



Energiemix Groningen

Analyse voor Programma Energie



Committed to the Environment

Energiemix Groningen

Analyse voor Programma Energie

Delft, CE Delft, juni 2025

Publicatienummer: 25.240321.003

Notitie opgesteld voor: Provincie Groningen

Deze notitie is opgesteld door: Frans Rooijers, Charley Bakker, Marieke Nauta, Ward van Santen en Joeri Vendrik

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, mobiliteit en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Samenvatting

De provincie Groningen stelt onder de omgevingsvisie een Programma Energie op. Hiervoor heeft de provincie CE Delft gevraagd een kennisdocument op te stellen.

In dit kennisdocument heeft CE Delft diverse feiten op een rijtje gezet over energiebronnen, opslagtechnieken en transport van energie. De feiten zijn opgenomen als factsheets in dit document.

Daarnaast zijn vier energiemixen doorgerekend voor het zichtjaar 2050, van diverse energiebronnen, om te bekijken wat de effecten van deze energiemixen zijn voor de provincie Groningen. Deze energiemixen zijn deels gebaseerd op leidende principes die bepaald zijn door Provinciale Staten in de omgevingsvisie en deels op wensen vanuit de samenleving.

Energiebronnen

Als potentiële provinciale bronnen van energie worden beschouwd: zon, wind, kernenergie, fossiel + CCS¹, getijdenenergie en biomassa, met de grootheden zoals genoemd in Tabel 1.

Tabel 1 - Potentiële energiebronnen Groningen

Energie	Huidige productie		Realistische potentie Groningen		Provinciale beperkingen	
	(GW)	(PJ/j)	(GW)	(PJ/j)	(GW)	(PJ/j)
Biomassa	–	0	–	1,2		
Zon op dak	0,8	2,3	8,4	25,3	N.v.t.	
Zon in veld	0,8	2,5	8,6	26,1	2,4	8,3
Wind op land NL	0,9	8,3	1,9	22,7	1,1	12,5
Wind op zee NL	0,6	8,6	4	73		
Kernenergie *	0	0	1,6	43,2	Geen kernenergie	
Fossiel + CCS *	0	0	1,2	25,2		
Getijdenenergie	0	0	0,06	0,5		

* Kernenergie en fossiel + CCS zijn beperkt Gronings, omdat zowel het uranium als het aardgas van buiten Groningen komen. De centrale is wel in Groningen gepositioneerd.

Het gebruik van zon in veld en wind op land is gemaximaliseerd op het RES-bod voor 2030.

Energievraag

Voor de doorrekening is steeds uitgegaan van dezelfde vraag naar energie in alle sectoren van de Groningse samenleving: Gebouwde omgeving, Mobiliteit, Industrie, Landbouw en Datacenters. Omdat de broeikasgasemissies in 2050 netto nul moeten zijn, conform de Klimaatwet, zal de vraag naar elektriciteit sterk toenemen door elektrificatie in alle sectoren: warmtepomp in plaats van cv-ketel, elektrische auto's, elektrificatie van industriële processen. De vraag naar aardgas zal naar nul gaan, waarbij groengas en/of waterstof de rol van aardgas deels overnemen.

Balans van vraag en aanbod: zelfvoorzienend?

Uit de analyse blijkt dat het energiegebruik in Groningen altijd groter is dan met de lokale bronnen kan worden geproduceerd. In geen van de scenario's is Groningen zelfvoorzienend. Er is wel voldoende elektriciteit en warmte uit de diverse bronnen om in de vraag naar elektriciteit en warmte te voorzien. In twee scenario's is er ook voldoende productie van groene waterstof, maar in alle scenario's is er een tekort aan biomassa van eigen bodem om groengas en biofuels te maken. Vanzelfsprekend kunnen deze, net als nu het geval is,

¹ CCS = Carbon Capture and Storage, oftewel: afvangen en opslag van CO₂.

worden geïmporteerd of kan de vraag naar deze energiedragers worden vermindert door meer in te zetten op waterstof en elektrificering. De import van biomassa kan plaatsvinden in de vorm van groengas en biofuels, of in de vorm van biomassa dat in Groningen wordt omgezet in groengas en biofuels. Voor de productie van groene waterstof gaan we uit van extra elektrolyzers in Eemshaven of Delfzijl, die de extra windelektriciteit (meer dan de 4 GW die benodigd is voor de Groningse elektriciteitsvraag) omzetten in waterstof voor de Nederlandse vraag naar waterstof. Hiervan zal ook een deel in Groningen gebruikt moeten worden.

4B's: Beschikbaarheid - Ruimtelijk effect

De beschikbaarheid is gezien als de beschikbaarheid van ruimte. Het verschil in ruimtelijke effecten van de verschillende scenario's wordt vooral bepaald door zon in veld, dat ruimte vergt. Los hiervan is het ruimtegebruik in de verschillende scenario's erg vergelijkbaar. In alle scenario's is er veel extra ruimte nodig voor grotere hoogspanningsstations, elektrolyzers, batterijen, regelbare elektriciteitscentrales, opslag van waterstof. De twee belangrijkste redenen hiervoor zijn: de aanlanding van elektriciteit van wind op zee én de verdubbeling van het gebruik van elektriciteit in alle sectoren; van warmtepompen in huizen tot elektrificatie in de industrie.

Niet alleen de energievraag en -productie in Groningen telt als het gaat om de ruimte die nodig is voor het energiesysteem. Omdat Groningen deel uitmaakt van het Nederlandse en zelfs Europese energiesysteem, zullen ook leidingen en hoogspanningskabels nodig zijn voor elektriciteit en gas, die door Groningen naar andere delen van Nederland gaan. Dit vergt ook ruimte.

4B's: Betaalbaarheid

De kosten van de verschillende scenario's zijn voor de verschillende onderdelen bepaald en leiden tot een bandbreedte van € 4,9 tot 6,0 miljard per jaar.

De kostenverschillen leiden niet direct naar een betere betaalbaarheid voor de Groningse bewoners en bedrijven, omdat de kosten van energie landelijk en vaak zelfs Europees bepaald worden. Ook netwerktarieven en belastingen op energie spelen een belangrijke rol. De betaalbaarheid is het beste in de hand te houden door de energievraag te verlagen.

4B's: Betrouwbaarheid

Alle energiemixen zijn betrouwbaar, maar de risico's met bepaalde technieken verschillen wel. De mix met kernenergie en fossiel + CCS heeft de grootste mogelijke impact op de omgeving, met een heel kleine kans dat er iets gebeurt.

4B's: Bestendigheid

Alle energiemixen zijn klimaatneutraal, daarin verschillen ze niet. Het verschil zit in de onuitputtelijkheid van de bronnen. De energiemix met kernenergie is het meest afhankelijk van een eindige bron, die in tegenstelling tot zon en wind geïmporteerd moet worden.

Invloed van de provincie

De provinciale overheid heeft de meeste invloed op de ruimtelijke inrichting en om ervoor te zorgen dat de kwaliteit van de leefomgeving hoog blijft. Hier ligt een grote uitdaging om tegelijkertijd veel hernieuwbare energiebronnen, veel elektrische infrastructuur en de aanlanding van wind op zee landschappelijk in te passen.

Preferente energiemix

Om meerdere redenen is de energiemix met zoveel mogelijk zon op daken in de uitgevoerde analyse (potentie, directe kosten, ruimte, externe kosten) het meest aantrekkelijk voor Groningen. Belangrijke randvoorwaarde daarbij is wel dat de ruim 8 GW (zie Tabel 1) met zo min mogelijk extra elektrische infrastructuur gepaard gaat.

Inhoud

Samenvatting		2
1	Inleiding	6
	1.1 Reeds gemaakte keuzes door de provincie	7
	1.2 Wensen vanuit de samenleving	9
	1.3 Energiebronnen	10
	1.4 Flexibiliteit	12
	1.5 Warmtebronnen	13
2	Modelberekeningen energiescenario's	14
	2.1 Energievraag	14
	2.2 Energiemixen en invulling scenario's	16
	2.3 Tekorten	19
	2.4 Gevoeligheidsanalyse	20
	2.5 Effecten van energiesysteem Nederland in Groningen	22
3	Analyse	23
	3.1 Hoe kan Groningen in 2050 in haar eigen energie voorzien?	23
	3.2 Wat zijn de globale kosten per energiedrager voor elektriciteit, groengas/waterstof en warmte?	24
	3.3 Wat zijn de dominante factoren voor de kosten van het energiesysteem?	26
	3.4 Wat is er qua infrastructuur nodig? Met welke risico's?	27
	3.5 Hoeveel energieomzetting is er nodig en welke omzetting is nodig?	30
	3.6 Wat voor opslag/flexibiliteit is nodig?	33
	3.7 Wat is het ruimtelijk gevolg?	34
	3.8 Vraag en aanbod in deelgebieden	39
4	Invloed van de provincie op het energiesysteem	41
	4.1 Leefbaarheid	41
	4.2 Mobiliteit	42
	4.3 Economie	43
	4.4 Ruimte	44
	4.5 Energie-infrastructuur	45
	4.6 Provinciaal Energie Bedrijf	47
	4.7 Conclusie	47
5	Mogelijk beoordelingskader	48
	5.1 Beoordeling brede welvaart	48
	5.2 Beoordeling 4 B's	50
	Literatuur	53



A	Energiescenario's II3050	54
	A.1 Scenario's	55
	A.2 Energievraag	57
	A.3 Energiebronnen	59
B	Welvaartsverkenning: kosten-batenanalyse	62
	B.1 Nationale welvaart: waardering van de vier energiemixen	62
	B.2 Regionale spin-off: waardering van de vier energiemixen	68
C	Sankey-diagrammen	72

1 Inleiding

Voor het Programma Energie heeft CE Delft vier energiemixen voor 2050 doorgerekend op basis van energievraagscenario's voor de provincie Groningen. Dit is gedaan voor elektriciteit, maar ook voor waterstof, groengas, biofuels en warmte. De basis hiervoor is de vraag naar energie, die net als het aanbod een variatie kent. Voor het minimaliseren van het aantal variabelen, en om inzicht te krijgen in vooral de energiebronnen, is op verzoek van de provincie de gemiddelde vraag in de verschillende scenario's wel vastgezet. We hebben bij het opstellen van de vier energiemixen de specifieke randvoorwaarden meegenomen die zijn vastgesteld door Provinciale Staten (zie Programma Energie, Bouwstenen voor het Groningse energiesysteem van de toekomst).

Voor elke energiemix is berekend voor de provincie Groningen:

- Hoeveel duurzame energie is er in 2050 nodig om de provincie Groningen in haar eigen energievraag te voorzien?
- Hoe kan Groningen in 2050 in haar eigen energievraag voorzien?
- Wat is het ruimtelijk gevolg?
- Wat zijn de globale kosten per energie-eenheid (in MJoule, OPEX en CAPEX) voor elektriciteit, groengas/waterstof en warmte?
- Wat zijn de dominante factoren die de prijsverschillen veroorzaken?
- Wat is er qua infrastructuur nodig? Met welke risico's?
- Hoeveel energieomzetting is er nodig en welke omzetting is nodig?
- Wat voor opslag is nodig?

CE Delft heeft voor deze studie een model opgesteld, waarmee de vraag en het aanbod van energie in Groningen is doorgerekend, de conversieverliezen worden meegenomen en duidelijk wordt hoe alle aanbodopties leiden tot het bedienen van de vraag. Door middel van Sankey-diagrammen (Paragraaf 3.5) zijn de stromen en conversieverliezen inzichtelijk gemaakt.

Het spreadsheetmodel met de data voor elk scenario is meegeleverd, zodat in de toekomst aanvullende berekeningen, aanpassingen en dergelijke door de eigen ambtenaren kunnen worden uitgevoerd.

Een scenario is het geheel van energievraag tot en met de energiebronnen. De energiemix betreft de keuze van energiedragers (elektriciteit, waterstof, groengas, biofuels, warmte) en energiebronnen (zon, wind, kernenergie, fossiel + CCS (Carbon Capture and Storage), biomassa) om in de vraag te voorzien. Vervolgens zijn het ruimtebeslag, de directe en indirecte kosten en noodzakelijke import van energie berekend.

Voorzien in eigen vraag

Als uitgangspunt is de wens van de opdrachtgever genomen: dat de energie die in Groningen gebruikt wordt, ook in Groningen geproduceerd wordt. Dit geldt voor zowel elektriciteit, waterstof, groengas, biofuels als warmte.

1.1 Reeds gemaakte keuzes door de provincie

In 2020 heeft de provincie een Startnotitie Omgevingsvisie gepubliceerd, die de visie van de provincie met betrekking tot grote maatschappelijke opgaven beschrijft en de aanpak om te komen tot een omgevingsvisie (Provincie Groningen, 2020). In 2022 volgde hierop het Koersdocument Omgevingsvisie, dat een eerste duiding geeft aan de koers voor de verschillende ruimtelijke opgaven (Provincie Groningen, 2022a). In 2023 is het ruimtelijk voorstel NOVEX verschenen (Provincie Groningen, 2023a), waarvan het proces parallel liep aan de in 2024 gepubliceerde NRD Omgevingsvisie, waarin de effecten op de leefomgeving van de kaders van de omgevingsvisie worden geschetst (Witteveen+Bos, 2024).

Het Programma Energie zal een programma onder de omgevingsvisie² worden. De leidende principes in de omgevingsvisie fungeren dan ook als uitgangspunt. Als voorbereiding op het Programma Energie is in 2024 het Bouwstenendocument gepubliceerd (Provincie Groningen, 2024a). Dit document vormt de basis voor het nog te schrijven Programma Energie en geeft inzicht in de scope.

In deze paragraaf worden eerst de belangrijkste uitgangspunten uit het ruimtelijk voorstel NOVEX opgesomd, gevolgd door de kaders die geschetst worden in het PlanMER in de vorm van vier scenario's. Vervolgens bespreken we de belangrijkste punten zoals beschreven in het Bouwstenendocument en ten slotte geven we een samenvatting van het RES-bod (RES staat voor Regionale Energie Strategieën) van de provincie Groningen. Het RES-bod is door de opdrachtgever als bovengrens gesteld voor het gebruik van zon in veld en wind op land.

Ruimtelijk voorstel Novex (2023)

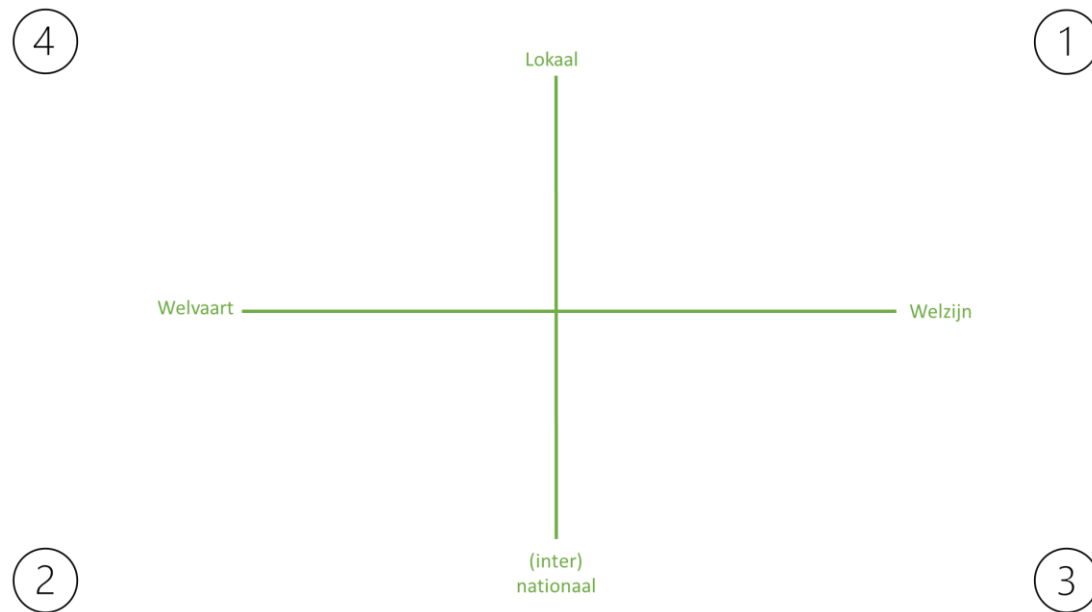
- We staan kleine dorpsmolens tot 20 meter op boerenerven en bij dorpen toe.
- We staan positief tegenover de opwek van zonne-energie op daken, parkeerplaatsen en op gronden waar ander gebruik niet mogelijk is.
- Wij zien voor nieuwe bovengrondse hoogspanningsverbindingen geen plek.
- We bieden ruimte aan interessante, innovatieve elementen binnen een brede energiemix.
- Bij de productie van waterstof kijken we naar het benutten van restwarmte.
- Waar nodig wordt de gasinfrastructuur aangepast en uitgebreid, zodat het veilig kan dienen als waterstofnetwerk.
- Bij nieuwe ontwikkelingen, zoals de aanleg van een waterstofnetwerk en warmtenetten, streven we ernaar dat de hele provincie wordt bediend.
- We bieden onder voorwaarden ruimte voor de aanlanding en aansluiting van elektriciteit van wind op zee in de Eemshaven.
- Voor toekomstige, grotere volumes aanlanding is productie van waterstof op zee randvoorwaardelijk, zodat de ruimte voor benodigde energie-infrastructuur rondom de Eemshaven beperkt wordt.
- Het aansluiten van bedrijfsmatige gebruikers begint bij het realiseren van aftakkingen op het waterstofnetwerk voor onze vijf XXL bedrijventerreinen.

² Daarnaast worden de inzichten vanuit de Leefbaarheidsvisie en de Economische visie hierin meegenomen.

PlanMER omgevingsvisie (2024)

In de NDR (Notitie Reikwijdte en Detailniveau) voor de omgevingsvisie worden de volgende scenario's gehanteerd, met de assen Welvaart-Welzijn en Lokaal-(Inter)nationaal. Hierop sluiten we aan met het analyseren van de mix van energiebronnen voor Groningen.

Figuur 1 - Scenario's Groningen in planMER omgevingsvisie



Geconcretiseerd naar energie is dit uitgewerkt in Paragraaf 2.2.

