

Het Energiesysteem van de Toekomst

Integrale Infrastructuurverkenning 2030 – 2050
April 2021

gasunie
crossing borders in energy

Tennet

coteq
NETBEHEER

enduris

ENEXIS
NETBEHEER

alliander

DUURZAAM
RICHTWIJZIG
RENDO
NETWERKEN

STEDIN^{NET}

westland
infra netbeheer



Netbeheer
Nederland

Opzet II3050 verkenning

Klimaatakkoord: afspraak over I3050

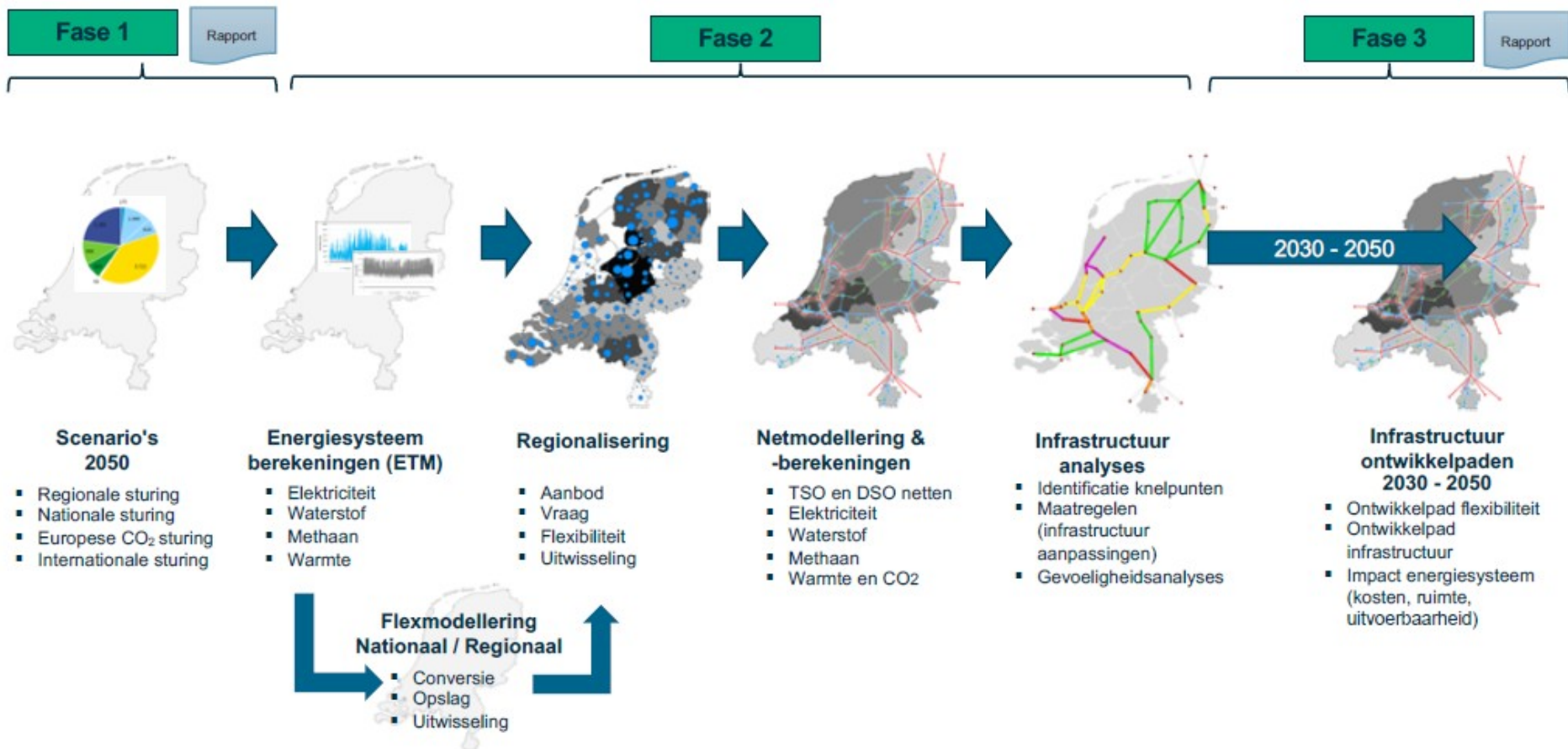
2019

Gasunie en TenneT starten, samen met de regionale netbeheerders, tot een integrale infrastructuurverkenning 2030-2050. Oplevering is voorzien in 2021



“Gasunie en TenneT nemen samen met de regionale netbeheerders in 2019 het initiatief om een integrale infrastructuur 2030-2050 op te stellen waarin inzichten vanuit de energiesector, vraagontwikkeling in de industrie en bevindingen vanuit de regionale energiestrategieën (RES'en) worden meegenomen. Daarbij worden relevante stakeholders betrokken, waaronder marktpartijen. Deze infrastructuurverkenning 2030-2050 dient als leidraad voor onder ander investeringsplannen van de netbeheerders en voor investeringen door marktpartijen. De verkenning is gereed in 2021”

Drie fasen in de Integrale Infrastructuurverkenning



Klimaatneutrale Energiescenario's 2050

Scenario Regionaal



- Vrijwel zelfvoorzienend
- Zeer geringe im-/exporten
- Krimp van energie-intensieve industrie
- Regionale energiesysteem, met wind op land
- Warmtenetten
- Burgers zeer gedreven
- Circulariteit speerpunt voor goederen- en voedselproductie

Focus lokale duurzame opwek

Scenario Nationaal



- Nederland CO₂-reductie koploper in EU
- Vrijwel zelfvoorzienend
- Zeer geringe im-/exporten
- Energie-intensieve industrie blijft bestaan
- Grote energieprojecten, wind op zee, maar ook zonneweides en wind op land
- Circulariteit belangrijk voor goederen- en voedselproductie

Focus nationale duurzame opwek

Scenario Europees



- Europa haalt CO₂-doelen en is koploper in de wereld
- Algemene CO₂-heffing
- Importheffing op energie
- Waterstof- en biomassa
- Waterstof- en biomassa industrie groeit
- Waterstof- en biomassa markt, groen gas import
- Fossiel met CCS krijgt veel ruimte

Focus (import) groen gas

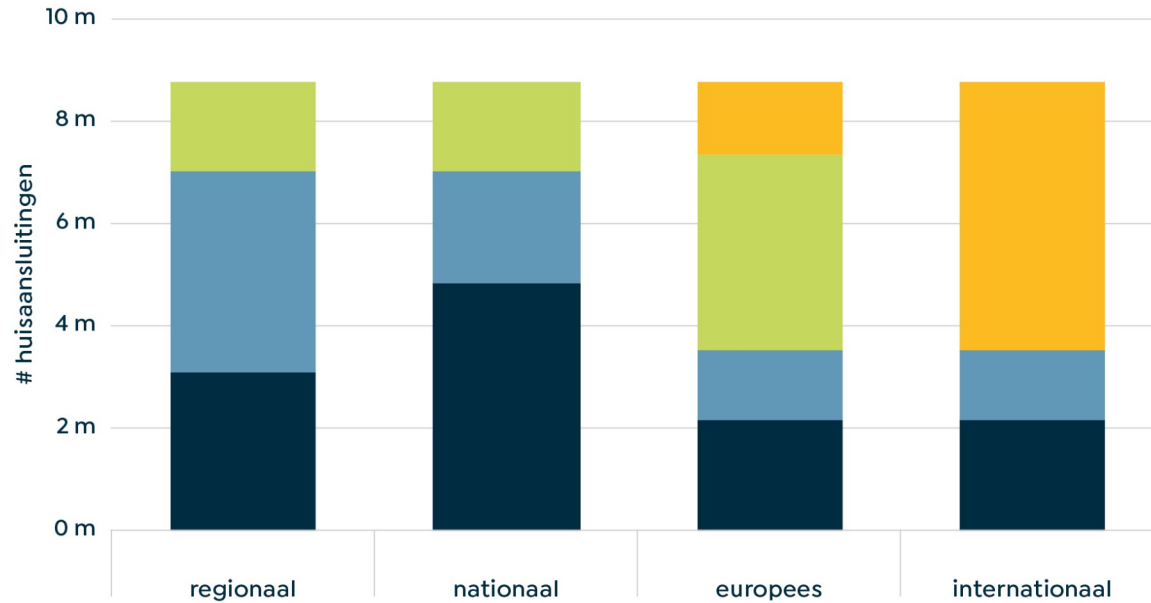
Scenario Internationaal



- Gehele wereld streeft naar CO₂-doelen, fossiel wordt sterk beperkt
- Vrije handel wordt opgevoerd
- Handelsinfrastructuur wordt sterk bevordert
- Energie-intensieve industrie groeit
- Waterstof- en biomassa markt
- CCS krijgt ruimte

