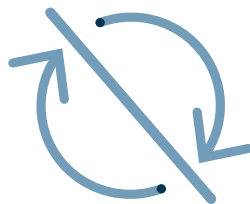




Netbeheer
Nederland



Integrale Energiesysteemverkenning 2030 - 2050

Energietransitie Programma

Eindrapport tweede editie systeemstudie I13050:

Het energiesysteem van de toekomst

Oktober 2023

Welkom

We willen je vragen om:

- Je microfoon op mute te zetten
- Je vragen en opmerkingen via de chat te stellen

We willen je laten weten dat:

- Er na afloop een Q&A verslag volgt
- Er een opname wordt gemaakt die later nog gedeeld kan worden



Agenda



1. Welkom (Marijke Kellner)
2. Inleiding II3050 (Marijke Kellner)
3. Impact infrastructuur (Jan Warnaars)
4. Flexibiliteit (Tim Gaßmann)
5. Impact kosten, ruimte, uitvoerbaarheid en grondstoffen (Arjan van Voorden)
6. Vragen



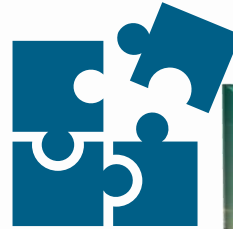
Netbeheer
Nederland

Inleiding I13050

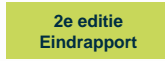
Marijke Kellner

De integrale energiesysteem verkenning 2030-2050

- Onze meest omvangrijke energiesysteemstudie ooit;
- 100+ stakeholders meegedacht;
- Transitiepaden 2030-2035-2040-2050;
- Belangrijke systeemvragen en inrichtingskeuzes.



II3050 rapportage



Opzet van de Verkenning

Scenario's

Scenario rapport

Update scenario's 2050

Scenario's 2030, 2035, 2040



Verkenning

Eindrapport

Flexibiliteit

Impact infrastructuur ontwikkelpaden 2030-2050

Impact kosten, ruimte, uitvoerbaarheid, grondstoffen

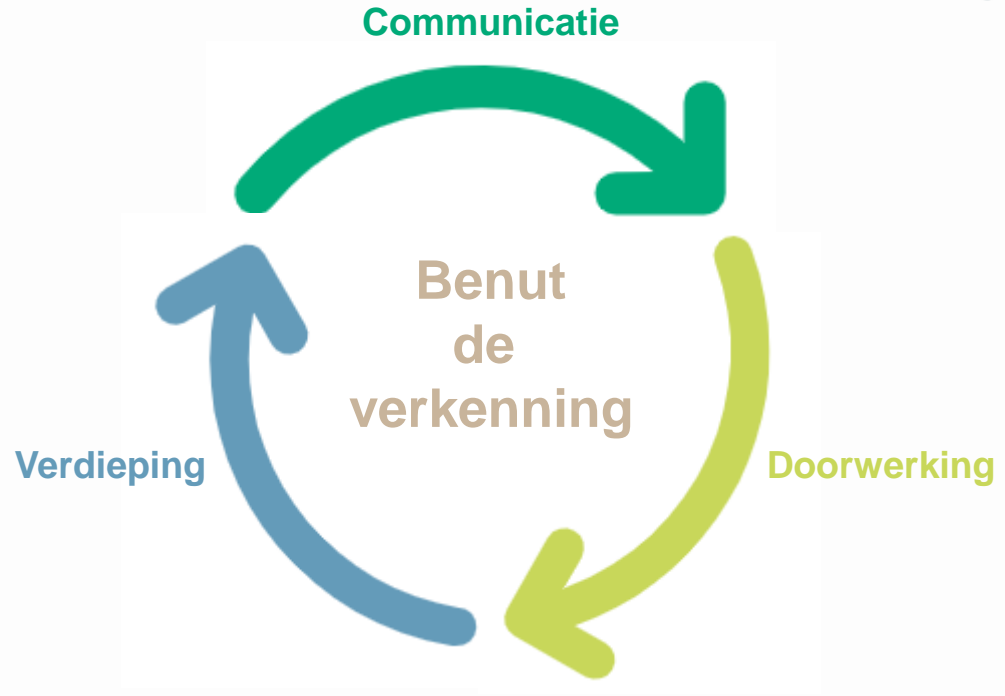


Vervolgproces

Scenariorapport
April 2023



Eindrapport
Oktober 2023



Vier scenario's

Marijke Kellner

Vier verhaallijnen voor de transitie

Nationaal leiderschap

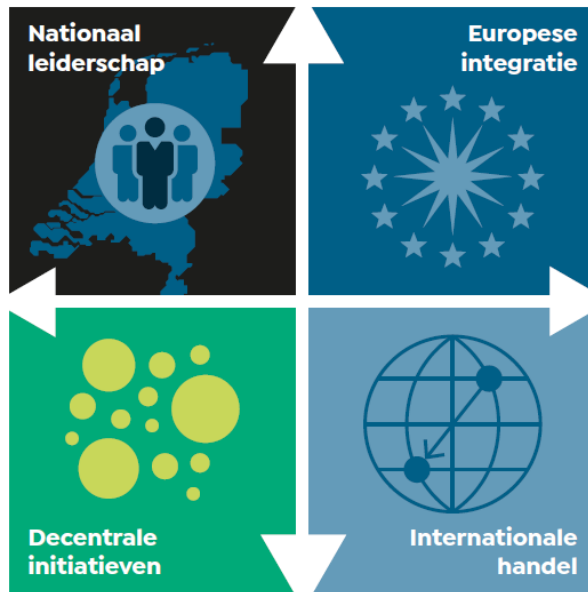
- Beperkte krimp industrie.
- Nieuwe industrie synthetische moleculen o.b.v. gerecyclede koolstof en DAC.
- Sterke elektrificatie.
- Zeer veel hernieuwbare opwek; beperkt kern.
- Meeste warmtenetten.

**Nationaal georiënteerd,
zoveel mogelijk zelfvoorzienend**

Decentrale initiatieven

- Sterke krimp energie-intensieve industrie.
- Vertrek van bepaalde industrie.
- Sterke elektrificatie, maar ook waterstof in de industrie.
- Zeer veel hernieuwbare opwek.
- "Energy-hubs".

**Collectieve techniekkeuzes
en regie door de overheid**



**Marktgedreven individuele oplossingen,
overheid stelt kaders**

Europese integratie

- Geen tot zeer geringe krimp industrie.
- Nieuwe industrie synthetische moleculen o.b.v. CCU en bio koolstof.
- Groen gas, ook uit import, naast elektrificatie en waterstof.
- CCS blijft en blauwe waterstof.
- Deels H₂ in de gebouwde omgeving.
- Base load kernenergie.

**Internationaal georiënteerd,
ruimte voor import**

Internationale handel

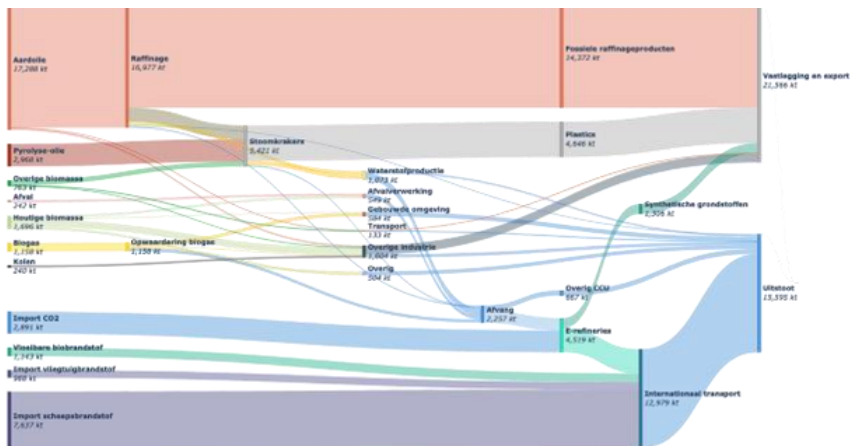
- Sterke krimp energie-intensieve industrie.
- Verplaatsing van bepaalde industrie naar het buitenland.
- Veel waterstof naast bio, CCS, DAC en elektrificatie.
- Veel H₂-import.
- Volledig H₂ in de gebouwde omgeving.

Hoofdconclusies

Jan Warnaars

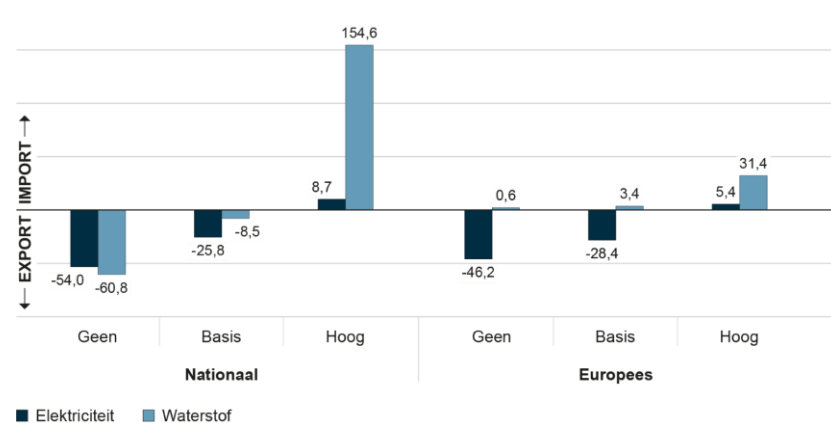
Vraagstukken in het energiesysteem

Koolstofstromen voor het scenario Nationaal leiderschap in 2050



De schaarste aan **duurzame koolstof** leidt voor Nederland tot een **verdelingsvraagstuk**: welke inzet van de duurzame koolstof is het meest verstandig, gegeven de vele toepassingen die er baat bij kunnen hebben?

Effect van verschillende volumes van synthetische brand- en grondstoffen productie



Hoeveel **synthetische brand- en grondstoffen** Nederland produceert in 2050, is nog een open vraag. Van **grote invloed** op het **energiesysteem**; de benodigde infrastructuur en flexibiliteitsmiddelen, zoals regelbare elektriciteitscentrales, conversie en opslag. Het is de vraag of energie-intensieve industrie deels uit Nederland verdwijnt of zich in de huidige omvang verduurzaamt.

Elektriciteitsinfrastructuur moet zeer fors uitgebreid

Landelijke elektriciteitsinfrastructuur

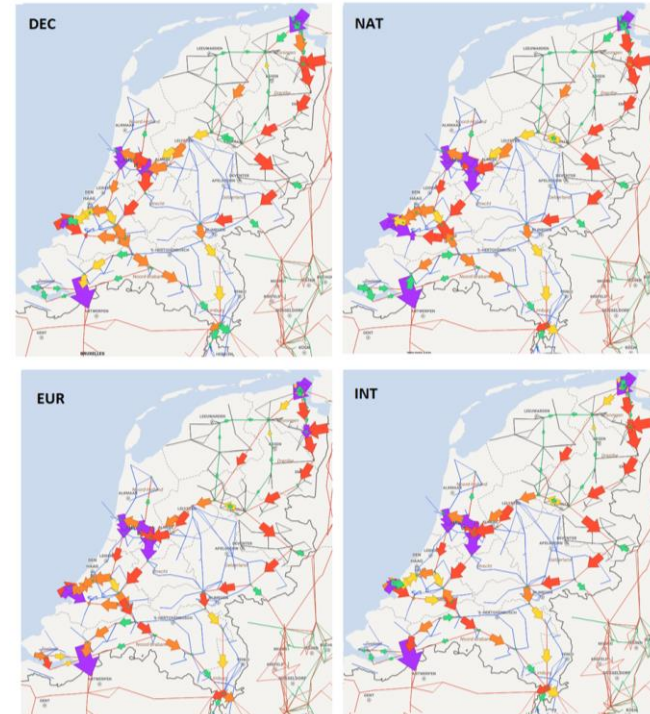
Op alle spanningsniveaus (110 kV t/m 380 kV) en in alle regio's ontstaat behoefte aan verdere **infrastructuuruitbreiding bovenop** de door TenneT reeds geplande uitbreidingen tot **2035**.

Het **ruimtebeslag** voor de uitbreiding van de extra hoogspanning (EHS)-infrastructuur ligt tussen de **20% en 33%** ten opzichte van het huidige EHS-net (2023).

Internationale transporten hebben een belangrijke invloed op de belasting van het EHS-net.