Bouwstenendocument Programma Energie (2024)

In het Bouwstenendocument zijn uit verschillende beleidsdocumenten de volgende keuzes gedestilleerd:

- Geen nieuwe plannen voor grootschalige zon en wind op land in het buitengebied.
- Waar dat kan, stimuleren we zon op dak.
- We zetten in op een efficiënt gebruik van energie en energienetwerk, waarbij de transportcapaciteit ordenend principe is en zodat zoveel mogelijk partijen toegang hebben tot (duurzame) energie.
- We zoeken opwek en gebruik van energie zo dicht mogelijk bij elkaar om transport te beperken.
- We streven naar proportionaliteit: schaal zoveel mogelijk bij schaal.
- Bij nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen maken we een bewuste afweging hoe we omgaan met de benodigde ruimte voor energie, waarbij multifunctioneel ruimtegebruik ons uitgangspunt is.
- Opwekking van hernieuwbare energie doen we met de samenleving. We willen dat Groningers kunnen profiteren van de opbrengsten van energieprojecten in hun leef-omgeving. Procesparticipatie is noodzaak. We streven naar 50% lokaal eigendom. Als dat niet haalbaar is, kan afdracht in een gebiedsfonds uitkomst bieden.

Regionale Energie Strategieën (2.0)

- De ambitie in de RES 2.0 is 23 PJ (5,8 TWh) per jaar opwek van hernieuwbare elektriciteit op land. Voor wind op land is er 12,5 PJ (3,5 TWh) per jaar gerealiseerd of in ontwikkeling, en voor zon in veld is dit 8,3 PJ (2,3 TWh). Maximaal kan dit nog iets groeien (RES+) door wat meer ambitieuze inzet van de techniek tot 10,2 voor zon en 14 PJ/j voor wind. Deze ambitie is door de opdrachtgever als maximum voor zon in veld en wind op land in 2050 gesteld.

1.2 Wensen vanuit de samenleving

Naast de leidende principes die door de provincie zijn geformuleerd, zijn er ook wensen vanuit de samenleving. De meest concreet gemaakte wens is die vanuit de industrie in Noord-Nederland, die in 2024 de Cluster Energie Strategieën 3.0 heeft gepubliceerd. De belangrijkste punten uit dit document benoemen we in deze paragraaf. De wens vanuit de industrie hanteren we niet als uitgangspunt in de studie; het zegt enkel iets over een mogelijke ontwikkelrichting.

Cluster Energie Strategieën (3.0)

- Er is een geplande productiegroei van de industrieclusters. Concreet is er ook een plan voor een nieuw bedrijventerrein in de Oostpolder (van 600 hectare).
- Bedrijven geven aan dat elektriciteit de voornaamste energiebron in 2050 zal zijn.
- Blauwe waterstof kan op korte termijn voorzien in een strategische hoeveelheid waterstofproductie, als voorloper op groene waterstof.
- Grote rol voor CCS als schakel.
- Elektriciteitsproductie uit biomassa en waterstof.
- Negatieve emissies.
- CCU (Carbon Capture & Utilisation, gebruik van de afgevangen koolstof) is ook belangrijk.
- Restwarmte van industrie gebruiken voor warmte voor de gebouwde omgeving (een besparing van 136 miljoen m³ aardgas is voorzien, en kan nog hoger oplopen).
- Wind op zee: aanlanding 2 GW in 2032 en 2 GW (extra) in 2032-2040.
- Elektrolysecapaciteit 5,6 GW, waarvan 4 GW vanuit aanlanding van wind op zee.
- Opslag van waterstof en/of luchtcompressie in ondergrondse cavernes.
- Batterijen: GiGa Storage grootschalige batterijopslag (Delfzijl) -> 300 MW/1.200 MWh, RWE 35 MW/41 MWh (Eemshaven).
- Verhoging energie-efficiëntie.

Warmtebenutting

Door de grote hoeveelheid restwarmte die aanwezig zal zijn en blijven in de Eemshaven, en de behoefte om gebouwen te blijven verwarmen (ook na isolatie is er een warmtevraag), is er de wens om de warmte vanuit de industriële clusters indien mogelijk te gebruiken. Er is veel restwarmte beschikbaar, die echter lang niet allemaal nuttig gebruikt kan worden, omdat de locaties van de restwarmtebronnen te veraf liggen van de warmtevraag, en daardoor andere technieken, zoals warmtepomp en groengas, goedkoper zijn voor de energiegebruiker.

1.3 Energiebronnen

Om in de vraag naar energie in Groningen te voldoen, zijn meerdere energiebronnen beschikbaar. De energiebronnen kunnen in verschillende mixen worden ingezet om vraag en aanbod met elkaar in balans te brengen. Voor Groningen onderscheiden we de volgende bronnen:

- wind op land;
- wind op zee;
- kernenergie;
- zon op dak;
- zon in veld;
- getijdenenergie;
- restwarmte;
- fossiel aardgas met CCS;
- biomassa - reststromen.

Al deze bronnen zijn uitvoerig beschreven in de factsheets. In deze factsheets zijn ook nog enkele andere bronnen opgenomen, die op dit moment nog geen of een kleine rol in het energiesysteem hebben. Daarom nemen we deze bronnen niet mee in de scenario's. Ook waterstof staat niet in het rijtje bronnen: dat heeft ermee te maken dat waterstof op zichzelf geen bron is van energie; het is een drager die wordt geproduceerd uit elektriciteit (groene waterstof) of uit aardgas in combinatie met CCS (blauwe waterstof).

Wind op land

Voor wind op land geldt dat de huidige hoeveelheid als maximum wordt aangemerkt. Enkel kleine windturbines (max. 20 m hoog, circa 50 kW gekoppeld aan een verbruiker) zijn nog mogelijk. De huidige windparken worden gerationaliseerd, oftewel: nieuwe turbines met strakke lijnen. De huidige capaciteit van 1 GW kan met de kleine windturbines groeien tot maximaal 1,1 GW (2.000 kleine windturbines erbij). De elektriciteitsproductie is dan 12,5 PJ/jaar. Dit kan nog iets hoger worden door kleine windturbines: 14 PJ/jaar. Het potentieel van wind op land in Groningen ligt hoger; zo gaan de netbeheerders er in de II3050-studie (Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050) in hun meest ambitieuze scenario uit van bijna 2 GW (overeenkomend met bijna 23 PJ/j), dus bijna een verdubbeling (Netbeheer Nederland, 2023a).

Wind op zee

In de landelijke II3050-scenario's wordt 35-52 GW wind op zee geplaatst, die voor een deel via Eemshaven wordt gekoppeld aan het landelijke elektriciteitsnet. Een deel van de elektriciteit wordt op zee omgezet in (groene) waterstof, een deel wordt in de kustlocaties, waaronder Eemshaven, bij overschotten omgezet in waterstof. We rekenen de hoeveelheid elektriciteit die in Eemshaven aanlandt toe aan Groningse productie; 4 GW, oftewel 73 PJ/j. Deze 4 GW is naar ons inzicht ook de maximale hoeveelheid die aan Groningen qua elektriciteitsgebruik toegeschreven kan worden. De maximale vraag in de provincie is op een gegeven moment namelijk zo'n 3 GW, waardoor bij meer dan 4 GW een significant deel van de elektriciteit niet direct lokaal gebruikt kan worden. Dit betekent dat veel extra opslag (via batterijen/elektrolyzers) en omzetting van deze elektriciteit nodig zou zijn. Het gebruik van deze hoeveelheid batterijen/elektrolyzers is inefficiënt, doordat ze de mismatch tussen aanbod en lokale vraag moeten overbruggen, en is daardoor erg duur. Benutting van wind op zee door extra elektrolyzers die elektriciteit omzetten in groene waterstof, behoort wel tot de mogelijkheden.

Kernenergie

Om een beeld te kunnen schetsen van de impact van kernenergie, is dit in één scenario meegenomen. Vestiging in de Eemshaven is daarmee het meest voor de hand liggend, omdat dit ook door het Rijk als mogelijke locatie was en is aangemerkt. Als kernenergie wordt toegepast, zal dat een EPR-centrale van 1,6 GW zijn of meerdere SMR's (Small Modular Reactors) van 200 MW (zo mogelijk verspreid over de provincie om ook de warmte te kunnen gebruiken). In Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn rekenen we met acht SMR's van elk 200 MW.

Feitelijk is kernenergie geen lokale energiebron, omdat de grondstof uranium geïmporteerd moet worden.

Provinciale Staten hebben zich op 5 juni 2024 uitgesproken tegen de bouw van een kern-centrale in Groningen. Ook wordt kernenergie in de concept-omgevingsvisie uitgesloten (Provincie Groningen, 2025).

Zon op dak

Zon op dak wordt gestimuleerd en behoort in het Bouwstenendocument tot de mogelijkheden. Op dit moment is er 2,3 PJ/j gerealiseerd. Het potentieel is ingeschat op 25,3 PJ/j, oftewel 7 TWh/jaar. De systemen worden maximaal aangesloten op de helft van het vermogen (waarbij een klein deel van de elektriciteit niet wordt benut, maar de infrakosten beperkt blijven).

Zon in veld

Voor zon in veld zet Groningen in de RES in op 2,4 GW, ofwel 8,3 PJ. In theorie zou er meer zon in veld geplaatst kunnen worden: het meest ambitieuze scenario van de II3050 gaat uit van 8,6 GW, ofwel 26,1 PJ, dus grofweg een factor 3 hoger. Bij zonne-energie wordt rekening gehouden met extra infrastructuur om de elektriciteit te kunnen transporteren. De systemen worden maximaal aangesloten op de helft van het vermogen (waarbij een klein deel van de elektriciteit niet wordt benut, maar de infrakosten beperkt blijven). De laatste jaren zijn er grote projecten gerealiseerd van zonnepanelen op landbouwgronden en bedrijventerreinen. Maatschappelijk is er weerstand ontstaan tegen de grootschalige zonnepanelen op landbouwgronden. In het Bouwstenendocument is uitbouw van deze toepassing van zonne-energie betiteld als ongewenst. Er is wel een potentieel, maar in deze studie wordt dit gemaximaliseerd tot de ambities in het RES-bod (8,3 PJ, oftewel 2,3 TWh per jaar).

Fossiel met Carbon Capture and Storage (CCS)

In Groningen is één concreet plan voor grootschalige CCS, namelijk het plan H2M van het Noorse Equinor en het Duitse Linde. Het plan is om 210.000 ton blauwe waterstof per jaar te maken. Dit komt overeen met iets meer dan 25 PJ/j, ofwel een installatiecapaciteit van 1,2 GW. Feitelijk is CCS echter geen lokale energiebron, omdat de grondstof aardgas geïmporteerd moet worden. Blauwe waterstof is een energiedrager die met name in de transitie naar groene waterstof relevant is om snel een grote hoeveelheid waterstof in het energiesysteem te kunnen brengen. Enkel in Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn heeft blauwe waterstof in 2050 nog een rol in het energiesysteem. Het is een klimaatneutrale, maar niet een hernieuwbare techniek.

Getijdenenergie

In Nederland is in theorie een hoeveelheid getijdenenergie van meer dan 200 PJ/j mogelijk (Witteveen+Bos & CE Delft, 2021). Deze potentie bestaat voornamelijk uit de potentie van Dynamic Tidal Power: een techniek waarbij een kilometerslange strekdam in zee wordt gebouwd. Door de aanwezigheid van Natura 2000-gebied (de Waddenzee, en ook boven de Waddeneilanden) en andere ruimtelijke beperkingen (zoals zandwinningsgebieden, gebied bedoeld voor scheepvaart en voor windparken) is de potentie van Dynamic Tidal Power zeer beperkt in Groningen.

Naast Dynamic Tidal Power kent Nederland nog een kleine potentie voor getijdenenergie door verval en door stroming (met name bij waterkeringen, en deels op zee). In heel Nederland is deze potentie net iets meer dan 1 PJ/j (Witteveen+Bos & CE Delft, 2021).

Biomassa: reststromen

In Groningen is de beschikbare hoeveelheid biomassa beperkt. We hebben aangenomen dat de beschikbare hoeveelheid biomassa uit reststromen volledig ter beschikking kan komen voor energietoepassingen. Dit gaat om verschillende typen snoeihout, groenafval, fruitafval en mest.

In Tabel 2 staat een overzicht van de verschillende bronnen. In de linker kolom staat voor elke bron de huidige productie, in de middelste kolom de realistische potentie voor 2050 en in de rechter kolom eventuele beperkingen zoals de provincie die voor zich ziet.

Tabel 2 - Energiebronnen Groningen

Energie	Huidige productie		Realistische potentie Groningen 2050		Beperkingen t.g.v. provinciaal beleid	
	(GW)	(PJ/j)	(GW)	(PJ/j)	(GW)	(PJ/j)
Biomassa	–	0	–	1,2		
Zon op dak	0,8	2,3	8,4	25,3	N.v.t.	
Zon in veld	0,8	2,5	8,6	26,1	2,4 GW	8,3
Wind op land NL	0,9	8,3	1,9	22,7	1,1 GW	12,5
Wind op zee NL	0,6	8,6	4	73		
Kernenergie	0	0	1,6	43,2	Geen kernenergie	
Fossiel + CCS	0	0	1,2	25,2		
Getijdenenergie	0	0	0,06	0,5		
Biomassa: reststromen	0	0	0,1	1,5		

1.4 Flexibiliteit

Flexibiliteit in het energiesysteem dient enerzijds om vraag en aanbod met elkaar te matchen. Daarnaast kan het ook een rol spelen in het voorkomen van netcongestie. Flexibiliteit kan geboden worden door opslag (in batterijen of elektrolyzers), door regelbare centrales, door curtailment³ en door vraagsturing.

³ Curtailment betekent dat bronnen van elektriciteit afgeschakeld worden. Dit is met name relevant voor bronnen van elektriciteit met sterk fluctuerende beschikbaarheid, zoals zon en wind.

Elektriciteitsbalancerings, het op elk moment in balans brengen van vraag en aanbod, is iets dat op nationaal niveau gebeurt en dit zorgt ervoor dat er geen eenduidige hoeveelheid benodigde flexibiliteit in Groningen is. Er moet op nationaal niveau gekeken worden waar flexibiliteitsbehoefte het meest efficiënt gerealiseerd kan worden. Wel zal in ieder geval een deel van deze nationale behoefte in Groningen gerealiseerd worden, en naar verwachting zal de hoeveelheid vermogen aan batterijen fors zijn. Voor 2030 gaat TenneT nu uit van 10 GW, zodat evenredig toegedeeld aan Groningen 0,5 tot 1 GW in Groningen gerealiseerd zou moeten worden. Omdat de elektriciteitsvraag met een factor 2 à 3 zal stijgen in de periode tot 2050, zal in Groningen 1 tot 1,5 GW aan opslag noodzakelijk zijn.

Netcongestie is een veel lokaler probleem dan elektriciteitsbalancerings, en de benodigde flexibiliteit met het oog op netcongestie is dan ook sterk afhankelijk van het lokale aanbod en de lokale vraag. Zowel flexibele productie (i.e. curtailment) en vraagsturing kunnen tegen lage maatschappelijke kosten netverzwaringen voorkomen. Met name door curtailment van zon-/windenergie voor die momenten dat er een fors overschot is en de elektriciteit weinig waard is, kan in Groningen veel verzwaring aan het elektriciteitsnet voorkomen worden. De impact van vraagsturing in de industrie en slim laden is beperkter (CE Delft, 2023b).

In alle scenario's is een noodzakelijke hoeveelheid flexibiliteit opgenomen. 15% van de gevraagde elektriciteit wordt jaarlijks geproduceerd uit regelbare centrales (waterstof-centrales). Daarnaast zijn er batterijsystemen in elk scenario om de fluctuaties tussen vraag en aanbod te matchen. Alle scenario's kennen namelijk een grote hoeveelheid zon en wind, die niet altijd elektriciteit produceren op de vraagmomenten.

1.5 Warmtebronnen

De belangrijkste warmtebronnen voor warmtelevering die de provincie Groningen op dit moment voor ogen heeft, is restwarmte vanuit de industrieclusters in Delfzijl en de Eemshaven. De provincie anticipeert op een warmtenet vanuit deze clusters langs verschillende dorpen in de provincie en naar de stad Groningen. Het gaat om restwarmte die ontstaat bij industriële processen, elektriciteitsproductie, elektrolyzers en datacenters. De verwachting is dat hiermee circa 25 PJ/j warmte zou kunnen worden geleverd (bedrijfstijd van circa 2.000 u/j). Een deel van de restwarmte zal op een lagetemperatuurniveau beschikbaar komen (datacenters, elektrolyzers). Dat is veel meer dan de vraag die bediend kan worden en is bovendien niet allemaal economisch exploiteerbaar, omdat het over een grote afstand getransporteerd zou moeten worden. In het scenario met een kerncentrale en blauwewaterstofproductie komt daar nog eens 5 PJ/j aan potentiële restwarmtelevering bij.

Geothermie is een hernieuwbare warmtebron die steeds meer gebruikt wordt, vooral voor stadswarmteprojecten waar geen restwarmtebron aanwezig is. Er zijn op dit moment geen concrete plannen voor geothermie in de provincie, omdat er voldoende restwarmte is om de warmtevraag in de gebouwde omgeving te kunnen bedienen.

2 Modelberekeningen energiescenario's

In dit hoofdstuk berekenen we de balans tussen vraag en aanbod van energie in Groningen. Hiervoor is een model opgesteld dat de inzet van energiebronnen die aanwezig zijn in Groningen (energiemix) vergelijkt met de energievraag in alle sectoren (Gebouwde omgeving, Landbouw, Mobiliteit, Industrie, Datacenters), en alle vormen (elektriciteit, groengas, waterstof, warmte, biofuels).

Voor doorrekening van de vier energiemixen gebruiken we scenario's met verschillende energiebronnen om de energiedragers te produceren. Zoals eerder aangegeven, gaat dit om een deel van de bronnen zoals behandeld in de factsheets. We hebben de scenario's gebaseerd op de cijfers van de II3050-scenario's, omdat die volledig doorgerekend zijn door de netbeheerders en de basis zijn voor hun inzichten op de lange termijn. In Bijlage A hebben we aangegeven hoe we de scenario's van Groningen (Paragraaf 1.2) hebben gelinkt aan de II3050-scenario's. Opvallend aan de scenario's is dat er enkele uitschieters zijn in de vraag naar energie (mobiliteit en industrie) zowel naar boven als naar beneden. Verder zijn de energievragen vrijwel gelijk.

De scenario's zijn gericht op de vraag en het aanbod in Groningen. Beseft moet worden dat Groningen deel uitmaakt van het Nederlandse energiesysteem, en dat ook het Nederlandse elektriciteitssysteem nauw verbonden is met het Europese elektriciteitssysteem. Dit betekent dat er grote energiestromen door het Groningse energiesysteem vloeien van en naar de omliggende provincies en landen. En dat daar ook installaties voor aanwezig zullen zijn die ruimte vergen (zie Paragraaf 3.7).

