EBN en Gasunie, 2010).
De OCAP-leiding heeft een maximale druk van ong. 20 bar. Bij een startdruk van 20 bar en een transportcapaciteit van ca. 3 Mton/jaar (wat op de OCAP-leiding van toepassing is) is een diameter van minimaal 50-60 cm nodig (EBN en Gasunie, 2017).

De capaciteit van OCAP-pijplijn is 2,6-3 Mton per jaar (Ecofys, 2017). De daadwerkelijke levering aan de Zuid-Hollandse glastuinbouw is ca. 0,6 Mton per jaar. Dit betekent dat de benuttingsgraad van de OCAP-leiding gemiddeld 20-23% is. Hier zitten wel fluctuaties in: in de zomerperiode (4 maanden) wordt ongeveer 55% van de jaarlijkse hoeveelheid CO_2 verbruikt door de glastuinbouw, in de winterperiode (4 maanden) 15% en in de tussenliggende maanden 30% (OCAP, 2018).

Figuur 34 – OCAP-leiding, huidige situatie

N.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Tata en chemische industrie

Tata onderzoekt meerdere opties om de staalproductie te verduurzamen, maar tot 2050 zal CO_2-afvang nodig zijn om de CO_2-uitstoot terug te brengen naar het gewenste niveau.
De beide Velsen-centrales die nu hoogovengas stoken zullen rond 2030 gesloten zijn.
De bedoeling is dat een andere bestemming worden gevonden voor het hoogovengas als feedstock voor nieuwe chemische industrie (productie van nafta, synthetische kerosine, methanol, bouwmaterialen). De verwachting is dat op de langere termijn (2050) zulke industrie tot stand zal komen. De haven van Amsterdam is hier een geschikte locatie voor, omdat hier al een bouwgrondstoffencluster aanwezig is (Port of Amsterdam, 2019). Verder werken SkyNRG, KLM, Tata en Oiltanking Amsterdam aan een pilotplant voor synthetische kerosine die in 2023 in bedrijf zou moeten komen. Rond 2030 zou dan een commerciële installatie moeten komen die ~1Mton CO_2 als input gebruikt (Industrietafel NZKG, 2018).

Glastuinbouw

Op de korte termijn zal CO_2-benutting naar alle waarschijnlijkheid gaan plaatsvinden in de Noord-Hollandse glastuinbouw. Noord-Holland heeft een aantal concentratiegebieden van glastuinbouw in Noord-Holland Noord (Agriport-A7, Alton en Het Grootslag) en in Noord-Holland Zuid (het Heemskerkbinnenduingebied en Greenport Aalsmeer) (Provincie Noord-Holland, 2018). De provincie Noord-Holland heeft aangekondigd subsidie te verlenen aan drie aanvullende projecten om de CO_2-infrastructuur in Noord-Holland te versterken (Provincie Noord-Holland, 2018):

- Doortrekken van OCAP-leiding naar AEB, vervloeiing bij AEB, en lokaal CO_2-net bij Alton en Het Grootslag (glastuinbouw NHN) (vloeibare CO_2 per vrachtwagen naar NH-N, want kosten-batenverhouding van pijplijn is hier ongunstig). Dit project faciliteert investering in CO_2-afvang bij AEB.
- CO_2-afvang uit vergister van afvalverwerker De Meerlanden (Haarlemmermeer) en levering aan het OCAP-netwerk.
- CO_2-afvang bij HVC-vergister in Middenmeer en levering via pijplijn aan Agriport-A7, dat in de buurt ligt (NHN). ECW, het eigen energiebedrijf van de bedrijven van Agriport-A7, is bereid om een pijplijn naar HVC te financieren.

Deze projecten zijn geïllustreerd in Figuur 35.
Er wordt gewerkt aan een verbinding tussen de glastuinbouw van Greenport Aalsmeer en de OCAP-leiding, die daar enkele kilometers langs loopt. Dit project wordt eveneens financieel ondersteund door de provincie Noord-Holland.

Figuur 35 - CO_2-projecten die door de provincie Noord-Holland financieel worden ondersteund

Bron: Provincie Noord-Holland, 2018.

CO_2-vraag

De gewassen in de kassen nemen jaarlijks 13 tot 15 kg CO_2 per m^2 op. Door ventilatie-verliezen kan daar nog 10 tot 70 kg per m^2 bij komen (WUR, 2010). Het areaal glastuinbouw in Noord-Holland is 926 hectare (LTO Glaskracht, 2016). Dit betekent dat de CO_2-vraag van de Noord-Hollandse glastuinbouw tussen de 0,2 en 0,8 Mton per jaar is. Voor wat betreft nieuwe chemische industrie zijn nog weinig concrete plannen bekend. De synthetische kerosinefabriek van SkyNRG, KLM, Tata en Oiltanking Amsterdam die in studie is voor 2030 zou ~1 Mton CO_2 verbruiken (Industrietafel NZKG, 2018). Wanneer in 2030 alleen deze fabriek tot stand zou komen, zou Noord-Holland een totale CO_2-vraag van 1,2-1,8 Mton/jaar hebben.

De meest recente cijfermatige informatie over CO2-vraag en aanbod en de ontwikkeling in de tijd daarvan is afkomstig uit (Navigant, 2019). Het aanbod ontstaat tot 2025 eerst bij de beide afvalverbrandingsinstallaties in Noord-Holland (AEB (Amsterdam): 0,5 Mton/jaar; HVC (Alkmaar) 0,1 Mton/jaar oplopend naar 0,2 Mton/jaar in 2030. De CO_2 van de afval-verbranders is grotendeels (circa 80%) biogeen van aard. De kwaliteit van die CO_2 is geschikt om voor direct gebruik in de glastuinbouw. In 2030 ontstaat naar verwachting ook groot-schaliger CO_2-aanbod bij Tata Steel (5 Mton/jaar), afkomstig van fossiele bronnen, en qua zuiverheid niet geschikt voor direct gebruik in de glastuinbouw.
De vraag naar CO_2 is er nu reeds in de glastuinbouwbgebieden in NH-Noord en NH-Zuid (0,4 Mton, oplopend naar 1,1 Mton in 2025 t.g.v. de het afstappen van aardgas). Vanaf 2025 kan een vraag ontstaan vanuit CCU. Het betreft 'mineralisatie' (circa 0,1 Mton/jr), en vanuit geleidelijke opbouw van synfuelproductie. Synfuelproductie zal naar verwachting pas op grotere schaal gerealiseerd kunnen zijn in 2040 en verder kunnen oplopen richting 2050.

Ook in 2050 is de verwachting in (Navigant, 2019) dat de vraag vanuit CCU-processen substantieel kleiner is dan het aanbod (3,9 Mton versus 6,4 Mton).

Realisatie van CO_2-leidingen

Er zijn al pijpleidingen van de haven van Amsterdam naar de Noordzee toe. Deze kunnen mogelijk geschikt gemaakt worden voor CO_2-transport. Er moet dan worden bekeken of de CO_2-transportcapaciteit van deze leidingen hoog genoeg is, en de kosten van evt. aanpassing van de bestaande buisleidingen moeten worden vergeleken met de aanleg van een nieuwe CO_2-leiding.

CO_2-net in 2030

Als de CO_2-infrastructuurprojecten worden gerealiseerd zal in 2030 AEB en Greenport Aalsmeer zijn aangesloten op de OCAP-leiding. De plannen zijn verder om de glastuinbouw in NHN te voorzien met CO_2 vanuit HVC via binnenvaartschip en tubetrailers, de greenports en HVC zien op dit moment geen businesscase voor een CO_2-buisleiding. Als er een synthetische kerosinefabriek met een CO_2-vraag van 1 Mton in de Amsterdamse haven komt, dan ligt het voor de hand om CO_2-afvang bij het naburige AEB te realiseren en te transporteren naar deze nieuwe fabriek.
Gegeven dat bij 20 bar en een transportcapaciteit van ca. 3 Mton/jaar een pijplijndiameter van ca. 50-60 cm nodig is (EBN en Gasunie, 2017), zal de aanleg van een CO_2-pijplijn tussen Tata en de Amsterdamse haven met een grootte van 60 cm meer dan voldoende zijn voor de verwachte ontwikkelingen in 2030. Met het oog op de nog onzekere ontwikkeling van de chemische industrie tot 2050 is het aanleggen van een leiding met een grotere diameter een reële optie: Met 76 cm is de CO_2-transportcapaciteit 5 Mton/jaar, en bij 107 cm 10 Mton/jaar (EBN en Gasunie, 2017).

CO_2-net in 2050

Om het Noord-Hollandse energiesysteem klimaatneutraal te krijgen in 2050 is een regionaal CO_2-net nodig. Deze zal in ieder geval bestaan uit een 'hoofdleiding' van Tata naar het Amsterdamse havengebied, en naar een of meerdere CO_2-opslaglocaties in de Noordzeebodem. Een andere hoofdleiding zal de OCAP-leiding zijn, die zal aanhaken op eerstgenoemde hoofleiding. Een dergelijk Hollands CO_2-net zal zorgen flexibiliteit in afvoer en levering van CO_2 en nieuwe CCU-ontwikkelingen faciliteren. Als de CO_2-uitstoot van Tata afneemt als gevolg van de overstap op een ander hoogovenproces en tegelijkertijd de CO_2-verbruikende chemische industrie zich sterk ontwikkelt in de Amsterdamse haven, dan is het mogelijk dat het merendeel van de CO_2-uitstoot van Tata, AEB en HVC benut kan worden in Noord-Holland.