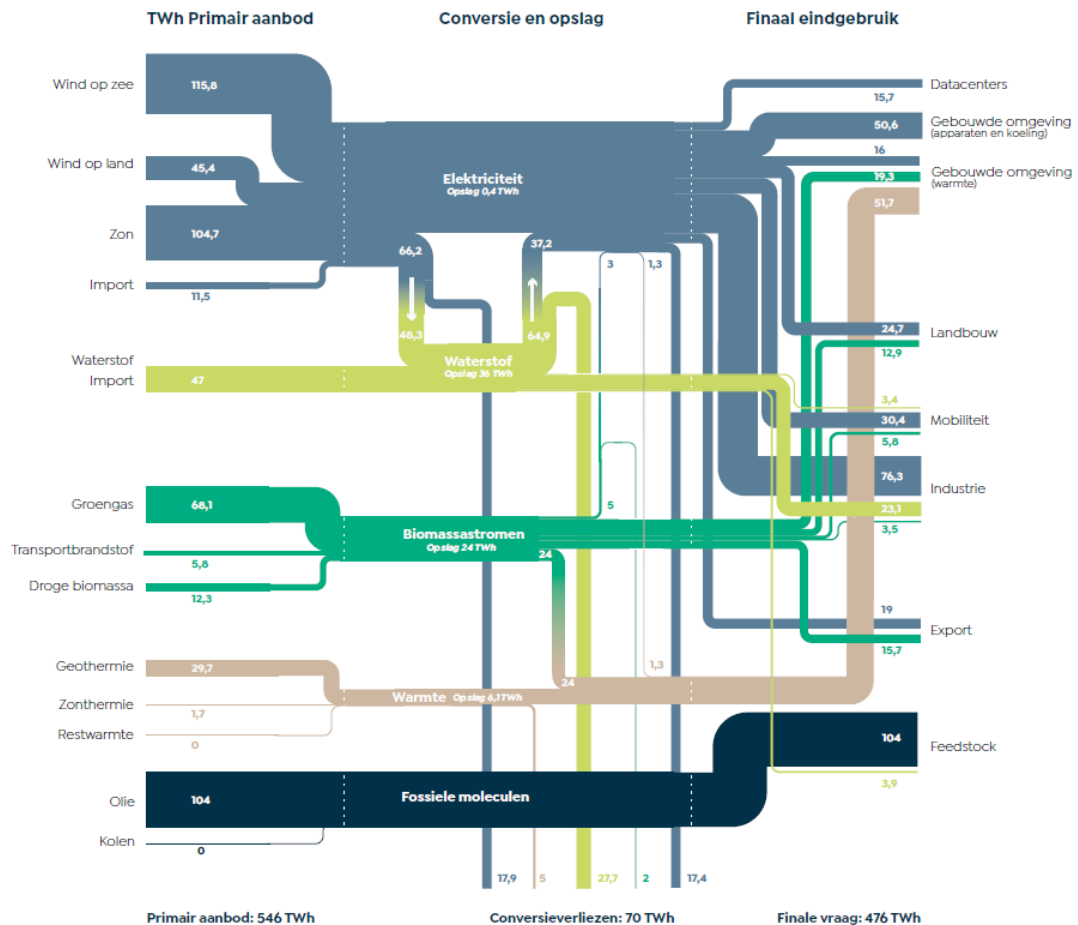
Focus (import) waterstof

Verschillende warmteoplossingen huishoudens 2050



Sankey diagram

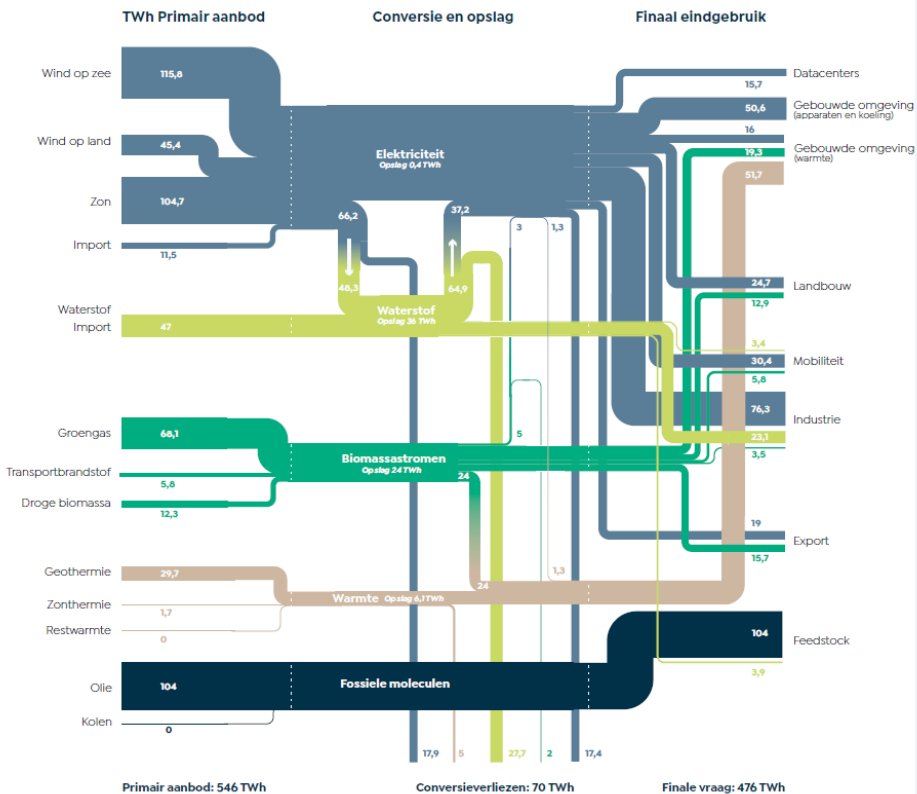
Figuur 3. Energiestromen in Scenario Regionaal.



Regionale energiehuishouding 2050 (berekening op basis van weersomstandigheden van energiejaar 1987)

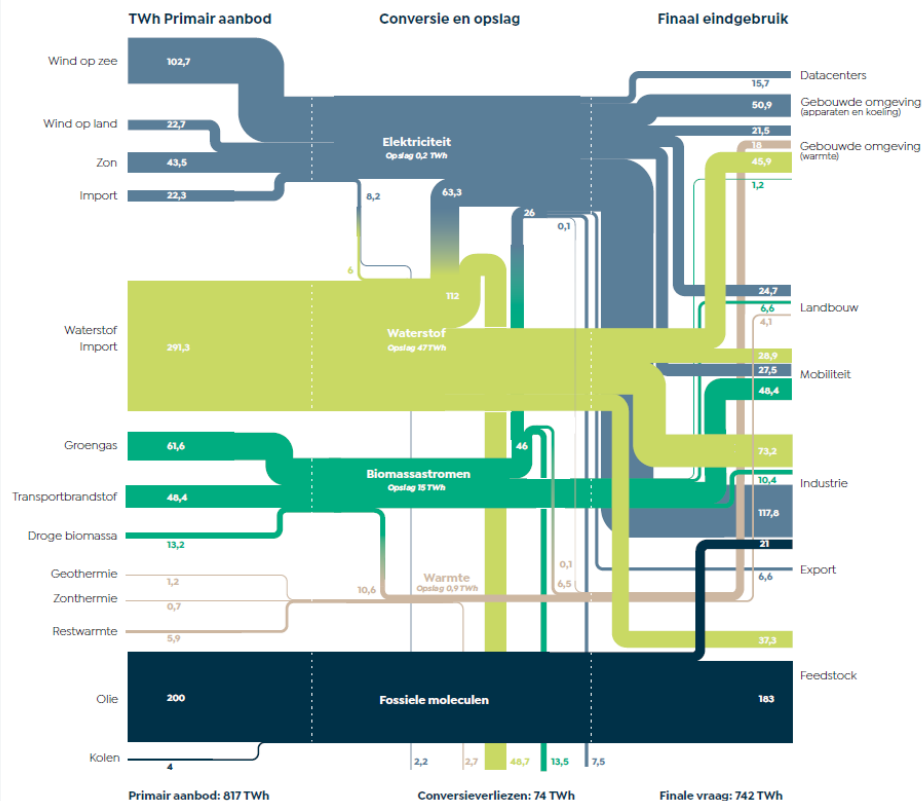
Sankey diagram regionaal vs internationaal

Figuur 3. Energiestromen in Scenario Regionaal.



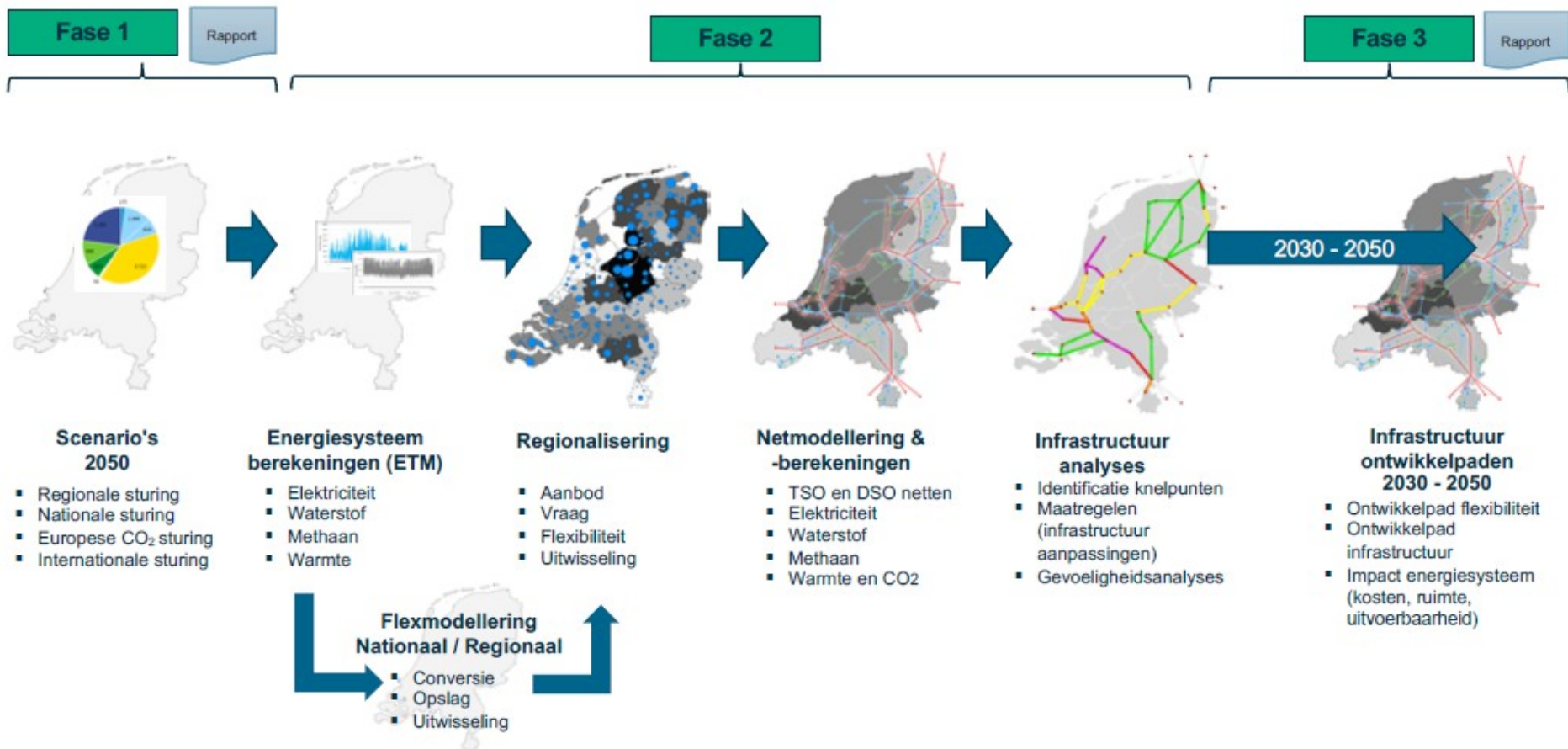
Regionale energiehuishouding 2050 (berekening op basis van weersomstandigheden van energiejaar 1987)

Figuur 6. Energiestromen in Scenario Internationaal.