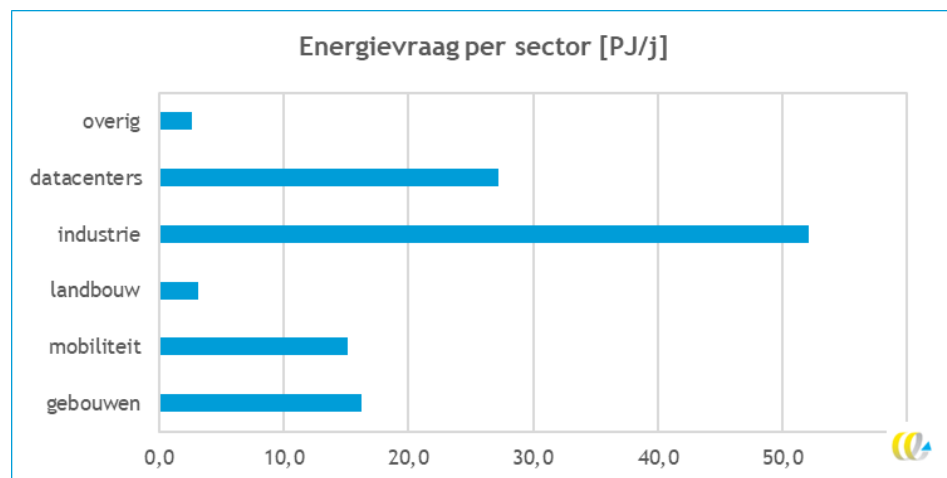
2.1 Energievraag

De ontwikkeling van de vraag naar verschillende vormen van (duurzame) energie richting 2050 is onzeker en afhankelijk van veel factoren, zoals kosten, politieke keuzes, technologische en culturele ontwikkelingen. Echter, om inzicht te krijgen in met name de effecten van verschillende invulling van de energiemix, is ervoor gekozen om uit te gaan van een gemiddelde energievraag in alle scenario's.

Voor de doorrekening van de energiemixen zullen we dus werken met één energievraag per sector waar de sterke verschillen van de II3050-scenario's uit geëlimineerd zijn, zodat het effect van de energiemix niet wordt beïnvloed door een verandering in de energievraag (zie Bijlage A).

In de gevoeligheidsberekening kijken we apart naar het effect van de uitschieters in de energievraag (Paragraaf 2.4).

Figuur 2 - Energievraag per sector (PJ/jaar)

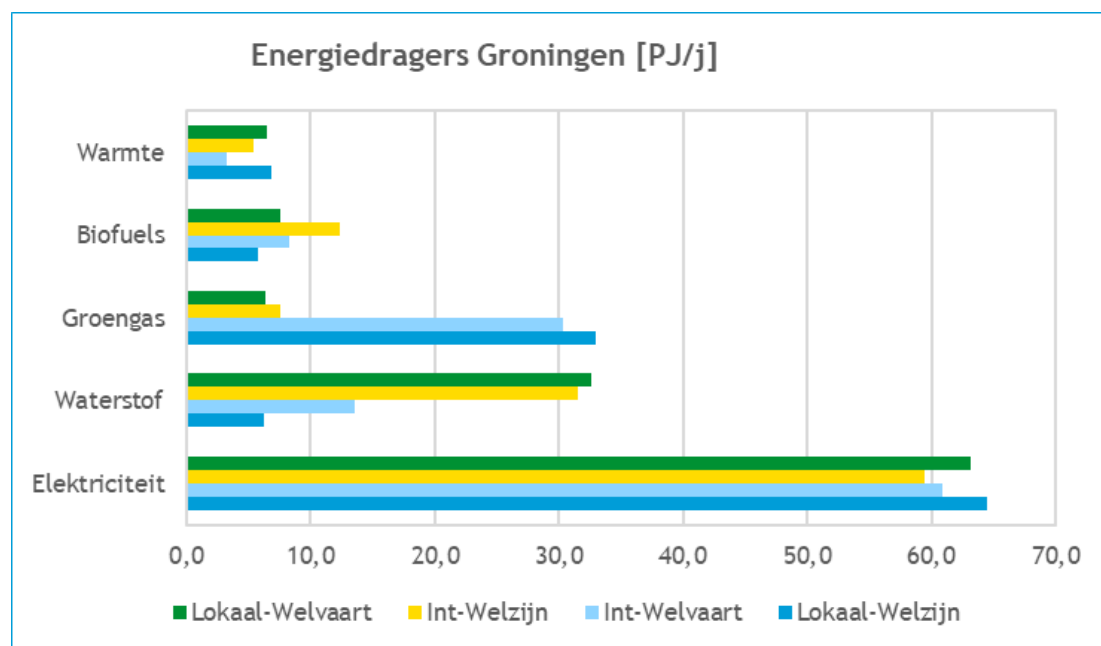


In Tabel 3 is de vraag in elk scenario verdeeld over de vijf energiedragers gekwantificeerd.

Tabel 3 - Energievraag per scenario

Energievraag (PJ/jaar)	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Elektriciteit	64,5	60,9	59,4	63,2
Waterstof	6,3	13,6	31,6	32,7
Groengas	33,0	30,3	7,6	6,4
Biofuels	5,8	8,2	12,3	7,6
Warmte	6,8	3,3	5,4	6,5
Totaal	116,3	116,3	116,3	116,3

Figuur 3 - Energiedragers per scenario (PJ/jaar)



Belangrijkste uitgangspunt bij het bepalen van de energievraag is dat de energievraag voor de industrie nu is ingezet op het hoogste niveau (Europees II3050), omdat in de meegegeven uitgangspunten is opgenomen dat er extra bedrijventerreinen komen (vijf XXL bedrijventerreinen, waaronder een nieuw bedrijventerrein in Oostpolder van 600 hectare). In de gevoeligheidsberekening gaan we uit van een lagere energievraag voor de industrie als dit toch niet gerealiseerd zal worden.

Voor alle vraagsectoren gaan we in elk scenario uit van een sterke efficiencyverbetering⁴ (isolatie, zuinige installaties, zuinige voertuigen), waardoor de energievraag ten opzichte van 2025 in absolute termen niet stijgt, ondanks stijging van de welvaart. Wel gaan we uit van een andere mix van energiedragers. Vooral elektriciteitsgebruik groeit. Deze elektrificatie gaat ook gepaard met een grote efficiëntiewinst, doordat bijvoorbeeld een warmtepomp veel minder energie in de vorm van elektriciteit nodig heeft dan een gas-cv aan aardgas (in GJ). In alle scenario's rekenen we met een forse toename van de elektriciteitsvraag door datacenters.

2.2 Energiemixen en invulling scenario's

De energiebronnen die we per mix gebruiken, zijn verschillend qua potentie.⁵ Hiervoor is rekening gehouden met de potentie in Groningen (Paragraaf 1.3) en is de inzet vaak gebaseerd op de randvoorwaarden uit het Bouwstenendocument (Provincie Groningen, 2024a), maar niet altijd om zichtbaar te maken hoe eventuele tekorten in de balans van vraag en bronnen kan worden opgelost. Dit is later per scenario aangegeven. In Tabel 4 staat de toepassing van de verschillende bronnen per scenario weergegeven.

Tabel 4 - Energiemix per scenario (in PJ/jaar)⁶

Energie	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Zon op dak	25,3 (7,4 GW)	2,3 (0,7 GW)	2,3 (0,7 GW)	25,3 (7,4 GW)
Zon in veld	10,2 (3,0 GW)	8,3 (2,4 GW)	8,3 (2,4 GW)	8,3 (2,4 GW)
Wind op land	14,0 (1,2 GW)	12,5 (1,1 GW)	12,5 (1,1 GW)	12,5 (1,1 GW)
Wind op zee	73,0 (4 GW)	73,0 (4 GW)	73,0 (4 GW)	73,0 (4 GW)
Nucleair	0,0	0,0	43,2	0,0
Fossiel + CCS	0,0	0,0	25,2	0,0
Biomassa: reststromen	1,5	1,5	1,5	1,5
Warmte	6,8	3,3	5,4	6,5

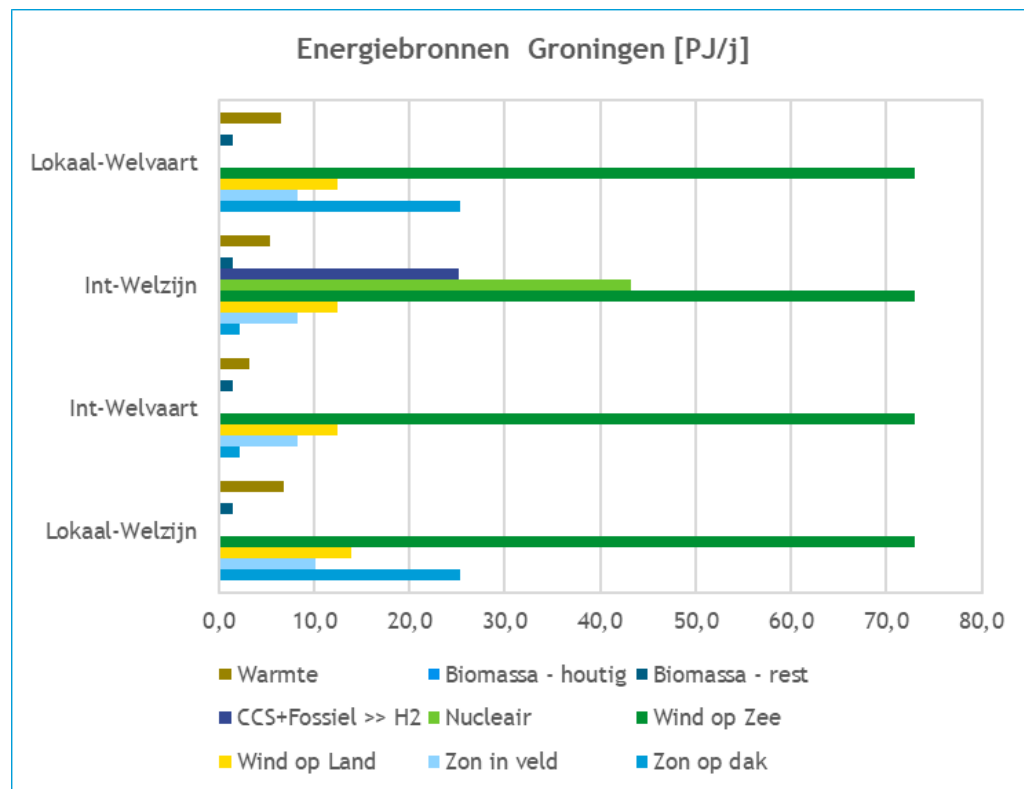
⁴ Efficiencyverbetering betekent dat er minder energie gebruikt hoeft te worden voor eenzelfde doel (bijvoorbeeld: bij meer isolatie hoeft minder energie gebruikt te worden om een bepaalde temperatuur te bereiken in een ruimte).

⁵ Het verschil in aanbod van bronnen in de verschillende Energiemixen komt doordat ontwikkeling hierin een bepaalde onzekerheid kent. Zo wordt bij focus op meer lokale opwek naar verwachting meer zon op dak toegepast, en wordt bij een (inter)nationale focus mogelijk kernenergie en fossiel+CCS ingezet. De daadwerkelijke toepassing van de verschillende bronnen voor de energievraag in Groningen, is afhankelijk van die energievraag.

⁶ Uitgaande van 950 vollasturen voor zon-pv, 3.300 voor wind op land en 5.000 voor wind op zee. Het aantal vollasturen is een maatstaf voor de jaaropbrengst van een energiebron. Het aantal vollasturen is het aantal uren dat de installatie op vol vermogen zou moeten draaien om de gerealiseerde productie te behalen.

In alle energiemixen worden de RES-afspraken met betrekking tot zon (20,5 PJ = 5,8 TWh) nagekomen. Het scenario Lokaal-Welzijn doet iets meer op basis van iets hogere ambitieuze inzet van de techniek. In beide Lokaal-scenario's is er fors meer zon op dak.

Figuur 4 - Energiebronnen per scenario (PJ/jaar)



Hierna wordt per scenario de invulling van de bronnenmix toegelicht. Belangrijkste uitgangspunt bij ieder scenario is dat er wordt gestreefd naar zelfvoorziening binnen de provincie Groningen. In alle scenario's wordt daarvoor wind op zee maximaal toegepast voor de elektriciteitsvraag (zie toelichting in Paragraaf 1.3). Ook is in elk scenario voldoende restwarmte beschikbaar (vanuit het industriegebied in de Eemshaven/Delfzijl), maar dit wordt niet in gelijke mate ingezet, omdat niet in elk scenario de vraag naar warmtelevering even groot is. Er is in geen enkel scenario houtige biomassa voor energieproductie beschikbaar in de provincie.

2.2.1 Scenario 1: Lokaal-Welzijn

Uitgangspunten:

In dit scenario ligt de focus op autonomie. Lokale initiatieven zorgen ervoor dat lokale bronnen (binnen de grenzen van de omgevingsvisie) optimaal lokaal benut worden (Provincie Groningen, 2024a).

- Zon op dak wordt maximaal toegepast.
- Zon in veld en wind op land conform RES+ afspraken: zon 10,2 PJ, wind 14 PJ.
- Voor wind op zee wordt uitgegaan van 4 GW elektriciteit die in de Eemshaven aan land komt.
- De hoeveelheid beschikbare lokale biomassa is beperkt en wordt volledig gebruikt.
- In de provincie is geen kerncentrale en ook fossiele energie + CCS wordt niet toegepast.
- Gas blijft een belangrijke energiedrager, maar dan vooral in de vorm van groengas.
- Waterstof en biofuels (voertuigen) worden beperkt toegepast.

Dit Groningse scenario is grotendeels gebaseerd op het scenario **Decentraal** uit de II3050 van de netbeheerders.

2.2.2 Scenario 2: (Inter)nationaal-Welvaart

Uitgangspunten

In Scenario 2: (Inter)nationaal-Welvaart ligt de focus op internationale handel, waardoor de opwek van lokale energie beperkt is:

- Voor wind op zee wordt uitgegaan van 4 GW elektriciteit die in de Eemshaven aan land komt.
- Zon in veld en wind op land conform RES-afspraken: zon 8,3 PJ, wind 12,5 PJ.
- Zon op dak beperkt tot wat er nu al staat.
- Er wordt in dit scenario geen kerncentrale gebouwd en wordt er geen CCS toegepast in de provincie.
- De hoeveelheid beschikbare lokale biomassa is beperkt en wordt volledig gebruikt.
- Gas blijft een belangrijke energiedrager, in de vorm van groengas.
- Waterstof en biofuels worden beperkt toegepast.

Dit Groningse scenario is grotendeels gebaseerd op het scenario **Internationaal** uit de II3050 van de netbeheerders.

2.2.3 Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn

Uitgangspunten

In dit scenario ligt de focus veel minder op lokale opwek van zon en wind dan in Scenario 1: Lokaal-Welzijn- en Scenario 4: Lokaal-Welvaart. De focus is op Europees gezamenlijk energiebeleid, wat resulteert in inzet op kernenergie:

- acht SMR's (Small Modular Reactors) van elk 200 MW worden in de provincie Groningen geplaatst.
- Naast kernenergie speelt ook CCS een rol: in de Eemshaven wordt blauwe waterstof geproduceerd.
- Zon in veld en wind op land conform RES-afspraken: zon 8,3 PJ, wind 12,5 PJ.
- Voor wind op zee wordt uitgegaan van 4 GW elektriciteit die in de Eemshaven aan land komt.
- De hoeveelheid beschikbare lokale biomassa is beperkt en wordt volledig gebruikt.
- Gas is een belangrijke energiedrager in de vorm van waterstof, vooral voor de industrie, die geproduceerd wordt uit elektriciteit (groene waterstof) en uit aardgas met CCS (blauwe waterstof).
- Groengas wordt zeer beperkt toegepast (gebouwde omgeving).
- In de mobiliteitssector worden veel biofuels gebruikt.

Dit Groningse scenario is grotendeels gebaseerd op het scenario **Europees** uit de II3050 van de netbeheerders.

2.2.4 Scenario 4: Lokaal-Welvaart

In dit scenario is, net als in Scenario 1: Lokaal-Welzijn, de focus gericht op autonomie en zelfvoorziening, maar in dit scenario wordt er minder georganiseerd vanuit lokale initiatieven:

- Hogere overheden, zoals de provincie, hebben een meer sturende rol, wat erin resulteert dat zon op dak maximaal wordt toegepast.
- Zon in veld en wind op land conform RES-afspraken: zon 8,3 PJ, wind 12,5 PJ.

- Voor wind op zee wordt uitgegaan van 4 GW elektriciteit die in de Eemshaven aan land komt.
- De hoeveelheid beschikbare lokale biomassa is beperkt en wordt volledig gebruikt.
- In de provincie is geen kerncentrale en ook fossiele energie + CCS wordt niet toegepast.
- Gas voor de industrie en een klein deel voor mobiliteit is een belangrijke energiedrager in de vorm van waterstof, die wordt geproduceerd uit elektriciteit (groene waterstof).
- Groengas en biofuels worden beperkt toegepast.

Dit Groningse scenario is grotendeels gebaseerd op het scenario **Nationaal** uit de II3050 van de netbeheerders.

2.3 Tekorten

Op basis van de energievraag wordt met vier energiemixen doorgerekend of de vraag in balans kan worden gebracht met de potentie aan energiebronnen. In de doorrekening worden de conversieverliezen (met name productie van waterstof uit elektriciteit en biofuels uit biomassa) berekend. Ook worden de transportverliezen die verschillen per energiedrager berekend. Het totaal van energievraag + energieverliezen moet worden opgebracht door de beschikbare energiebronnen. Per energiemix wordt berekend of er een tekort of overschot is aan elektriciteit, waterstof en biomassa. Restwarmte voor warmtelevering is er in voldoende mate.

Er is voldoende elektriciteitsproductie om in de elektriciteitsvraag in Groningen te voorzien, vooral door wind op zee. Het surplus aan elektriciteit wordt omgezet in waterstof. Daarvan is er in Scenario 2: (Inter)nationaal-Welvaart, en Scenario 4: Lokaal-Welvaart, onvoldoende (uitgaande van de 4 GW in elk scenario voor Groningen). In Scenario 1: Lokaal-Welzijn waar de waterstofbehoefte laag is, kan deze met de provinciale elektriciteitsbronnen worden geproduceerd en in Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn wordt naast groene waterstof gebruik gemaakt van blauwe waterstof (geproduceerd met fossiele energie gecombineerd met CCS). In twee van de vier scenario's is er een tekort aan waterstof (variërend van 8 tot 21 PJ/jaar).

In alle scenario's is er een tekort aan biomassa voor biofuels en/of groengas.