N.4 Scenariodata

In Tabel 35 zijn de systeemstudiescenario's voor Noord-Holland ingevuld met betrekking tot de ontwikkeling van de CO_2-infrastructuur, waarbij bovenstaande ontwikkelingen voor 2030 en 2050 als uitgangspunt zijn genomen.

Tabel 35 - CO_2-infrastructuur: belangrijkste onderscheidende kenmerken van de scenario's

Scenario	CO_2-afvang	CO_2-benutting en -opslag	CO_2-netwerk
2030 - Sturing regionaal	CO_2-afvang bij HVC, AEB en Tata (gedeeltelijk)	Glastuinbouw Noord-Holland, synthetische kerosinefabriek in haven Amsterdam, CO_2-opslag.	OCAP-lijn naar AEB, CO_2-pijp van HVC naar glastuinbouw in Noord-Holland Noord, CO_2-opslag in bodem Noordzee.
2030 - Sturing nationaal	CO_2-afvang bij HVC	Glastuinbouw Noord-Holland	OCAP-lijn naar AEB, CO_2-pijp van HVC naar glastuinbouw in Noord-Holland Noord.
2030 - Sturing internationaal	CO_2-afvang bij HVC	Glastuinbouw Noord-Holland	OCAP-lijn naar AEB, CO_2-pijp van HVC naar glastuinbouw in Noord-Holland Noord.
2030 - Generieke sturing	CO_2-afvang bij HVC, AEB en Tata (gedeeltelijk)	Glastuinbouw Noord-Holland, synthetische kerosinefabriek in haven A'dam, CO_2-opslag.	OCAP-lijn naar AEB, CO_2-pijp van HVC naar glastuinbouw in Noord-Holland Noord, CO_2-opslag in bodem Noordzee.
2050 - Sturing regionaal	CO_2-afvang bij HVC, AEB en Tata (gedeeltelijk)	Benutting van CO_2 in glas-tuinbouw N-H en productie van methanol, nafta, synthetische kerosine en bouwgrondstoffen, opslag van fossiele CO_2 in lege gasvelden onder de Noordzee.	Eén CO_2-net in Noord-Holland (verbonden met OCAP-leiding), CO_2-opslag in bodem Noordzee.
2050 - Sturing nationaal			
2050 - Sturing internationaal			
2050 - Generieke sturing			

N.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(EBN en Gasunie, 2010) CO_2 transport- en opslagstrategie, april 2010
(EBN en Gasunie, 2017) Transport en opslag van CO_2 in Nederland, verkennende studie
(Ecofys, 2017) Prefeasibility study CO_2 smart grid: The potential of carbon capture, transport, usage and storage
(Emissieregistratie, 2019) Database van emissie van Nederlandse bedrijven, geraadpleegd in februari 2019
(Industrietafel NZKG, 2018) Noordzeekanaalgebied: Vliegwiel voor een duurzame toekomst-Projectbeschrijvingen
(LTO Glaskracht, 2016) CO_2-vraag glastuinbouw, notitie
(Navigant, 2019) Detailstudie naar ontwikkeling CO_2-vraag en -aanbod in de tijd
(OCAP, 2018) Persoonlijke communicatie, voor project 'MKBA CCU Smart Grid: Onderzoek maatschappelijke welvaartseffecten' van CE Delft, mei 2018.
(P+, 2018) Grootste afvanginstallatie in Nederland: Bio-CO_2, artikel, P+ special, week 20, 2018
(Port of Amsterdam, 2019) Persoonlijke communicatie, de heer Reuchlin, maart 2019
(Provincie Noord-Holland, 2018) Brief van Gedeputeerde Staten aan leden van Provinciale Staten van Noord-Holland betreffende stand van zaken projecten energietransitie vanuit motie 2017-110, ingekomen op 7 september 2018
(WUR, 2011) CO_2-dosering in de biologische glastuinbouw: Onderzoek naar alternatieve bronnen - Toepassingen in gangbare tuinbouw, P.C.M. Vermeulen en C.J.M. van der Lans

O Scenariodetails elektriciteitscentrales

O.1 Introductie

In de energietransitie zal de elektriciteit steeds minder door conventionele centrales gestookt op steenkool of aardgas worden geproduceerd, en steeds meer door hernieuwbare energietechnologieën zoals windturbines en zonnepanelen. Voor de provincie Noord-Holland betekent dit o.a. dat fossiele centrales uit bedrijf worden genomen of overschakelen op een andere brandstof, dat er meer zon en wind op land wordt gerealiseerd en dat er grote hoeveelheden windenergie afkomstig van windparken op de Noordzee zullen aanlanden. Die laatste productie is aanbodgestuurd. Omdat er in dit toekomstig elektriciteitssysteem behoefte is aan flexibiliteit kunnen conventionele centrales een rol blijven spelen, waarbij nieuwe brandstoffen als vaste biomassa, groengas en waterstof kunnen worden gebruikt. Voor de ontwikkeling van de energie-infrastructuur is het van belang wat de plannen zijn voor bestaande en eventueel nieuwe centrales.

O.2 Data huidige situatie

Een overzicht van huidige elektriciteitscentrales in Noord-Holland is opgenomen in Tabel 36.

Tabel 36 - Bestaande elektriciteitsproductiecentrales in Noord-Holland

Producent	Centrale	Locatie	Brandstof	Elektrisch vermogen (MW_e)	In bedrijf	Opmerking
Nuon	Hemweg-8	Amsterdam Hemweg (Westpoort)	Steenkool	630	1994	
Nuon	Hemweg-9	Amsterdam Hemweg (Westpoort)	Aardgas (hoogcalorisch) (STEG)	435	2012	
Nuon	Diemen-33	Diemen	Aardgas (laagcalorisch[67]) (STEG)	266	1995	Aangesloten op stadswarmte-net (max. 180 MW_{th})
Nuon	Diemen-34	Diemen	Aardgas (laagcalorisch) (STEG)	435	2012	Aangesloten op stadswarmte-net (max. 260 MW_{th})
Nuon	IJmond-1	Cluster Velsen[68]	Hoogovengas (STEG)	144	1997	Produceert warmte t.b.v. Tata Steel (105 MW_{th})

[67] Met laagcalorisch wordt hier 'Groningengas' bedoeld.

[68] De drie centrales in het Velsen-cluster zijn back-up voor elkaar.

Producent	Centrale	Locatie	Brandstof	Elektrisch vermogen (MW_e)	In bedrijf	Opmerking
Nuon	Velsen-24	Cluster Velsen	Hoogovengas/aardgas hoogcalorisch	350	1975	
Nuon	Velsen-25	Cluster Velsen	Hoogovengas/aardgas hoogcalorisch	375	1987	
HVC	HVC-AVI	Alkmaar	Afval	63		Aangesloten op stadswarmtenet
HVC	HVC-Bioenergie-centrale (WKK)	Alkmaar	Biomassa (B-hout)	25[69]		In 2017 aangesloten op stadswarmtenet
AEB	AEC	Amsterdam Westpoort	Afval	80 [a]	1993	Aangesloten op stadswarmtenet
AEB	HRC	Amsterdam Westpoort	Afval	60 [a]	2009	Aangesloten op stadswarmtenet
AEB	Bioenergiecentrale (WKK)	Amsterdam Westpoort (Petroleumhavenweg)	A-hout (resthout uit de omgeving)	8 [a]		In aanbouw. Ook 32 MW_{th} warmtelevering[a]

Bron: [a] AEB (2019).

O.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

De productie-eenheid Velsen24 zal in 2030 uit bedrijf zijn, en de Velsen25-eenheid vermoedelijk ook, of kort na 2030. De redenen zijn dat de centrales einde levensduur raken, dat Tata Steel de restgassen op een andere manier wil gaan verwaarden, dat de huidige contracten over die restgassen over enkele jaren aflopen, en dat grote investeringen nodig zijn in DeNOx-installaties. De IJmond1-eenheid zal vermoedelijk langer in gebruik blijven omdat een deel van de restgassen waarschijnlijk beschikbaar zal blijven voor elektriciteitsproductie. Voor eventuele knelpunten in het elektriciteitsnetwerk maakt dat echter weinig uit aldus de netbeheerders, aangezien die eenheid maar een relatief bescheiden elektrisch vermogen heeft (144 MWe).

De kolencentrale Hemweg-8 sluit per 31 december 2024 definitief en de laatste berichten zijn dat dat zelfs al enkele jaren eerder het geval is. De gasgestookte centrale Hemweg9 op dezelfde locatie blijft open.

De Diemen 34 of de Diemen 33 zal als warmtevraaggestuurde eenheid aan het stadswarmtenet blijven leveren voor de middenlast van het net (na realisatie van de beoogde biomassaketel op die locatie). Ze hebben ook een functie als back-up voor de warmtelevering. De andere eenheid wordt elektriciteitsmarktgedreven ingezet. Beide eenheden blijven in bedrijf. In 2022 zullen beide eenheden overschakelen van het huidige 'Groningengas' op hoogcalorisch gas.