Afhankelijk van de uitbreidbaarheid van de bestaande hoogspanningsstations met één of twee transformatoren, zijn er in 2050 gemiddeld bij alle scenario's **50 tot 100 nieuwe HS-stations** (15-30% groei) benodigd t.o.v. het huidige aantal in 2023.

Illustratie knelpunten in het EHS:



Elektriciteitsinfrastructuur moet zeer fors uitgebreid

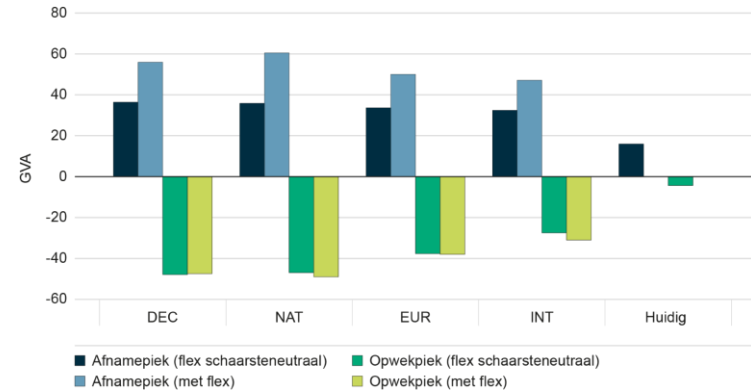
Regionale elektriciteitsinfrastructuur

De **capaciteit** voor de **koppelstations** met de regionale netbeheerders moet minimaal **verdubbelen tot verdrievoudigen** richting 2050 om de stijging van de piekbelasting voor zowel opwek als afname te faciliteren.

De regionale netbeheerders gaan in **bijna iedere buurt** aan de slag, straten gaan open voor nieuwe kabels en er worden nieuwe transformatorstations geplaatst.

Curtailment van alle zon PV-installaties en het **schaarsteneutraal** aansluiten van **flexibiliteitsmiddelen**, zijn **essentieel** om het toekomstige net zo efficiënt mogelijk vorm te geven.

Piekbelasting koppelstations in 2050 voor belasting van afname en opwek ten opzichte van huidig



Elektriciteitsinfrastructuur moet zeer fors uitgebreid

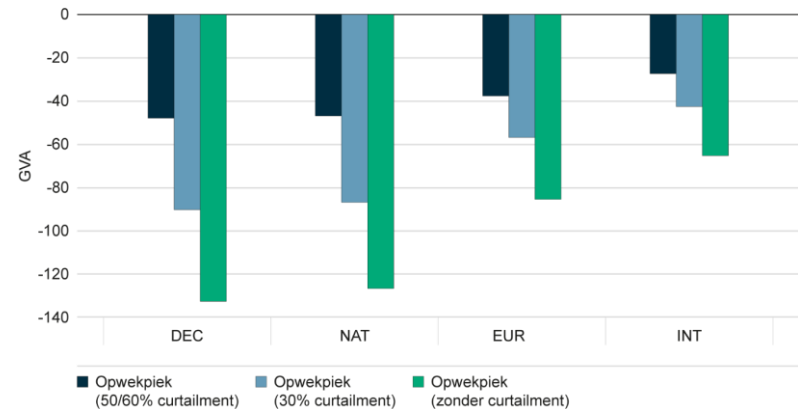
Regionale elektriciteitsinfrastructuur

De **capaciteit** voor de **koppelstations** met de regionale netbeheerders moet minimaal **verdubbelen tot verdrievoudigen** richting 2050 om de stijging van de piekbelasting voor zowel opwek als afname te faciliteren.

De regionale netbeheerders gaan in **bijna iedere buurt** aan de slag, straten gaan open voor nieuwe kabels en er worden nieuwe transformatorstations geplaatst.

Curtaillment van alle zon PV-installaties en het **schaarsteneutraal** aansluiten van **flexibiliteitsmiddelen**, zijn **essentieel** om het toekomstige net zo efficiënt mogelijk vorm te geven.

Opwekpiekbelastingen op alle koppelstations, situatie met 50-60% curtaillment en zonder curtaillment



Gasnet en doorgroei waterstofnetwerk na 2030

Landelijke gasinfrastructuur

Ondanks afnemende vraag en aanbod, blijft in alle scenario's voor **methaan** (nu aardgas later groengas) zeker **tot 2050** een **landelijk dekkend hoofdtransportnetwerk** nodig. Dat kan worden voorzien vanuit de **huidige aardgasinfrastructuur**.

Op basis van beschikbare leidingen in 2040 en 2050 is het mogelijk de **twee belangrijkste gaskwaliteiten** naast elkaar te **handhaven**.

De benodigde **transportinfrastructuur** voor **waterstof** richting 2050 blijkt behoorlijk **robuust**.

Op sommige tracés zijn **nieuwe waterstofleidingen** nodig met een maximum van 250 km. In elk scenario zijn richting 2050 ongeveer 1.850 km aan **omzettingen** nodig, waarvan 750 km na 2035. Na 2030 wordt ook op enkele **nieuwe** locaties **waterstofcompressie** verwacht.

Om de waterstof aan land te brengen die op zee met elektrolyse wordt geproduceerd, is vanaf 2030 in alle gevallen een **offshore waterstofnetwerk** nodig dat aansluit op het netwerk op land.

Ontwikkeling methaan en waterstofnetwerk

2050



2050



Verwijderen, omzetten en uitbreiden

Regionale gasinfrastructuur

In alle scenario's raakt een significant deel van met name het **regionale gasnet in onbruik**: tussen de **20%** en **65%** van het LD-hoofdnet is dan niet meer nodig.

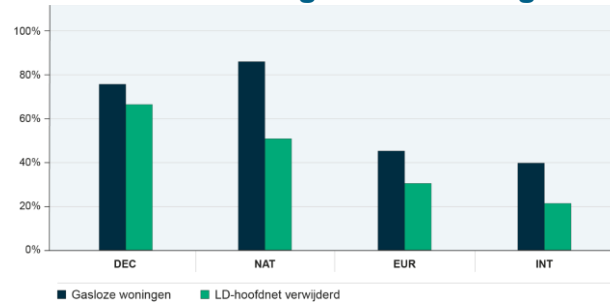
In het scenario **Internationale handel** blijft het grootste deel (80%) van het LD-hoofdnet in gebruik, maar moet dit grotendeels **omgezet** worden voor gebruik met **waterstof**.

De omzetting van delen van het regionale aardgasnet naar waterstof is mogelijk, maar dit is **maatwerk per situatie**.

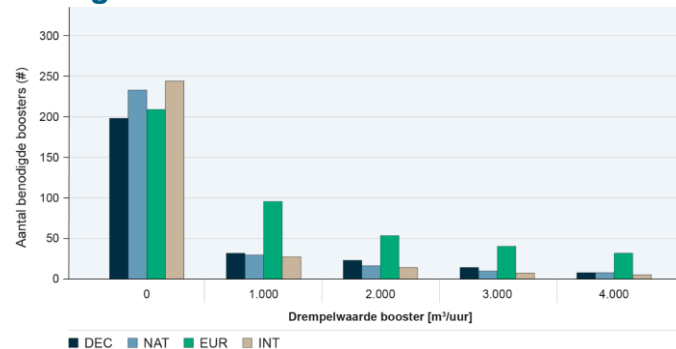
Zonder aanvullende maatregelen in de gasnetwerken zijn tussen de **200 en 250 boosters** nodig om al het **groengas** te kunnen benutten.

Aanvullende maatregelen: Het combineren van groengasproductie bij methaanvraag, het uitbreiden van het aantal netkoppelingen, het gebruik maken van groengasverzamelleidingen en het clusteren van productie, kunnen het **aantal boosters** significant **verminderen**.

Percentage van LD-hoofdnet dat verwijderd kan worden t.o.v. aantal gasloze woningen



Percentage nieuwe assets ten opzichte van huidige assets



Overige infrastructuur voor CO₂ en warmte

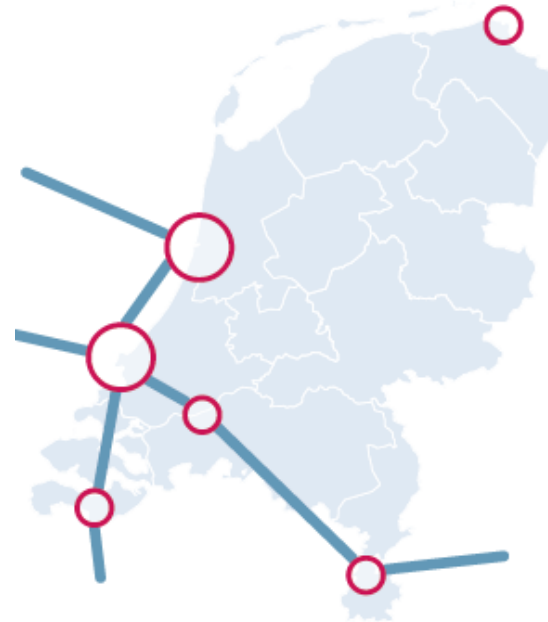
CO₂: Om de uitstoot van CO₂ in Nederland terug te brengen tot de minder dan 10 Mton per jaar in 2050 in de scenario's van II3050-editie 2, is **transport** van CO₂ per buisleiding naar een of meer **opslagen in de Noordzee**, een van de belangrijkste oplossingen.

Op de lange termijn kan het **CO₂-netwerk** een nuttige functie vervullen bij het realiseren van **negatieve CO₂-emissies** of een **circulaire economie**. Bijvoorbeeld door CO₂ van biogene oorsprong naar de industrieclusters te transporteren voor het maken van producten (zoals plastics). De Nederlandse CO₂-infrastructuur kan hierbij een **internationaal verbindende rol** vervullen.

Warmte: Collectieve warmtenetten spelen in alle scenario's voor 2050 in warmtevoorziening in de **gebouwde omgeving**, een veel **sterkere rol** dan nu.

Er is in alle scenario's een grote behoefte aan **warmteopslag**. De volumes bedragen 4-11 TWh in 2040 en **3-14 TWh in 2050** voor een normaal weerjaar, met de grootste hoeveelheden in het scenario Nationaal leiderschap.

Voorgesteld CO₂-netwerk in 2030-2035 op grond van efficiency-analyse



Gasopslag nog lang nodig; waterstof- rond 2030 nodig.

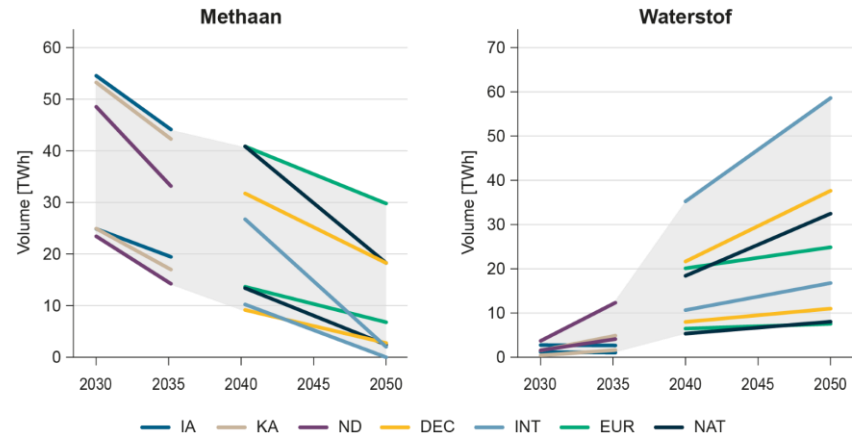
Opslag en strategische opslag

Energieopslag speelt in alle onderzochte scenario's een belangrijke rol voor het **balanceren** van energieaanbod en -vraag op verschillende tijdschalen.

In 2050 **maximaal** behoefte aan **30 TWh** voor **groengasopslag**; Voor **waterstof** neemt de opslagbehoefte naar 2050 toe tot maximaal **60 TWh**.

Naast operationele opslag is in II3050-editie 2 onderzocht hoeveel **strategische opslag** van moleculen er nodig is om wisselende weerjaren en risico's van import op te vangen. Afhankelijk van scenario en weerjaar gaat het om **35 tot 59 TWh**, boven op de operationele opslag.