Internationale energiehuishouding 2050 (berekening op basis van weersomstandigheden van energiejaar 1987)

Drie fasen in de Integrale Infrastructuurverkenning



Rapportages I3050

april 2020

Tussenrapportage Scenario's



EZK rapportages Ruimtelijke impact (EZK)



Kernenergie (EZK)



april 2021

Eindrapportage



Conclusies

1. Zeer fors uitbreiden en aanpassen infrastructuur

2. Grote behoefte aan flexibiliteitsmiddelen

**3. Locatie aanbod, vraag, flexibiliteit bepaalt e-
netimpact**

4. Sterke toename van kosten en ruimtebeslag

5. Versnelling nodig, uitvoerbaarheid nadert grens

6. Lange termijn en integraliteit verkenning essentieel

Zeer fors uitbreiden en aanpassen infrastructuur

CONCLUSIE 1

Zeer fors uitbreiden en aanpassen van energie-infrastructuren is nodig om een betrouwbare klimaatneutrale energievoorziening te kunnen faciliteren.

Aanbevelingen Rijk (en ACM):

- Elektriciteitsnet: nú investeren voor de lange termijn
- Waterstof-infra als *no-regret*
- Investering in groen gas en CO₂- en warmtenetten

Ontwikkelpaden TenneT

- Versterken infrastructuur:
 - Opwaarderen van geleiders met meer transportcapaciteit (e.g. 4kA)
 - Extra verbindingen
- Operationele maatregelen, alternatieve locatiekeuzes, verdere ontwikkeling marktinrichting.

Opwaarderen EHS (220/380 kV) naar 4kA

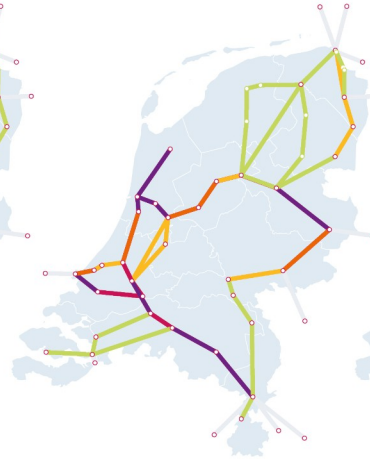


Knelpunten na het opwaarderen EHS (220/380 kV) naar 4kA

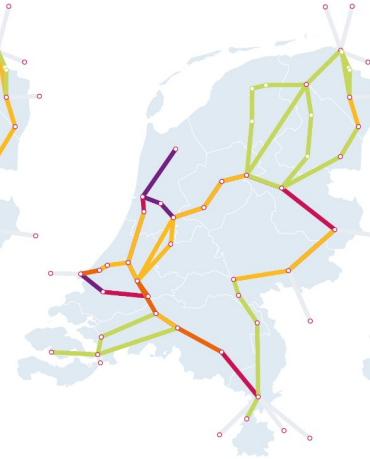
Regionaal



Nationaal



Europees



Internationaal



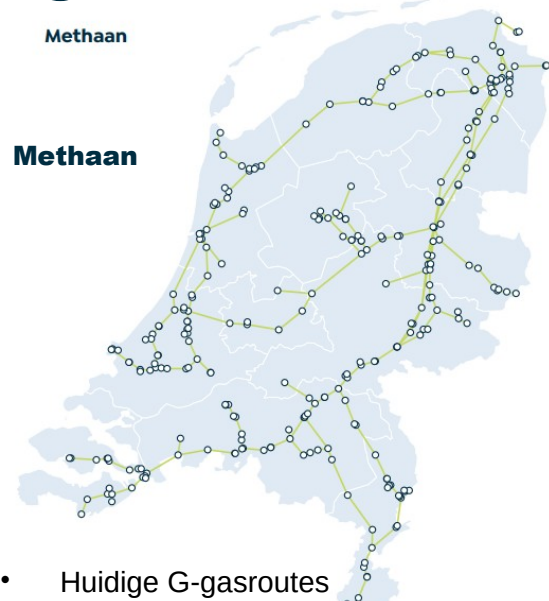
opwaarderen naar 4kA — niet noodzakelijk — reeds voorzien — noodzakelijk

ENT Interval — geen 0 TWh — laag 0.0 - 0.1 TWh — midden 0.1 - 0.5 TWh — hoog 0.5 - 1.0 TWh — zeer hoog >1.0 TWh

HTL splitst in waterstof- en groengasnetwerk



- Huidige H-gasroutes
- Verbindingen met industrie



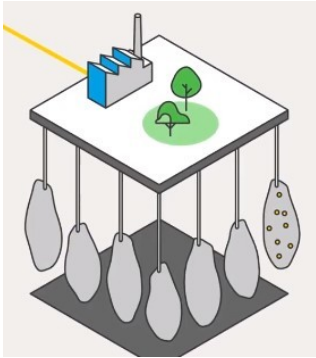
- Huidige G-gasroutes
- Verbindingen met huishoudelijke markt (via RTL)

- **Doorgaande netwerk groot genoeg** voor alle H₂-transport
- **Weinig knelpunten** door afnemende vraag naar methaan
- Oplossingsrichtingen:
 - Aansluittrajecten versterken
 - Centrales en P2G op gunstige locaties
 - Import/export op gunstige locaties
- Oplossingsrichtingen:
 - Aansluittrajecten versterken
 - Centrales op gunstige locaties
 - Import op gunstige locaties

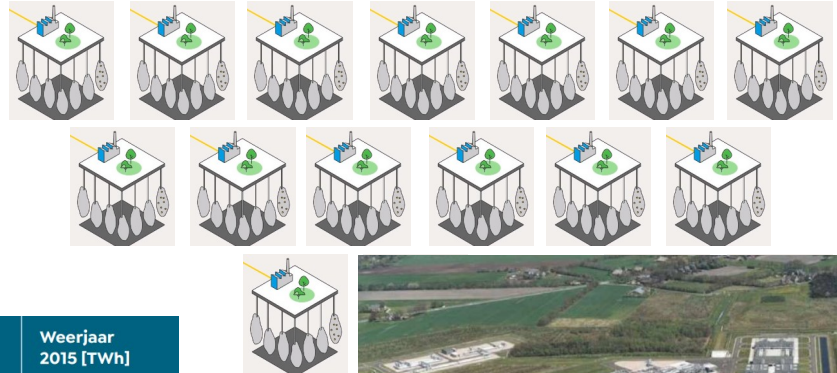
Ontwikkelpad H2: grootschalige opslag

- Veel waterstofopslag nodig, mogelijk meer dan in cavernes gerealiseerd kan worden
- Opslag aardgas (lege velden) neemt af maar blijft nodig

2027



2050



Scenario	Weerjaar 1987 [TWh]	Weerjaar 2015 [TWh]
Regionaal	36	19
Nationaal	37	19
Europees	10	6
Internationaal	47	23

Aardgasopslag herbestemmen voor waterstof



Ontwikkelpad gas: Regionale netten



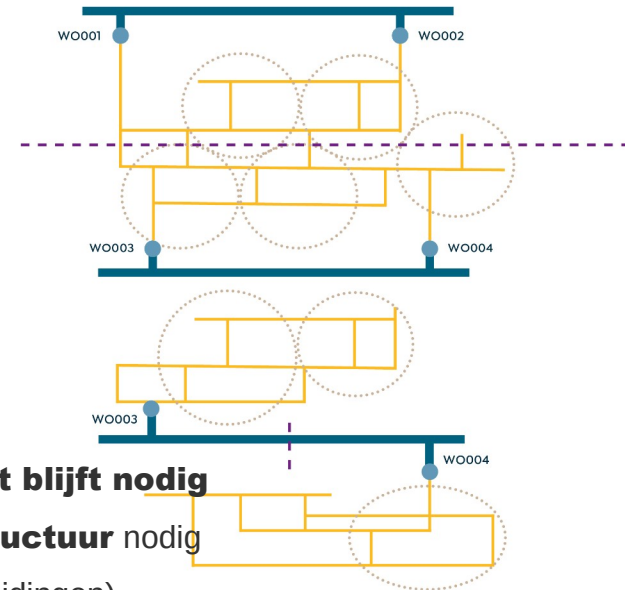
1. Diversificatie in alle gasnetten

- 2020-2030 toename productie **groen gas** (vergisting, vergassing)
- > 2030 ook groen gas naar hogedruknetten (RTL, HTL) --> **boosters**
- > 2035 **waterstof** in gebouwde omgeving (EUR en INT scenario)

2. Gelijktijdig transport van veel verschillende gassen

- Verdelingspuzzel gezamenlijk oplossen (netbeheerders)
- **Regie** nodig (overheid)
- Onbenutte leidingen niet opruimen als nuttig hergebruik mogelijk is

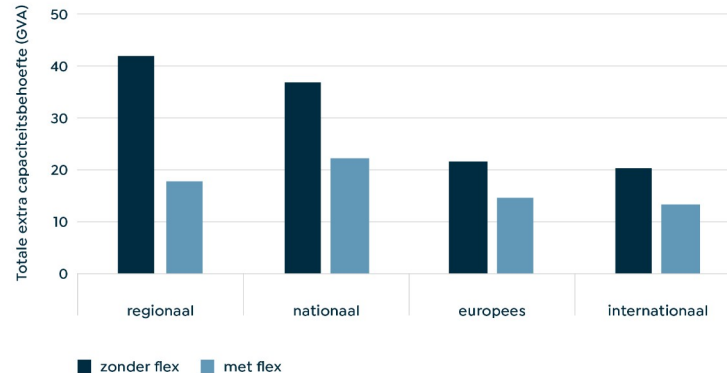
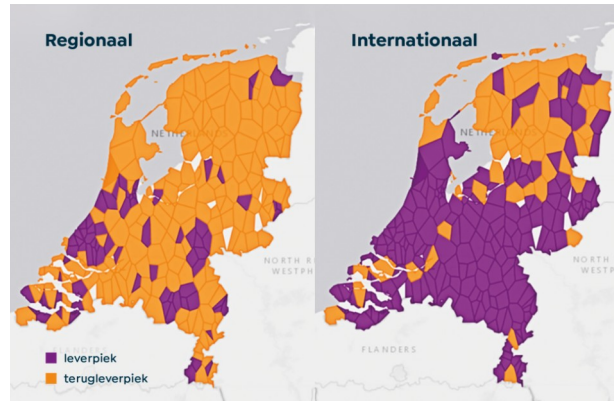
- Meer en meer vergroening (bijv. Biogas in Europees scenario), **methaannet blijft nodig**
- Bij verschillende kwaliteiten methaan en waterstof: **tijdelijk meer infrastructuur** nodig
- Sterk regionaal karakter > **maatwerk** (netkoppeling, boosters, hergebruik leidingen)