HVC Alkmaar en AEB Amsterdam (beide aangesloten op het 50 kV-net van Liander) blijven naar verwachting open, maar afnemende importhoeveelheden van afval kunnen leiden tot uitbedrijfname van één van de eenheden (TenneT, 2019) of van een deel (bijvoorbeeld de AEC-eenheid van AEB, de oudste van de beide installaties op die locatie). Wel zal er naar

[69] Geschat o.b.v. productie van 'meer dan 200.000 MWh per jaar' aan groene stroom productie en volcontinubedrijf. Zie https://www.hvcgroep.nl/over-hvc/interactieve-locatiekaart/bioenergiecentrale

verwachting een verschuiving plaatsvinden naar meer warmteproductie en minder elektriciteitsproductie.

De lange termijn planning is dat in 2050 de gascentrales Hemweg9, Diemen33 en Diemen34 zijn overgestapt op een CO_2-neutrale brandstof zoals groene (of blauwe) waterstof.
De mogelijkheden daarvoor worden nu al verkend. De afvalcentrales van HVC en AEB zullen in 2050 zijn voorzien van CO_2-afvanginstallaties, evenals de bioenergiecentrale van HVC (zie Bijlage N).

O.4 Scenariodata

In Tabel 37 geven we een overzicht van de inzet en het brandstofverbruik van de Noord-Hollandse centrales in de scenario's voor 2030 en 2050. We nemen aan dat er wat betreft opgesteld vermogen en ingezette brandstoffen geen verschillen zijn tussen 2030-scenario's onderling en tussen 2050-scenario's onderling. De verschillen tussen de scenario's zitten in de inzet van de verschillende centrales. Die inzet wordt bepaald door de momentane behoefte aan vraaggestuurde elektriciteitsproductie, en de positie van de centrales in de zgn. merit order. Die inzet is een uitkomst van de doorrekening door de netbeheerders van het energiesysteem, geen input vanuit de scenario's.

Tabel 37 - Inzet en brandstofverbruik elektriciteitsproductiecentrales in scenario's 2030 en 2050

Producent	Centrale	Elektrisch vermogen (MWe)	Scenario's 2030	Scenario's 2050	Opmerkingen/toelichting
Nuon	Hemweg-8	630	*Uit bedrijf*	*Uit bedrijf*	Uit bedrijf per eind 2024, vermoedelijk al eerder.
Nuon	Hemweg-9	435	Aardgas	Waterstof	
Nuon	Diemen-33	266	Aardgas	Waterstof	
Nuon	Diemen-34	435	Aardgas	Waterstof	
Nuon	IJmond-1	144	*Uit bedrijf*	*Uit bedrijf*	Worst case voor de elektriciteitssituatie op die locatie, de eenheid blijft vermoedelijk langer open maar impact daarvan op het elektriciteitssysteem is gering.
Nuon	Velsen-24	350	*Uit bedrijf*	*Uit bedrijf*	Tata stapt over op andere manier van verwaarding van het restgas.
Nuon	Velsen-25	375	*Uit bedrijf*	*Uit bedrijf*	Tata stapt over op andere manier van verwaarding van het restgas.
HVC	HVC-AVI	63	Afval	Afval	Verschuiving van elektriciteit naar warmte. CO_2-afvang vanaf 2030.
HVC	HVC-Bioenergiecentrale (WKK)	25	B-hout	B-hout	CO_2-afvang vanaf 2030.
AEB	AEC	80	Afval	*Uit bedrijf*	Uit bedrijf als gevolg van vermindering van afvalimport.
AEB	HRC	60	Afval	Afval	Verschuiving van elektriciteit naar warmte. CO_2-afvang vanaf 2030.
AEB	Bioenergie-centrale (WKK)	8	A-hout	A-hout	Mogelijk CO_2-afvang vanaf 2030.

O.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(AEB, 2019) Persoonlijke communicatie, de heer M. Hes, maart 2019
(Tata Steel, 2019) Persoonlijke communicatie, de heer C. Pietersen, maart 2019
(TenneT, 2019) Persoonlijke communicatie, de heer P. Kwakman, maart 2019
(Vattenfall, 2019) Persoonlijke communicatie, de heer R. Snelderswaard, april 2019

P Scenariodetails energieopslag

P.1 Introductie

Grootschalige opslag en conversie (power-to-hydrogen) is een onmisbaar onderdeel van een energiesysteem waar zon en wind een heel grote rol in krijgen. Zij zijn een oplossingsrichting voor de mismatch in tijd en plaats tussen het aanbod en vraag naar elektronen en ook moleculen. Omdat het een oplossingsrichting is, zijn er diverse varianten denkbaar.

In de scenario's voor de regionale systeemstudie NH is gekozen om opslag van elektriciteit in accusystemen, en conversie in de vorm van power-to-hydrogen, niet mee te nemen in de inputdata die aan de netbeheerders is geleverd voor de infrastructuurdoorrekeningen, om reden dat anders geen zuiver beeld zou ontstaan van de mismatch tussen vraag en aanbod. Power-to-hydrogen en opslag van elektriciteit in accusystemen worden in deze systeemstudie beschouwd als onderdeel van de oplossingen voor knelpunten in het systeem, net zoals dat het geval is met transport van en naar de rest van Nederland.

Er is een uitzondering gemaakt voor de kleinschalige batterijopslag via thuisaccu's. Gedreven door het te zijner tijd afschaffen van de salderingsregeling zullen deze opslageenheden naar verwachting een actieve component in het energiesysteem worden, los van eventuele grote knelpunten in energie-infrastructuur. Daarom zijn ze meegenomen in de inputdata van deze systeemstudie onderzoek.

Daarnaast zijn in de dataset en in deze bijlage op verzoek van de netbeheerders capaciteitsgegevens opgenomen van de ondergrondse gasopslag in Noord-Holland.

P.2 Data huidige situatie

Thuisaccu's: Geen data bekend voor kleinschalige thuisaccu's, thuisopslag elektriciteit is voor 2020 op nihil verondersteld.

Ondergrondse gasopslag: TAQA heeft twee ondergrondse aardgasopslaglocaties in de regio Alkmaar: de gasopslag Bergermeer en de Piekgasinstallatie (PGI). Gasopslag Bergemeer is een leeggeproduceerd gasveld tussen Alkmaar en Bergen, waar TAQA sinds 2014 aardgas opslaat. Het heeft een opslagcapaciteit van 46 TWh, ofwel 4,1 miljard m^3. De PGI is een installatie op bedrijventerrein Boekelermeer in Alkmaar vanwaar aardgas het Alkmaarveld in kan worden gepompt, en aardgas uit dit veld kan worden onttrokken. In het Alkmaarveld is 500 miljoen m^3 aardgas beschikbaar voor piekproductie (TAQA, 2016).

P.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Thuisaccu's: Thuisopslag kan sterk toenemen. Dit hangt af van de ontwikkelingen in zon-PV, de prijs van batterijsystemen, en het hangt ook samen met de terugleververergoeding of salderingsregeling.

De hoeveelheid thuisopslag voor 2050 is gebaseerd op de Net voor de Toekomstscenario's. De hoeveelheid thuisopslag voor 2030 is per scenario gebaseerd op een lineaire interpolatie van het aantal in 2020 (gewicht 67%) en het aantal in 2050 (gewicht 33%).

Ondergrondse gasopslag: De ondergrondse gasopslag in Noord-Holland is in 2030 en 2050 gelijk verondersteld aan de huidige capaciteit.

P.4 Scenariodata

Thuisaccu's: De Net voor de Toekomstscenario's bevatten allemaal een andere hoeveelheid aan thuisopslag. Op het laagspanningsnet gaat het om de volgende hoeveelheid aan opslag in de scenario's.

		Regionaal sturen	Nationaal sturen	Internationaal sturen	Generiek sturen
Thuisopslag NL, 2050 (Net voor de Toekomst) (GWh)		46	18	2,4	1,6
Thuisopslag Noord Holland, 2030	Aantallen x 8 kWh	356.062	142.336	18.377	-
	Aantal MW cap.	1.424	569	74	-
Thuisopslag Noord Holland, 2050	Aantallen x 8 kWh	1.078.941	431.288	55.652	-
	Aantal MW cap.	4.316	1.725	223	-

Uitgaande van 8 kWh thuisaccu's heeft in 'Regionaal sturen' 72% van de huishoudens een thuisaccu, in Nationaal is dat 29% en in Internationaal en Generiek 4% resp. 3%.

Deze aantallen en gemeenten zijn naar de gemeenten van Noord-Holland geschaald naar rato van het aandeel grondgebonden woningen in de gemeenten van Noord-Holland. Dit leek een logische verdeelsleutel omdat de aantrekkelijkheid van opslag voor een belangrijk deel zal samenhangen met de aanwezigheid van opwek via daken.

Voor het generieke scenario is besloten thuisopslag niet mee te nemen. De reden is dat er voor thuisopslag dan in dat scenario geen beleidsprikkel is om ervoor te zorgen dat het belangrijk is om in eigenverbruik te voorzien, en daarnaast geeft dit de mogelijkheid om in de scenario's te kunnen zien wat het verschil in lokale knelpunten in het systeem is.