Bandbreedte methaan- en waterstofopslag tussen 2030 en 2050 voor verschillende weerjaren



Overige conclusies

- 1 Flexibiliteit
- 2 Overkoepelende thema's



Netbeheer
Nederland

Flexibiliteit

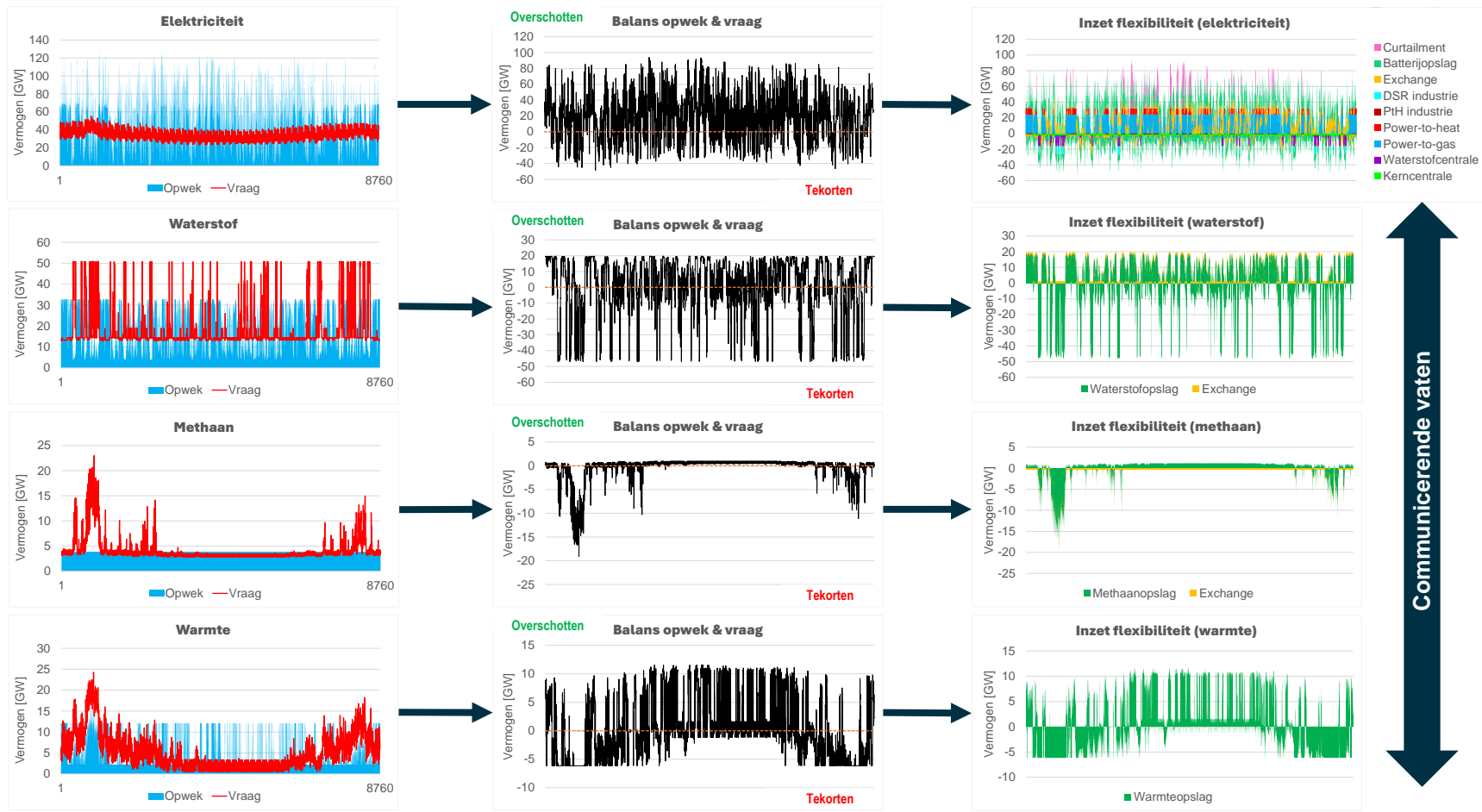
Tim Gaßmann

Wat verstaan we onder flexibiliteit?

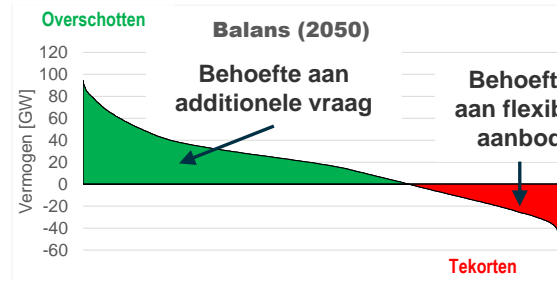
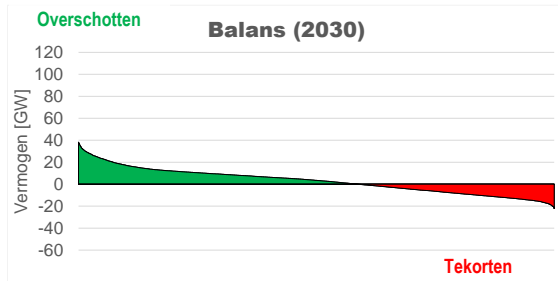
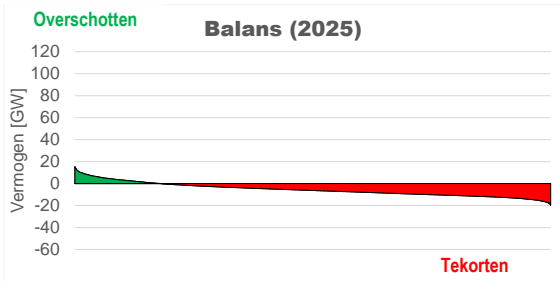
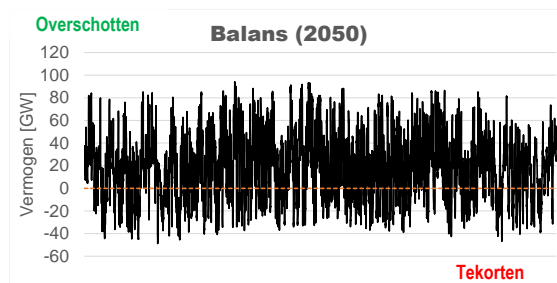
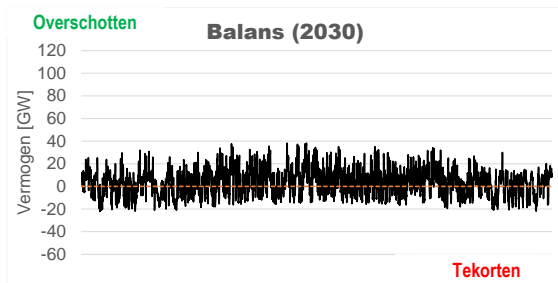
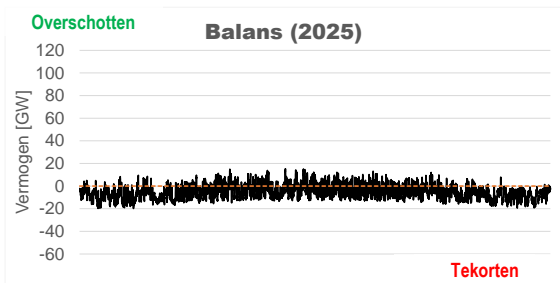
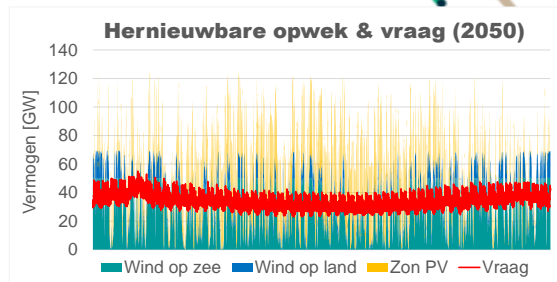
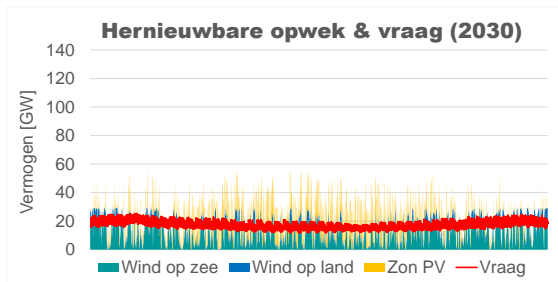
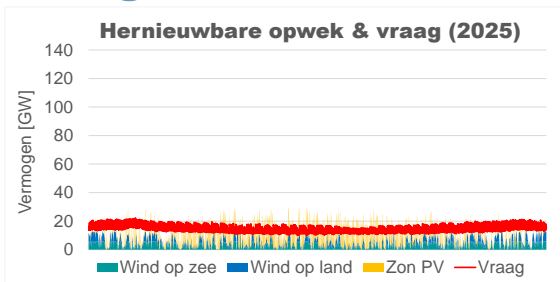
Flexibiliteit is het vermogen, om energieleaanbod en -vraag op elk moment met elkaar in evenwicht te brengen en op deze manier het gewenste niveau aan leveringszekerheid te garanderen.

Integrale aanpak flexibiliteitsanalyse

Doel: Balanceren van nationale opwek & vraag in alle uren van het jaar



Een grotendeels op wind & zon PV gebaseerd energiesysteem vraagt toenemend om flexibiliteit



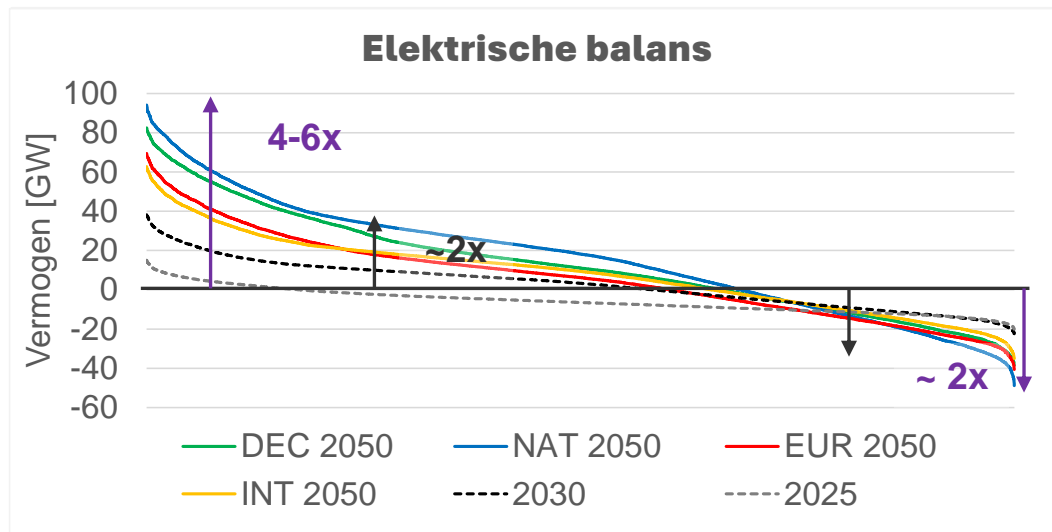
Een grotendeels op wind & zon PV gebaseerd energiesysteem vraagt toenemend om flexibiliteit

Overschotten

2050: 63 – 94 GW

2030 ~ 38 GW

2025 ~ 15 GW



Tekorten

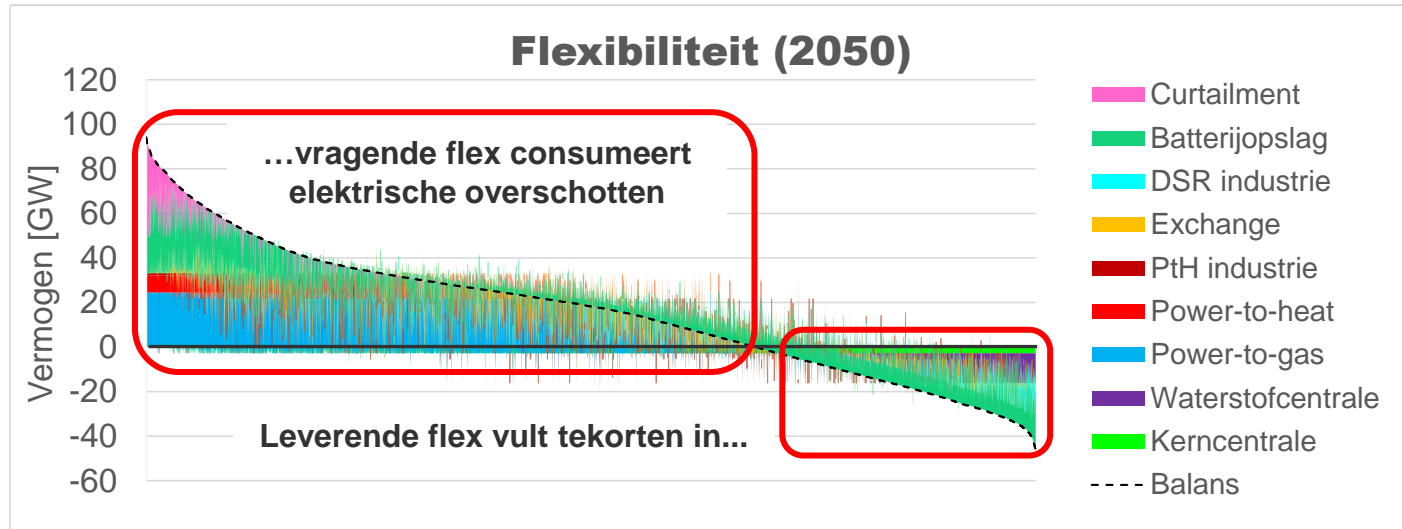
2025 ~ 20 GW

2030 ~ 23 GW

2050: 25 – 49 GW

- Zowel **overschotten** als **tekorten** nemen **in alle scenario's** fors toe richting 2050;
- In de scenario's Decentrale initiatieven en Nationaal leiderschap zijn de overschotten het grootst, de grootste tekorten komen in de scenario's Nationaal leiderschap en Europese integratie voor;
- Dit vraagt in alle gevallen om grote hoeveelheden flexibiliteit.