Totaal capaciteitstekort op de HS-MS-stations

Capaciteitsbehoefte per HS-MS-station vraag of opwek gedreven

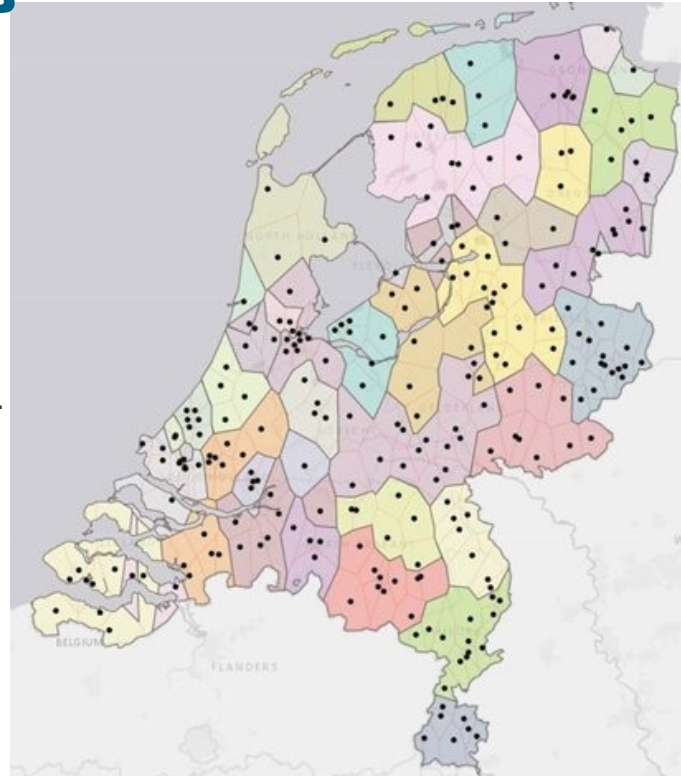
- scenario's Regionaal en Nationaal pieken hoofdzakelijk opwek gedreven
- scenario's Europees en Internationaal meer vraag gedreven
 - noordelijk deel van Nederland en delen van Zeeland opwek zeer bepalend
- de ontwikkelingen zijn afgezet tegen de huidige beschikbare capaciteit op de stations
- extra capaciteitsbehoefte varieert in de scenario's tussen de 21 en 43 GVA.
- inzet van systeemflexibiliteit kan te reduceren tot circa 13 tot 22 GVA
 - bij optimale locatie, verdeling en inzet van systeemflexibiliteit



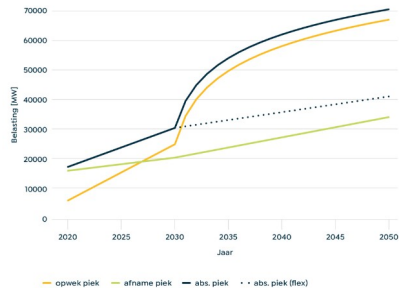
Ontwikkelpad nationale en regionale koppelpunten 150/110 kV

Gezamenlijke aanpak RNB - LNB

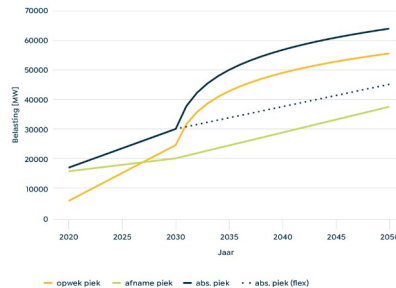
- > 240 koppelstations onderverdeeld in 40 “pockets”
- per pocket bouwblokken bepaald voor fasering investeringen
- Sterke stijging duurzame opwek, zorgt voor een groei in het werkpakket in Regionaal en Nationaal.
- Tijdige inzet van flexibiliteit van groot belang voor maakbaarheid.
- Te late uitrol en inzet van flexibiliteit kan leiden tot investeringen die later niet meer volledig benut worden.



Som koppelpunten (Regionaal)



Som koppelpunten (Nationaal)

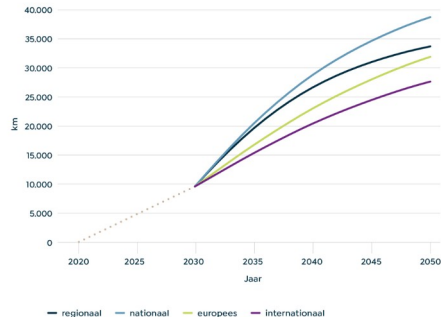


Ontwikkelpad regionale elektriciteitsnetten

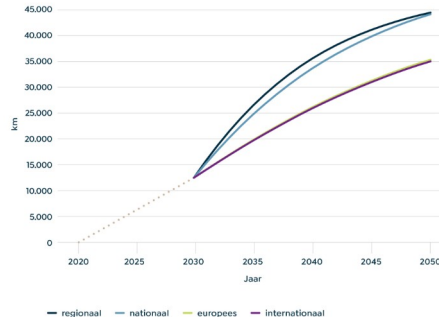
Groei van infrastructuur naar 2050

- Cumulatieve ontwikkelpaden, groeipaden 2030 – 2050 gebaseerd op groeicurves voor opwek en belasting
 - groeipad 2020-2030 o.b.v. IP2020 KA scenario (2030)
- Groei lagere netvlakken procentueel gezien relatief laag, maar in absolute aantallen groot
 - groei in stations levert een ruimtelijke uitdaging, door benodigde bovengrondse fysieke ruimte
 - groei in kabels levert een grote impact in de directe omgeving van klanten:
 - tijdelijk door opengraven van wegen
 - blijvend door schaarse ruimte in de ondergrond

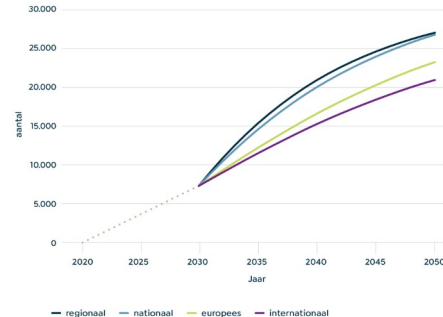
LS kabel



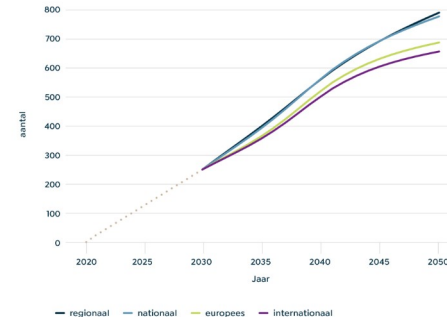
MS kabel



MSLS stations



(TS)MS stations



Ontwikkelpad regionale elektriciteitsnetten

Trends werkpakket 2030-2050

- Na 2030 fors werkpakket:
 - noodzaak om verder vooruit te kijken
- Alle netvlakken grootste werkpakket van 2030 tot 2040:
 - jaarlijks nog meer in de netten investeren dan op dit moment al het geval is
- Uitgangspunt werk tot 2030 uitgevoerd:
 - zo niet → extra investeringen hier bovenop
- Gestage daling werkpakket 2040-2050:
 - deels veroorzaakt door het feit dat we kijken naar een zichttermijn van 2050.
 - groei aantal assets → groei werkzaamheden onderhoud en instandhouding

LS kabel



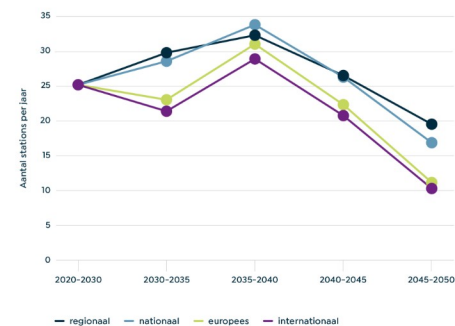
MS kabel



MSLS stations



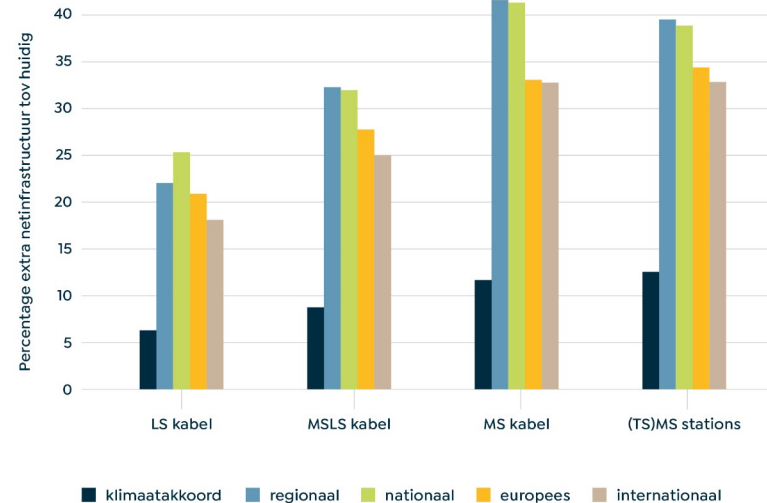
(TS)MS stations



Ontwikkelpad regionale elektriciteitsnetten

Verhouding toekomstig net

- Procentueel grotere groei hogere netvlakken
 - vanwege grootschalige opwek op de hoogste HS stations worden aangesloten.
- In aantallen grotere groei lagere netvlakken
 - groei in stations levert een ruimtelijke uitdaging, door benodigde bovengrondse fysieke ruimte
 - grote aantallen investeringen in kabels in de lagere netvlakken levert een grote impact in de directe omgeving van aangeslotenen
 - tijdelijk: door opengraven van wegen
 - blijvend: reeds schaarse ruimte in de ondergrond.