Enkele belangrijke begrippen

Energiedrager: vorm waarin energie wordt getransporteerd naar de energiegebruiker.

De energiedragers die we in deze studie onderscheiden, zijn:

- elektriciteit;
- waterstof;
- groengas;
- biofuels;
- warmte.

Bij het transport naar de energiegebruiker ontstaan **transportverliezen**, die bij warmte het hoogst zijn en bij gas het laagst.

Energiedragers worden geproduceerd uit brandstoffen zoals aardgas (elektriciteit, blauwe waterstof, warmte), biomassa (groengas en biofuels) of elektriciteit (groene waterstof). Hierbij gaat energie verloren, de zogenaamde **conversieverliezen**.

Zie hiervoor ook de Sankey-diagrammen in Paragraaf 3.5.

In Tabel 5 staat een overzicht van het gebruik van verschillende energiedragers, inclusief transportverliezen, conversieverliezen en de tekorten bij beschouwing van de beschikbare bronnen. Er zijn diverse mogelijkheden om de balans weer in evenwicht te brengen, waarbij het zelf voorzien in de energievraag met Groningse bronnen alleen kan als de energievraag met circa 15-35% (verschillend per energiemix) wordt verlaagd. Zonder forse vraagreductie kan het zelf voorzien wel worden verbeterd, maar niet worden gehaald.

- Het tekort aan waterstof in de Scenario's 2 en 4 kan worden opgelost door:
 - met de elektriciteit van wind op zee die niet is toegerekend aan Groningen (4 GW), meer groene waterstof te maken en te gebruiken voor Groningen. In energiemix-scenario 2 is dat 0,7 GW extra wind op zee omzetten in waterstof en in energiemix 4 is dat 1,6 GW extra.
- Het tekort aan biomassa kan worden opgelost door import, al dan niet in de vorm van biofuels en/of groengas.
- De vraag naar biofuels/groengas, en daarmee biomassa, kan worden verlaagd door:
 - meer elektrisch rijden, zodat de conversieverliezen afnemen;
 - gebruik van waterstof in plaats van groengas.

Tabel 5 - Doorrekening energiemixen

Energievraag (PJ/j)	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Elektriciteit	64,5	60,9	59,4	63,2
Waterstof	6,3	13,6	31,6	32,7
Groengas	33,0	30,3	7,6	6,4
Biofuels	5,8	8,2	12,3	7,6
Warmte	6,8	3,3	5,4	6,5
Totaal	116	116	116	116
Verliezen transport	7	6	7	7
Verliezen conversie	31	26	48	31
Totale vraag	154	148	171	154
Bronnen	131	101	171	127
Tekort elektriciteit	0	0	0	0
Tekort waterstof	-8	8	-21	19
Tekort biomassa	38	38	19	13
Mate zelfvoorziening	85%	68%	100/60% *	82%

* Nucleair en fossiel + CCS rekenen we hier als Groningse bronnen, terwijl feitelijk de energie (uranium, respectievelijk aardgas) geïmporteerd wordt; slechts de conversie-installaties staan in Groningen. Zonder deze bronnen zou de hoeveelheid Groningse bronnen in dat scenario 97,5 PJ/j zijn; daarmee komt dit op 60% zelfvoorzienendheid.

2.4 Gevoeligheidsanalyse

In de energievraagscenario's van II3050 hebben we enkele sterke afwijkingen gezien van de energievraag (zie Bijlage A); het verschil tussen wat we hebben doorgerekend en de vraag in enkele II3050-scenario's. Het ging om de energievraag voor de sector Mobiliteit en voor de sector Industrie in Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn, en Scenario 4: Lokaal-Welvaart (zie Bijlage A.2).

Als we de aangepaste energievraag doorrekenen met dezelfde energiemix, ontstaat weer inzicht in de balans van vraag en bronnen. In Tabel 6 zijn de afwijkende energievragen in groen weergegeven.

2.4.1 Lagere vraag industrie

De belangrijkste afwijking was een lage vraag voor de industrie in drie van de vier II3050-scenario's. We hadden bewust een hoge energievraag voor de industrie genomen, vanwege het uitgangspunt om vijf XXL bedrijventerreinen in Groningen te willen realiseren. Het effect is dat met een 50% lagere energievraag makkelijker in de vraag naar energie kan worden voldaan. Het biomassatekort blijft zeker bestaan als veel groengas wordt gebruikt in de industrie, maar de vraag naar elektriciteit en waterstof is in bijna alle scenario's haalbaar met provinciale energiebronnen.

2.4.2 Hogere vraag mobiliteit

In het scenario Europees van II3050 is een 30% hogere vraag voor mobiliteit opgenomen, vooral door inzet van meer biofuels. Als in Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn hiermee wordt gerekend, dan wordt het tekort aan biomassa voor biofuels nog groter (28 in plaats van 19 PJ/j).

2.4.3 Lagere vraag mobiliteit

In het scenario Nationaal van II3050 is een 50% lagere energievraag voor mobiliteit opgenomen, vooral door minder vraag naar waterstof en biofuels. Het tekort aan biomassa zou hierdoor iets kleiner worden, maar in geen van de scenario's oplossen.

2.4.4 Totaal effect

In Tabel 6 is de doorrekening te zien van de lagere of hogere energievraag in enkele sectoren zoals hiervoor beschreven (zie Paragraaf 2.1). In het groen zijn de afwijkingen weergegeven. Er is vaker een overschot aan waterstof en het tekort aan biomassa neemt af. Scenario 4: Lokaal-Welvaart komt dan het dichtst bij 'zelfvoorzienend'; een tekort van 4 PJ biomassa en een overschot van 11 PJ aan waterstof. Het zegt echter niets over de aantrekkelijkheid van deze zelfvoorzienendheid: de kosten van de verschillende bronnen en infrastructuur van de scenario's worden in Paragraaf 3.2 doorgerekend. En in Paragraaf 3.4 wordt aangegeven welke ruimtebehoefte het met zich meebrengt.

Tabel 6 - Doorrekening energiemixen - gevoeligheidsanalyse (PJ/j)

Energievraag (PJ/j)	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Elektriciteit	68,1	56,5	60,7	61,5
Waterstof	5,9	12,4	31,9	5,3
Groengas	3,1	0,1	8,0	1,9
Biofuels	5,8	8,2	21,6	3,7
Warmte	6,8	3,3	5,4	6,5
Totaal	90	81	128	79
Verliezen transport	6	5	7	6
Verliezen conversie	31	26	48	31
Totaal vraag	127	112	183	116
Totaal bronnen	131	101	171	127
Tekort elektriciteit	0	0	0	0
Tekort waterstof	-5 *	3	-19 *	-11 *
Tekort biomassa	7	7	28	4

* Negatief tekort betekent dat er waterstof geëxporteerd kan worden naar andere delen van Nederland.

2.5 Effecten van energiesysteem Nederland in Groningen

Naast de eigen balans van vraag naar energie en beschikbare bronnen is Groningen onderdeel van het Nederlandse en zelfs Europese energiesysteem. Dit betekent onder andere dat er meer elektriciteit aan land komt dan in Groningen gebruikt wordt, dat er meer elektriciteitscentrales staan dan alleen noodzakelijk is voor Groningen en dat er meer waterstof zal worden opgeslagen in zoutcavernes dan alleen voor Groningen nodig is. De implicaties hiervan maakten geen onderdeel uit van de vraagstelling (die is gefocust op voorziening van enkel de Groningse vraag).

3 Analyse

In dit hoofdstuk analyseren we de effecten van de verschillende scenario's.

In Paragraaf 3.1 laten we zien hoe de provincie Groningen in haar eigen energie kan voorzien. In Paragraaf 3.2 laten we zien hoe groot de kosten zijn van de verschillende kostencomponenten per scenario. In Paragraaf 3.3 geven we een totaaloverzicht van de verschillende kostencomponenten. In Paragraaf 3.4 laten we zien welke infrastructuur er nodig is. In Paragraaf 3.4.4 staat een overzicht van de energiestromen, inclusief de hoeveelheid conversie- en transportverliezen. In Paragraaf 3.6 schetsen we een beeld van welke vormen van opslag er nodig zijn. Ten slotte bepalen we in Paragraaf 3.7 de ruimtelijke effecten van de verschillende scenario's.

3.1 Hoe kan Groningen in 2050 in haar eigen energie voorzien?

Als randvoorwaarden bij het opstellen van de scenario's is het zelf voorzien met Groningse bronnen in de Groningse vraag naar energie, als criterium gebruikt en is berekend wat het tekort is aan zelfgeproduceerde energie. In Tabel 7 is aangegeven hoeveel elke energiebron levert en hoeveel tekort er ontstaat. Er is in elk scenario een tekort aan biomassa voor biofuels en groengas. In de Welzijn-scenario's (1 en 3) is er een overschot aan waterstof (-8 tot -21 PJ/j) en in de Welvaart-scenario's (2 en 4) een tekort (8 tot 19 PJ/j).

Tabel 7 - Doorrekening energiemixen (PJ/j)

Energievraag (PJ/j)	1. Lokaal-Welzijn	2. Inter)nationaal-Welvaart	3. Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Totale vraag incl. transport en conversieverliezen	154	148	171	154
Energiebronnen Groningen	131	101	171*	127
Tekort elektriciteit	0	0	0	0
Tekort waterstof	-8 **	8	-21 **	19
Tekort biomassa	38	38	19	13
Mate van zelfvoorziening	85%	68%	100% 60% *	82%

* Nucleair en fossiel + CCS rekenen we hier als Groningse bronnen, terwijl feitelijk de energie (uranium, respectievelijk aardgas) geïmporteerd wordt; slechts de conversie-installaties staan in Groningen. Zonder deze bronnen zou de hoeveelheid Groningse bronnen in dat scenario 97,5 PJ/j zijn; daarmee komt dit op 60% zelfvoorzienendheid.

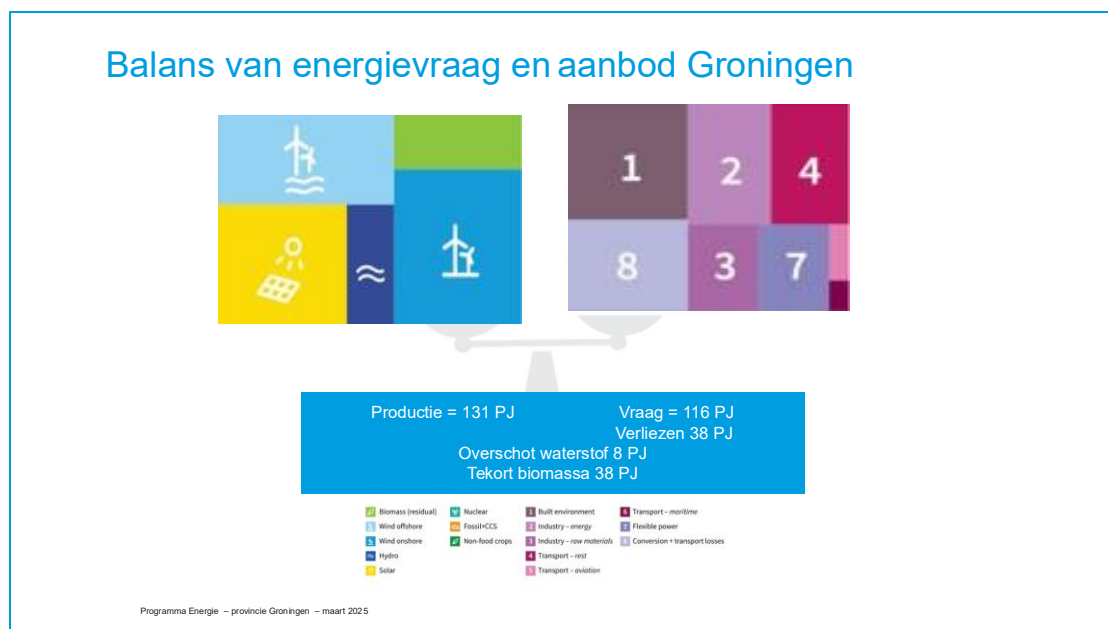
** Een negatief getal betekent een overschot en dus dat er waterstof geëxporteerd kan worden naar andere delen van Nederland.

De totale vraag is hier hoger dan eerder in de scenario's is genoemd (zie Paragraaf 2.1), omdat bij die vraag van 116 PJ de transport- en conversieverliezen opgeteld moeten worden. Dat is te zien in Tabel 5.

Om de vraag in balans te brengen met de energiebronnen, zien we dat import van grote hoeveelheden biomassa (al dan niet in de vorm van biofuels en/of groengas) noodzakelijk is. Het volledig reduceren van de vraag naar biomassa, zelfs in Scenario 4: Lokaal-Welvaart, is nagenoeg onmogelijk (de biomassa wordt ingezet in biofuels voor mobiliteit en groengas voor de industrie; voor mobiliteit is het goed denkbaar dat dat geheel wordt vervangen door waterstof/elektriciteit, maar in de industrie zal altijd een hoeveelheid biomassa groter dan 1,5 PJ nodig zijn). Belangrijk om te vermelden is dat in alle scenario's al is uitgegaan van

sterke verbetering van de efficiency van alle gebruiksapparaten en voertuigen. De enige oplossing zou zijn om het gebruik van biofuels en groengas geheel te vervangen door waterstof, maar in de industrie is dat niet altijd mogelijk en dan zal er een (groter) tekort aan waterstof ontstaan.

Figuur 5 - Balans van energievraag en energiebronnen Scenario 1: Lokaal-Welzijn



De vraag naar elektriciteit en waterstof kan in de Welzijn-scenario's (1 en 3) goed worden gedekt, dus zowel met maximaal lokale bronnen als met kernenergie. In Scenario 1: Lokaal-Welzijn is de inzet van lokale bronnen beperkt tot de huidige productie en is de elektriciteitsproductie in balans met de vraag, met een waterstofproductieoverschot van 8 PJ/j. Het tekort van 8 PJ in scenario 2 vergt 0,7 GW extra windenergie en een tekort van 19 PJ in scenario 4 vergt 1,6 GW extra windenergie, bovenop de 4 GW. De planning is om in Eemshaven in 2031 2,7 GW wind aan te land. Veel meer dan 2 GW extra aanlanden vergt aanpassingen aan het hoogspanningsnet op land.

3.2 Wat zijn de globale kosten per energiedrager voor elektriciteit, groengas/waterstof en warmte?

Op basis van de energievraag en de inzet van bronnen kunnen de kosten van de vier energiemixen worden berekend. Dit is een ruwe berekening, omdat deze geen rekening houdt met uurlijkse patronen⁷, uitwisseling met de rest van Nederland en andere landen. Bovendien is er een spreiding in de kosten van de verschillende onderdelen. In de factsheets is per techniek aangegeven welke spreiding er is. In de berekeningen is uitgegaan van de gemiddelde kosten per techniek (kolom €/MWh). Het betreft alle jaarlijkse kosten, bestaande uit afschrijving/rente van investeringen, exploitatie en eventuele inkoop van brandstoffen (biomassa). Er is gekozen voor jaarkosten omdat de investeringen sterk verschillen in afschrijvingstijd (zon/wind kort, nucleair lang).

⁷ Het was niet mogelijk om de energiescenario's op dit detailniveau door te rekenen binnen de scope van de studie.

In Tabel 8 staan de totale productiekosten voor de verschillende scenario's weergegeven. De productiekosten zijn in de scenario's Lokaal-Welzijn en (Inter)nationaal-Welvaart (1 en 2) fors lager dan in de andere scenario's doordat veel meer lokale goedkope bronnen worden gebruikt en een (grote) hoeveelheid waterstof kan worden geëxporteerd. De productiekosten per MWh, zoals die vermeld staan in de tweede kolom, zijn toegelicht in de factsheets. Hier is het gemiddelde genomen van de bandbreedte die in de literatuur te vinden is.

Tabel 8 - Doorrekening energiemixen - kosten van productiemiddelen (in M€/j)

Productie	€/MWh	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal- Welvaart	3. (Inter)nationaal- Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Zon op dak	96	675	61	61	675
Zon in veld	76	216	176	176	176
Wind op land	72	278	247	247	247
Wind op zee	40	811	811	811	811
Nucleair	146	0	0	1.752	0
Fossiel + CCS	144	0	0	1.008	0
Biomassa - rest	72	30	30	30	30
Biomassa - houtig	72	0	0	0	0
Warmte	18	34	16	27	33
Import(+)/export (-) waterstof	252	-560	560	-1.470	1.330
Import(+)/export (-) bio	90	950	950	475	325
Subtotaal		2.433	2.851	3.117	3.626

De transportkosten in de scenario's (zie Tabel 9) ontlopen elkaar niet veel. Scenario 1 en 4: Lokaal-Welzijn en Lokaal-Welvaart zijn het duurst, omdat meer lokale bronnen ontsloten moeten worden en warmte meer wordt ingezet (met relatief hoge transportkosten).

Tabel 9 - Doorrekening Energiemixen - kosten van transport energiedragers (in M€/j)

Transport	€/MWh	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal- Welvaart	3. (Inter)nationaal- Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Elektriciteit	54	967	913	891	948
Waterstof	5	9	20	47	49
Groengas	5	49	45	11	10
Biofuels	2	3	4	6	4
Warmte	144	272	131	217	261
Subtotaal		1.301	1.114	1.173	1.271

De installatiekosten (zie Tabel 10) worden vooral bepaald door de kosten van conversie van elektriciteit naar waterstof en biomassa naar biofuels. In Scenario 2: (Inter)nationaal-Welvaart is de waterstofvraag het laagst en wordt er ook geen waterstof geëxporteerd.

Tabel 10 - Doorrekening energiemixen - kosten van conversie-installaties (in M€/j)

Installatie	€/MWh	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Elektriciteit	8	145	137	134	142
Waterstof	43	171	163	631	392
Groengas	36	330	303	76	64
Biofuels	36	58	82	123	76
Warmte	36	68	33	54	65
Subtotaal		772	718	1018	739

Het gaat om de conversie-installaties die elektriciteit, waterstof, groengas, biofuels en warmte maken uit respectievelijk waterstof, elektriciteit (elektrolyser), biomassa, biomassa en restwarmte.