Om deze tekorten en overschotten op te vangen moet een groot en divers flexibiliteitsportfolio worden gerealiseerd



- Een mix van verschillende flexibiliteiten is nodig, zowel voor het balanceren op kortere als ook langere tijdschalen: centrales, import/ export, afregelbare vraag (DSR), batterijopslag, power-to-X en curtailment van hernieuwbare productie.
- Er is interactie tussen verschillende flexibiliteiten, bijvoorbeeld: Power-to-X consumeert energie uit batterijopslag en importen, centrales produceren voor export, batterijen laden geïmporteerde energie.

Deze groei van flexibiliteitsmiddelen komt voornamelijk voort uit technieken die nog ordergroottes opgeschaald moeten worden *(Opslagvolume)

Categorie	Technologie	Eenheid	2025	2030
			KA	KA
Elektriciteits-centrales	Nucleair	GW	0,5	0,5
	Kolen	GW	4	-
	Methaan	GW	16,5	16,3
	Waterstof	GW	0	0
Back-up warmtenet	E-boilers	TWh	-	-
	Gasketels	TWh	1	-
Aanbodrespons	Curtailement	GW	13	31
		TWh	3	15
Flexibele elektriciteitsvraag	DSR industrie	GW	0,8	2
	Power-to-gas	GW	0,5	3
	Power-to-heat	GW	1,5	3
Opslag	Batterijopslag	GW	2,7	12,3
		TWh*	< 0,1	0,1
	Waterstofopslag	TWh*	-	1
	Methaanopslag	TWh*	44	36
Warmteopslag	TWh*	-	8	
Import / export	Elektriciteit	GW	9,2	12,8
		TWh netto import	7,5	-10
	Waterstof	GW	-	10
		TWh netto import	-	-15
	Methaan	GW	106	105
		TWh netto import	188	182

Ombouw →

2 – 5x →

3 – 8x →

1 – 4x →

4 – 8x →

14 – 29x →

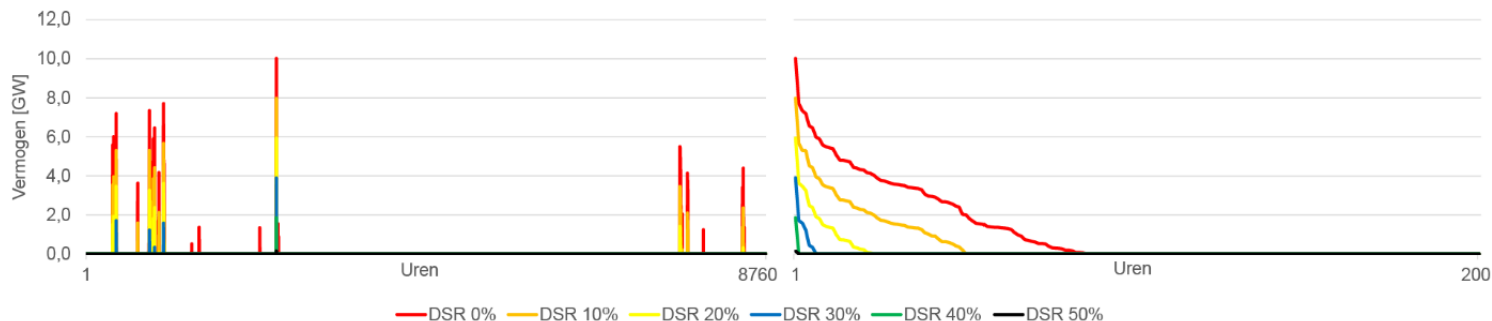
1,5 – 2,3x →

2 – 2,5x →

2050			
DEC	NAT	EUR	INT
-	3,0	8,0	-
-	-	-	-
-	-	-	-
20	15	11	15
4	4	-	-
1	3	4	6
47	40	36	48
5	9	7	13
8	10	4	3
25	25	16	10
11	11	6	3
70,3	59,7	38,6	40,6
0,7	0,7	0,5	0,5
21	14	14	29
6	5	12	1
14	12	7	3
18,8	18,8	28,8	28,8
-7	-26	-28	-22
20	20	25	25
-7	-8	1	95
95	95	90	90
-1	2	43	0

Er zijn grote onzekerheden in de ontwikkeling en benutting van de verschillende flexibiliteitsmiddelen (1/3)

- De beschikbare capaciteit en benutting van een flexmiddel is afhankelijk van de technische en economische eigenschappen, de ontwikkeling van andere flexibiliteitsmiddelen, weersomstandigheden en ontwikkelingen in het buitenland. **Over al deze onderwerpen bestaat nog grote onzekerheid, met potentieel een grote impact op het energiesysteem.**
- **Voorbeeld 1:** De onderstaande grafiek laat zien dat als de industrie minder flexibiliteit kan leveren dan is aangenomen, er extra regelbaar vermogen uit andere flexibiliteit nodig is
- In termen van uren en volume is de impact beperkt: dit extra vermogen is maximaal 85 uur per jaar nodig voor een volume van 0,3 TWh (~ 0,1% van de jaarvraag). In termen van capaciteit is de impact juist groot: tot 10 GW aan extra regelbaar vermogen.

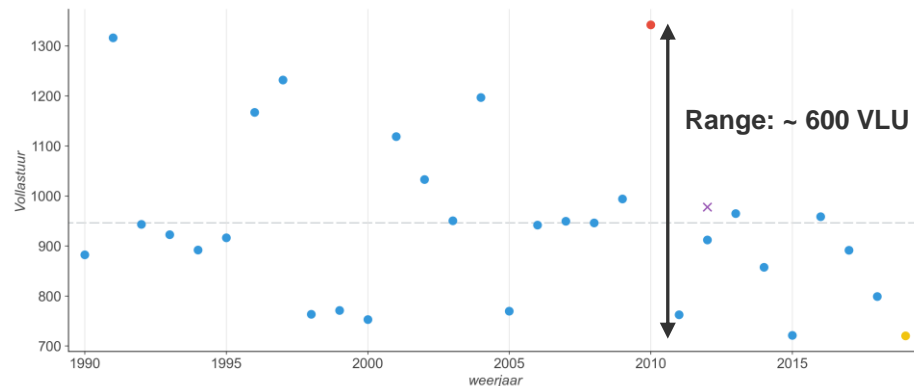


Er zijn grote onzekerheden in de ontwikkeling en benutting van de verschillende flexibiliteitsmiddelen (2/3)

- **Voorbeeld 2:** Verschillen in weersomstandigheden zorgen ervoor dat er in het ene jaar meer flexibiliteit nodig is dan het andere.
- Om jaren met 'Dunkelflautes' (meerdere aaneengesloten, donkere, windstille dagen in de winter) te kunnen overbruggen is rond 7 GW extra regelbaar vermogen nodig dan is aangenomen in de basisscenario's. Als dit vermogen uit waterstofcentrales komt, zou een factor 2,5 - 3 meer waterstofopslag nodig zijn.



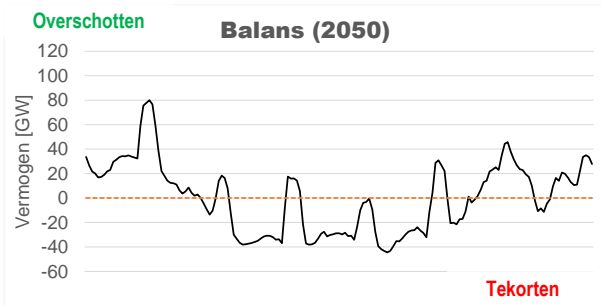
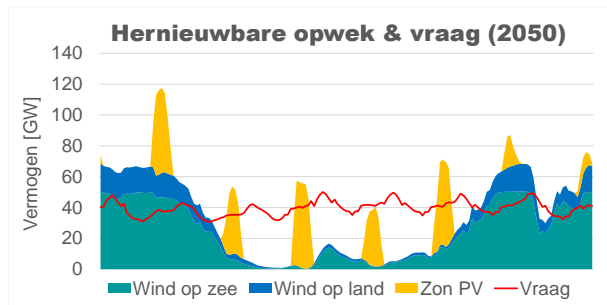
Benutting waterstofopslag in 2050 in verschillende weerjaren



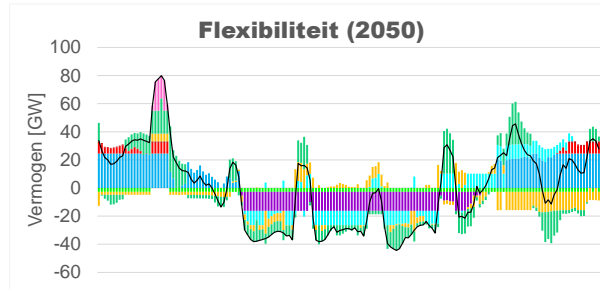
Draaiuren regelbare elektriciteitscentrales in verschillende weerjaren

De geografische verdeling en inpassing van flexibiliteitsmiddelen binnen Nederland vergt een zorgvuldige afweging

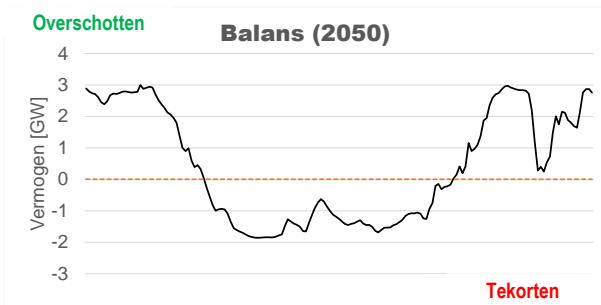
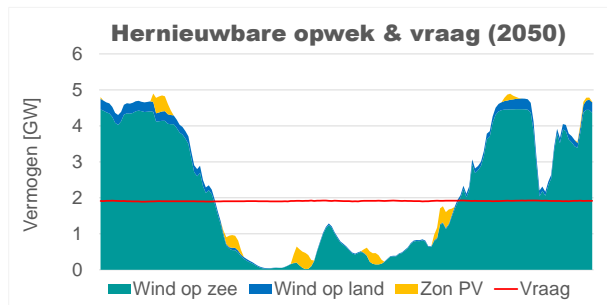
Nationaal perspectief (NL)



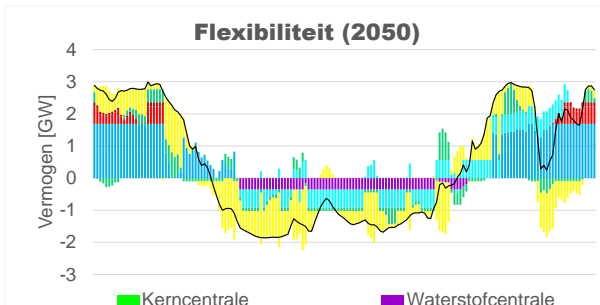
3. Flexibiliteit worden ingezet t.b.v. de nationale balans. In de regio is er echter geen balans tussen vraag & aanbod en transport nodig.