Grote behoefte aan flexibiliteitsmiddelen

CONCLUSIE 2

Omdat energievraag en aanbod op tijdschalen van uren tot en met seizoenen op elkaar moeten worden afgestemd, is er voor alle energiedragers een **grote behoefte aan (nieuwe vormen van) flexibiliteitsmiddelen**.

CONCLUSIE 3

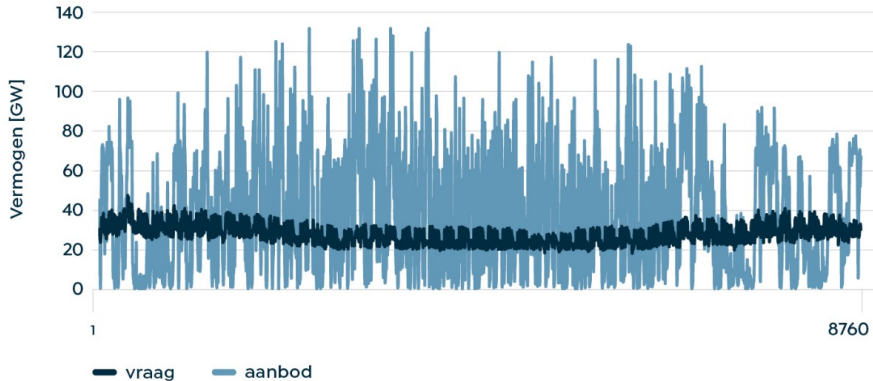
Slimme keuze van omvang en **locatie** van flexibiliteitsmiddelen en locatie van aanbod- en vraagontwikkeling beperkt de **impact op elektriciteitsinfrastructuur**.

Het energiesysteem in 2050: hoe matchen we vraag en aanbod?

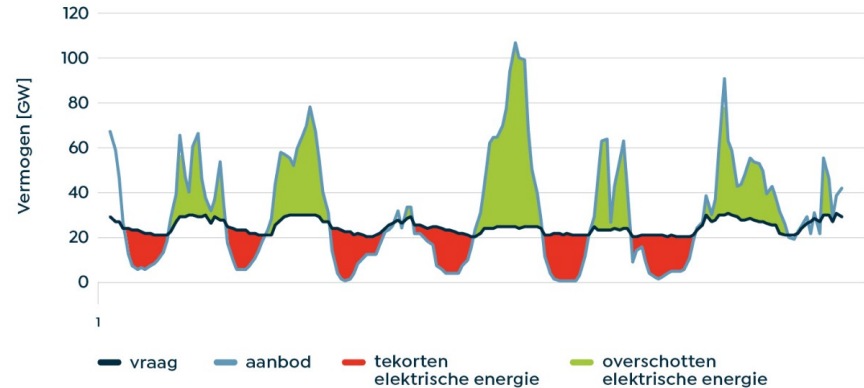
Het huidige energiesysteem is grotendeels gebaseerd op conventionele productie. Die is vraaggestuurd.

Het toekomstige energiesysteem zal volledig draaien op variabele opwek uit wind en zon met als resultaat voortdurend een groot verschil tussen vraag en aanbod, op uurbasis en seizoenbasis.

Jaarprofiel 2050

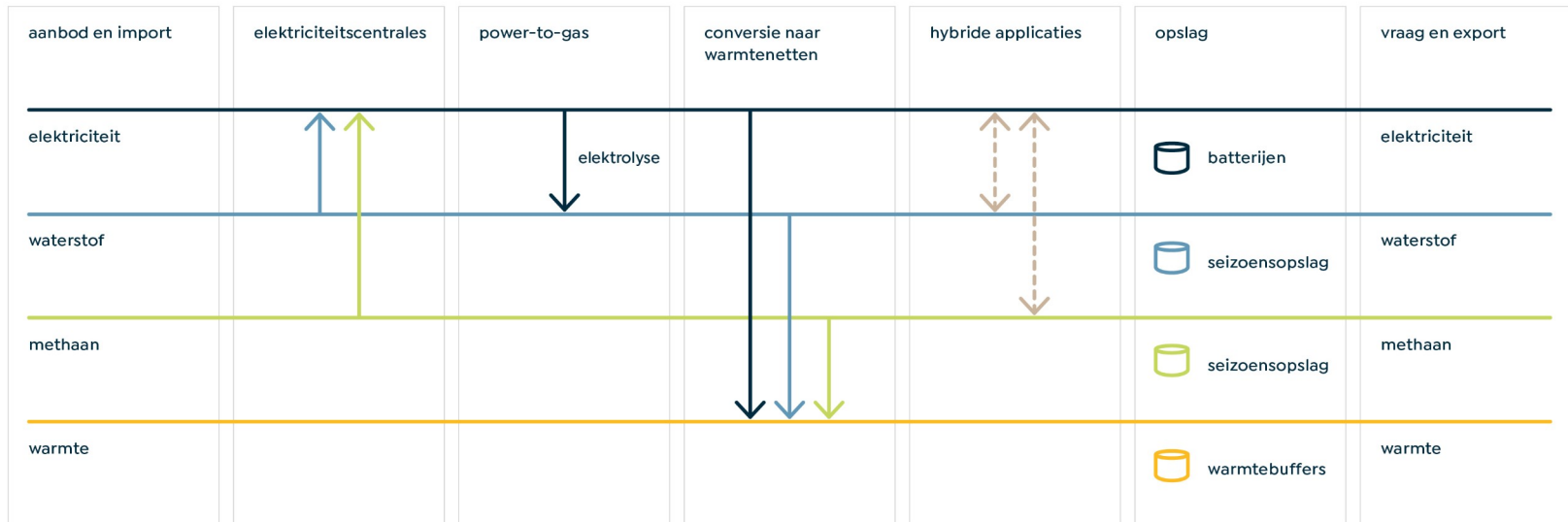


Weekprofiel 2050



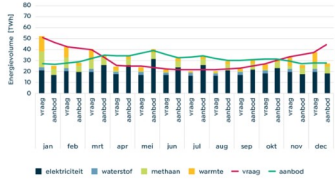
Flexibiliteit is een belangrijke drijver voor systeemintegratie

- Naast andere factoren zoals systeemkosten en ruimtelijke inpassing, is flexibiliteit een belangrijke drijver voor systeemintegratie.
- Uit de analyse van de flexibiliteitsbehoefte volgde dat zowel de momentane vermogensbehoeften als ook de lange termijn opslagbehoefte aanzienlijk zijn. Hierop zijn keuzes gemaakt met welke flexibiliteitsmiddelen op systeemniveau deze flexibiliteitsbehoefte kan worden vervuld.
- Deze keuzes bepalen ook hoe de verschillende energie infrastructures met elkaar integreren.

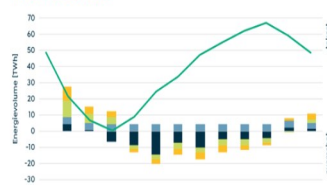


Van onbalans naar inzet en locatie flex: stapsgewijze aanpak

Energiebalans tussen vraag en aanbod
Regionaal scenario

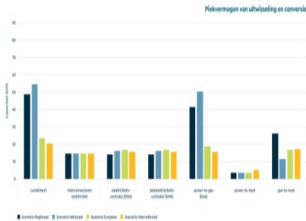


Behoeftes aan seizoensflexibiliteit
Regionaal scenario



Flexibiliteitsopties op systeemniveau	
Elektrische interconnectie	
Systeembatterijen	
Elektriciteitscentrales	
Power-to-gas	
Gasopslag	
Curtailment	

Balans tussen vraag en aanbod



Flexibiliteitsbehoefte



Flexibiliteitsopties

Flexibility	Unit	2020	2030 klimaatkkoord	2050 regionaal	2050
Power-to-Heat	GW	0.0	0.5	8.0	
Power-to-gas	GW	0.0	0.0 ¹	41.6	
Batteries	GW	0.0	0.0	54.2	
Gas-to-power	GW	18	14	33	
Hydrogen storage	TWh	0	0 ¹	36.0	
Methane storage	TWh	144 ⁵		24.0	



Inzet



Locatie



Ontwikkelpaden

Regionalisatie van flexibiliteitsmiddelen op systeemniveau

- Voor flexibiliteitsmiddelen kunnen **slimme locatiekeuzes sterk helpen** om in een bepaald gebied vraag en aanbod tot op zekere hoogte op elkaar af te stemmen. Daarmee kan een significant deel van energietransport tussen en mogelijk binnen regio's worden voorkomen, waardoor minder infrastructuur nodig is.
- Als **hoofdvariant** in deze studie is de locatie van conversie en opslag zodanig gekozen, dat het **elektriciteitsnetwerk** kan worden **ontlast** en de huidige gasinfrastructuur kan worden ingezet om flexibiliteit te bieden aan het energiesysteem.

Systeembatterijen



Power-to-gas/
Curtailment



Verdieping ontwikkelpad flexibiliteit

Naast import en export is grootschalige binnenlandse (stuurbare) flexibiliteit nodig in de vorm van conversie en opslag. Kritisch voor tijdige ontwikkeling zijn: G2P, P2G, batterijen en waterstofopslag.

Flexibility	Unit	2020	2030 klimaatakkoord	2050 regionaal	2050 nationaal	2050 europees	2050 internationaal
Power-to-Heat	GW	0.0	0.5	8.0	8.0	2.0	3.0
Power-to-gas	GW	0.0	0.0 ³	41.6	50.6	19.2	16.2
Batteries	GW	0.0	0.0	54.2	53.4	32.6	29.2
Gas-to-power	GW	18	14	33	35	36	34
Hydrogen storage	TWh	0	0 ⁴	36.0	37.0	10.0	47.0
Methane storage	TWh	144 ⁵		24.0	14.0	33.0	15.0

Periode tot 2030: De flexibiliteit ten behoeve van het elektrisch energiesysteem komt uit een mix van import / export en de inzet van verschillende types energiecentrales (nucleair, kolen, gas, biomassa). In het gassysteem waarborgen grootschalig gasopslag en import de systeembalans. Tot 2030 worden kolencentrales gesloten en vervullen centrales die op hernieuwbaar gas draaien een toenemend belangrijker rol als backup-flexibiliteit in tijden van weinig hernieuwbaar opwek.