3.3 Wat zijn de dominante factoren voor de kosten van het energiesysteem?

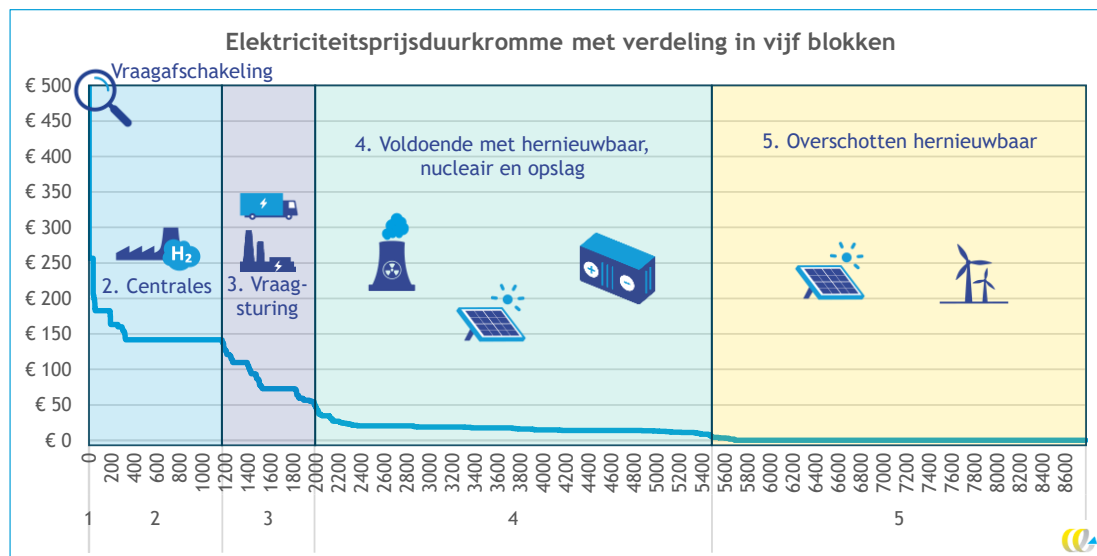
In Tabel 11 zijn de kosten uit de voorgaande tabellen getotaliseerd en zijn de kosten van opslag/flex toegevoegd. De productiekosten van de energiebronnen zijn de grootste kostenpost en verschillen ook het meest, namelijk van € 2,4 tot 3,6 miljard per jaar. In Scenario 1: Lokaal-Welzijn zijn die kosten het laagst doordat waterstof wordt geëxporteerd. Hier staat tegenover dat in ditzelfde scenario de kosten van de installaties het hoogst zijn, omdat veel waterstof wordt geproduceerd, die vervolgens wordt geëxporteerd. Ook zijn de transportkosten het hoogst, doordat alle zon- en windprojecten moeten worden aangesloten op het net.

Tabel 11 - Doorrekening energiemixen - totale kosten

Totale kosten (M€/j)	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Productie	2.433	2.851	3.117	3.626
Transport	1.301	1.114	1.173	1.271
Conversie-installaties	772	718	1.018	739
Opslag/flex	381	370	356	374
Totaal	4.887	5.053	5.663	6.010
Bronnen	50%	56%	55%	60%
Transport	27%	22%	21%	21%
Conversie-installaties	16%	14%	18%	12%
Opslag/flex	8%	7%	6%	6%

Uit andere studies naar een CO₂-vrije elektriciteitsmix (CE Delft & Witteveen+Bos, 2024) hebben we de elektriciteitsprijzen (exclusief belastingen) berekend die door het jaar heen fluctueren. In Figuur 6, een figuur uit die studie, is het verloop te zien in vijf blokken.

Figuur 6 - Elektricijtsprijsontwikkeling in een jaar



Bron: (CE Delft & Witteveen+Bos, 2024).

Blok 1, met hele hoge prijzen, leidt tot afschakeling van enkele grote industriële gebruikers; in 15% van de tijd zijn regelbare centrales nodig die relatief duur zijn (blok 2) (€ 150-250 per MWh). In blok 5 worden batterijen geladen en in blok 4 leveren ze elektriciteit, samen met de hernieuwbare bronnen.

Dit zegt echter nog onvoldoende over de betaalbaarheid van het energiesysteem. Elektriciteit zal de goedkoopste energievorm worden (€/GJ), vandaar dat het gebruik ervan sterk toeneemt, maar de energiekosten zullen stijgen, zodat vraagreductie uiterst belangrijk is. Dus naast de energieprijzen zijn de vraagvolumes, en natuurlijk de ontwikkeling van de inkomens van belang om de betaalbaarheid te duiden.

3.4 Wat is er qua infrastructuur nodig? Met welke risico's?

Voor de ombouw van het energiesysteem in Groningen, naar een CO₂-vrij systeem waarin Groningen in de eigen energievraag kan voorzien, is veel nieuwe energie-infrastructuur nodig. Met name bij het elektriciteitsnet, waar grote uitbreidingen nodig zijn. Maar ook voor andere energiedragers zijn uitbreidingen of aanpassingen van de energie-infrastructuur noodzakelijk.

In deze paragraaf geven we een overzicht van de belangrijkste benodigde uitbreidingen van de energie-infrastructuur. Dit overzicht is opgesteld op basis van bestaande inzichten en eerdere onderzoeken. Er is hiervoor geen nieuwe berekening gemaakt op basis van de scenario's uit dit onderzoek.

3.4.1 Elektricijtsinfrastructuur

In alle scenario's is de vraag naar elektriciteit dominant, variërend van 60 tot 64 PJ/jaar (16 tot 18 TWh/jaar). Hiervoor zal het elektriciteitsnet fors moeten worden uitgebreid. In hun investeringsplannen hebben TenneT (hoogspanningsnet) en Enexis (regionaal elektriciteitsnet) plannen opgenomen voor uitbreiding van het elektriciteitsnet in de komende tien jaar (Enexis, 2024) (TenneT, 2024). In Paragraaf 4.5 laten we zien wat

- Voor het hoogspanningsnet worden enkele grote projecten gerealiseerd, zoals een nieuwe 380 kV-verbinding tussen Viervorlaten in Groningen en Ens (in Flevoland), het 380 kV-station bij Eemshaven en het nieuwe 220 kV-station in Delfzijl. Daarnaast wordt op het hoogspanningsnet een pocketstructuur/deelnetstructuur geïmplementeerd.⁸ Mogelijk zijn na 2035 nog uitbreidingen nodig aan het 380 kV-net vanaf Groningen richting de rest van Nederland (Netbeheer Nederland, 2023c).

- Hoogspannings- en middenspanningsstation, oftewel HS/MS-stations, verbinden het hoogspanningsnet van TenneT met het middenspanningsnet van Enexis. Er kan extra capaciteit gerealiseerd worden door het plaatsen van nieuwe transformatoren bij bestaande HS/MS-stations of door nieuwe HS/MS-stations aan te leggen. Als er geen ruimte meer beschikbaar is op een bestaand station, dan moet een nieuw station gerealiseerd worden.

- Er is een fors aantal nieuwe MS/LS-transformatoren nodig, naar verwachting enkele duizenden. Deze moeten worden ingepast in de gebouwde omgeving. Daarnaast zijn verzwaringen nodig aan MS- en LS-kabels. Deze kabels liggen ondergronds. Om deze verzwaringen te kunnen uitvoeren, moet de grond opgehaald worden en zijn extra leidingtracés nodig, wat bijvoorbeeld in woonwijken fors hinder kan opleveren.

RES-regio Groningen

[illegible]

⁸ In haar visie op het toekomstige hoogspanningsnet voorziet TenneT dat ze de 110 kV- en 150 kV-netten opsplitsen in kleine deelnetjes, die elk verbonden zijn met één 380 kV- of 220 kV-station. Op deze manier is er minder transport via de lagere spanningsniveaus noodzakelijk, doordat de stroom snel afgevoerd kan worden naar het 380 kV- of 220 kV-net.

Tekstkader 1 - Relatie met huidige netcongestie

In dit onderzoek kijken we naar de ontwikkeling van het energiesysteem in Groningen op de lange termijn, richting 2050. Er is echter op dit moment sprake van een tekort aan capaciteit op het elektriciteitsnet: netcongestie. Zowel voor teruglevering van elektriciteit als voor afname. Hierdoor kunnen grootgebruikers op dit moment geen nieuwe of grotere aansluiting op het elektriciteitsnet krijgen.

De geplande uitbreidingen aan het elektriciteitsnet voor de komende tien jaar, zoals de uitbreidingen aan HS/MS-stations en de implementatie van deelnetten bij het hoogspanningsnet, moeten deze problemen oplossen. Deze uitbreidingen kosten tijd en uitvoeringscapaciteit en het is onzeker of het lukt om de geplande uitbreidingen aan het elektriciteitsnet binnen de zichtperiode van de investeringsplannen (tien jaar) te realiseren. In een recent onderzoek is ingeschat dat er een maakbaarheidsgat is voor de geplande uitbreidingen van het elektriciteitsnet van bijna 30% richting 2030 (DNV, 2024). Dit kan vertraging opleveren voor de energietransitie. We verwachten echter dat het wel mogelijk is om alle benodigde uitbreidingen aan het elektriciteitsnet richting 2050 te realiseren.

3.4.2 Gasinfrastructuur

Voor de gasinfrastructuur spelen hele andere zaken dan bij elektriciteit. De rol van gassen zal een stuk minder groot worden richting 2050, waardoor er weinig nieuwe gasinfrastructuur noodzakelijk zal zijn. Wel zal een deel van het gasnet omgebouwd moeten worden, omdat er naast methaan (aardgas of groengas) ook waterstof gebruikt zal worden. De grootste uitdaging bij de ontwikkelingen van de gasnetten is de coördinatie van het omzetten (of eventueel verwijderen) van de bestaande gasinfrastructuur. Bij de transportnetten zal naar verwachting een parallel methaan- en waterstoftransportnetwerk nodig zijn. Bij de distributienetten speelt dat binnen één distributiegebied uiteindelijk idealiter slechts van één gassoort (waterstof of methaan) gebruik wordt gemaakt en dat het wenselijk is dat woningen in één regio zoveel mogelijk op hetzelfde moment overgaan naar een nieuwe warmteoplossing. Dit laatste om te voorkomen dat tijdelijk parallelle gasinfrastructuur nodig is en om ervoor te zorgen dat de benodigde aanpassingen of het verwijderen van gasinfrastructuur in één keer kunnen worden uitgevoerd. Dit vraagt om coördinatie van de verduurzaming van de gebouwde omgeving tussen netbeheerders en overheden, waarbij ook de provincie een rol kan spelen.

3.4.3 Warmte-infrastructuur

In de scenario's voor 2050 neemt de rol van warmte toe ten opzichte van de huidige situatie. Om nieuwe warmtenetten te realiseren of bestaande warmtenetten uit te breiden, moeten extra (duurzame) warmtebronnen gerealiseerd of ontsloten worden. Er wordt onder meer onderzoek gedaan naar warmtetransportleidingen vanaf de Eemshaven naar Groningen en vanaf Oosterhoorn naar Delfzijl en Appingedam om de restwarmte van de industrie van de Eemsdelta te kunnen benutten.⁹ In de voortgangsrapportage RES 2.0 van de provincie Groningen wordt de stand van zaken voor wat betreft de regionale warmte-infrastructuur beschreven (Provincie Groningen, 2023b).

⁹ [Nationaal Programma Groningen: Warmtetransport Eemsdelta-Groningen.](#)

3.4.4 Risico's

De belangrijkste risico's die verbonden zijn aan de groeiende behoefte aan energie-infrastructuur zijn:

- oplopende kosten en daarmee betaalbaarheid van het energiesysteem;
- niet tijdig gereed zijn van verzekering van het elektriciteitsnet en/of warmtenet om energiegebruikers te kunnen laten switchen van aardgas naar elektriciteit of warmte.

De voorzieningszekerheid is in onze analyse niet in het geding, omdat modelmatig alle installaties gemodelleerd zijn die nodig zijn om in de vraag te voorzien. Maar in de praktijk moeten die installaties wel worden gerealiseerd. Het grootste risico is dat de (landelijke) politiek onvoldoende heldere marktregels opstelt voor een energiesysteem dat volledig klimaatneutraal moet zijn. Nu al merken we dat investeringen achterblijven doordat investeerders grote onzekerheden zien over het terugverdienen van hun investeringen. Dit geldt bijvoorbeeld voor regelbare elektriciteitscentrales gevoed door waterstof. Andere risico's hebben te maken met de extra ruimte die nodig is om de aanlanding van wind op zee mogelijk te maken, hoogspanningsstations te vergroten en extra hoogspanningslijnen aan te leggen. Dit extra ruimtegebruik vergt nauwkeurige procedures, waarbij de verschillende belangen goed moeten worden afgewogen (zie ook Paragraaf 3.7).

3.5 Hoeveel energieomzetting is er nodig en welke omzetting is nodig?

In Figuur 8 tot en met Figuur 11 zijn de energiestromen in de verschillende scenario's in Sankey-diagrammen weergegeven.

In een Sankey-diagram zijn links de bronnen weergegeven en rechts de energievragers. Via conversie en transportverbindingen worden de bronnen aan de vragers gekoppeld en wordt visueel verduidelijkt hoe de energiestromen lopen.

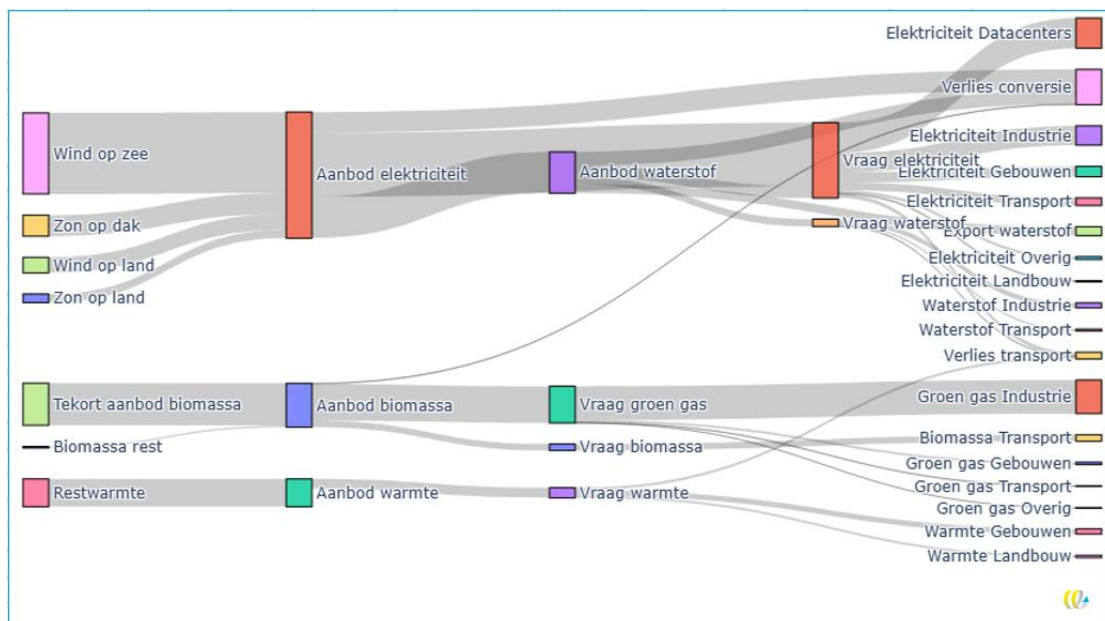
We zien bijvoorbeeld een grote hoeveelheid restwarmte die echter nauwelijks wordt gebruikt omdat het te duur is om alle gebouwen aan te sluiten op warmtelevering. Dat is in veel gevallen duurder dan verwarming met warmtepompen en/of groengas. Uitzondering zijn stedelijke wijken of wijken van dorpen die langs de warmteleiding van Eemshaven naar Groningen zouden komen te liggen.

Omdat in een Sankey-diagram altijd minimaal evenveel bronnen als energievraag moet worden weergegeven, zijn aan de bronnenkant ook de tekorten aan waterstof en biomassa weergegeven.

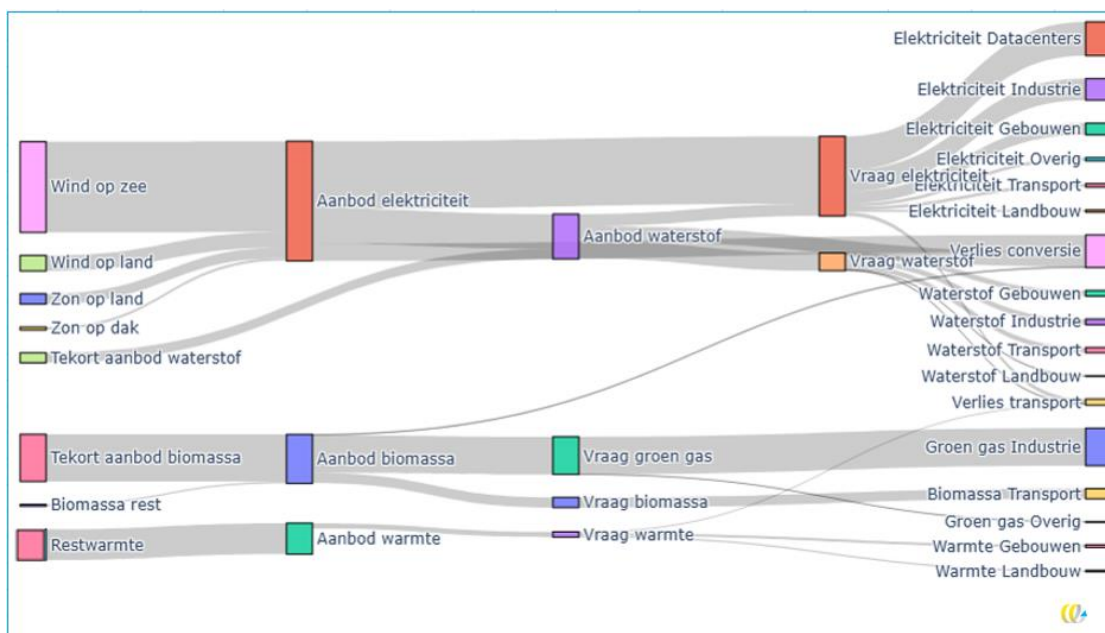
De Sankey-diagrammen zijn ook met een groter lettertype opgenomen in Bijlage C.

In Tabel 5 zijn de transportverliezen (vooral elektriciteit) en de conversieverliezen per scenario vermeld. De conversieverliezen verschillen sterk doordat in Scenario 1: Lokaal-Welzijn, veel waterstof wordt geproduceerd, terwijl dit in Scenario 2: (Inter)nationaal-Welvaart veel minder is. De transportverliezen zijn relatief klein vergeleken met de conversieverliezen.