Regionaal perspectief (voorbeeldregio)



Flexlocaties bepalen regionaal inzetprofiel



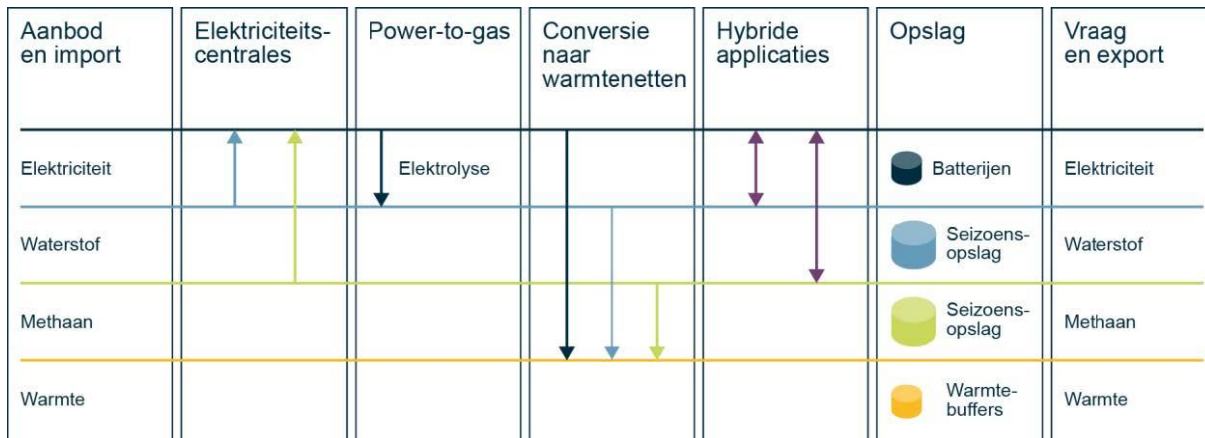
1. Weersafhankelijke elektriciteitsproductie & vraag komen zowel op nationaal als regionaal niveau niet overeen in de tijd.

2. De regionale elektriciteitsbalans verschilt van de nationale als gevolg van een afwijkende vraag- en aanbodmix.

- Kerncentrale
- Power-to-gas
- PTH industrie
- Exchange
- Curtailment
- Waterstofcentrale
- Power-to-heat
- DSR industrie
- Batterijopslag
- Transport
- Balans

Door flexibiliteit raken verschillende onderdelen van het energiesysteem en energiedragers steeds meer verbonden (1/2)

- Elke energiedrager & flexibiliteitstechnologie heeft voor- en nadelen. Verschillende flexibiliteiten met verschillende eigenschappen zijn nodig en kunnen elkaar versterken (**stelselintegratie**).

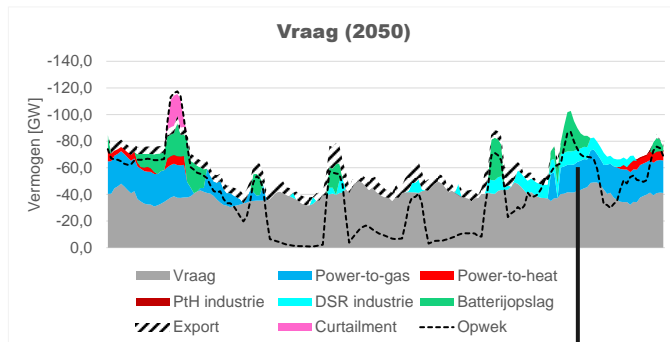
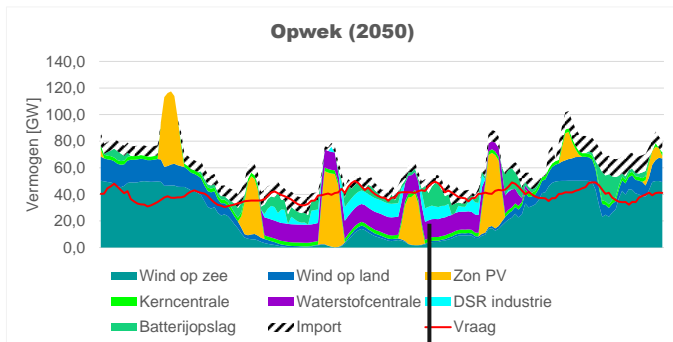


Voorbeelden:

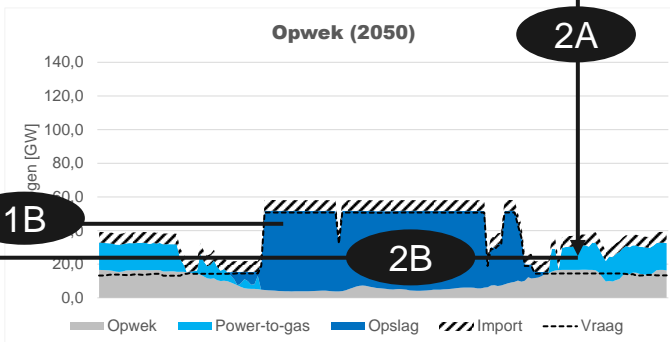
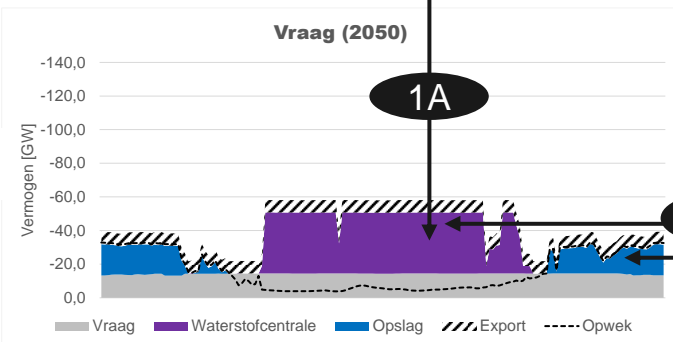
- Inzet van waterstof of groengas in regelbare elektriciteitscentrales;
- Omzetten van overschotten elektriciteit in waterstof of warmte;
- Hybride applicaties die slim schakelen tussen ene of andere drager;
- Back-upketels of –boilers voor collectieve warmtenetten.

Door flexibiliteit raken verschillende onderdelen van het energiesysteem en energiedragers steeds meer verbonden (2/2)

E



H2



1A. Inzet van waterstofcentrales (paars) om tekorten in het elektriciteitsstelsysteem aan te vullen, zorgt voor een grote vraag in het waterstofsysteem.

1B. Deze vraag naar waterstof wordt belevend door waterstof uit de opslagbergingen te onttrekken.

2A. Power-to-gas zorgt voor een volatiel aanbod van waterstof.

2B. Waterstof wordt opgeslagen in de bergingen.

Iedere ontwikkeling in het elektriciteitsstelsysteem (aanbod, vraag en flexibiliteit) werkt door naar andere onderdelen van het energiesysteem en vraagt om een overkoepelende beschouwing.



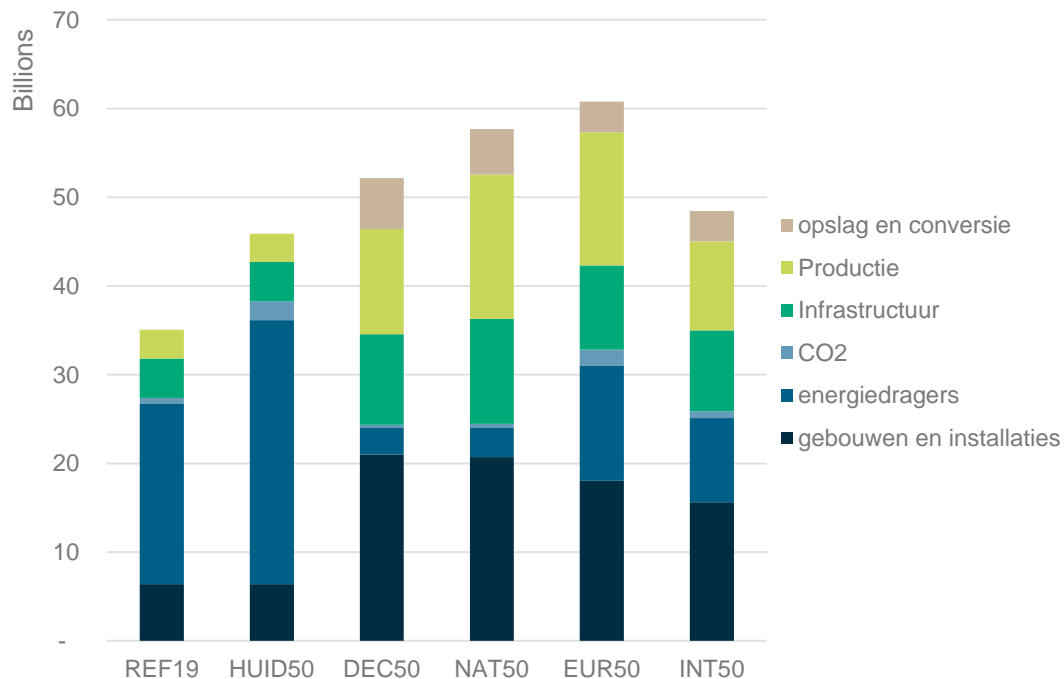
Netbeheer
Nederland

Impact kosten, ruimte, uitvoerbaarheid en grondstoffen

Arjan van Voorden

Kosten van het energiesysteem

De kosten stijgen in alle scenario's. Opbouw van de kosten meest interessant. Tussen Decentrale initiatieven en Nationaal leiderschap versus Europese integratie en Internationale handel zie je een verschuiving van eigen installaties naar import van energiedragers. Verschillen in infrakosten zijn op het totaalniveau beperkt.

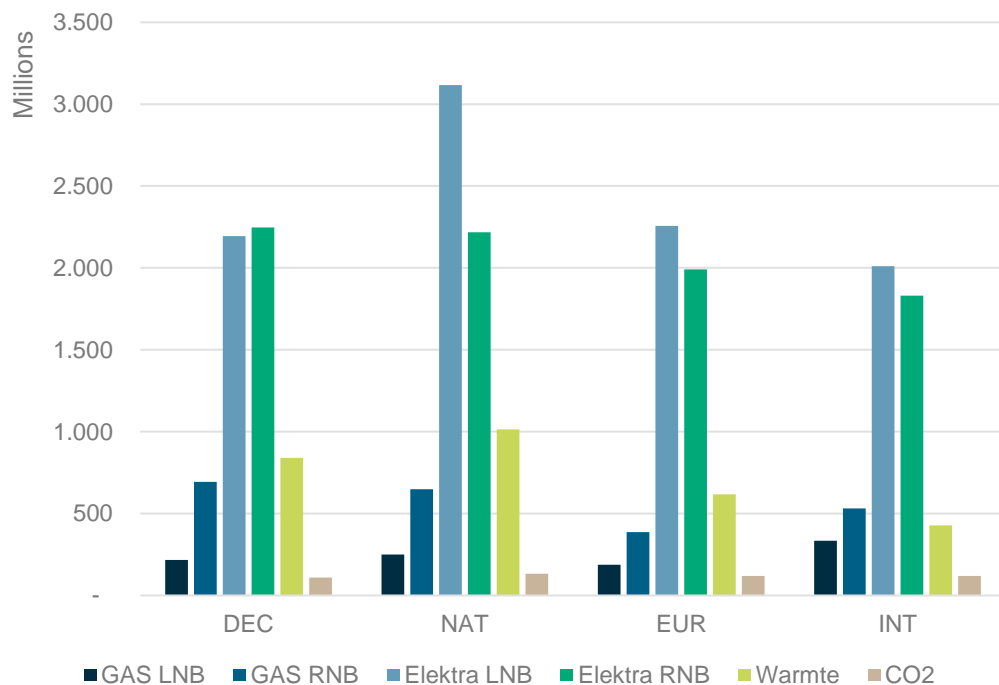


- Jaarlijkse kosten van het energiesysteem;
- Kosten berekend in het ETM model (m.u.v. infra);
- REF19 is het huidige energiesysteem. HUID50 is het huidige energiesysteem in 2050, met parameters uit IEA Stated Policies;
- Gevoeligheid van de berekeningen is hoog, met name H2 prijs in 2050.

Kosten van de infrastructuur

De investeringskosten in het elektriciteitsnet zijn significant hoger dan voor de andere energiedragers, zowel voor de LNB als de RNB's. De onderlinge verschillen per scenario zijn beperkt significant.