2050: Naast import en export is grootschalige binnenlandse (stuurbare) flexibiliteit nodig in de vorm van conversie en opslag. Kritisch voor tijdige ontwikkeling zijn:

- G2P: Gascentrales waarborgen ook in tijden met beperkte importmogelijkheden de leveringszekerheid in Nederland. Er is meer capaciteit nodig dan nu.
- P2G: Tot 50 GW (nationaal). Snelle opschaling tot 3 à 4 GW voor 2030 noodzakelijk
- Batterijen. Qua vermogen eveneens snelle opschaling nodig, EV kan ondersteunen
- Waterstofopslag. Tot 47 TWh alleen voor seizoensopslag in 2050. Cavernes technisch bewezen maar uitloogsnelheid en ruimte zijn kritisch. Alternatieven worden onderzocht. Eerste cavernes al voor 2030 inrichten.

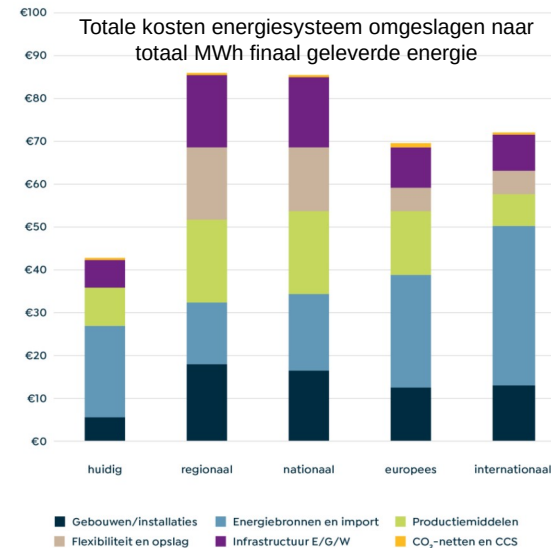
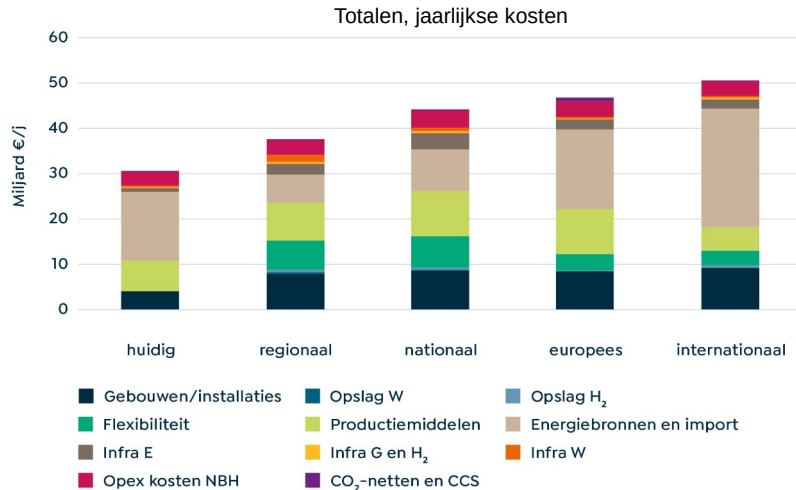
Sterke toename van kosten en ruimtebeslag

CONCLUSIE 4

De **kosten** van infrastructuur en flexibiliteit en het **ruimtebeslag** nemen in de scenario's sterk toe. Omdat dit samenhangt met de invulling per scenario, leert dit dat hier verstandige keuzes in gemaakt kunnen worden.

Kosten

Voor alle scenario's nemen de kosten per MWh van het totale energiesysteem met ongeveer een factor twee toe ten opzichte van de huidige kosten. De hoogte van deze kosten verschillen niet substantieel tussen de uitgewerkte scenario's, maakt het wel sterk uit hoe die kosten zijn opgebouwd. De verschillen tussen de kosten in de scenario's zijn grotendeels veroorzaakt door verschillen in economische groei.



- De kostenberekening van het energiesysteem is gebaseerd op de jaarlijkse kosten uit het Energietransitiemodel
- De kosten in het Energietransitiemodel zijn getoetst en geactualiseerd door TNO
- Kosten voor infrastructuur en flexibiliteit zijn gebaseerd op eigen analyses uit fase 2 van de studie

- Kosten in REG en NAT voornamelijk door productiemiddelen, infra en flex.
- Kosten in EUR en INT voornamelijk door energiebronnen en import
- Omgeslagen per MWh zijn Regionaal en Nationaal (zo veel mogelijk zelfvoorzienend) duurder dan import scenario's, wel gebaseerd op prognoses van kosten van import en daarmee sterk afhankelijk van de prijsaannames.

Ruimte: ruimtebeslag RNB

Het totale indicatieve ruimtebeslag over heel Nederland per scenario, inclusief het ruimtebeslag van de andere netvlakken, is beschreven in tabel 30 en tabel 31. Het ondergrondse ruimtebeslag beslaat aanzienlijk meer dan het bovengrondse en betekent dat in de komende dertig jaar er tussen circa 60.000 en 80.000 km kabel moet worden aangelegd. Voornamelijk de LS kabels gaan een grote maatschappelijke opgave betekenen in stedelijk gebied. De bovengrondse infra is kleiner, maar wel randvoorwaardelijk voor de energietransitie. Daarmee is het belang erg hoog.

Bovengronds ruimtebeslag RNB's over heel Nederland.

Netvlak	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
110/150kV	5,3 km ²	4,6 km ²	2,2 km ²	2,0 km ²
Onderliggende onderstations	5,4 km ²	5,3 km ²	4,7 km ²	4,1 km ²
Totaal	10,7 km ²	9,9 km ²	6,9 km ²	6,1 km ²

Ondergronds ruimtebeslag RNB's over heel Nederland.

Netvlak	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
MS-kabels	244 km ²	243 km ²	194 km ²	185 km ²
LS-kabels	34 km ²	39 km ²	32 km ²	28 km ²
Totaal	278 km ²	281 km ²	226 km ²	213 km ²

Grote versnelling nodig, uitvoerbaarheid nadert grens



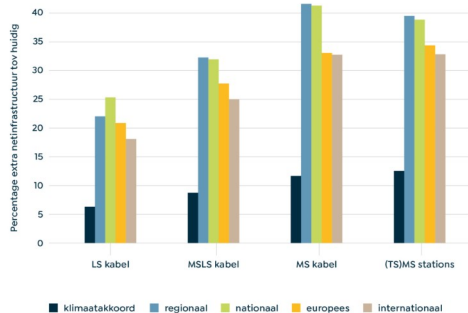
CONCLUSIE 5

De analyse van de ontwikkelpaden van infrastructuuruitbreidingen en -aanpassingen laat zien dat een **grote versnelling** noodzakelijk is ten opzichte van het historische tempo van uitbreidingen. De **uitvoerbaarheid** van de vereiste aanpassingen is een vraagstuk dat aandacht vergt, en dat ook samenhangt met keuzes over de ontwikkelingen in vraag, aanbod, conversie en opslag.

Uitvoerbaarheid scenario's

De analyse van de ontwikkelpaden van infrastructuuruitbreidingen en -aanpassingen, laat zien dat een grote versnelling noodzakelijk is ten opzichte van het historische tempo van uitbreidingen. De maakbaarheid van de vereiste aanpassingen is een urgent vraagstuk dat samenhangt met keuzes over de ontwikkelingen in vraag, aanbod, conversie en opslag.

- Voor Elektriciteit is een **grote versnelling** nodig ten opzichte van de productiegetallen van de afgelopen jaren. De totale hoeveelheden nieuwe assets voor de RNB in 2050 variëren niet significant. Een grote en langdurige inzet van medewerkers is nodig. Waar, wat moet gebeuren moet wel 'first time right' zijn.
 - Er is gerekend met een positieve bijdrage van Flex (op de HS netten)!
 - De Investeringsplannen (tot 2030) zijn zeer uitdagend qua uitvoerbaarheid,
 - Versnelling daarna is nodig.
- Voor Gas is het vooral **veel nieuw werk** (landelijke waterstofnetten, opslag H2 in cavernes, ombouw van Gas distributienetten, groen gas invoerders met Boosters, verwijderen van Gasnetten)
- Veel operationeel werk in de **transitiefase** naar duurzame gassen



Tabel 8. Jaarlijks aantal nieuwe regionale netstations per scenario.

			REG	NAT	EUR	INT	Huidig gemiddelde
Aantal stations RNB	van 110 - 150 naar 25 - 66 kV	HS-TS-station en HS-MS-station	7	7	7	7	1
	van 25 - 66 naar 3 - 23 kV	TS-MS-station / MS-MS-station / MS-station	26	27	23	11	8

Lange termijn en integraliteit verkenning essentieel

CONCLUSIE 6

Een **langetermijnperspectief en integraliteit** van energiescenario's zijn noodzakelijk om inzichten te ontwikkelen over een kosteneffectieve transitie naar een betrouwbaar en klimaatneutraal energiesysteem.