Ondergrondse gasopslag: TAQA heeft twee ondergrondse aardgasopslaglocaties in de regio Alkmaar: de gasopslag Bergermeer en de Piekgasinstallatie (PGI). Gasopslag Bergemeer is een leeggeproduceerd gasveld tussen Alkmaar en Bergen, waar TAQA sinds 2014 aardgas opslaat. Het heeft een opslagcapaciteit van 46 TWh, ofwel 4,1 miljard m^3. De PGI is een installatie op bedrijventerrein Boekelermeer in Alkmaar vanwaar aardgas het Alkmaarveld in kan worden gepompt, en aardgas uit dit veld kan worden onttrokken. In het Alkmaarveld is 500 miljoen m^3 aardgas beschikbaar voor piekproductie (TAQA, 2016).

P.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
(CE Delft, 2017a) Net voor de Toekomst.
(TAQA , 2016)TAQA in Nederland, factsheet

Q Scenariodetails elektrolysers (waterstofproductie)

Q.1 Introductie

Elektrolysers kunnen leiden tot hogere netto belasting op het elektriciteitsnetwerk (als de waterstofproductie samenvalt met lokale vraagpieken) en anderzijds juist leiden tot een lagere netto belasting (als de waterstofproductie samenvalt met lokale invoedingspieken). Daarnaast zal elektrolyse natuurlijk een waterstoftransport- en/of opslagbehoefte met zich meebrengen.

De interesse in elektrolyse is in de afgelopen jaren sterk toegenomen, mede door de sterke kostendaling van wind op zee. Daarmee is een wenkend perspectief ontstaan voor elektrolyse uit wind op zee. Zo kan waterstof als hernieuwbaar gas worden geproduceerd om segmenten van het energiesysteem te decarboniseren die zich minder makkelijk laten elektrificeren. Bovendien kan hernieuwbare energie in de vorm van moleculen eenvoudiger worden opgeslagen en getransporteerd. Daarbij kan volgens de huidige inzichten bovendien gebruik gemaakt worden van de bestaande gasinfrastructuur, juist nu de toepassing van aardgas naar verwachting zal gaan teruglopen. Zo kan elektrolyse ook een belangrijke systeemfunctie gaan vervullen en grootschalige uitrol van wind op zee en bijkomende uitdagingen voor transport en opslag van elektriciteit complementeren.

In de veronderstelling dat de toekomstige businesscase voor elektrolyse in belangrijke mate gedreven zal worden door toenemende bijdragen van wind op zee, met name na 2030, zal de inzet van elektrolyse voornamelijk gedreven worden elektriciteitsproductie uit Noordzee wind en in die zin met name een bijdrage leveren aan vermindering van de netto belasting van het elektriciteitsnet tussen aanlandingslocaties en het achterland.[70] In die zin vormt een elektrolyser dus in de eerste plaats een oplossing voor de eventuele congestie die kan ontstaan door grootschalige uitrol en aanlanding van elektriciteitsproductie uit wind op zee. Op kleinere schaal kan een vergelijkbare rol voor elektrolyse mogelijk worden voorzien in geval van grootschalige productie van hernieuwbare elektriciteit uit wind op land en zon-PV. De toepassing van elektrolyse is dan ook niet opgenomen in het scenario-ontwerp voor deze studie, maar zal juist aan bod komen bij de verkenning van oplossingsrichtingen. In dat geval zal natuurlijk ook rekening moeten houden met de bijkomende behoefte aan waterstoftransport en/of -opslag, waarvoor op dit moment nog in het geheel geen infrastructuur beschikbaar is.

[70] Daarbij moet echter opgemerkt worden dat in geval van een aanvraag tot aansluiting van een elektrolyser de netbeheerders binnen het bestaande reguleringskader ook de transportcapaciteit zullen moeten dimensioneren op eventuele inzet van de elektrolyser als het niet waait. Zou de elektrolysecapaciteit nabij de aanlanding van wind op zee sterk groeien, dan zal in het huidige bestel dus ook de transportcapaciteit naar het achterland op deze groei moeten worden gedimensioneerd, los van de vraag of de elektrolyser ook daadwerkelijk bedreven zou worden indien het niet waait. Daarmee zou elektrolyse uit Noordzee wind in dat geval dus niet leiden tot een verminderde behoefte aan transportcapaciteit van punt van aanlanding naar het achterland.

Q.2 Data huidige situatie

In het huidige provinciale energiesysteem van Noord-Holland wordt elektrolyse nog niet toegepast. Wel vindt er (grijze) waterstofproductie bij Tata Steel plaats t.b.v. de waterstofbehoefte van de Tata-processen, echter niet met een elektrolyser. Daarnaast vindt, ook op relatief kleine schaal, waterstofproductie plaats bij IGES in het Amsterdams havengebied t.b.v. brandstofproductie uit niet-recyclebaar plastic (NB: deze cijfers zijn nog niet meegenomen in de scenariocijfers).

Q.3 Ontwikkelingen in NH en landelijk t/m 2030 en 2030-2050

Recentelijk is er een project aangekondigd door Nouryon, Tata Steel en Port of Amsterdam met de ambitie om tegen 2023 een 100 MW elektrolyser te realiseren bij locatie Tata Steel in IJmuiden. Het gaat hier om een pilotproject om ervaring op te doen met waterstofproductie uit elektrolyse uit wind op zee. Volgens het huidige concept zal deze elektrolyser gebruik gaan maken van hernieuwbare elektriciteit uit wind op zee met een geschatte bedrijfstijd van 6.500 uur per jaar. Dit ligt hoger dan de 4.500 draaiuren die wind op zee naar verwachting zal gaan realiseren, maar is haalbaar indien de elektrolyse capaciteit significant lager ligt dan de capaciteit van de aangesloten windparken. De plannen zijn om de elektrolyser op het net aan te sluiten, niet 1:1 aan de aanlanding wind op zee. Naar verwachting zal op deze wijze ongeveer 15 kton waterstof per jaar geproduceerd kunnen gaan worden. Naderhand kan de beoogde elektrolyse capaciteit mogelijk gaan worden opgeschaald naar de GW schaal om zo in te spelen op toekomstige groei van aanlanding van wind op zee bij IJmuiden en zo waterstofproductie voor het NZKG te realiseren.

Q.4 Scenariodata

Voor alle scenario's na 2020 wordt er van uitgegaan dat de 100 MW elektrolyse eenheid op het terrein van Tata zal zijn geïnstalleerd. Verdere groei van elektrolyse capaciteit wordt in de scenario's niet verondersteld, maar wordt ten eerste beschouwd als oplossingsrichting voor toekomstige knelpunten in het elektriciteitsnet, en ten tweede als oplossing ingeval er aanzienlijk meer dan de nu veronderstelde 2-4 GW wind op zee zal aanlanden in de vorm van elektriciteit in IJmuiden, of aanlanding van wind op zee in Den Helder. Een alternatief voor dat laatste zou zijn de windenergie in de vorm van waterstof aan te laten landen, in IJmuiden of in Den Helder. In dat geval is er feitelijk sprake van import van waterstof van buiten de provincie.

Q.5 Gebruikte informatiebronnen

Bronnen
Informatie Industrietafel NZKG voor het Klimaatakkoord
Persoonlijke communicatie met mevrouw B. Huneman van Nouryon, 2019

R Ruimtebeslag van nieuwe energie-infrastructuur

Deze bijlage dient om naar te kunnen verwijzen vanuit de hoofdteksten van het rapport, zodat detailgegevens niet in de hoofdtekst hoeven te worden vermeld.

R.1 Algemeen

De netbeheerders hebben in het document: (Netbeheer Nederland, 2019) uitgebreide informatie opgenomen over de gas- en elektriciteitsnetwerken, met daarin handzame overzichten, foto's en informatie over fysiek ruimtebeslag. Het voert te ver om al die informatie in deze systeemstudie te dubbelen. We verwijzen daarom naar die brochure.

R.2 Elektriciteit, milieuruimte

Naast het fysieke ruimtebeslag moet bij de ruimtelijke inpassing rekening worden gehouden net de benodigde 'milieuruimte', voor o.a. externe veiligheid en geluid. Indicatieve waarden daarvoor staan opgenomen in Tabel 38.

Tabel 38 – Aan te houden afstanden tot een installatie. Eerste indicatieve afstanden op basis van VNG-boekje in combinatie met expertise OD NZKG

Activiteit	SBI-code	Milieu-categorie	Externe veilig-heid (m.)	Geluid (m.)	Lucht/ geur (m.)	Electro-magnetische velden	Gezoneerd industrie-terrein[71]
Transformatorstation <10 MVA	35C1	2	10	30	0	Onbekend	Nee
Transformatorstation 10-100 MVA	35C2	3.1	30	50	0	Onbekend	Nee
Transformatorstation 100-200 MVA	35C3	3.2	50	100	0	Onbekend	Nee
Transformatorstation vermogen 200-1.000 MVA	35C4	4.2	50	300	0	Onbekend	Ja
Transformatorstation >1. 000 MVA	35C5	5.1	50	500	0	Onbekend	Ja

Bron: (CE Delft, 2018c)

[71] Sommige activiteiten kunnen alleen worden gerealiseerd op een geluidgezoneerd industrieterrein in gevolge de Wet geluidhinder, Besluit Omgevingsrecht/Bijlage A/Onderdeel D. Bij een aantal van deze industrieterreinen in het Noordzeekanaalgebied is een geluidverdeelplan onderdeel van het bestemmingsplan (Westpoort en Hoogtij) in werking. In het geluidverdeelplan zijn de geluidsrechten per kavel gereguleerd.