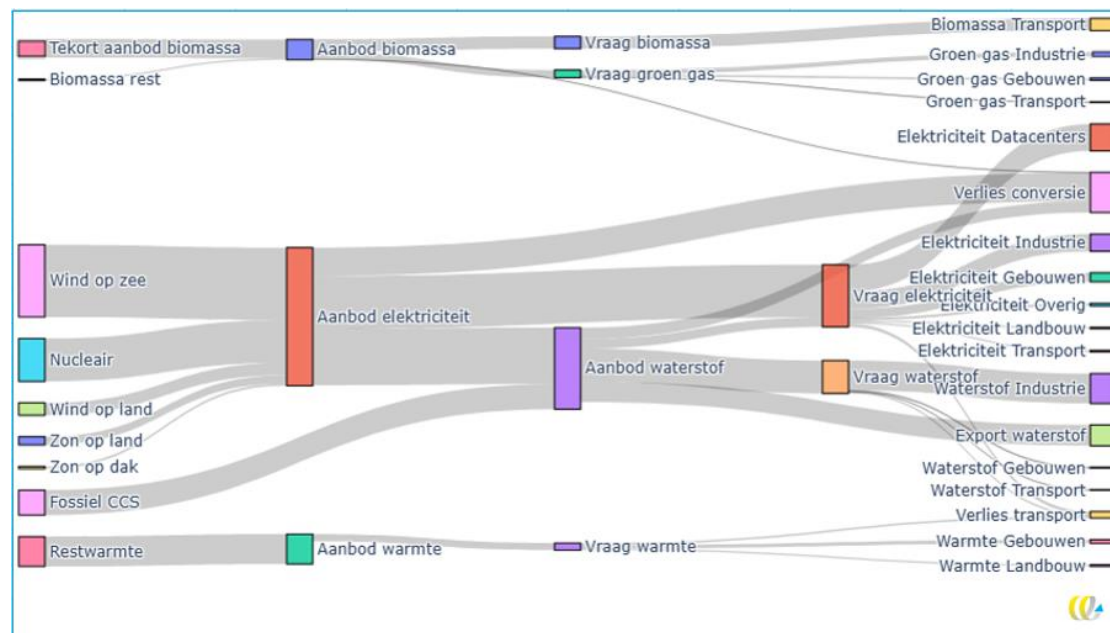
Figuur 8 - Overzicht energiestromen Scenario 1: Lokaal Welzijn



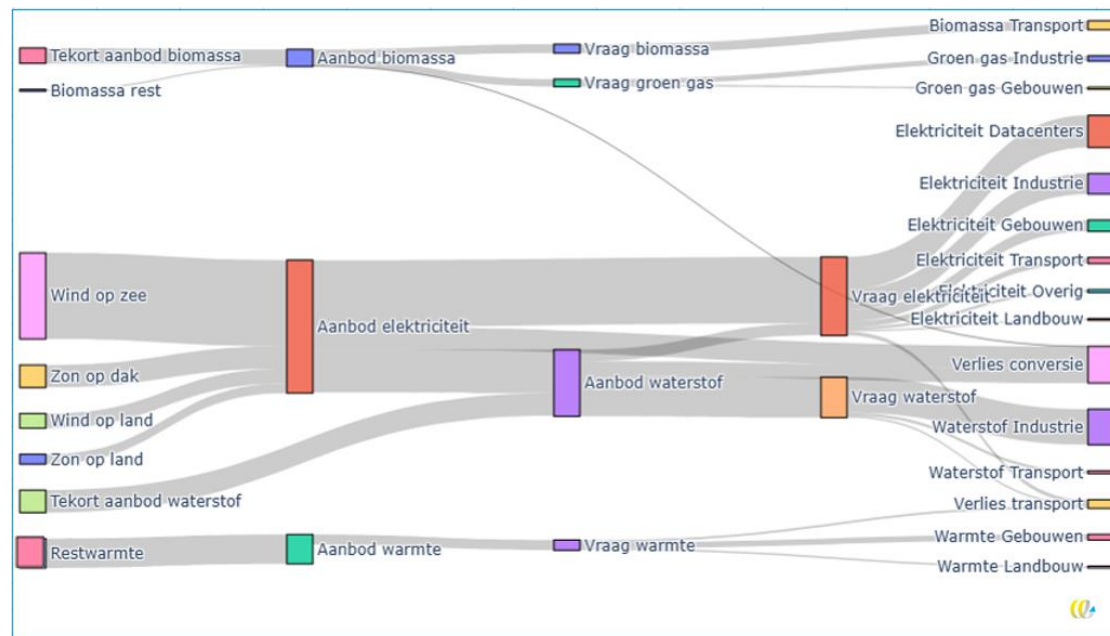
Figuur 9 - Overzicht energiestromen Scenario 2: (Inter)nationaal-Welvaart



Figuur 10 - Overzicht energiestromen Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn



Figuur 11 - Overzicht energiestromen Scenario 4: Lokaal-Welvaart



3.6 Wat voor opslag/flexibiliteit is nodig?

In alle scenario's is opslag nodig van elektriciteit op dagbasis; dit kan met batterijen. Een deel van de elektriciteit wordt omgezet in waterstof, die gebruikt wordt in de industrie en in de elektriciteitssector voor die momenten dat er geen elektriciteit uit zon en wind is. Batterijen zijn niet geschikt voor seizoensopslag. Daarnaast is er opslag nodig van groengas, omdat de vraag fluctueert over het jaar en de dag, terwijl de productie redelijk constant zal zijn. De huidige gasopslagen (Grijpskerk) zijn daarvoor geschikt.

In de energiemixstudie (CE Delft & Witteveen+Bos, 2024) is bij een elektriciteitsvraag van 223 TWh, exclusief waterstofproductie, 39 TWh flexibel. In de systeemoptimalisatie produceert Nederland daarnaast 36 TWh waterstof. De elektriciteitsproductie wordt sterk gevormd door wind op zee. In totaal produceert Nederland op jaarbasis 259 TWh met wind (op land en zee), zon-pv en kernenergie.

Hieruit hebben we bepaald dat bij veel zon en wind ook in Groningen circa 15-20% flexibele elektriciteit nodig zal zijn om het systeem altijd in balans te hebben. In een scenario met veel kernenergie zit dit rond de 15%, bij overwegend zon en wind 20%. Dit kan gebeuren met de bronnen zoals weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 - Overzicht bandbreedte hoeveelheid flexibele bronnen, Nederland

	Richtwaardes NPE				Vrije optimalisatie	
	Referentie	Minimum alle scenario's	Maximum alle scenario's	Gemiddelde alle scenario's		
Opslag elektriciteit (totaal)	9	4	10	8	8	GW
Elektrolyse	5	3	10	6	2	GW
Waterstofcentrale	9	8	15	9	9	GW
Waterstofopslag	2,6	1,4	9,4	3,1	1,3	TWh
Curtailement	24	19	34	25	24	TWh
Afschakelen vraag	1	0,02	29	2	1	GWh

Bron: (CE Delft & Witteveen+Bos, 2024).

Ook voor waterstof is opslag nodig. Productie en gebruik zijn ook hier niet elk moment in balans. In de winter is het gebruik van waterstof door de elektriciteitssector en/of voor verwarming hoger dan in de zomer. De productie van waterstof zal in de zomer hoger zijn als er een overschot is aan elektriciteit uit zon en wind. Opslag van waterstof is lastiger dan opslag van aardgas, de moleculen zijn kleiner, dus zijn veel dichtere opslagtanks en/of cavernes nodig (zie factsheets 'Opslag'). Op dit moment wordt onderzoek gedaan naar het gebruik van zoutcavernes voor opslag van waterstof in de provincie Groningen; GasUnie is van plan om bij Zuidwending de eerste grootschalige waterstofopslaglocatie te realiseren (Gasunie, ongoing). Ook opslag in gasvelden behoort tot de mogelijkheden. Ten slotte is ook opslag in ijzerpoeder mogelijk, maar gebruik hiervan bevindt zich nog in de onderzoeksfase (zie factsheet 'Opslag niche: ijzerpoeder').

3.7 Wat is het ruimtelijk gevolg?

In het toekomstige energiesysteem krijgt elektriciteit een veel grotere rol en gas een veel minder grote rol door de uitfasering van fossiele energie. Hierbij veranderen ook de aard en locaties van de productie van energie drastisch. Het grootste deel van de productie van elektriciteit komt van lokale (kleinschaligere) hernieuwbare energiebronnen en windparken op zee, waar dit in het verleden volledig van grootschalige elektriciteitscentrales zoals Eemshaven kwam. Omdat de productie meer volatiel (veranderlijk) is en er nieuwe energiedragers (zoals waterstof) nodig zijn, wordt naast regelbare (energie)centrales grootschalig ingezet op nieuwe onderdelen zoals batterijen en elektrolyzers (flexibiliteit). Hierdoor zal het ruimtebeslag van het energiesysteem fors toenemen en zal ruimte nodig zijn op andere locaties dan tot nu toe gebruikelijk. Dit zorgt ervoor dat de ruimtelijke inpassing van de nieuwe onderdelen van het energiesysteem een forse uitdaging zijn, maar tegelijkertijd ook een cruciale randvoorwaarde zijn voor een tijdige transitie. De provincie kan hierin een belangrijke rol spelen (meer hierover in Paragraaf 4.4).

Het was in dit onderzoek niet mogelijk om een volledige inschatting te maken van de ruimtelijke opgave voor het energiesysteem in Groningen richting 2050. Maar uit eerdere onderzoeken in het kader van het Programma Energiehoofdstructuur (CE Delft & Pondera, 2023) en een onderzoek voor de provincie Noord-Brabant (CE Delft, 2023a) kunnen we wel onderstaande hoofdconclusies trekken:

- Het totale ruimtebeslag van het energiesysteem neemt fors toe door de energietransitie. Absoluut gezien is hernieuwbare opwek verantwoordelijk voor het grootste deel van het ruimtebeslag van het toekomstige energiesysteem. Het totale ruimtebeslag van energie-infrastructuur is minder groot. Toch is de inpassing hiervan uitdagend, vanwege de industriële uitstraling, de gewenste clustering van energie-infrastructuur in bepaalde gebieden/knooppunten en de beperkte keuzevrijheid door technische eisen, inclusief veiligheid bij het plaatsen van nieuwe energie-infrastructuur. Hierdoor moet nieuwe energie-infrastructuur in sommige gevallen ingepast worden in gebieden met weinig beschikbare ruimte.
- De Eemshaven en Delfzijl zijn locaties waar verschillende ontwikkelingen van het energiesysteem samenkomen. De Eemshaven is een aansluitlocatie voor aanlanding van wind op zee (waarvoor convertorstations nodig zijn). Zowel de Eemshaven als Delfzijl zijn in het Programma Energiehoofdstructuur aangewezen als vestigingslocatie voor toekomstige CO₂-vrije elektriciteitscentrales (Rijksoverheid, 2024) en het zijn potentieel geschikte locaties voor batterijen en elektrolyzers. Daarnaast moet bij de Eemshaven een nieuw 380 kV-station gebouwd worden, in Delfzijl een nieuw 220 kV-station (TenneT, 2024) en zal de industrie op beide locaties moeten verduurzamen. De studie van TenneT en de studie voor het Programma Energie Hoofdstructuur geven een overzicht van het potentiële ruimtebeslag voor het energiesysteem bij de Eemshaven en Delfzijl, waarbij het daadwerkelijke ruimtebeslag afhankelijk zal zijn van de hoeveelheid aanlanding van wind op zee en de hoeveelheid omzetting naar waterstof (Pondera Consult & CE Delft, 2023).
- Er zijn op verschillende niveaus forse uitbreidingen nodig aan het elektriciteitsnet, met op elk niveau zijn eigen uitdagingen:
 - Bij het hoogspanningsnet moeten grootschalige projecten gerealiseerd worden, zoals de nieuwe 380 kV-verbinding tussen Vierverlaten in Groningen en Ens (in Flevoland), het 380 kV-station bij Eemshaven en het nieuwe 220 kV-station in Delfzijl. Dit zijn projecten met een groot ruimtebeslag¹⁰, complexe procedures en lange doorlooptijden (7 tot 10 jaar).

¹⁰ Voor een 380 kV-verbinding is een 100 meter breed tracé nodig, over een lengte van ruim 20 kilometer. Een 380 kV-station heeft een ruimtebeslag van 40.000 tot 100.000 m² (Netbeheer Nederland, 2019).

- Bij de HS/MS-stations wordt een groot deel van de bestaande stations uitgebreid en worden er ook enkele nieuwe stations gebouwd. Ook dit zijn grootschalige projecten¹¹ met complexe procedures en lange doorlooptijden (vijf tot zeven jaar voor nieuwe stations). Het kan betekenen dat het gewenste ruimtebeslag vanuit het energiesysteem leidt tot een verdubbeling bij dit soort stations, omdat zowel TenneT als Enexis hun ruimtewensen hebben.
- Er zijn ook forse uitbreidingen nodig in de stedelijke omgeving, met name voor nieuwe MS/LS-transformatoren. Het ruimtebeslag per uitbreiding is beperkt, bij een MS/LS-trafo gaat het bijvoorbeeld om 10 tot 35 m², maar er zijn forse aantallen nieuwe transformatoren nodig. Daardoor is het totale ruimtebeslag hiervan aanzienlijk. Daarnaast moeten deze transformatoren ingepast worden op plekken waar weinig ruimte is, zoals in woonwijken. Grofweg zijn er twee keer zoveel transformatoren in het LS-net nodig
- Er zijn tot slot ook verzwaringen nodig aan MS- en LS-kabels. Deze kabels liggen ondergronds. De uiteindelijke ruimtelijke impact is beperkt, maar om verzwaringen te kunnen uitvoeren, moet de grond opgehaald worden en zijn extra leidingtracés nodig, wat bijvoorbeeld in woonwijken fors hinder kan opleveren.
- De huidige en geplande HS/MS- en HS-stations zijn locaties waar naar verwachting extra ruimte nodig zal zijn. Voor uitbreidingen van deze stations, maar ook omdat dit geschikte locaties zijn voor bijvoorbeeld systeembatterijen.
- Er is nauwelijks nieuwe ruimte nodig voor ontwikkelingen van de gasinfrastructuur. Er is ombouw van een deel van de bestaande aardgasinfrastructuur nodig naar waterstofinfrastructuur, maar dit leidt naar verwachting niet tot een significante, additionele ruimteclaim. Mogelijk wordt een deel van de bestaande aardgasinfrastructuur richting 2050 overbodig.
- Er zal ook ruimte nodig zijn voor de ontwikkeling van de warmte-infrastructuur. Dit vraagt om nieuwe buisleidingen, wat ruimte vraagt in de ondergrond. Ook zullen er extra stations boven de grond nodig zijn. Dit zal met name een knelpunt kunnen opleveren in (hoog)stedelijk gebied. Dit is de bevoegdheid van de betreffende gemeenten en niet van de provincie. Er is op kleinere schaal een tracéstudie nodig om te zien waar de knelpunten precies optreden.

Kortom, het nieuwe energiesysteem, waarbij elektriciteit een dominante rol speelt, zal een fors beroep doen op de bovengrondse ruimte. Maar het zal door de aan-/afvoer van kabels en leidingen ook ondergronds z'n effect hebben. De ruimtelijke inpassing en locatiekeuze zijn uiterst belangrijk. Alle ruimte die nodig is voor de uitbreidingen en veranderingen van het energiesysteem, heeft ook nu een functie. Daarnaast moet bij de ruimtelijke inpassing rekening worden gehouden met andere ruimtelijke claims, zoals klimaatadaptatie, waterveiligheid, het circulair maken van de industrie en de woningbouwopgave. Het combineren van functies, of verdichten of transformeren, kan helpen om voldoende ruimte te creëren voor de energietransitie.

Voor de installaties die nodig zijn voor de omzetting, opslag en verwarming van energiedragers hebben we voor de verschillende scenario's het vermogen en ruimtegebruik geïdentificeerd zoals weergegeven in Tabel 13.

In energiemix 1 en 4 wordt veel gebruik gemaakt van de daken van gebouwen en in energiemix 1 wordt net iets meer van zon in veld en wind op land gebruik gemaakt dan in de andere mixen. In energiemix 2 en 3 wordt minder ruimte van daken gebruikt en in energiemix 2 is veel biomassa nodig (weliswaar buiten de provincie). In energiemix 3 is ruimte op industrieterreinen voor SMR-kerncentrales en fossiel + CCS gebruikt.

¹¹ 15.000 tot 40.000 m², drie tot acht voetbalvelden.

Tabel 13 - Geïnstalleerd vermogen en ruimtegebruik installaties

	1. Lokaal-Welzijn		2. (Inter)nationaal-Welvaart		3. (Inter)nationaal-Welzijn		4. Lokaal-Welvaart	
	MW	ha	MW	ha	MW	ha	MW	ha
Zon in veld	3.366	5.393	2.740	4.389	2.740	4.389	2.740	4.389
Wind op land ¹²	1.178	84	1.050	75	1.050	75	1.050	75
Regelbaar vermogen	1.200	6	1.200	6	1.200	6	1.200	6
Elektrolyzers ¹³	2.000	40	2.000	40	2.000	40	2.000	40
Batterijen ¹⁴	1.100	3,8	1.100	3,8	1.100	3,8	1.100	3,8
Opslag waterstof / groengas ¹⁵	1.000	0,7	1.000	0,7	1.000	0,7	1.000	0,7
Hulpketels	1.889	3,4	917	1,7	1.500	2,7	1.806	3,3
Kerncentrale					1.600	8,8		
Fossiel + CCS					1.200	1,8		
Totaal ruimtebeslag ¹⁶		5.530		4.516		4.528		4.518

Naast het ruimtebeslag voor opwek, omzetting, opslag en verwarming is ook ruimte nodig voor uitbreiding van de energie-infrastructuur, met name aan het elektriciteitsnet. In totaal is er in 2050 naar verwachting 30 tot 50% meer ruimte nodig voor het elektriciteitsnet, ten opzichte van de huidige situatie (Netbeheer Nederland, 2023b).

Figuur 12 geeft het additionele ruimtebeslag richting 2050 voor Delfzijl en de Eemshaven, waar veel ontwikkelingen van het energiesysteem samenkomen (Pondera Consult & CE Delft, 2023). Tabel 14 geeft een opsplitsing van het maximale ruimtebeslag.¹⁷

¹² Dit gaat om het directe landgebruik, dus zonder het meerekenen van ruimte tussen turbines (die ook voor andere doeleinden gebruikt kan worden).

¹³ Naast elektrolyzers die gebruikt worden voor productie van waterstof voor lokale toepassing, zal een deel van het vermogen ook gebruikt worden voor productie van waterstof bedoeld voor export. Deze hoeveelheid verschilt per scenario. We gaan ervan uit dat in elk scenario een vermogen van 2 GW aan elektrolyzers geplaatst zal worden.