Aanbevelingen Rijk:

- Consistente set aan scenario's helpt voor ontwikkeling op land (CES/PIDI/MIEK, RES, NAL, TVW) en zee (VAWOZ)
- Periodieke integrale verkenning t.b.v. snelle en robuuste ontwikkeling energiesysteem

Conclusies

1. Zeer fors uitbreiden en aanpassen infrastructuur

2. Grote behoefte aan flexibiliteitsmiddelen

**3. Locatie aanbod, vraag, flexibiliteit bepaalt e-
netimpact**

4. Sterke toename van kosten en ruimtebeslag

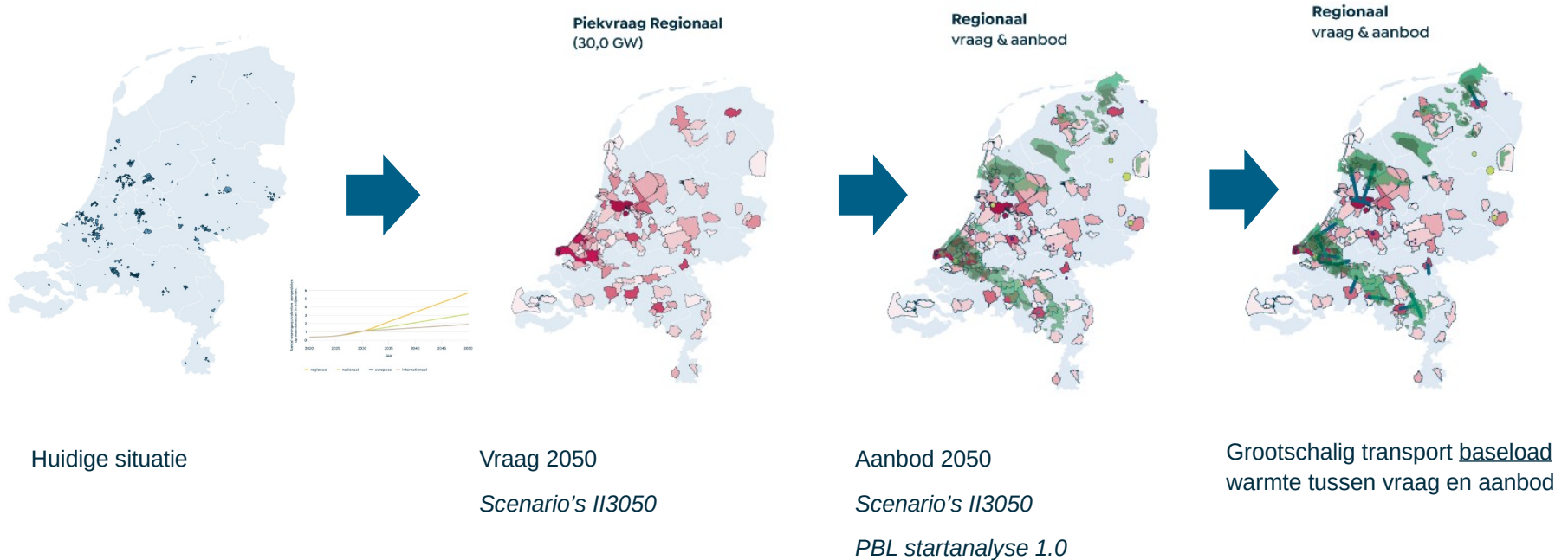
5. Versnelling nodig, uitvoerbaarheid nadert grens

6. Lange termijn en integraliteit verkenning essentieel

Backup slides

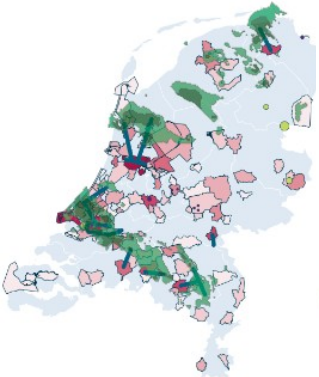
Warmte en CO₂

Warmte infrastructuur is op hoofdlijnen inzichtelijk gemaakt (Voor CO2 infrastructuur is ook deze aanpak gevolgd)

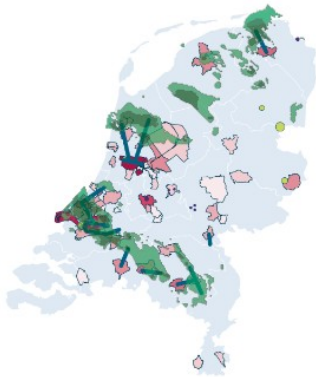


Warmte transport- en distributienet (inschatting)

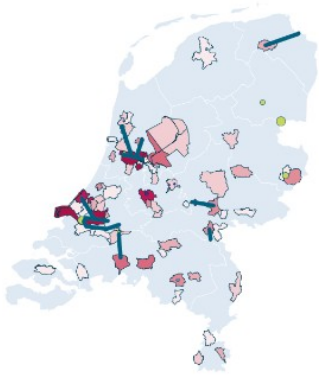
Regionaal
vraag & aanbod



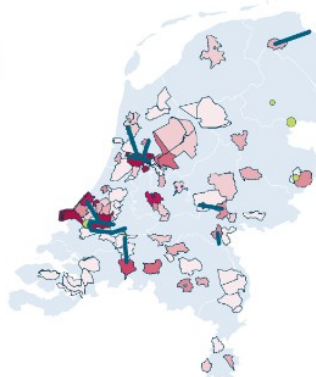
Nationaal
vraag & aanbod



Europees
vraag & aanbod



Internationaal
vraag & aanbod



Voor het transport van de baseload warmte naar gebouwen voorzien alle scenario's transportnetten in de regio's Rotterdam-Den Haag, Amsterdam, Groningen, Nijmegen. Daarnaast lokale aansluitingen distributie.

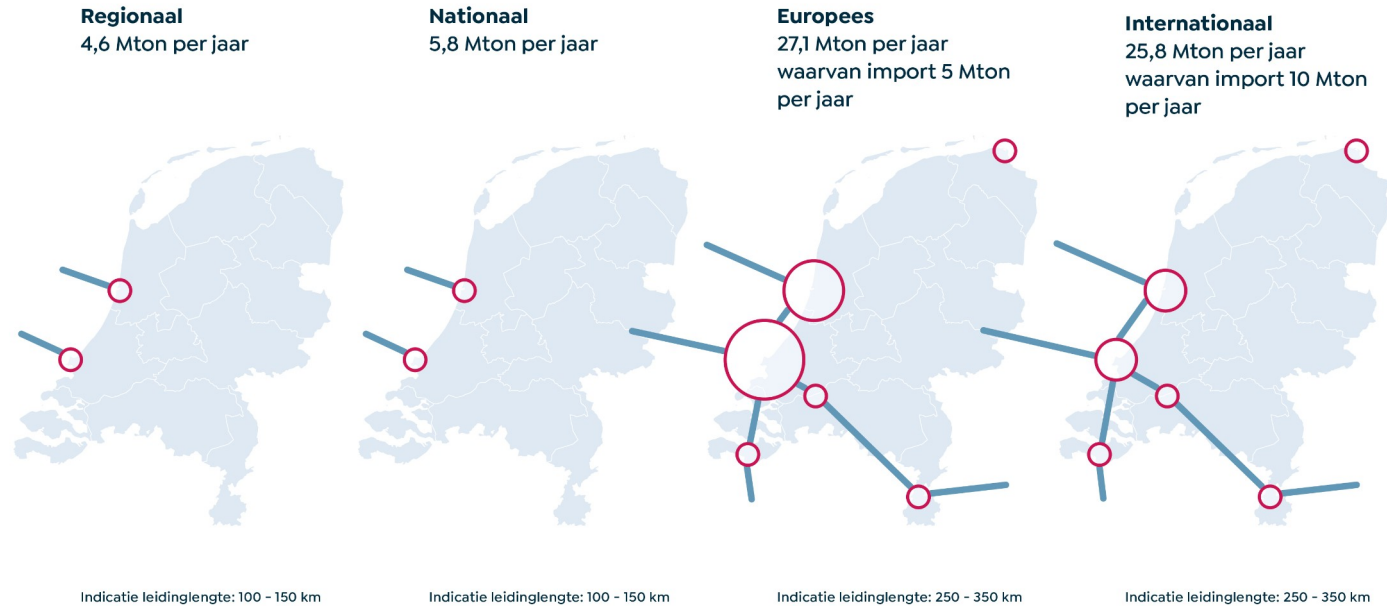
	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Totaal capaciteit (GW)	4,8	2,8	0,9	2,1
Schatting lengte transportnet (km)	500	500	250	250
Gemiddelde diameter transport	DN700	DN500	DN450	DN700
Schatting aantal nieuwe aansluitingen distributie	4,1 mln	2,1 mln	1,0 mln	1,0 mln

Conclusies Warmte

- Grootschalig transport van baseload warmte via transportnetwerken. Distributienetten moeten aan de piekvraag voldoen
- Alle vier scenario's laten grootschalige transport van baseload warmte zien in de regio's Rotterdam-Den Haag, Amsterdam, Groningen en Nijmegen.
 - Regionaal / nationaal: geothermie
 - Europees / internationaal: restwarmte en industrie
- Op piekmomenten is er flexibele levering van warmte vanuit lokale (duurzame) gasketels. Door deze vlakbij de warmtevraag te plaatsen (zoals ook nu al gebruikelijk is), kunnen investeringen in (relatief kostbare) warmtenetten worden beperkt.

CO₂ infrastructuur

Afhankelijk van het aanbod is een regionale tot een grensoverschrijdende CO₂ infrastructuur denkbaar