Overzicht investeringskosten infra



- Jaarlijkse kosten van de infrastructuur;
- Het scenario Nationaal leiderschap is voor de netbeheerders het meest kostenintensief met name voor de LNB.
- De investeringskosten voor de RNB's elektriciteit verschillen niet veel qua hoogte;
- De kosten voor het warmtenet zijn in de scenario's Decentrale initiatieven en Nationaal leiderschap veel hoger dan in de scenario's Europese integratie en International handel.

Ruimte voor ondergrondse infrastructuur is fors

De tabel hieronder schetst de ondergrondse ruimtebehoefte voor MS- en LS-kabels (gebaseerd op de aantallen in de tabel daarboven) die lopen als lijnen door stad en land (en zijn daarmee geen 'solide vlakken'). De bovengrond blijft (na legging van de kabels) grotendeels bruikbaar.

	Kabels (km)				
MS-kabels	111.300	161.100 (+45%)	161.100 (+45%)	158.100 (+42%)	151.100 (+36%)
LS-kabels	186.900	241.000 (+29%)	240.700 (+29%)	233.900 (+25%)	226.900 (+21%)
	2023	DEC2050	NAT2050	EUR2050	INT2050

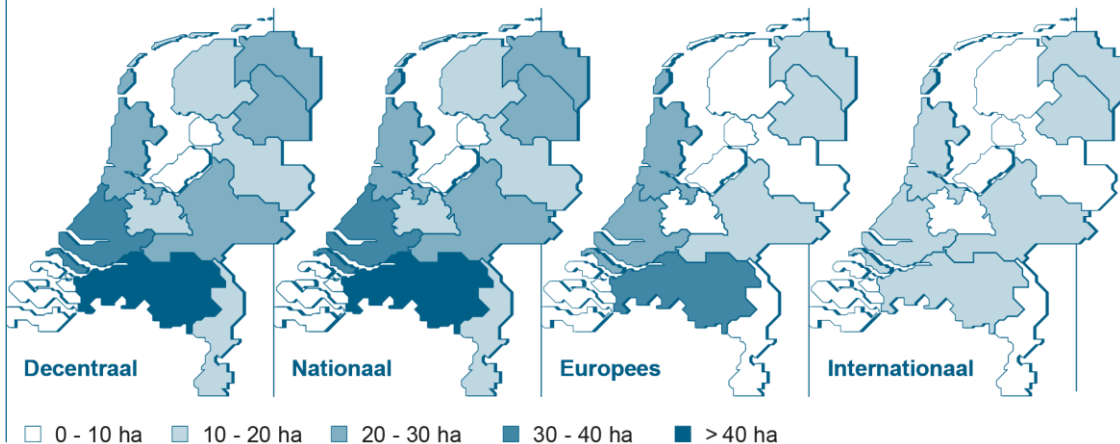
Netvlak	Decentraal	Nationaal	Europees	Internationaal
MS-kabels	274 km ²	274 km ²	257 km ²	219 km ²
LS-kabels	54 km ²	54 km ²	47 km ²	40 km ²
Totaal	328 km ²	328 km ²	304 km ²	259 km ²

Ruimte voor bovengrondse infrastructuur is fors

Voor de 110/150kV-koppelstations is het ruimtebeslag per provincie weergegeven. In de scenario's Decentrale initiatieven en Nationaal leiderschap is de voorziene ruimtelijke behoefte het grootst omdat hier vanwege de grote hoeveelheid wind op land en zonneparken en het volatiele karakter de zwaarste belasting op het 110/150kV-net wordt voorzien.

Netvlak	Decentraal	Nationaal	Europees	Internationaal
110/150kV-stations	1,8 – 3,7 km ²	1,8 – 3,5 km ²	1,0 – 2,4 km ²	0,6 – 1,6 km ²
Onderliggende onderstations	1,9 km ²	1,9 km ²	1,7 km ²	1,6 km ²
MS/LS-stations	1,2 km ²	1,2 km ²	1,1 km ²	0,8 km ²
Totaal	4,9 – 6,8 km²	4,9 – 6,6 km²	3,8 – 5,2 km²	3,0 – 4,0 km²

Ruimte voor koppelstations per provincie (in hectares)

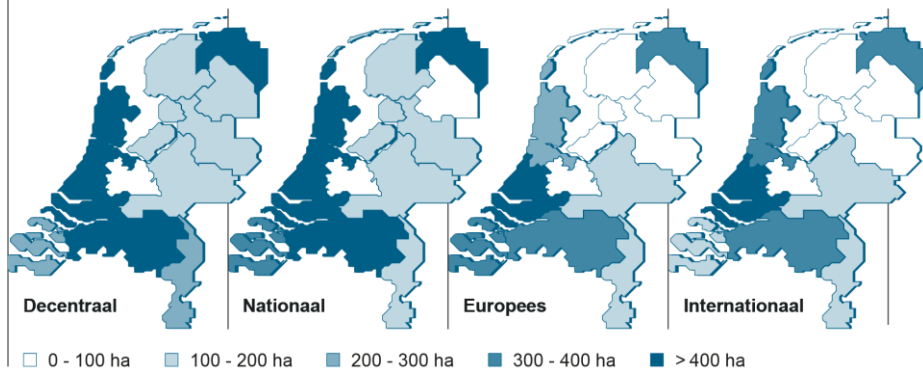


Ruimte voor systeemflex forser (bovengronds)

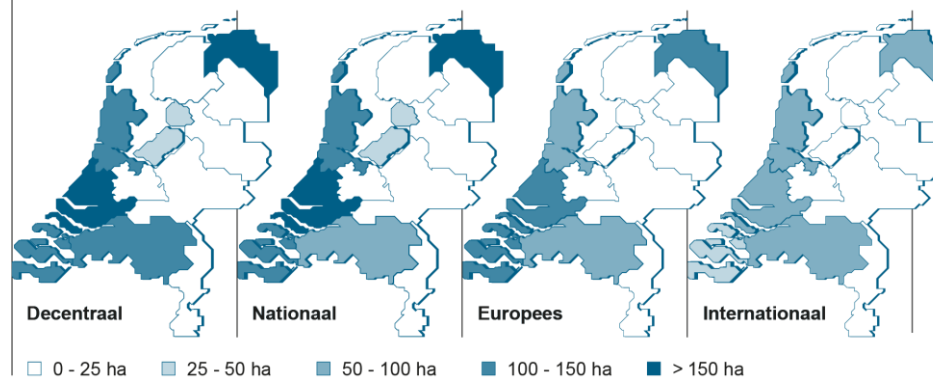
- Voor elektrolyzers en systeembatterijen is de ruimtebehoefte 26 tot 41 km².
- De vraag voor deze vormen van systeemflex is een factor 6 tot 8 groter dan voor alle RNB-verdeelstations samen.
- De locatie volgt de lokale balans in de aanbod- en vraagsituatie. Dat is met name -maar niet exclusief- aan de kust (aanlanding van Wind op Zee).

	Decentraal	Nationaal	Europees	Internationaal
Power-to-Gas	8 km ²	8 km ²	5 km ²	3 km ²
Systeembatterijen	33 km ²	32 km ²	23 km ²	23 km ²














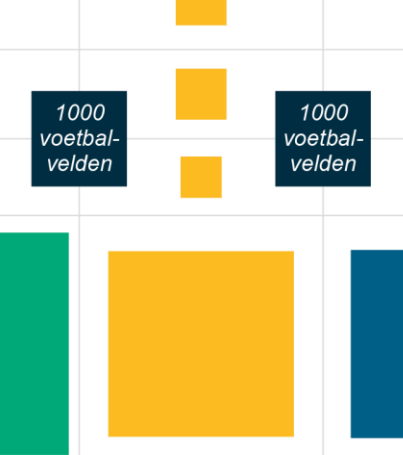
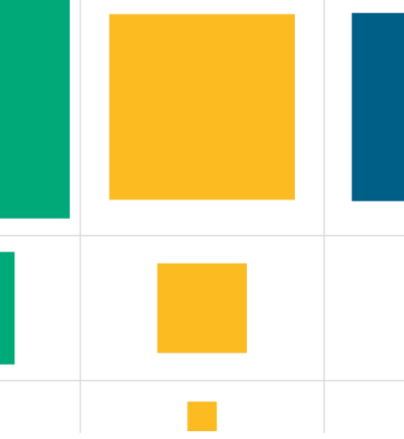
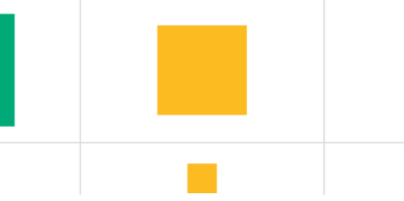






Systeembatterijen



Power to Gas



Ruimte in één oogopslag

	Decentraal	Nationaal	Europees	Internationaal
	Wind: 1.875 km ² Zon: 580 km ² Wind zee: 4.500 km ²	Wind: 2.500 km ² Zon: 580 km ² Wind zee: 7.200 km ²	Wind: 1.250 km ² Zon: 350 km ² Wind zee: 3.800 km ²	Wind: 1.250 km ² Zon: 350 km ² Wind zee: 4.600 km ²
EHS/HS	<i>pm</i>	<i>pm</i>	<i>pm</i>	<i>pm</i>
DC-conv.				
OS				
MS/MS				
MS/LS				
Batterijen				
Power-to-gas				
Gascentrale				

1000 voetbalvelden

1000 voetbalvelden

1000 voetbalvelden

Uitvoerbaarheid: algemeen

De ombouw van het energiesysteem is niet vergelijkbaar met de traditionele inzet van de netbedrijven. Dat maakt het lastig om de haalbaarheid van de scenario's kwantitatief te onderbouwen.

- Voor **elektriciteit** is er een grote opgave voor opschaling op de relatief korte termijn. Vanwege die doelstellingen 2030-2035 moet er op korte termijn nog heel veel bijgebouwd worden.
- In de twee elektriciteitsscenario's Decentrale initiatieven en Nationaal leiderschap is de opgave groter dan de andere twee scenario's.
- II3050-editie 1 toonde een sterkere groei van de opgave. Dat de opgave nu geringer lijkt, heeft ook te maken met de grote versnelling in uitvoering die inmiddels al in gang gezet is.
- In hoeverre de realisatie haalbaar is, moet blijken uit de investeringsplannen 2024.
- Voor **gas** is de ombouwoperatie groot. Voor de regionale gasnetten is het van belang om aan te wijzen in welke gebieden gas blijft (groengas of waterstof). De verdeelpuzzel is lastig door de vermaasde structuur.
- Het landelijk dekkend waterstofnet, zoals dat tot 2030 voorzien is, is nog niet de eindsituatie. De bouw loopt in alle scenario's door tot 2050. In de periode 2035-2050 worden mogelijk ook leidingen van het RTL (Europese Integratie: 2.000 – Internationale handel 3.000 km) omgezet naar waterstofleidingen.
- Veel van de werkzaamheden liggen echter al in de komende jaren, tot 2030/2035. Na 2035 focus op vertakkingen H2 netwerk, uitbreiding opslag en offshore infrastructuur.

Uitvoerbaarheid: koppelstations LNB – RNB is grote opgave

Er ligt een grote opgave voor het realiseren van zgn. koppelstations. In een verkenning is het niet vooraf duidelijk of een bestaand station uitgebreid kan worden, dan wel een nieuw station op een nieuwe locatie moet komen. Dat laatste vraagt een aanzienlijk impact op de ruimtelijke ordening en daarmee ook op de doorlooptijd.

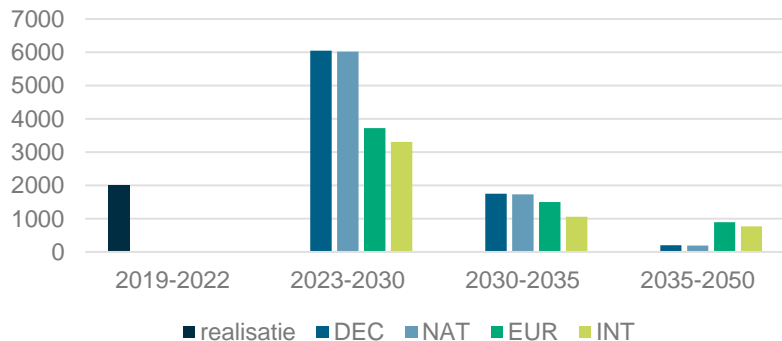
Niet alle stations kunnen uitgebreid worden, gegeven de locatie, maar zeker ook gezien de kabels die samenkomen bij zo'n station.