S Details knelpuntanalyses

S.1 Introductie

In dit hoofdstuk zijn details van de knelpuntanalyses opgenomen die weliswaar relevant zijn, maar geen plek hebben gekregen in het hoofdrapport omdat de informatie te gedetailleerd is en/of te omvangrijk.

S.2 Jaarbelastingduurkrommes elektriciteit

Jaarbelastingduurkrommes geven de capaciteitsvraag van vraag en/of aanbod weer op alle 8.760 uren in het jaar, gesorteerd op grootte van de vraag. Ze vormen een gebruikelijk hulpmiddel om energiesystemen te analyseren.

In Figuur 36 is te zien dat in 2020 zowel NH-Noord als NH-Zuid (bijna) het hele jaar importeur van elektriciteit zijn, waarbij NH-Noord een klein deel van het jaar een (bescheiden) exporteur is. In 2050, in het scenario 'regionale sturing' (het scenario met de grootste effecten op het elektriciteitssysteem), is die situatie veranderd. NH-Noord is dan de helft van het jaar een (forse) exporteur, en NH-Zuid is dan ook een klein deel van het jaar een bescheiden exporteur geworden.

Met name de zeer sterke groei van de productie van zon en wind in NH-Zuid is opvallend in dit scenario, met circa een verzesvoudiging. In Noord is dat een verdubbeling. Ook valt op als de situatie links (2020) met rechts (2050) wordt vergeleken dat de piek van de vermogensvraag in Noord bijna verdrievoudigt en in Zuid bijna verviervoudigt.

Het mag duidelijk zijn dat deze sterke groei van zowel vraag als productie een weerslag heeft op de elektriciteitsnetwerken.

Figuur 36 - Jaarbelastingduurkrommes elektriciteit in NH-Noord en NH-Zuid. Links voor 2020, rechts voor 2050 in scenario 'sturing regionaal' (het scenario dat de grootste effecten op het elektriciteitsnetwerk oplevert). Bij de curve van netto-vraag betekenen negatieve waarden een overschot. Pas op: de schalen van de y-as verschillen

S.3 Overzichtstabel huidige knelpunten 150 kV-stations en -verbindingen

In Tabel 39 is de detailinformatie over de huidige knelpunten in de 150 kV-stations en -verbindingen opgenomen.

Tabel 39 - Overzicht huidige knelpunten in 150 kV-stations en -verbindingen

Stationsnaam	Oorzaken	Oplossingsmogelijkheden en evt. fysieke belemmeringen voor uitbreiding
Oterleek	Op korte termijn overbelast door terug-levering in alle scenario's. Vanaf 2030 ook overbelast op maximale belastingvraag. Teruglevering in 2050 is aanzienlijk, met name in regionale en nationale sturing scenario's (2,9 GW resp. 1,2 GW).	a Voldoende fysieke ruimte regelen voor uitbreiding van het bestaande 150 kV-station Oterleek. b Vervangen en uitbreiden van het 150 kV-station Oterleek op een nieuwe locatie (bij voorkeur in de directe nabijheid van het bestaande station). c NB: Op de stationslocatie is geen ruimte om de bestaande 150 kV-installatie uit te breiden voor de ontwikkelingen die in deze systeemstudie zijn voorzien.
Westwoud	Knelpunt vooral door teruglevering.	d Uitbreiding van de installatie (indien dit qua ruimte kan en de kabels er van of naartoe ook ruimte krijgen). Ruimte lijkt aanwezig op terrein. TenneT heeft recent al velden bijgebouwd. Maar nog onderzoeken of er genoeg ruimte is voor nog een uitbreiding. e Nieuwe locaties vinden voor onderstations.
Hemweg	Zowel vraag als (in toekomst) teruglevering.	f Onderzoek is gaande, onder andere naar een andere locatie in Westpoort. g Nieuwbouw (station Oostzaan) in de buurt maakt dat er mogelijk wel 150 kV-velden vrij komen waardoor een capaciteitsuitbreiding misschien mogelijk is. h NB: Uitbreiding van de installatie op huidige locatie is niet mogelijk.

Stationsnaam	Oorzaken	Oplossingsmogelijkheden en evt. fysieke belemmeringen voor uitbreiding
Hoogte Kadijk	Zowel vraag als (in toekomst) teruglevering.	i Onderzoek is gaande. j De installatie is verouderd waardoor een t.b.v. kwaliteit een geheel nieuw station nodig is in de directe nabijheid, en met meer capaciteit. In de tussentijd moet het bestaande station in bedrijf blijven totdat het nieuwe in bedrijf is gesteld. k NB: Uitbreiding van de installatie op deze locatie niet mogelijk.
Amstelveen	Zowel vraag als (in toekomst) teruglevering.	l Uitbreiding van de installatie (indien dit qua ruimte kan en de kabels er van of naartoe ook ruimte krijgen). m Nieuwe locaties vinden voor onderstations.
Nieuwe Meer	Zowel vraag als (in toekomst) teruglevering, in 2050 gaat het in scenario 'regionale sturing' om teruglevering. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Nieuwe Meer is uitgevoerd als gesloten installatie (GIS) in een gebouw.	n Voldoende fysieke ruimte regelen voor verdere uitbreiding van het bestaande 150 kV-station Nieuwe Meer; o Nieuwe locatie (nabij bestaande locatie Nieuwe Meer) waar een nieuw 150/xxkV-station kan worden gerealiseerd. p NB: In het bestaande 150 kV-gebouw is onvoldoende ruimte voor een uitbreiding van de bestaande 150 kV-installatie. Hierdoor is het niet mogelijk om het bestaande 150 kV-station Nieuwe Meer verder uit te breiden voor de ontwik-kelingen zoals die in deze systeemstudie zijn voorzien (o.a. Schiphol).
Haarlemmermeer	Zowel vraag als (in toekomst) teruglevering	q Uitbreiding van de installatie (indien dit qua ruimte kan en de kabels er van of naartoe ook ruimte krijgen). r Nieuwe locaties vinden voor onderstations.
A4 (Rijssenhout) Dit station is gepland	Nieuw station, i.v.m. komst datacenter	s Het blijkt moeilijk om een locatie te vinden voor het station. t Een verdere belemmering vormen de hoge grondkosten in het gebied.
Verbindingsnaam		
Oterleek-Westwoud (150 kV)	Deze 150 kV-verbinding bestaat uit drie circuits (twee stuks bovenlijncircuits & één ondergronds kabelcircuit). Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	u Verzwaren van deze 150 kV-verbinding; 380 kV-oplossing. v Via ruimtelijke ordening energievraag, waarbij datacenters bij dit knelpunt de grootste driver vormen.
Wijdewormer-Diemen (150 kV)	Deze 150 kV-verbinding bestaat uit drie circuits die deels zijn uitgevoerd als bovenlijn en deels als (ondergronds) kabel-circuit. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door	w Verzwaren van deze 150 kV-verbinding; 380 kV-oplossing.

Stationsnaam	Oorzaken	Oplossingsmogelijkheden en evt. fysieke belemmeringen voor uitbreiding
	een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt wordt ook veroorzaak door een aanzienlijke belastinggroei in de voorzieningsgebieden Oterleek en Wijdewormer (via Liander). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	x Via ruimtelijke ordening energievraag, waarbij datacenters bij dit knelpunt de grootste driver vormen.
Amstelveen-Bijlmer Zuid (150 kV)	Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het voorzieningsgebied van het 150 kV-station Amstelveen (gemeenten Amstelveen, Uithoorn, Aalsmeer & Weesp via Liander). Dit knelpunt treedt op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productie-vermogen.	y Verzwaren van de 150 kV-verbinding Amstelveen-Bijlmer Zuid.

Bij 150 kV-stations Bijlmer Noord en Watergraafsmeer zijn capaciteitsuitbreidingen in uitvoering, waardoor de huidig bestaande knelpunten bij die stations worden opgelost.

T Alle knelpuntmeldingen

In deze bijlage zijn alle knelpuntmeldingen opgenomen, in twee grote tabellen:
- Tabel 40 met specifieke knelpunten in de netwerken;
- Tabel 41 met belemmeringen voor oplossingen.

De tabel met specifieke knelpunten in de netwerken is gesorteerd naar de tijd waarop het knelpunt optreedt: korte, middellange of lange termijn.