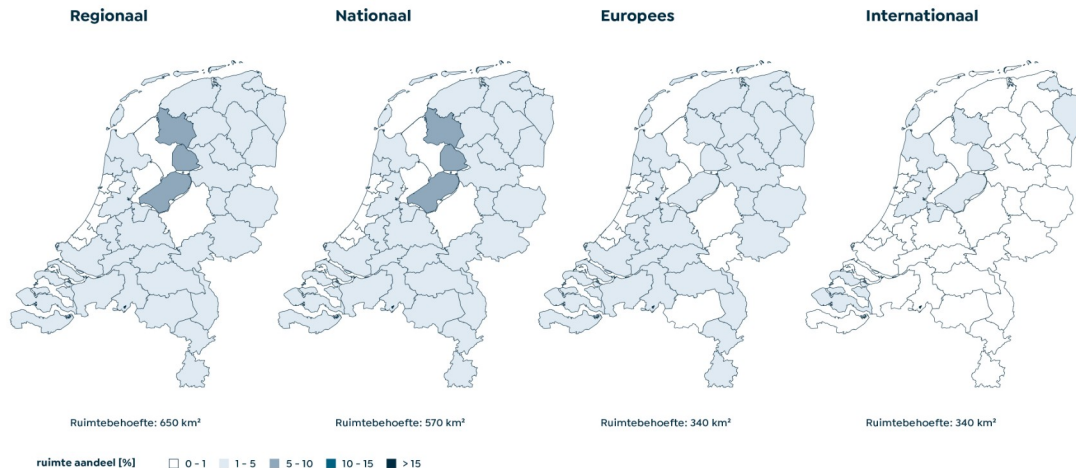


Conclusies CO₂

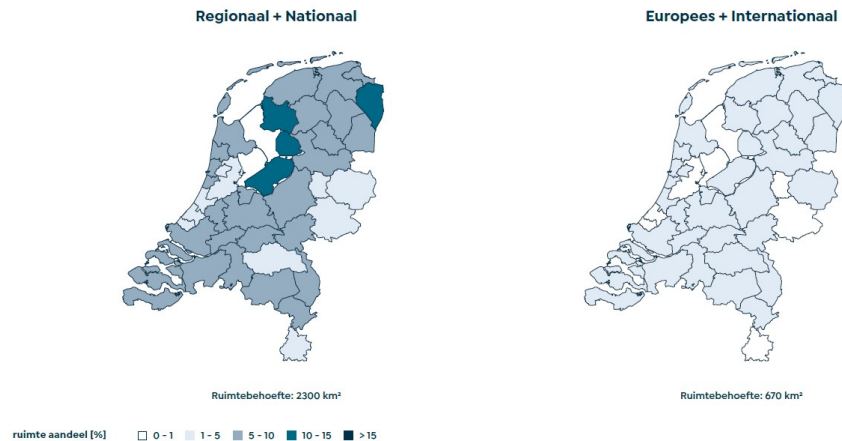
- Omdat er in alle scenario's sprake is van CO₂-opslag (CCS), zal er **vrijwel zeker infrastructuur op de Noordzee** worden ontwikkeld
 - Deels kan hierbij gebruik worden gemaakt van bestaande leidingen.
- In ontwikkeling zijnde infrastructuur (**Porthos, Athos**) wordt in de scenario's Europees en Internationaal uitgebouwd
- In de scenario's Europees en Internationaal **aansluiting van de CO₂-infrastructuur op de industriecusters bij Antwerpen en in het Ruhrgebied**. Daarmee ontstaat in Zeeland en Zuid-Limburg **schaalgroote** om via CO₂-pijpleidingen te worden aangesloten op de offshore CCS-infrastructuur via Porthos of Athos.

Ruimte: aanbod zon en wind op land

De figuren rechts laten zien dat de inpassing van **zonneweides** in de verschillende scenario's zien. In tegenstelling tot wind kan hier het gebruikte oppervlakte in veel mindere mate tevens gebruikt worden voor andere activiteiten. De getallen zijn daarbij gebaseerd op de aannames die in de scenario's gekozen zijn. Een eventuele herverdeling van zon op land naar zon op dak zal tot een andere impact leiden.

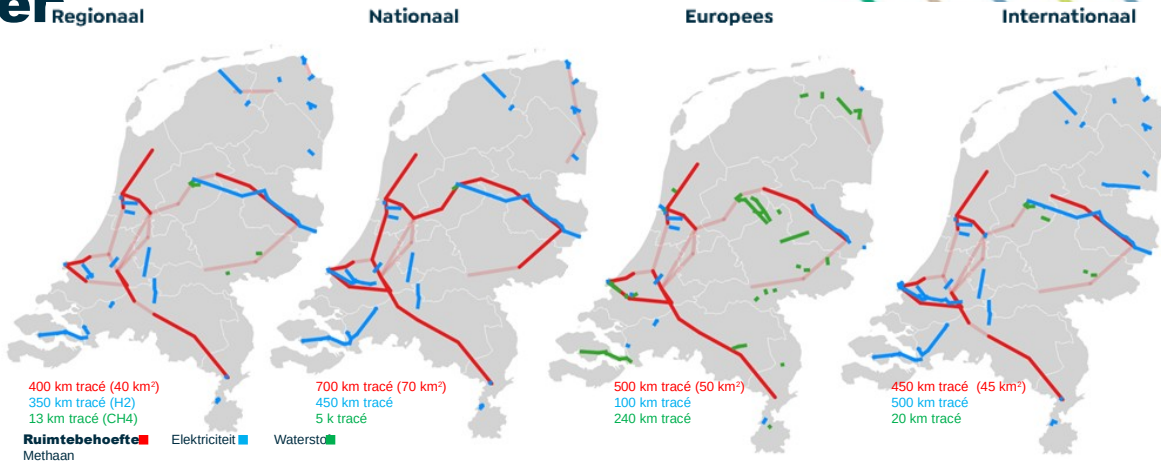


De figuren rechts laten zien dat de inpassing van 14 GW **windvermogen-op-land** (REG en NAT) de grootste behoefte aan ruimte kent. De impact bij EUR en INT (4 GW) is aanzienlijk lager. Hierbij moet worden opgemerkt dat de benodigde ruimte voor dit type vermogen in landelijk gebied nog steeds voor agrarische activiteiten beschikbaar blijft. De opgave voor inpassing wind op land gaat daarom meer om het creëren van opties die op draagvlak bij de bevolking kunnen rekenen.

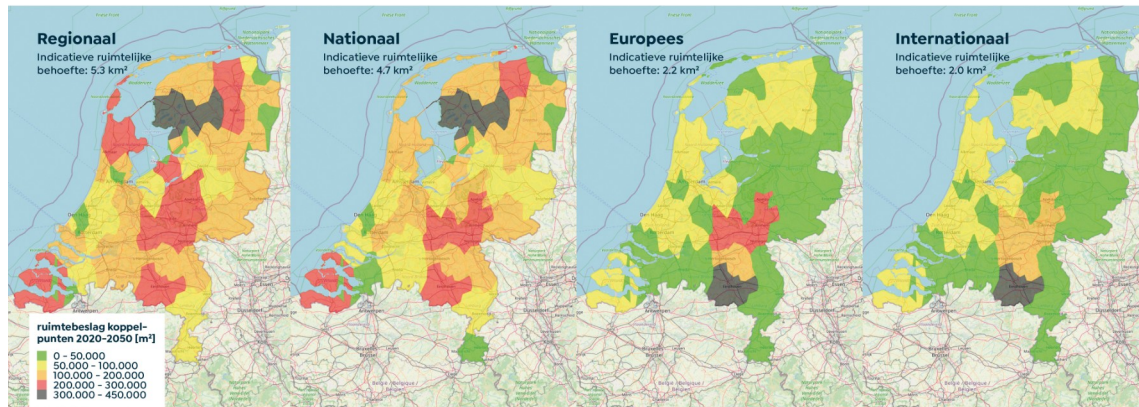


Ruimte: Landelijke netter

Het ruimtebeslag in absolute zin voor **de landelijke netten** is een fractie in het totale ruimtebeslag van het nieuwe energiesysteem. Toch vormt het de backbone van het systeem. Het beschikbaar hebben van nieuwe en bestaande tracés is cruciaal. Voor een deel is het hergebruik van bestaande tracés, voor een deel is het ook nieuw. In de figuur hiernaast zijn de belangrijkste aanpassingen voor het 220/380 kV TenneT en LNB Gas impact weergegeven.



Voor het **110/150kV-netwerk** is het ruimtebeslag per Corop-regio gevisualiseerd. In de scenario's Regionaal en Nationaal is de voorziene ruimtelijke behoefte het grootst, omdat hier vanwege de grote hoeveelheid wind op land en zonneparken, en het piekende karakter van deze technieken, de zwaarste belasting op het 110/150kV-net wordt voorzien.



Ook in het rapport: ruimtebeslag voor de RNB netten en FLEX

Conclusies Flexibiliteit

- De voorziene flexibiliteitsbehoefte vraagt om een mix aan (nieuwe) flexibiliteitsmiddelen. Enerzijds voor de **korte termijn** (vraag- en aanbodsturing, batterijen) om momentane verschillen tussen vraag en aanbod te kunnen regelen. Anderzijds voor de **lange termijn** (combinatie van gasopslag, power-to-gas en elektriciteitscentrales) om te kunnen voldoen aan seizoensflexibiliteit.
- **Systeemintegratie** door flexibiliteitsmiddelen, zoals conversies, hybride applicaties, piek- en back-upvoorzieningen en opslag.
- Voor flexibiliteitsmiddelen kunnen slimme locatiekeuzes sterk helpen om in een bepaald gebied vraag en aanbod tot op zekere hoogte op elkaar af te stemmen. Daarmee kan een significant deel van energietransport tussen en mogelijk binnen regio's worden voorkomen, waardoor minder infrastructuur nodig is.

Verdieping ontwikkelpad flexibiliteit

Naast import en export is grootschalige binnenlandse (stuurbare) flexibiliteit nodig in de vorm van conversie en opslag. Kritisch voor tijdige ontwikkeling zijn: G2P, P2G, batterijen en waterstofopslag.

Flexibility	Unit	2020	2030 klimaatakkoord	2050 regionaal	2050 nationaal	2050 europees	2050 internationaal
Power-to-Heat	GW	0.0	0.5	8.0	8.0	2.0	3.0
Power-to-gas	GW	0.0	0.0 ³	41.6	50.6	19.2	16.2
Batteries	GW	0.0	0.0	54.2	53.4	32.6	29.2
Gas-to-power	GW	18	14	33	35	36	34
Hydrogen storage	TWh	0	0 ⁴	36.0	37.0	10.0	47.0
Methane storage	TWh	144 ⁵		24.0	14.0	33.0	15.0

Periode tot 2030: De flexibiliteit ten behoeve van het elektrisch energiesysteem komt uit een mix van import / export en de inzet van verschillende types energiecentrales (nucleair, kolen, gas, biomassa). In het gassysteem waarborgen grootschalig gasopslag en import de systeembalans. Tot 2030 worden kolencentrales gesloten en vervullen centrales die op hernieuwbaar gas draaien een toenemend belangrijker rol als backup-flexibiliteit in tijden van weinig hernieuwbaar opwek.

2050: Naast import en export is grootschalige binnenlandse (stuurbare) flexibiliteit nodig in de vorm van conversie en opslag. Kritisch voor tijdige ontwikkeling zijn:

- G2P: Gascentrales waarborgen ook in tijden met beperkte importmogelijkheden de leveringszekerheid in Nederland. Er is meer capaciteit nodig dan nu.
- P2G: Tot 50 GW (nationaal). Snelle opschaling tot 3 à 4 GW voor 2030 noodzakelijk
- Batterijen. Qua vermogen eveneens snelle opschaling nodig, EV kan ondersteunen
- Waterstofopslag. Tot 47 TWh alleen voor seizoensopslag in 2050. Cavernes technisch bewezen maar uitloogsnelheid en ruimte zijn kritisch. Alternatieven worden onderzocht. Eerste cavernes al voor 2030 inrichten.