Nieuwe stations	Best-case	Worst-case	Gemiddeld per jaar
DEC	68	125	3 - 5
NAT	66	118	3 - 4
EUR	40	96	1 - 4
INT	24	67	1 - 2

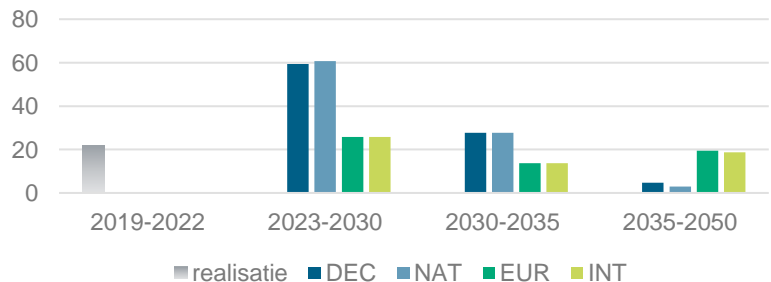
Uitvoerbaarheid: RNB's elektriciteit moet stappen omhoog

De uitvoerbaarheid moet nog enkele stappen omhoog, ondanks dat het historische tempo al is verhoogd. Met name de tussentijdse doelstellingen in de scenario's Decentrale initiatieven en Nationaal leiderschap veroorzaken een sterke stijging in en versnelling van de uitvoerbaarheid.

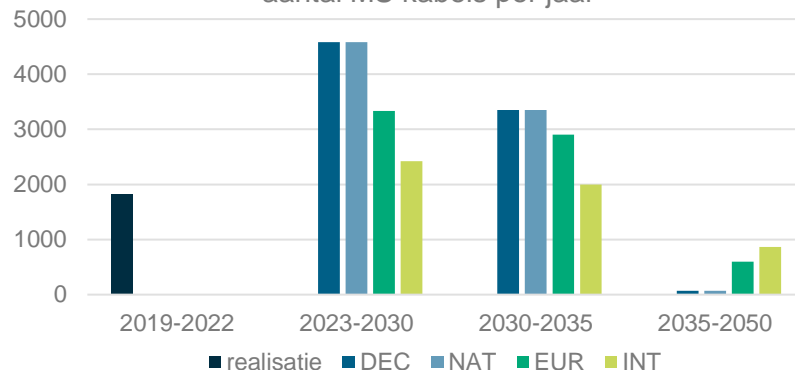
aantal km LS kabel per jaar



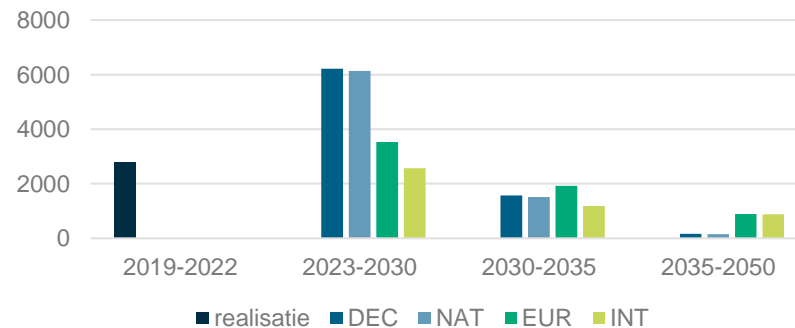
Aantal MS bouwblokken per jaar



aantal MS kabels per jaar



aantal MS/LS stations per jaar



Explosief stijgende vraag naar grondstoffen

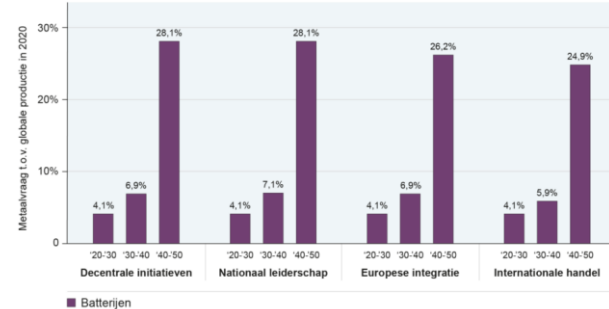
Metaal	Decentrale initiatieven	Nationaal leiderschap	Europese integratie	Internationale handel
Lithium	28%	28%	26%	25%
Dysprosium	26%	27%	25%	24%
Neodymium	23%	26%	17%	17%
Iridium	22%	28%	15%	16%
Praseodymium	14%	14%	13%	13%
Kobalt	7.2%	7.2%	6.8%	6.5%
Platinum	3.9%	4.8%	2.7%	2.8%
Nikkel	3.3%	3.3%	3.0%	2.9%
Zilver	1.2%	1.1%	0.9%	0.7%
Silicium	0.78%	0.70%	0.54%	0.43%
Koper	0.65%	0.66%	0.49%	0.44%
Aluminium	0.24%	0.23%	0.18%	0.15%
Staal	0.11%	0.12%	0.07%	0.06%
Mangaan	0.053%	0.054%	0.049%	0.047%

Percentage van de globale productie in 2020

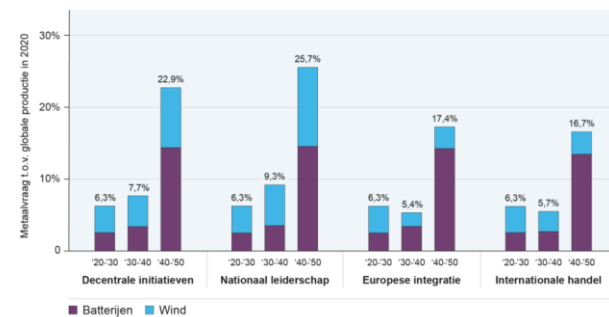


De tabel – de vraag naar metalen als percentage van de wereldwijde productie in 2020 – laat zien dat de volgorde in de periode 2040-2050 nauwelijks verschilt tussen de scenario's.

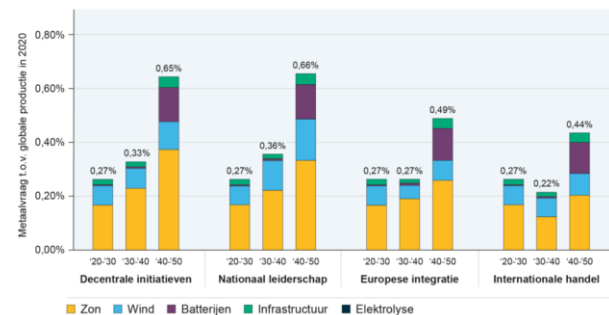
- Merk de zeer hoge percentages op – alléén voor de Nederlandse energietransitie.
- De top-5 metalen zijn met name relevant voor elektrolyzers, wind en batterijsystemen.
- De figuren rechts laten voor lithium, neodymium en koper de groei tot aan 2050 zien per scenario en decade met bovendien de opsplitsing naar de oorsprong van de metaalbehoefte.



Figuur G5: Metaalvraag Lithium voor II3050-scenario's



Figuur G6: Metaalvraag Neodymium voor II3050-scenario's



Figuur G12: Metaalvraag Koper voor II3050-scenario's

Schaarste aan benodigde materialen en materieel

Technologie	Realisatie in 2021 en/of 2022 (GW/jr)	Gevraagd (NAT) - lineair profiel (GW/jr)	Benodigde versnellings-factor
Zon PV	3,8	6,2	x 1,6
Wind-op-land	0,8	0,6	x 0,7
Wind-op-zee	0,5	2,8	x 5,6
Systeem-batterijen	<i>nihil</i>	1,4	x >100
Elektrische vervoer (aantallen)	85.000	340.000	x ca. 4
Elektrolyzers	<i>nihil</i>	1,8	x >1.000

- De tabel toont de koppeling tussen technologieën, de toename van het geïnstalleerd vermogen in het recente verleden en de benodigde toename van geïnstalleerd vermogen (met een als lineair verondersteld groeipad, van 2023 tot aan 2050) – en dus toename van alle bijbehorende materialen en hulpbronnen.
- Het tempo van productie (en installatie) moet fors omhoog om het eindbeeld voor 2050 te bereiken in het scenario Nationaal leiderschap. Bij andere scenario's ligt de ratio tussen benodigde en gerealiseerde vermogens over het algemeen lager. Het gaat om bijvoorbeeld een factor 1,6 voor zon en bijna een factor 6 voor wind-op-zee. Voor systeembatterijen en elektrolyzers staan we aan het begin van de groeicurve. Denk voor infrastructuur (niet opgenomen in de tabel) bijvoorbeeld aan de benodigde productiehoeveelheden van kabels, schakelvelden, (distributie)transformatoren en (betonnen) behuizingen van transformatorhuisjes.

Ruimte voor vragen

EnergieKompas2050



De overheid moet bepalen
in welke richting de energiemarkt
zich moet ontwikkelen, dat kan
je niet aan de markt overlaten.

Eens

Oneens



De Nederlandse bevolking
moet accepteren dat er overal
in Nederland windmolens en
zonneparken komen.

Eens

Oneens



www.energiekompas2050.nl



Netbeheer
Nederland

Afsluiting




Netbeheer
Nederland

backup

Achtergrond: Energy Transition Model (ETM)

Scenarios



- Bepalen scenario-parameters aanbod & vraag
- Prijzen & technische parameters technologieën

Demand	Supply	Costs
<ul style="list-style-type: none">Households 10%Buildings 17%Transport 19%Industry 45%Agriculture 1%Other 2%	<ul style="list-style-type: none">ElectricityRenewable electricityFossil heatRenewable heatHydrogenTransport fuelsAlternative fuelsCO₂ biomassFuel chain emissionsSecurity of supplyFuel productionElectricity balanceMerit orderFlexibilityImport/Export	<ul style="list-style-type: none">Fuel pricesTransportCombustion plantsNuclear plantsWind turbinesImported electricityHydro electricSolar powerFlexibilityGeothermalInfrastructureCO₂ emissionsEmploymentHeating technologies

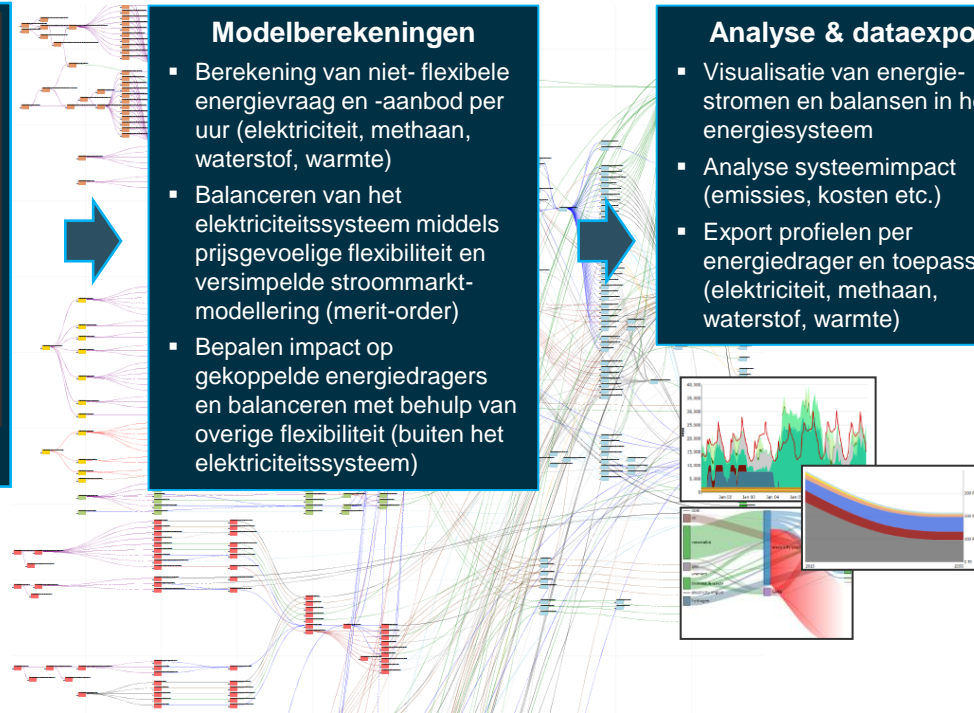
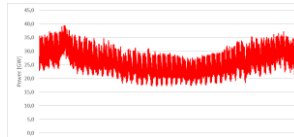
Modelberekeningen

- Berekening van niet-flexibele energievraag en -aanbod per uur (elektriciteit, methaan, waterstof, warmte)
- Balanceren van het elektriciteitssysteem middels prijsgevoelige flexibiliteit en versimpelde stroommarktmodellering (merit-order)
- Bepalen impact op gekoppelde energiedragers en balanceren met behulp van overige flexibiliteit (buiten het elektriciteitssysteem)