De inhoud van de kolommen in de beide tabellen heeft als legenda:
- Volgnummer (in de tabel), bedoeld om gemakkelijk te kunnen verwijzen.
- Nr. item kruisverwijzing: dit item-nummer wordt gebruikt in sommige onderlinge verwijzingen in de tabel.
- Wanneer speelt het knelpunt?
  - KT= op korte termijn (2020);
  - MT= op middellange termijn (tot 2030);
  - LT=op lange termijn (2030-2050).
- Welke energie-infrastructuur betreft het?
  - E= elektriciteit;
  - G= gas (methaan; aardgas en groengas);
  - H= waterstof;
  - W=warmte;
  - CO_2= CO_2;
  - anders;
  - n.v.t.= niet van toepassing.
- In welk scenario komt het knelpunt voor?
  - regionale sturing;
  - nationale sturing;
  - internationale sturing;
  - generieke sturing;
  - alle.
- Omschrijving van het knelpunt.
- Omschrijving van mogelijke oplossingsrichtingen (hoeft niet compleet te zijn)

Tabel 40 - Specifieke knelpunten in de netwerken;

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
1	14	KT	E	Alle	150 kV-verbinding Amstelveen-Bijlmer Zuid. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in het voorzieningsgebied van het 150 kV-station Amstelveen (gemeenten Amstelveen, Uithoorn, Aalsmeer & Weesp via Liander). Dit knelpunt treedt op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Amstelveen-Bijlmer Zuid
2	15	KT	E	Alle	150 kV-station Amstelveen. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Amstelveen is uitgevoerd als gesloten installatie (GIS) in een gebouw. In het bestaande 150 kV-gebouw is onvoldoende ruimte voor een uitbreiding van de bestaande 150 kV-installatie. Daarnaast is het - gezien de leeftijd van de 150 kV-installatie - niet meer mogelijk om nieuwe 150 kV-velden te bestellen voor een uitbreiding van de 150 kV-installatie. Hierdoor is het niet mogelijk om het bestaande 150 kV-station Amstelveen uit te breiden voor de ontwikkelingen zoals die in deze systeemstudie zijn voorzien. Het gaat hierbij voornamelijk om ontwikkelingen op het netvlak van Liander. Liander zal hiervoor bij TenneT een aanvraag indienen voor het aansluiten van nieuwe 150/xx kV-transformatoren (aantal nader te bepalen). Dit is in de huidige situatie dus niet mogelijk.	1. Vervangen en uitbreiden van het 150 kV-station Amstelveen op een nieuwe locatie (bij voorkeur in de directe nabijheid van het bestaande station)
3	22	KT	E	Alle	150 kV-station Nieuwe Meer. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Nieuwe Meer is uitgevoerd als gesloten installatie (GIS) in een gebouw. In het bestaande 150 kV-gebouw is onvoldoende ruimte voor een uitbreiding van de bestaande 150 kV-installatie. Hierdoor is het niet mogelijk om het bestaande 150 kV-station Nieuwe Meer verder uit te breiden voor de ontwikkelingen zoals die in deze systeemstudie zijn voorzien (o.a. Schiphol). Het gaat hierbij voornamelijk om ontwikkelingen op het netvlak van Liander. Liander zal hiervoor bij TenneT een aanvraag indienen voor het aansluiten van nieuwe 150/xxkV-transformatoren (aantal nader te bepalen). Hiervoor is in de huidige situatie dus geen fysieke ruimte beschikbaar.	1. Voldoende fysieke ruimte voor verdere uitbreiding van het bestaande 150 kV-station Nieuwe Meer 2. Nieuwe locatie (nabij bestaande locatie Nieuwe Meer) waar een nieuw 150 kV-station kan worden gerealiseerd

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
4	25	KT	E	Alle	150 kV-station Hemweg. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Hemweg is uitgevoerd als openlucht installatie (AIS). Op de stationslocatie is geen ruimte om de bestaande 150 kV-installatie uit te breiden voor de ontwikkelingen die in deze systeemstudie zijn voorzien. Het gaat hierbij voornamelijk om ontwikkelingen op het netvlak van Liander. Liander zal hiervoor bij TenneT een aanvraag indienen voor het aansluiten van nieuwe 150/20 kV-transformatoren. Hiervoor is in de huidige situatie dus geen fysieke ruimte beschikbaar.	1. Voldoende fysieke ruimte voor uitbreiding van het bestaande 150 kV-station Hemweg 2. Vervangen en uitbreiden van het 150 kV-station Hemweg op een nieuwe locatie (bij voorkeur in de directe nabijheid van het bestaande station)
5	26	KT	E	Alle	150 kV-station Hoogte Kadijk. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Hoogte Kadijk is uitgevoerd als openlucht installatie (AIS) in een gebouw. Op de stationslocatie is geen ruimte om de bestaande 150 kV-installatie uit te breiden voor de ontwikkelingen die in deze systeemstudie zijn voorzien. Het gaat hierbij voornamelijk om ontwikkelingen op het netvlak van Liander. Liander zal hiervoor bij TenneT een aanvraag indienen voor het aansluiten van nieuwe 150/20 kV-transformatoren. Hiervoor is in de huidige situatie dus geen fysieke ruimte beschikbaar. Daarnaast zijn er ook een aantal kwaliteitsknelpunten geconstateerd op de bestaande 150 kV-installatie die een uitbreiding onmogelijk maken.	1. Vervangen en uitbreiden van het 150 kV-station Hoogte Kadijk op een nieuwe locatie (bij voorkeur in de directe nabijheid van het bestaande station).
6	6	KT	E	Alle	150 kV-verbinding Oterleek-Westwoud. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit drie circuits (twee stuks bovenlijncircuits & één ondergronds kabelcircuit). Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Oterleek-Westwoud 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)
7	9	KT	E	Alle	150 kV-verbinding Wijdewormer – Diemen. Deze 150 kV-verbinding bestaat drie circuits die deels zijn uitgevoerd als bovenlijn en deels als (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt wordt ook veroorzaak door een aan-zienlijke belastinggroei in de voorzieningsgebieden Oterleek en Wijdewormer (via Liander). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Wijdewormer-Diemen 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
8	10	KT	E	Alle	150 kV-station Oterleek. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Oterleek is uitgevoerd als openlucht installatie (AIS). Op de stationslocatie is geen ruimte om de bestaande 150 kV-installatie uit te breiden voor de ontwikkelingen die in deze systeemstudie zijn voorzien. Het gaat hierbij voornamelijk om ontwikkelingen op het netvlak van Liander. Liander zal hiervoor bij TenneT een aanvraag indienen voor het aansluiten van nieuwe 150/20 kV-transformatoren. Hiervoor is in de huidige situatie dus geen fysieke ruimte beschikbaar.	1. Voldoende fysieke ruimte voor uitbreiding van het bestaande 150 kV-station Oterleek 2. Vervangen en uitbreiden van het 150 kV-station Oterleek op een nieuwe locatie (bij voorkeur in de directe nabijheid van het bestaande station)
9	38	KT	E	Alle	Locatie voor transformatorstation bij A4 in Rijssenhout, nodig i.v.m. de komst van datacenter. Het is moeilijk om een locatie te vinden en daarnaast wordt voor grond een meer dan bovengemiddeld bedrag per m^2 meter gevraagd (300 i.p.v. 80 euro per m^2 dichter bij de stad en in de stad is dat nog veel meer 4-7.000 euro per m^2)	
10	11	MT	E	2050 (Alle, behalve Generiek)	150 kV-verbinding Velsen-Beverwijk. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit drie (ondergrondse) kabelcircuits. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag bij Tata Steel en in mindere mate door een toenemende belastingvraag in het voorzieningsgebied Velsen (gevoed via Liander). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Het verzwaren van de 150 kV-verbinding Velsen-Beverwijk 2. De bestaande aansluiting op 150 kV-niveau in Velsen niet verder meer laten groeien en nieuwe ontwikkelingen bij Tata Steel aansluiten op 380 kV-niveau
11	12	MT	E	Alle (excl. 2020).	380/150 kV-transformatoren Beverwijk. Op het 380/150 kV-station Beverwijk staan drie stuks 380/150 kV-transformatoren opgesteld. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters en voorzieningsgebied Oterleek) en door het wegvallen van de conventionele productie-eenheden op de locatie Velsen (Velsen E24, Velsen E25 & IJmond 01). In 2050 neemt de mate van overbelasting verder toe en dit komt dan voornamelijk door een toenemende belastingvraag bij Tata Steel. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Het uitbreiden van de transformatorcapaciteit (380/150 kV) op de stationslocatie Beverwijk 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. De bestaande aansluiting op 150 kV-niveau in Velsen niet verder meer laten groeien en nieuwe ontwikkelingen bij Tata Steel aansluiten op 380 kV-niveau 4. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)
12	13	MT	E	Alle (excl. 2020).	380/150 kV-transformatoren Diemen. Op het 380/150 kV-station Diemen staan vier stuks 380/150 kV-transformatoren opgesteld. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag	1. Nieuw 380/150 kV-station nabij bestaande stationslocatie Diemen 2. 380 kV-oplossing (zie item 1)