¹⁴ De hoeveelheid benodigde batterijen is herleid vanuit landelijk systeemperspectief. Deze hoeveelheid is dus niet direct gelinkt aan de invulling van de Groningse scenario's.

¹⁵ Dit gaat om de capaciteit van de zoutcavernes in Zuidwending.

¹⁶ Dit is exclusief het ruimtegebruik van infrastructuur, en ook het ruimtebeslag van wind op zee is hierin niet opgenomen.

¹⁷ Dit maximale ruimtebeslag gaat uit van de bovengrens van potentiële ontwikkelingen van het energiesysteem voor deze regio's. Het daadwerkelijke ruimtebeslag van het energiesysteem in deze gebieden zal vermoedelijk lager zijn.

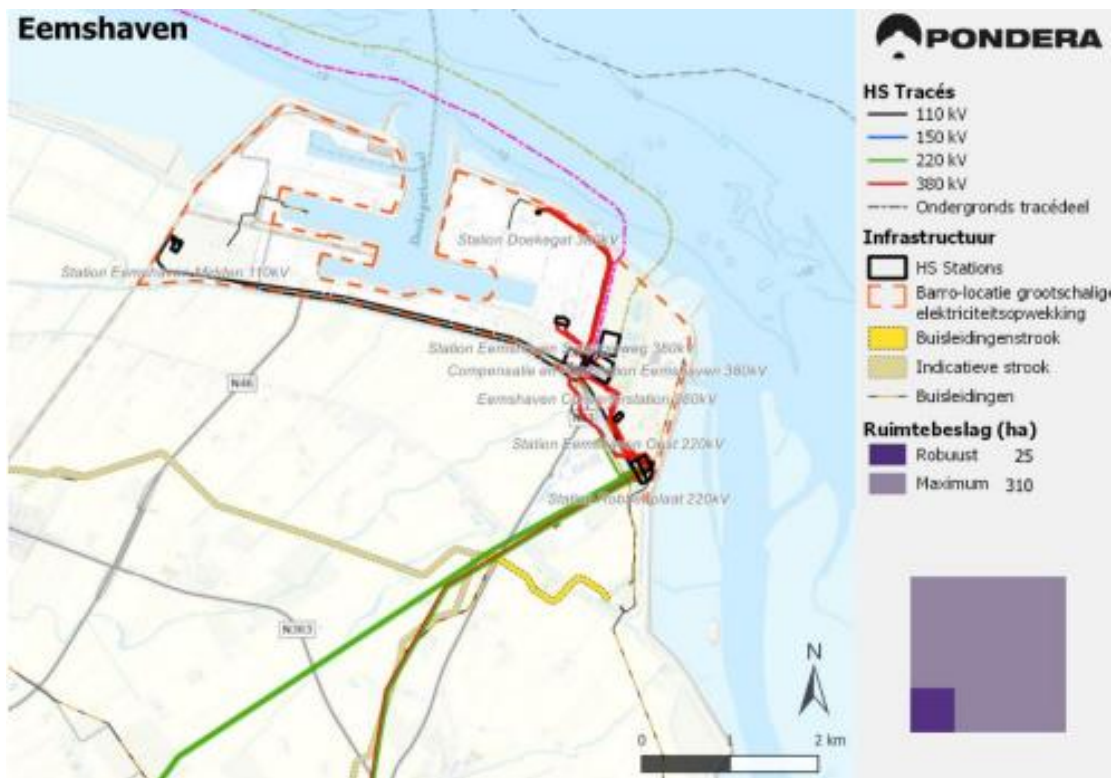
Tabel 14 - Opsplitsing maximaal additioneel ruimtebeslag Delfzijl en Eemshaven 2050

	Delfzijl	Eemshaven
Regelbare centrales	5 hectare	25 hectare
Hoogspanningsstations	10 hectare	30 hectare
Convertorstations	0 hectare	20 hectare
Elektrolyzers	65 hectare	90 hectare
Batterijen	20 hectare	125 hectare
Totaal	100 hectare	290 hectare

Bron: (Pondera Consult & CE Delft, 2023).

Figuur 12 - Potentieel additioneel ruimtebeslag energiesysteem Delfzijl en Eemshaven 2050
(donkerpaars minimaal ruimtebeslag, lichtpaars maximaal ruimtebeslag)





Bron: (Pondera Consult & CE Delft, 2023).

Er moet bij de ruimtelijke inpassing van het energiesysteem rekening worden gehouden met andere ruimtelijke claims en met potentieel lange besluitvormingsprocedures bij het inpassen van het energiesysteem, zodat er direct ruimtelijke reserveringen voor het energiesysteem kunnen worden gestart, in samenwerking met de netbeheerders. Daarnaast is het belangrijk om rekening te houden met benodigde ruimte voor energie-infrastructuur bij alle nieuwe ontwikkelingen.

De provincie speelt hierin een belangrijke rol met zijn bevoegdheden in het ruimtelijke domein. De provincie kan hier sturing aan geven door middel van energieplanologie, bijvoorbeeld door het gericht ontwikkelen van locaties waar vraag en aanbod bij elkaar gebracht kunnen worden (onder andere bedrijventerreinen) om daarmee de transport-behoefte te verkleinen. Meer over de bevoegdheden van de provincie is te vinden in Paragraaf 4.4. Een uitdaging is de wens van de provincie om niet meer extra hoogspanningslijnen aan te leggen.

Daarnaast is het belangrijk om zo snel mogelijk keuzes te maken over de inrichting van het toekomstige energiesysteem, zodat duidelijk wordt waar en hoeveel ruimte noodzakelijk is.

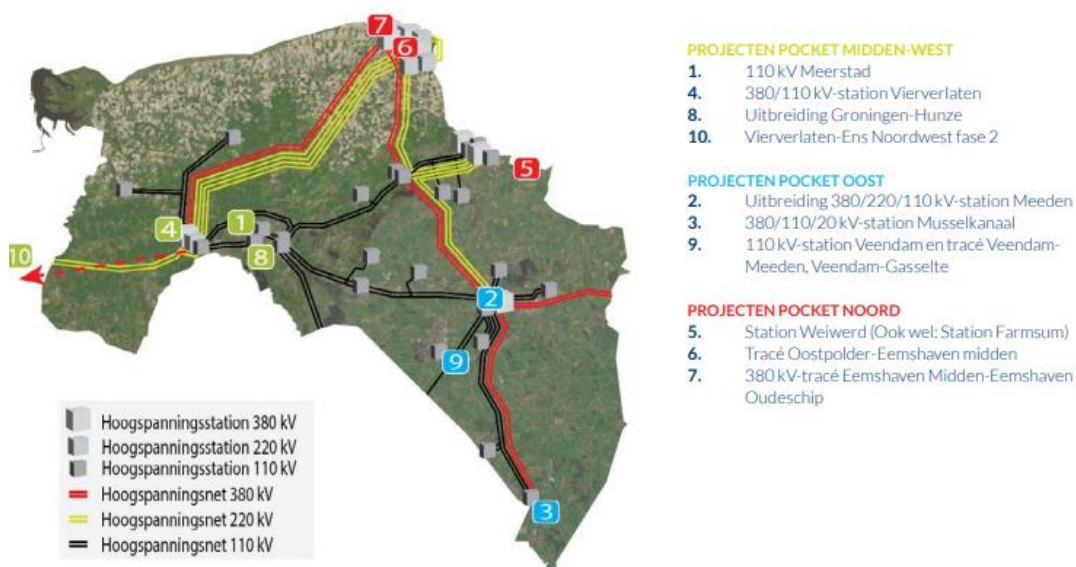
3.8 Vraag en aanbod in deelgebieden

Naast een uitwerking van de scenario's op provincieniveau hebben we op basis van de II3050-cijfers voor zowel de vraag- als de aanbodkant een beeld geschetst voor drie verschillende deelgebieden: midden-west, noord en oost. De gemeentes per deelgebied zijn als volgt:

- deelgebied Midden-West: gemeenten Groningen, Midden-Groningen, Westerkwartier;
- deelgebied Noord: gemeenten Eemsdelta en Het Hogeland;
- deelgebied Oost: gemeenten Stadskanaal, Veendam, Pekela, Westerwolde, Oldambt.

Deze onderverdeling is gebaseerd op de onderverdeling in pockets die in de pMIEK wordt aangehouden (zie Figuur 13).

Figuur 13 - Verdeling provincie Groningen in pockets, volgens de pMIEK



In Tabel 15 t/m Tabel 17 staat een overzicht van de cijfers per deelgebied.

Tabel 15 - Energievraag en -aanbod deelgebied Midden-West (in PJ/jaar)

	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Vraag				
Elektriciteit	15,1	13,8	11,8	14
Waterstof	1,4	6,3	0,5	3,6
Groengas	1,1	0,1	2,5	2,4
Biofuels	1,4	2,3	2,1	1,6
Warmte	1,6	0,9	0,9	1,4
Aanbod				
Zon op dak	14,4	1,3	1,3	14,2
Zon in veld	8,1	6,6	6,6	6,6

	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Wind op land	2,3	2,0	2,0	2,0
Wind op zee	0	0	0	0
Nucleair	0	0	0	0
Fossiel + CCS	0	0	0	0
Biomassa - rest	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabel 16 - Energievraag en -aanbod deelgebied Noord (in PJ/jaar)

	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Vraag				
Elektriciteit	40,4	38,4	40,3	40,9
Waterstof	3,5	3,6	29,4	22,4
Groengas	19,7	19,0	4,4	1,9
Biofuels	3,5	4,7	9,0	4,9
Warmte	4,2	1,9	4,0	4,2
Aanbod				
Zon op dak	5,8	0,5	0,5	5,9
Zon in veld	1,0	0,8	0,8	0,8
Wind op land	10,2	9,1	9,1	9,1
Wind op zee	73,0	73,0	73,0	73,0
Nucleair	0	0	43,2	0
Fossiel + CCS	0	0	25,2	0
Biomassa - rest	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabel 17 - Energievraag en -aanbod deelgebied Oost (in PJ/jaar)

	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Vraag				
Elektriciteit	9,0	8,7	7,2	8,3
Waterstof	1,3	3,7	1,7	6,6
Groengas	12,2	11,3	0,6	2,1
Biofuels	0,9	1,3	1,3	1,0
Warmte	1,0	0,5	0,5	0,9
Aanbod				
Zon op dak	5,1	0,5	0,5	5,2
Zon in veld	1,1	0,9	0,9	0,9
Wind op land	1,5	1,4	1,4	1,4
Wind op zee	0	0	0	0
Nucleair	0	0	0	0
Fossiel + CCS	0	0	0	0
Biomassa - rest	0,5	0,5	0,5	0,5

4 Invloed van de provincie op het energiesysteem

Om de invloed van de provincie op het energiesysteem te duiden, lopen we in dit hoofdstuk vijf beleidsterreinen af, namelijk: Leefbaarheid, Mobiliteit, Economie, Ruimte, en Infrastructuur (pMiek). Per beleidsterreinen is de relatie met het energiesysteem aangegeven.

4.1 Leefbaarheid

Beleid in de provincie

De nog in de maak zijnde Leefbaarheidsvisie heeft als bovenliggend doel om de brede welvaart in de provincie te verbeteren (Provincie Groningen, 2024c).

Voor 2024 is er een Uitvoeringsprogramma Leefbaarheid, waarin brede welvaart ook een belangrijke rol speelt. Het Sociaal Planbureau Groningen heeft voor Groningen zes uitdagingen geïdentificeerd:

1. Brede welvaart onder jongvolwassenen is laag.
2. Dubbele vergrijzing is een grote uitdaging voor het behoud van goede zorg.
3. Iedereen mee in de energietransitie.
4. Wonen onder hoge druk (krapte woningmarkt).
5. Oog voor armoede en kansenongelijkheid.
6. Sterke binding met de regio, maar somber over de toekomst (door wantrouwen in landelijk bestuur, instanties, etc., onder andere door gaswinningsproblematiek).

Op basis van bovenstaande uitdagingen zijn er drie pijlers geïdentificeerd:

1. Sociaal Groningen: bestaanszekerheid en het versterken van sociaal kapitaal.
2. Gezond Groningen: zorgen voor goede zorg nabij en preventie door middel van sporten, bewegen en goede voeding.
3. Goed wonen in Groningen: onder andere inzet op het Masterplan Regiocentra.

Raakvlakken met het thema Energie

In de provincie Groningen leeft een bovengemiddeld aandeel huishoudens in energiearmoede (Provincie Groningen, 2024d). Mensen die in energiearmoede leven, hebben een te hoge energierekening ten opzichte van hun inkomen. Betaalbaarheid van de energierekening is daarmee een onderwerp waarmee de provincie zich bezighoudt. De kosten van het energiesysteem verschillen per scenario en hebben een invloed op deze energierekening.

Naast de kosten van energie is belangrijk hoeveel energie gebruikt wordt. Met het verouderd en verspreid gelegen woningbezit is de energievraag in Groningen relatief hoog. Daarnaast ligt het gemiddelde inkomen in grote delen van Groningen lager dan in de rest van Nederland (Provincie Groningen, 2024d). Bovendien, de hoogte van de energierekening is uiteindelijk ook sterk afhankelijk van nationaal beleid (belastingen, subsidies, etc.) en de provincie heeft hier maar beperkt invloed op.

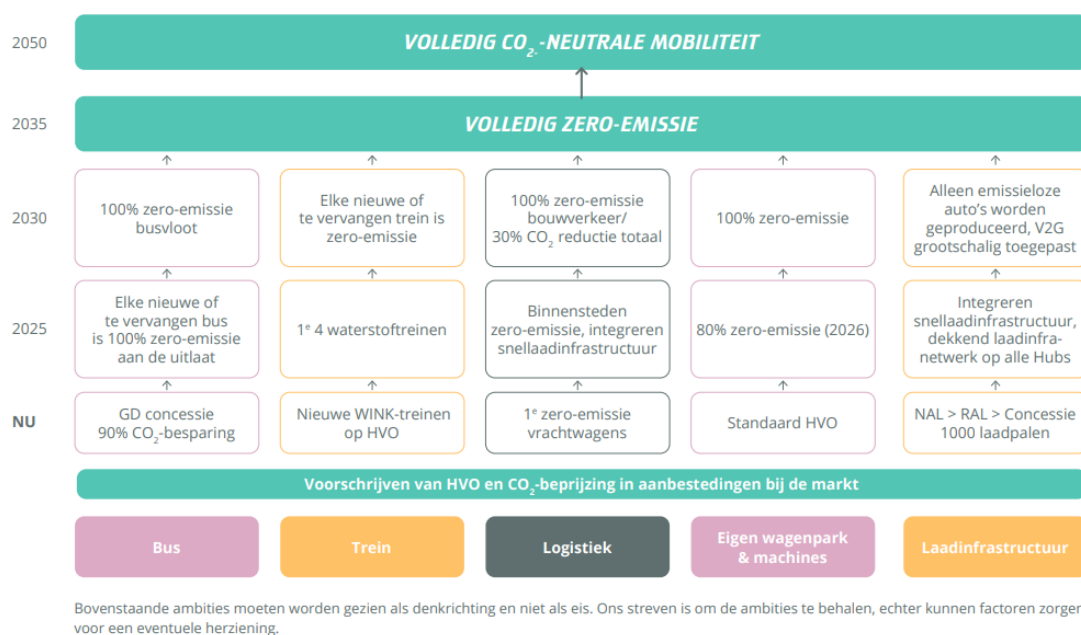
Een ander raakvlak is met de zorgen van Groningers over activiteiten die er in de ondergrond gebeuren in verband met de gaswinningsproblematiek in de provincie. Afhankelijk van hoe de energietransitie precies vorm wordt gegeven, kan gebruik van de ondergrond plaats gaan vinden in de vorm van opslag van groengas/waterstof en gebruik van warmte uit de ondergrond (geothermie). Ook hier heeft de provincie beperkt invloed.

4.2 Mobiliteit

Beleid in de provincie

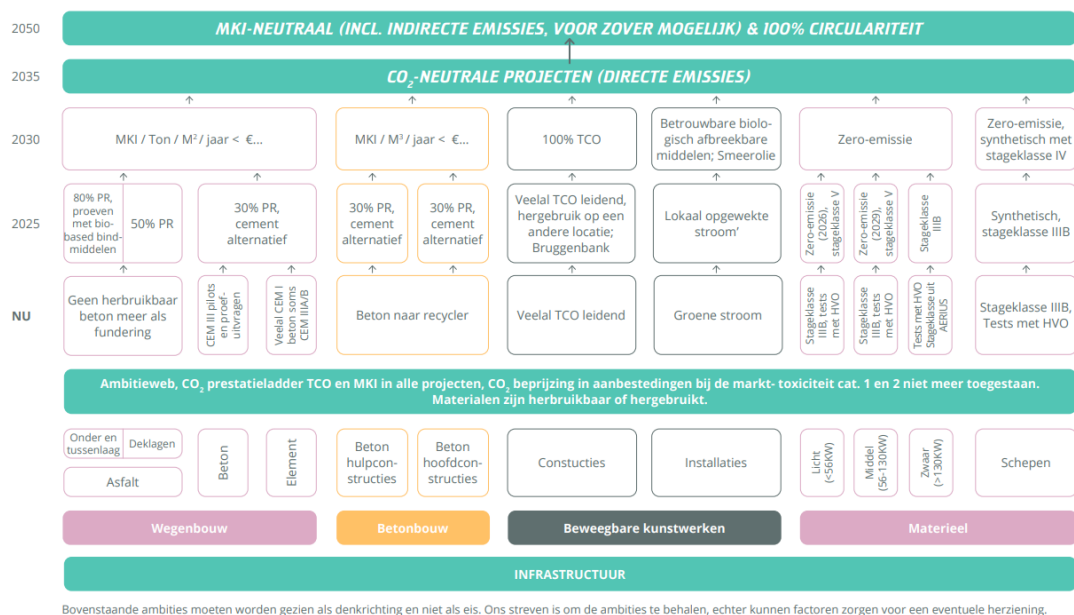
‘Wat Groningers beweegt’ is het Uitvoeringsprogramma Mobiliteit van de provincie voor 2022-2027 (Provincie Groningen, 2022b). Thema 5 is ‘Slimme en Groene Mobiliteit’. Groene mobiliteit gaat over: verminderen van de uitstoot van stoffen als CO₂ en stikstof, verminderen van geluidsoverlast en het duurzaam produceren van infrastructuur. De provincie heeft een routekaart voor CO₂-neutrale mobiliteit en voor CO₂-neutrale infrastructuurprojecten richting 2050 gemaakt (zie Figuur 14 en Figuur 15 respectievelijk).

Figuur 14 - Routekaart provincie Groningen CO₂-neutrale mobiliteit



Figuur 2: Routekaart met onze groene mobiliteit ambities.