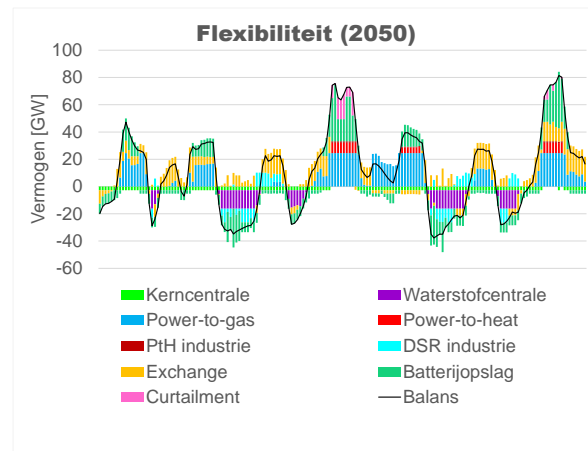
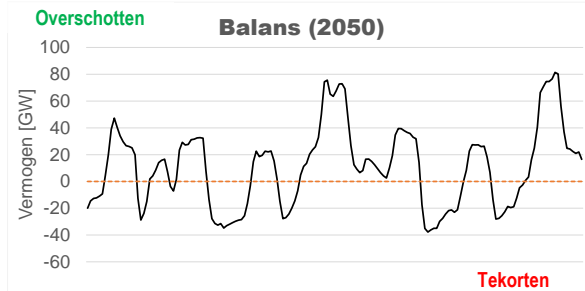
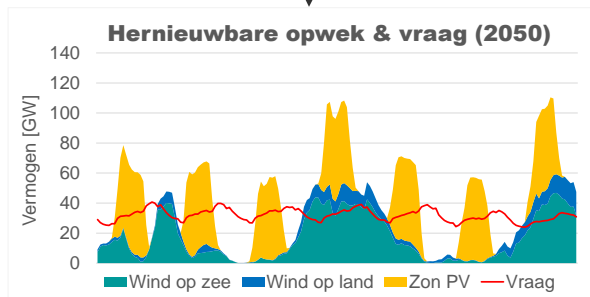
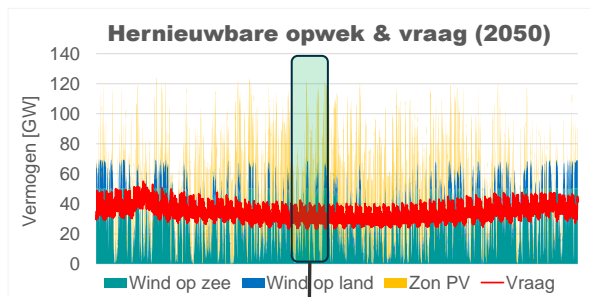
Analyse & dataexport

- Visualisatie van energiestromen en balansen in het energiesysteem
- Analyse systeemimpact (emissies, kosten etc.)
- Export profielen per energiedrager en toepassing (elektriciteit, methaan, waterstof, warmte)

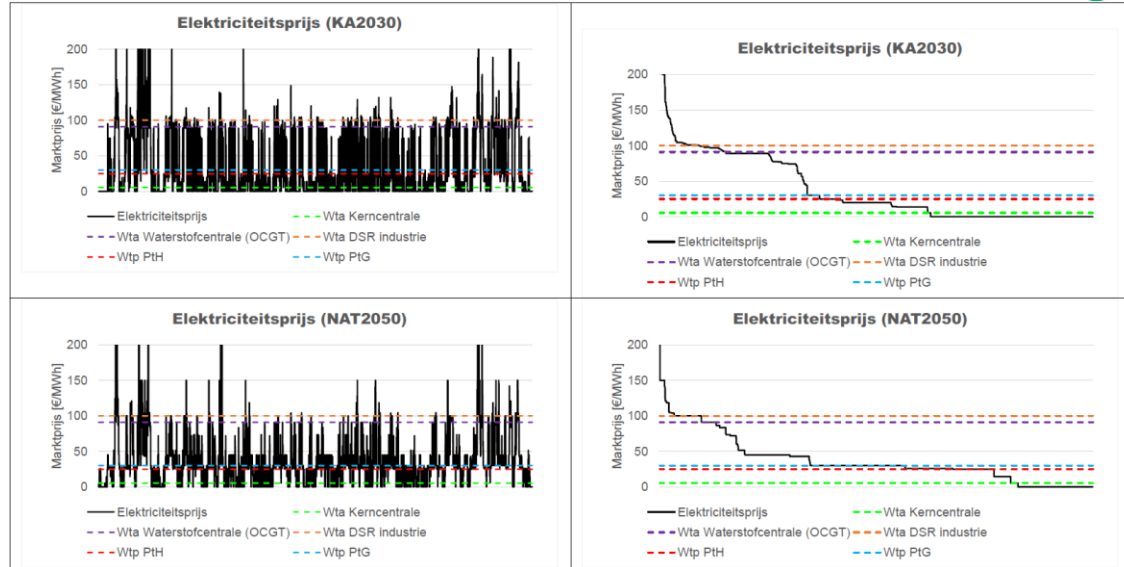
Import aanbod- & vraagprofielen



Om deze tekorten en overschotten op te vangen moet een groot en divers flexibiliteitsportfolio worden gerealiseerd



Achtergrond: elektriciteitsmarkt



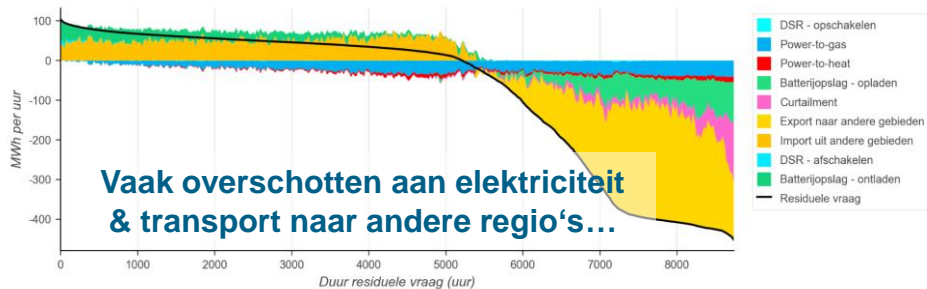
Achtergrond: Aangenomen flexibiliteiten in de scenario's

*(Opslagvolume)

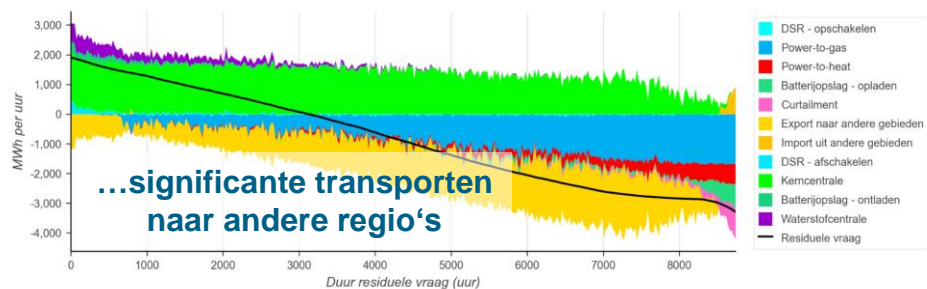
Categorie	Technologie	Eenheid	2019	2025	2030	2040				2050			
			Ref	KA	KA	DEC	NAT	EUR	INT	DEC	NAT	EUR	INT
Elektriciteits-centrales	Nucleair	GW	0,5	0,5	0,5	-	1,5	4,0	-	-	3,0	8,0	-
	Kolen	GW	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Methaan	GW	20	16,5	16	7	6	6	4	-	-	-	-
	Waterstof	GW	0	0	0	11	9	9	11	20	15	11	15
Back-up warmtenet	E-boilers	TWh	-	-	-	1	1	-	-	4	4	-	-
	Gasketels	TWh	1	1	-	1	3	3	2	1	3	4	6
Aanbodrespons	Curtailment	GW	-	13	31	43	49	41	34	47	40	36	48
		TWh	-	3	15	8	11	9	9	5	9	7	13
Flexibele elektriciteitsvraag	DSR industrie	GW	0,7	0,8	2	5	5	3	3	8	10	4	3
	Power-to-gas	GW	-	0,5	3	15	17	9	8	25	25	16	10
	Power-to-heat	GW	-	1,5	3	10	10	5	4	11	11	6	3
Opslag	Batterijopslag	GW	0,0	2,7	9,3	42,4	42,0	29,2	24,7	70,3	59,7	38,6	40,6
		TWh*	0,0	< 0,1	0,1	0,4	0,5	0,3	0,3	0,7	0,7	0,5	0,5
	Waterstofopslag	TWh*	-	-	1	11	9	10	15	21	14	14	29
	Methaanopslag	TWh*	-	44	36	13	14	20	15	6	5	12	1
	Warmteopslag	TWh*	-	-	8	11	11	5	4	14	12	7	3
Import / export	Elektriciteit	GW	7,8	9,2	12,8	14,8	14,8	14,8	14,8	18,8	18,8	28,8	28,8
		TWh netto import	3	7,5	-10	-13	-30	-23	-12	-7	-26	-28	-22
	Waterstof	GW	-	-	10	15	15	15	15	20	20	25	25
		TWh netto import	-	-	-15	8	-31	27	69	-7	-8	1	95
	Methaan	GW	106	106	105	100	100	100	100	95	95	90	90
		TWh netto import	99	188	182	46	45	53	48	-1	2	43	0

Achtergrond: de regionale inzet van flexibiliteit

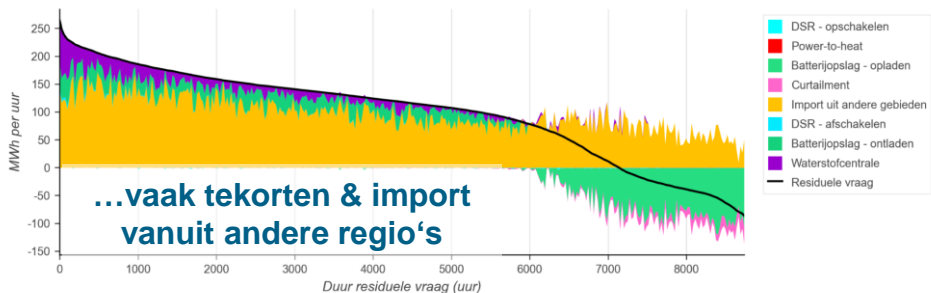
Landelijk gebied (NAT 2050)



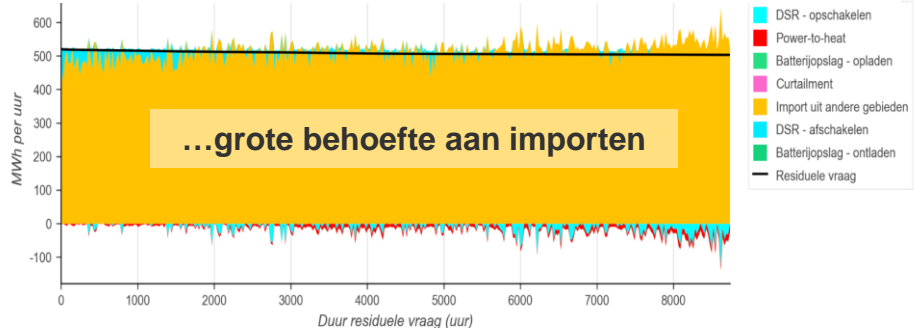
Industriecluster met nucleair & wind op zee (NAT 2050)



Stedelijk gebied (NAT 2050)



Industriecluster zonder wind op zee (NAT 2050)



Tracé lengtes en breedten

Asset	Tracé- breedte (m)	Decentraal	Nationaal	Europees	Internationaal	
<u>TenneT</u>	220/380kV-net	100	320	n/a	510	n/a
	110/150kV-net*	35	955	955	720	555
<u>Gasunie</u>	RTL**	2	0	0	<2.000	<3.000
	HTL H2***	70	150	150	80	260
	HTL CH4***	70	0	0	0	0
Warmte, CO₂	Warmtenet	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	CO2-net	n/a	nihil	nihil	nihil	nihil
<u>RNB's</u>	MS-kabels	1-10	50.000	50.000	47.000	40.000
	LS-kabels	1	54.000	54.000	47.000	40.000



Netbeheer
Nederland

Vragen