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
					in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters en voorzienings-gebieden Oterleek en Wijdewormer) en door een toenemende belastingvraag in de regio Amsterdam Zuidoost (gemeenten: Amsterdam, Amstelveen, Weesp, Ouder-Amstel, Uithoorn, Aalsmeer, Muiden en Diemen). De toename van de belastingvraag wordt deels veroorzaakt door de groei van datacenters op het Sciencepark en in Amsterdam ZO. Deze (kleinschalige) datacenters worden in de meeste gevallen aangesloten bij Liander. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen. De transformatorcapaciteit (380/150 kV) kan niet verder uitgebreid worden op de bestaande stationslocatie (o.a. door gebrek aan ruimte en een ontoelaatbaar hoog kortsluitvermogen).	1. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken op het Sciencepark en in Amsterdam ZO. Nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters mogelijk maken op locaties waar wel voldoende transportcapaciteit beschikbaar is (bijv. dichtbij 380/150 kV-stations)
13	23	MT	E	Alle (excl. 2020).	150 kV-verbinding Diemen–'s Graveland. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag in het voorzieningsgebied 's Graveland (gemeenten: Naarden, Wijdemeren, Bussum, Blaricum, Hilversum, Laren en Huizen via Liander). Dit knelpunt treedt op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen. In het regionaal en nationaal scenario in 2050 wordt ook een knelpunt geconstateerd als gevolg van een (sterke) groei van met name zon-PV. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van lage belasting en een hoge inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Diemen–'s Graveland 2. n-0 (niet redundant) aansluiten (zie item 1)
14	24	MT	E	Alle (excl. 2020).	150 kV-station 's Graveland. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie 's Graveland is uitgevoerd als openlucht installatie (AIS). Door de toenemende belastingvraag in het voorzieningsgebied 's Graveland wordt de grens van 100 MW overschreden. Hierdoor kan er tijdens onderhoud aan een 150 kV-circuit Diemen– 's Graveland niet worden voldaan aan het 100 MW/6 h-criterium. Dit houdt in dat er tijdens een onderhoud een onderbreking van maximaal 100 MW is toegestaan gedurende maximaal 6 uur.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Diemen–'s Graveland (3e circuit)

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
15	1	MT	E	Alle (excl. 2020)	150 kV-verbinding Anna Paulowna-De Weel. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen (o.a. Wind op Land & zon-PV via Liander). In het regionaal scenario in 2050 wordt ook een knelpunt geconstateerd als gevolg van een (sterke) groei van met name zon-PV. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van lage belasting en een hoge inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Anna Paulowna-De Weel 2. 380 kV-verbinding Beverwijk-Middenmeer (dubbel-circuit). Nieuw 380/150 kV-station Middenmeer (locatie nader te bepalen). Onderzoek of redundantie vanuit bestaand 150 kV-net mogelijk is of dat er een derde 380 kV-verbinding (enkel- of dubbelcircuit) aangelegd moet worden naar Diemen, Lelystad (via houtribdijk) of Eemshaven (via (afsluitdijk) 3. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken in de kop van Noord-Holland (Agriport). Nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters mogelijk maken op locaties waar wel voldoende transport-capaciteit beschikbaar is (bijv. dichtbij 380/ 150 kV-stations) 4. n-0 (niet redundant) aansluiten decentraal opgesteld productievermogen. Totaal opgesteld vermogen beperken tot maximaal toelaatbare transportcapaciteit i.c.m. tripsignaal bij storing aan een 150 kV-circuit (geldt alleen voor regionaal scenario 2050)
16	2	MT	E	Alle (excl. 2020)	150 kV-verbinding Anna Paulowna-Middenmeer. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen. In het regionaal scenario in 2050 wordt ook een knelpunt gecon-stateerd als gevolg van een (sterke) groei van met name zon-PV. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van lage belasting en een hoge inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Anna Paulowna-Middenmeer 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1) 4. n-0 (niet redundant) aansluiten (zie item 1)
17	3	MT	E	Alle (excl. 2020)	150 kV-verbinding De Weel-Middenmeer. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een beperkte inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding De Weel-Middenmeer 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
18	4	MT	E	Alle (excl. 2020)	150 kV-verbinding Middenmeer-Westwoud. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een beperkte inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Middenmeer-Westwoud 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)
19	5	MT	E	Alle (excl. 2020)	150 kV-verbinding De Weel-Oterleek. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit drie circuits (twee stuks bovenlijncircuits & één ondergronds kabelcircuit). Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding De Weel-Oterleek 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)
20	7	MT	E	Alle (excl. 2020).	150 kV-verbinding Beverwijk-Oterleek. Deze 15 0kV-verbinding bestaat uit vier circuits (twee stuks bovenlijncircuits & twee ondergrondse kabelcircuits). Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt wordt ook veroorzaak door een aanzienlijke belastinggroei in het voorzieningsgebied Oterleek. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. 380 kV-oplossing (zie item 1) 2. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)
21	8	MT	E	Alle (excl. 2020)	150 kV-verbinding Oterleek-Wijdewormer. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit drie bovenlijncircuits. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de kop van Noord-Holland (o.a. datacenters). Dit knelpunt wordt ook veroorzaak door een aanzienlijke belastinggroei in het voorzieningsgebied Oterleek. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren 150 kV-verbinding Oterleek-Wijdewormer 2. 380 kV-oplossing (zie item 1) 3. Andere ruimtelijke inpassing datacenters (zie item 1)
22	16	LT	E	2050	150 kV-station Bijlmer Noord. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Bijlmer Noord is uitgevoerd als gesloten installatie (GIS) in een gebouw. In het bestaande 150 kV-gebouw is onvoldoende ruimte voor een uitbreiding van de bestaande 150 kV-installatie. Hierdoor is het niet mogelijk om het bestaande 150 kV-station Bijlmer Noord uit te breiden voor de ontwikkelingen zoals die in deze systeemstudie zijn voorzien. Het gaat hierbij voornamelijk om ontwikkelingen op het netvlak van Liander. Liander zal hiervoor bij TenneT een aanvraag indienen voor het	1. Voldoende fysieke ruimte voor uitbreiding van het bestaande 150 kV-station Bijlmer Noord 2. Het realiseren van een nieuw centraal gelegen 150 kV-station in de regio Amsterdam Zuidoost. Dit nieuwe 150 kV-station wordt door drie of vier 150 kV-kabelcircuits gevoed vanuit het bestaande 150 kV-station Diemen of vanuit een nieuw te realiseren 380/150 kV-station nabij de bestaande stationslocatie Diemen (zie item 13)

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
					aansluiten van nieuwe 150/xxkV-transformatoren (aantal nader te bepalen). Hiervoor is in de huidige situatie dus geen fysieke ruimte beschikbaar.	3. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken in A'dam ZO (zie item 13)
23	19	LT	E	2050	150 kV-station Watergraafsmeer. De bestaande 150 kV-installatie op de stationslocatie Watergraafsmeer is uitgevoerd als gesloten installatie (GIS) in een gebouw. In het bestaande 150 kV-gebouw is onvoldoende ruimte voor een uitbreiding van de bestaande 15 0kV-installatie. Hierdoor is het niet mogelijk om het bestaande 150 kV-station Watergraafsmeer uit te breiden voor de ontwikkelingen zoals die in deze systeemstudie zijn voorzien. Het gaat hierbij voornamelijk om ontwikkelingen op het netvlak van Liander. Liander zal hiervoor bij TenneT een aanvraag indienen voor het aansluiten van nieuwe 150/xxkV-transformatoren (aantal nader te bepalen). Hiervoor is in de huidige situatie dus geen fysieke ruimte beschikbaar.	1. Voldoende fysieke ruimte voor uitbreiding van het bestaande 150 kV-station Watergraafsmeer 2. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken op het Sciencepark (zie item 13)
24	17	LT	E	2050 (Alle, behalve sturing regionaal)	150 kV-verbinding Diemen-Bijlmer Noord. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee (ondergrondse) kabelcircuits. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de regio Amsterdam Zuidoost. De toename van de belastingvraag wordt deels veroorzaakt door de groei van datacenters. Deze (kleinschalige) datacenters worden in de meeste gevallen aangesloten bij Liander. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Diemen-Bijlmer Noord 2. Het realiseren van een nieuw centraal gelegen 150 kV-station in de regio Amsterdam Zuidoost (zie item 16) 3. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken op het Sciencepark en in Amsterdam ZO. Nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters mogelijk maken op locaties waar wel voldoende transportcapaciteit beschikbaar is (bijv. dichtbij 380/150 kV-stations)
25	18	LT	E	2050 (Alle, behalve sturing regionaal)	150 kV-verbinding Venserweg-Bijlmer Zuid. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee (ondergrondse) kabelcircuits. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de regio Amsterdam Zuidoost. De toename van de belastingvraag wordt deels veroorzaakt door de groei van datacenters. Deze (kleinschalige) datacenters worden in de meeste gevallen aangesloten bij Liander. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Venserweg-Bijlmer Zuid 2. Het realiseren van een nieuw centraal gelegen 150 kV-station in de regio Amsterdam Zuidoost (zie item 16) 3. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken in de regio Amsterdam ZO (zie item 13)

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
26	20	LT	E	2050 (Alle, behalve sturing regionaal)	150 kV-verbinding Diemen Watergraafsmeer. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt voornamelijk veroorzaakt door een toenemende belastingvraag als gevolg van een sterke groei van datacenters op het Sciencepark. Deze (kleinschalige) datacenters worden in de meeste gevallen aangesloten bij Liander. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Diemen-Watergraafsmeer 2. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken op het Sciencepark (zie item 13)
27	21	LT	E	2050 (Alle, behalve sturing regionaal en nationaal)	150 kV-verbinding Diemen-Venserweg. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee circuits die deels als bovenlijn en deels als (ondergronds) kabelcircuit zijn uitgevoerd. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de regio Amsterdam Zuidoost. De toename van de belastingvraag wordt deels veroorzaakt door de groei van datacenters. Deze (klein-schalige) datacenters worden in de meeste gevallen aangesloten bij Liander. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Diemen-Venserweg 2. Het realiseren van een nieuw centraal gelegen 150 kV-station in de regio Amsterdam Zuidoost (zie item 16) 3. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken (zie item 13)
28	29	LT	E	2050 (sturing regionaal & nationaal	380 kV-verbinding Beverwijk-Oostzaan. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag bij Tata Steel in de scenario's sturing regionaal & sturing nationaal. In deze scenario's neemt de belastingvraag van Tata Steel toe tot maximaal 3,29 GW. Dit knelpunt treedt op in een periode van hoge belasting en een beperkte inzet van wind op zee.	1. 380 kV-oplossing (zie item 1) 2. Verzwaren 380 kV-verbinding Beverwijk-Oostzaan van 2,9 kA naar 4 kA (door het uitwisselen van de geleiders)
29	30	LT	E	2050 (sturing regionaal & nationaal	380 kV-verbinding Oostzaan-Diemen. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit twee bovenlijncircuits. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een sterk toenemende belastingvraag bij Tata Steel in de scenario's sturing regionaal & sturing nationaal. In deze scenario's neemt de belastingvraag van Tata Steel toe tot maximaal 3,29 GW. Dit knelpunt treedt op in een periode van hoge belasting en een beperkte inzet van wind op zee.	1. 380 kV-oplossing (zie item 1) 2. Verzwaren 380 kV-verbinding Oostzaan-Diemen van 2,9 kA naar 4 kA (door het uitwisselen van de geleiders)

Volgnr.	Nr. item kruisverwijzing	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving van knelpunt	Mogelijke oplossingsrichtingen binnen modaliteit
30	31	LT	E	2050 (sturing internationaal & generieke sturing)	150 kV-verbinding Amstelveen-Venserweg. Deze 150 kV-verbinding bestaat uit één enkel (ondergronds) kabelcircuit. Dit knelpunt wordt veroorzaakt door een toenemende belastingvraag in de regio Amsterdam Zuidoost. De toename van de belastingvraag wordt deels veroorzaakt door de groei van datacenters. Deze (klein-schalige) datacenters worden in de meeste gevallen aangesloten bij Liander. Dit knelpunt treedt voornamelijk op in een periode van hoge belasting en een lage inzet van decentraal opgesteld productievermogen.	1. Verzwaren van de 150 kV-verbinding Amstelveen-Venserweg 2. Geen nieuwe ontwikkelingen t.a.v. datacenters meer mogelijk maken in de regio Amsterdam ZO (zie item 13)

Tabel 41 – Overzicht van gemelde belemmeringen voor oplossingen

Volgnr	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving	Oplossingen (indien genoemd)
1	KT	E	Alle	Voorinvesteren is voor TenneT (en Liander) niet mogelijk binnen het huidige reguleringskader. Op dit moment wordt een project geïnitieerd (opgestart) als de daadwerkelijke realisatie van een nieuwe ontwikkeling voldoende zekerheid biedt (getekende overeenkomst). Doorlooptijden van nieuwe projecten (netuitbreidingen) zijn relatief lang (150 kV: 5-10 jaar/380 kV: 10-15 jaar). Deze doorlooptijden sluiten niet aan bij de wens van de aangeslotene (klant) die in bijna alle gevallen (veel) eerder aangesloten wil worden. Hierdoor kan het voorkomen dat nieuwe (duurzame) ontwikkelingen pas veel later aangesloten kunnen worden dan gewenst.	Versoepelen reguleringskader waarbij voorinvesteren voor netbeheerders mogelijk wordt gemaakt.
2	KT	Alle	Alle	Planologische procedures kosten veel tijd. De doorlooptijden van nieuwe projecten zijn relatief lang (150 kV: 5-10 jaar en 380 kV: 10-15 jaar). Een belangrijk deel van deze doorlooptijd wordt besteed aan de planologische procedure. Voorbeeld een nieuw 150 kV-station kan in 2-2½ jaar worden gebouwd. De rest van de tijd wordt besteed aan het verkrijgen van de nodige vergunningen en het afsluiten van ZRO's.	Verkorten van de planologische procedures.
3	KT	E	Alle	Netverzwaring kost veel tijd.	Doorlooptijden om ambities waar te maken reduceren, bijv. door: — Meer regie: bijv. locatiecheck in SDE+ — Anticiperen op vraag die komt; voorinvesteren. Actie: Dit vraagt om aanpassen maatstafregulering (dekking o.b.v. output) — Vereenvoudigd aansluiten i.p.v. onnodig redundant, n-1, n-0.
4	KT	E	Alle	Er zijn geen/nauwelijks sturingsmogelijkheden voor de netbeheerders.	Slim vergunnen/besturen en net benutten, bijv. door: — Afvlakken van onrendabele pieken (in plaats van dimensioneren op piekcapaciteit). Bijv. door betaald en onbetaald (vergelijkbaar met storingssituatie) te kunnen aftoppen. Dit afvlakken leidt tot financiële voordelen voor klant en netbeheerder en het verlies aan bijv. PV-opwek is minimaal (dit is In Duitsland al mogelijk) — Nieuwe tariefstelsels die aangeslotenen investeringsprikkels geven in opslag/flexibiliteit in hun installatie (achter de meter)
5	KT	Alle	Alle	Verdeling verantwoordelijkheden, bevoegdheden, middelen en kennis bij gemeente, provincie, Rijk is niet in lijn met elkaar.	Overhevelen zeggenschap over SDE-gelden naar regionale overheden.
6	KT	E	Alle	De netwerken moeten opgewaardeerd worden om een aantal trends te kunnen opvangen, die allemaal een zwaardere belasting van het netwerk tot gevolg hebben (afschakeling gas, elektrische auto's, teruglevering zonnecellen, etc.). De investeringen hiervoor zijn hoog en kunnen concurreren met investeringen in capaciteit voor datacenters.	
7	KT	Alle	Alle	Grondprijzen: speculatie en sterk stijgende grondprijzen maakt energie-infra tot zeer kostbare opgave.	Vanuit RO kun je gebieden aanwijzen om zo grondspeculatie te voorkomen.

Volgnr	Tijd	Infra	Scenario	Omschrijving	Oplossingen (indien genoemd)
8	KT/MT	Alle	Alle	Investeringen vragen arbeid. De claim op beperkte menskracht wordt groter, nu de regering heeft aangekondigd het aardgasnet te willen gaan sluiten.	
9	KT/MT	E	Alle	Elektriciteitsvoorziening datacentra clusters Schiphol-Rijk, Watergraafsmeer, in combinatie met doorlooptijd van ca. 7 jaar (scenario's voorzien max. 2 GW extra vraag voor datacenters in deze regio in 2030).	
10	KT/MT	Alle	Alle	Onduidelijkheid over rollen en verantwoordelijkheden mede ook door gebrek aan beleid en wetgeving; wie gaat straks prioriteiten stellen.	
11	KT/MT	Alle	Alle	Financiering: nog net duidelijk wie o.a. CO_2, warmte, waterstof gaat betalen alsook netverzwaring.	
12	MT	G, CO_2	Alle	De klimaatdoelstellingen kunnen niet tijdig worden gehaald door tekort aan duurzaam opgewekte energie en achterblijven van waterstof economie.	"Zet in op CO_2-opslag en de productie van "blauwe waterstof". Den Helder (Kop van NH) biedt daarvoor de ruimte plus beschikt over faciliteiten voor directe aanvoer van aardgas vanaf zee en afvoer van CO_2 naar zee."
13	MT	CO_2	Alle	In 2028 sluiten de centrales Velsen 24&25 die nu restgas van Tata Steel stoken. Het beeld is dat er zowel CCS als CCU (chemie) zal plaatsvinden. Er is nog geen CO_2-infrastructuur in het gebied en ook nog geen businesscase voor.	Realisatie van de in gang gezette projecten (zie de documenten van Industrietafel NZKG voor het Klimaatakkoord). Daarnaast opstellen ketenprogramma en aanstellen programma-manager die tot taak heeft de CO_2-keten te realiseren, oftewel te zorgen voor businesscases voor alle ketenonderdelen.
14	MT	G	Alle	Naast het knelpunt van het nog ontbreken van een CO_2-infrastructuur in het NZKG is er nog ook geen waterstofproductie t.b.v. de CCU (wordt aan gewerkt; kan op terrein Tata), is er nog geen waterstofbackbone (wel plannen), en is er nog geen ruimte voor de chemische CCU-fabriek(en) die CO_2 kunnen verwerken. Businesscases zijn bij alle onderdelen nog niet gerealiseerd, en die hangt ook af van regelgeving (zoals van de RED 2 Directive)	Realisatie van de in gang gezette projecten voor realisatie van waterstofproductie, aanleg van en aansluiting op waterstof-backbone, en ontwikkeling CCU (zie de documenten van Industrietafel NZKG voor het Klimaatakkoord). Daarnaast opstellen ketenprogramma en aanstellen programma-manager die tot taak heeft de CO_2-keten te realiseren, oftewel te zorgen voor businesscases voor alle ketenonderdelen.