Figuur 15 - Routekaart provincie Groningen CO₂-neutrale infrastructuurprojecten



Figuur 3: Routekaart met onze groene infrastructuur ambities.

Raakvlakken met het thema Energie

Vanzelfsprekend is er een belangrijk raakvlak tussen mobiliteit en energie in de vorm van de gebruikte brandstoffen in de mobiliteitssector. De provincie kan invloed uitoefenen op welke brandstoffen worden gebruikt binnen concessies die uitgeschreven worden voor de eigen vloot en voor openbaar vervoer (bus, trein). Ook heeft de provincie een coördinerende en faciliterende rol voor de uitrol van elektrische laadinfrastructuur. De provincie heeft beperkte invloed op de mobiliteitsbehoefte per auto. Het aanleggen van snelfietsroutes van en naar Groningen kan wel zorgen dat er minder autobewegingen zijn.

4.3 Economie

Beleid in de provincie

De provincie Groningen heeft een Economische Visie 2035 opgesteld (Provincie Groningen, 2024b). Hierin zijn drie maatschappelijke doelen geformuleerd:

1. Het vergroten van het verdienvermogen van de Groningse economie, oftewel het verhogen van het besteedbaar inkomen van de Groninger en het verhogen van de (arbeids)productiviteit van de Groningse bedrijven.
2. Een circulaire economie waarin de waarde van producten, materialen en hulpbronnen zo lang mogelijk in stand blijft.
3. Een toekomstbestendige arbeidsmarkt en een sterk vestigingsklimaat.

Daaruit voortvloeiend heeft de provincie een zestal opgaven geformuleerd:

1. Bevorderen van innovatie en kenniseconomie.
2. Werken aan een toekomstbestendige arbeidsmarkt.
3. Perspectiefvolle landbouw stimuleren.
4. Internationaliseren.
5. Toekomstbestendigheid bestaande bedrijven waarborgen.
6. Een aantrekkelijk vestigings- en investeringsklimaat realiseren.

Raakvlakken met het thema Energie

In de focus op een aantrekkelijk vestigings- en investeringsklimaat kan de provincie zich specifiek richten op het energiesysteem. Zoals de provincie zelf ook noemt in de visie, zijn er verschillende onderdelen die bijdragen aan een aantrekkelijk vestigingsklimaat: voldoende ruimte op de juiste plek, goed werkende (fysieke/digitale/energetische) infrastructuur en voldoende beschikking tot water, woningen en cultuur/vrije tijd. Dit kan met name relevant zijn voor de meer lokaal georiënteerde scenario's (1: Lokaal-Welzijn en 4: Lokaal-Welvaart).

Ruime beschikbaarheid van energie is voor veel industrieën een belangrijke vestigingsfactor.

Transitie naar een circulaire economie heeft sterke raakvlakken met het thema Energie. Over het algemeen vraagt materiaal dat hergebruikt of gerecycled wordt minder energiegebruik dan nieuw materiaal (F. Kullmann et al., 2022).

4.4 Ruimte

Beleid in de provincie

De nieuwe omgevingswet is de basis voor de provincie voor de ruimtelijke- en milieu-bevoegdheden. De provincie stelt daarvoor een omgevingsplan op met programma's, waaronder het Programma Energie, waarin het beleid wordt vormgegeven. Op basis hiervan worden vergunningen verleend aan bedrijven en andere overheden, als zij ruimtelijke activiteiten ontwikkelen die vergunningsplichtig zijn.

De provincie heeft een Ruimtelijk Voorstel Novex gemaakt: 'Dit is Groningen, waardevol Groningen' (Provincie Groningen, 2023a). Hierin wordt onder andere een schets voor 2050 gegeven. Centraal voor alle ontwikkelingen van de provincie, staat het bevorderen van de ruimtelijke kwaliteit, waarbij steeds afwegingen gemaakt moeten worden over locatie en acceptatie van nieuwe inpassingen. De provincie hanteert zes uitgangspunten:

1. Het moet ten goede komen aan de inwoners van Groningen.
2. Wij maken ons sterk voor Stad én Ommeland.
3. Brede welvaart is ons kompas voor beslissingen.
4. Ontwikkelingen moeten bijdragen aan de Groningse identiteit.
5. Maatregelen die we nemen zijn multifunctioneel en inpasbaar.
6. We werken aan een gezonde en veilige leefomgeving, en hebben oog voor langetermijneffecten.

Raakvlakken met het thema Energie

De provincie heeft met betrekking tot het ruimtegebruik van regionale faciliteiten (industrieën, energie-installaties, energieleidingen, etc.) veel bevoegdheden en zal gevraagd worden om mee te werken aan vele extra ruimtelijke faciliteiten. Daarbij zullen landschappelijke belangen afgewogen moeten worden met energiebelangen. Met het Programma Energie Hoofdstructuur (PEH) heeft het Rijk in 2023 al diverse overleggen gevoerd over de toekomstige ontwikkelingen, vooral gericht op de elektrische infrastructuur en dan in het bijzonder voor de aanlanding van wind op zee. Als er een nationaal belang is bij de aanleg van specifieke installaties, is het mogelijk dat het Rijk gebruik maakt van de aanwijsbevoegdheid.

Een aantal aspecten die genoemd worden in het ruimtelijk voorstel Novex (voor 2050) hebben een directe relatie met het thema Energie:

- De economie is (nagenoeg) circulair en sluit goed aan bij de regionale arbeidsmarkt.
- Inwoners maken gebruik van duurzame en betaalbare energie.
- Alle regionale bedrijventerreinen binnen de provincie zijn aangesloten op het waterstofnetwerk.
- De 380 kV-verbinding tussen Viervelaten en Ens is op het Gronings deel ondergronds aangelegd.
- De woningbouw is vooral gerealiseerd in de zogenaamde T-structuur in de regio Groningen-Assen en in de regionale centra die een enorme kwaliteitssprong hebben gemaakt.
- In de bestaande woningvoorraad wordt de laatste stap van aardgasvrij-ready naar fossielvrij gezet.
- De Groningers verbruiken sowieso zo min mogelijk energie.
- De (inter)nationale en regionale bereikbaarheid is verbeterd door de aanleg van de Lelylijn, de Nedersaksenlijn en het verbeteren van het bestaande spoor.

4.5 Energie-infrastructuur

Voor pMIEK 1.0 is gekozen voor een focus op de elektriciteitsinfrastructuur, omdat hier de meest urgente knelpunten liggen op dit moment. In Figuur 16 staan de pMIEK-projecten van de provincie Groningen weergegeven.

Figuur 16 - pMIEK-projecten provincie Groningen

Naam project	Locatie	Status	Indicatieve planning
- Nieuwbouw 110 kV-station Meerstad - Tracé Vierverlaten-Meerstad - Bijbehorende tracés onderstations Groningen	Meerstad	Voorontwerp	2026-2028 (diverse fasen)
Uitbreiding 380/220/110 kV-station Meeden	Bestaand station Meeden	Voorontwerp, basisontwerp (diverse fasen)	2025-2027 (diverse fasen)
Nieuwbouw 380/110/20 kV-station Musselkanaal	Bedrijvenpark Zuid-Groningen, gem. Westerwolde	In uitvoering	2027-2028
Uitbreiden Vierverlaten 380 kV en vervanging 110 kV-station Vierverlaten met bijbehorende tracés	Vierverlaten	Basisontwerp	2029
- Nieuwbouw station Weiwerd 110 kV-tracé Farmsum³ -Weiwerd	Weiwerd	Voorontwerp	2026-2030
110 kV-tracé Oostpolder ⁴ -Eemshaven Midden	Oostpolder	Studiefase	2028-2030
380 kV-tracé Eemshaven Midden – Eemshaven Oudeschip	Eemshaven	Voorontwerp	2029-2031
Verzwaren en uitbreiden 110 kV-station Groningen Hunze	Groningen Hunze	Studiefase	2030
Aanpassingen station Veendam, uitbreidingen 110 kV-tracé Veendam-Meeden en Veendam-Gasselte	Veendam	Basisontwerp	2028
Vierverlaten-Ens 380 kV Noordwest fase 2	Vierverlaten	Basisontwerp	2036
Naam verkenning	Omgeving	Status	Termijn
Studie naar nut en noodzaak voor nieuw koppelstation TenneT/Enexis	Omgeving Leek/Marum	Voorverkenning netuitbreiding	n.t.b.
Studie naar nut en noodzaak voor nieuw koppelstation TenneT/Enexis	Grensgebied Friesland/Groningen	Voorverkenning netuitbreiding	n.t.b.
Studie naar nut en noodzaak voor nieuw koppelstation TenneT/Enexis	Omgeving Meeden/N33/A7	Voorverkenning netuitbreiding	n.t.b.

Tabel 2.3 – Overzicht potentiële pMIEK-projecten en -verkenningen

4.6 Provinciaal Energie Bedrijf

Naast de wettelijke taken van de provincie is er ook de mogelijkheid om zelf te acteren in het energiesysteem. Belangrijk is welk doel de provincie heeft om aanvullend op de activiteiten van andere partijen, zelf actief te worden. Mogelijkheden liggen op het gebied van:

- warmtelevering/warmtetransport;
- zon- /windprojecten;
- energiebesparing;
- energiehubs.

Het opzetten van een provinciaal warmtebedrijf is op dit moment onderwerp van onderzoek. Omdat commerciële partijen niet of te weinig investeren in warmteleveringsprojecten of een warmteleiding. De vraag is of de provincie (samen met andere partijen) kan en wil investeren in maatschappelijk nuttige warmteleidingen of distributiesystemen. Een eeuw geleden heeft de provincie dit gedaan met investeringen in het elektriciteitsnet, om ervoor te zorgen dat alle burgers en bedrijven over elektriciteit konden gaan beschikken.

Met de nieuwe warmtewet (Wcw) is er een duidelijke rol voor publieke partijen bij grote warmteprojecten. Of dat de provincie zal zijn, is afhankelijk van de initiatieven van andere publieke partijen zoals het Rijk, de netwerkbedrijven en de gemeenten. Zie voor een uitgebreidere toelichting de factsheet ‘Eigendomsvormen: Provinciaal Warmtebedrijf’.

4.7 Conclusie

De belangrijkste invloed van de provincie op het energiesysteem ligt bij de ruimtelijke / milieu-inpassing. Daarbij gaat het vooral om een reactieve en niet proactieve invloed. Het gaat om het toelaten van activiteiten die door derden worden ondernomen en waarvoor een omgevingsvergunning nodig is. Hiermee kan het energiesysteem in beperkte mate worden gestuurd door de provincie. Wel kan hiermee worden bepaald waar geen windturbines, zonneprojecten, hoogspanningsstations en elektrolyzers kunnen worden ontwikkeld. Iets gecompliceerder ligt het bij elektriciteitscentrales (inclusief nucleaire) waar het Rijk een aanwijsbevoegdheid heeft (Barro-locaties) en daarmee activiteiten die van nationaal belang zijn, kan afdwingen.

Daarnaast is een provinciale rol mogelijk met proactieve invloed. De provincie kan diverse ontwikkelingen stimuleren door regie en subsidie te verstrekken (energiehubs) en/of in te gaan investeren (warmteprojecten).

5 Mogelijk beoordelingskader

De energiemixen worden tegen elkaar afgewogen door een beoordelingskader. Ten eerste is dat op basis van de aspecten van brede welvaart. Dit komt aan bod in Paragraaf 5.1.

Vervolgens vindt de beoordeling plaats op 4 B's:

- Betaalbaarheid;
- Betrouwbaarheid;
- Beschikbaarheid;
- Bestendigheid.

Hierbij worden de conclusies van de brede welvaartsanalyse verwerkt in de 4 B's.

Dit gebeurt in Paragraaf 5.2.

5.1 Beoordeling brede welvaart

Brede welvaart is een breed begrip waarvan de verschillende deelaspecten in beeld zijn te brengen, zoals kosten en effecten op de regio. Maar het is in deze studie niet mogelijk om een analyse te maken op verdelingseffecten naar inkomensgroepen of jongeren versus ouderen, omdat onbekend is op welke wijze de energiekosten van de vier energiemixen bij de verschillende gebruikersgroepen terecht komen. Daarom beperken we de brede-welvaartsanalyse tot twee typen criteria:

1. **Nationale welvaart**, strevend naar de hoogste *maatschappelijke welvaart* en beoordeeld op directe, indirecte en externe effecten (in lijn met een traditionele mkba (maatschappelijke kosten-batenanalyse).
2. **Regionale spin-off**, strevend naar de beste *regionale spin-off* en beoordeeld op directe en indirecte economische effecten (in euro's en werkgelegenheid).

In analyses van deze twee criteria beoordelen we effecten van de energiemixen op twee verschillende manieren; deze moeten dus als twee los van elkaar staande analyses worden gezien. In Bijlage B.1 lichten we de methode toe die we hebben gebruikt voor het beoordelen van het effect van de vier energiemixen op de nationale welvaart. In Bijlage B.2 doen we hetzelfde voor de regionale spin-off.

5.1.1 Analyse nationale welvaart

In Tabel 18 tonen we de resultaten van de nationale welvaartsanalyse. De achterliggende duiding is opgenomen in Bijlage B. Duidelijk is te zien dat de directe effecten dominant zijn boven de indirecte en externe effecten.

Tabel 18 - Overzicht resultaten welvaartsverkenning per scenario, looptijd 50 jaar, bedragen in € x mln

	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Directe effecten				
Productie	-74.200	-87.000	-95.000	-110.600
Transport	-79.400	-68.000	-71.500	-77.600
Installatie	-21.300	-27.700	-63.200	-48.300
Opslag	-11.600	-11.300	-10.900	-11.400
Subtotaal	-186.500	-194.000	-240.600	-247.900

	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Indirecte effecten				
Structurele werkgelegenheid	860	720	990	860
Subtotaal	860	720	990	860
Externe effecten				
Landgebruik (biodiversiteitsverlies)	-200	-170	-210	-170
Hinder	-580	-580	-150	-1.670
Nucleaire veiligheid	0	0	— *	0
CO ₂ -effect	0	0	-3.900	0
Subtotaal	-780	-750	-4.260	-1.840
Totaal	-186.420	-194.030	-243.870	-248.880

* Nucleaire veiligheid is door het bijzondere karakter (groot effect, zeer kleine kans) niet monetair beoordeeld.

5.1.2 Analyse regionale spin-off

In Tabel 38 (Bijlage B.2) hebben we de resultaten van de regionale analyse gepresenteerd. We zien dat – naargelang de omvang van de investeringen – zowel de eenmalige als structurele effecten het hoogste uitvallen in energiemixscenario 3, (Inter)nationaal-Welzijn. De investeringsimpuls leidt tot eenmalig bruto economisch effect voor de provincie van € 4 tot 9 miljard en een werkgelegenheidseffect van 800 tot 1.900 fte. De structurele (jaarlijkse) effecten voor de provincie hebben we geschat op € 450 miljoen tot € 1 miljard en de werkgelegenheidseffecten op 900 tot 1.200 fte.

Tabel 19 - Overzicht regionale spin-off-effecten

	Energiemix 1: Lokaal-Welzijn	Energiemix 2: (Inter)nationaal-Welvaart	Energiemix 3: (Inter)nationaal-Welzijn	Energiemix 4: Lokaal-Welvaart
Eenmalige effecten				
Directe investeringsimpuls Nederland (€ x mln)	27.000	25.000	58.000	32.000
Direct en indirect (bruto) economisch effect Nederland (€ x mln)	43.000	40.000	93.000	51.000
Direct en indirect (bruto) economisch effect provincie (€ x mln)	4.300	4.000	9.300	5.100
Direct en indirect (bruto) eenmalig werkgelegenheidseffect Nederland (fte)	9.000	8.000	19.000	10.000
Direct en indirect (bruto) eenmalig werkgelegenheidseffect provincie (fte)	900	800	1.900	1.000

	Energiemix 1: Lokaal-Welzijn	Energiemix 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Energiemix 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Energiemix 4: Lokaal-Welvaart
Structurele (jaarlijkse) effecten				
Directe economische impuls operationele fase Nederland (€ x mln)	2.900	2.800	6.400	3.500
Direct en indirect (bruto) economisch effect Nederland (€ x mln) *	4.600	4.500	10.200	5.600
Direct en indirect (bruto) economisch effect provincie (€ x mln) *	460	450	1.020	560
Directe en indirecte (bruto) structurele werkgelegenheid Nederland (fte) *	10.600	8.800	12.400	10.600
Directe en indirecte (bruto) structurele werkgelegenheid provincie (fte) *	1.060	880	1.240	1.060

* Conservatieve schattingen op basis van *huidige* economische structuur. Het effect van mogelijke, nieuwe bedrijvigheid in Nederland of in de provincie als gevolg van de investeringen in de energiemix zijn hierin *niet* meegenomen.

5.2 Beoordeling 4 B's

De energiemixen worden tegen elkaar afgewogen door een beoordelingskader. Dit beoordelingskader bestaat uit een beoordeling van elke energiemix op 4 B's:

- Betaalbaarheid;
- Betrouwbaarheid;
- Beschikbaarheid;
- Bestendigheid.

Dit gebeurt in de paragrafen 5.2.1 tot en met 5.2.4. En vervolgens zullen de 4 B's geordend moeten worden qua belangrijkheid. Dat is aan de politiek en valt buiten de scope van deze rapportage.

5.2.1 Betaalbaarheid

Betalbaarheid kan worden uitgedrukt in kosten per eenheid energie. Het betreft de kosten van productie en infrastructuur. Met een welvaartsanalyse hebben we dat in Bijlage B voor de vier energiemixen gedaan. De energiemix met de hoogste kosten is Scenario 4: Lokaal-Welvaart (zie Tabel 32 in Bijlage B). Overigens leiden de kostenverschillen niet direct naar een betere betaalbaarheid voor de Groningse bewoners en bedrijven, omdat de kosten van energie landelijk en vaak zelfs Europees bepaald worden. Ook netwerktarieven en belastingen op energie spelen een belangrijke rol.

De kosten voor burgers en bedrijven worden daarnaast maar in beperkte mate bepaald door Groningse projecten. De investeerders zijn over het algemeen (inter)nationale partijen die hun energieprijzen laten bepalen door een mix van investeringen en risico's. De ervaring leert dat lokale investeerders vergelijkbare energieprijzen hanteren als die (inter)nationale partijen, hoeguit dat een deel van de winst in de lokale economie terecht komt.

Dit aspect zou daarom beter vertaald kunnen worden naar de vraag in hoeverre de vier energiemixen bijdragen aan financiële stromen die in de eigen regio blijven. De bijdrage aan de regio is weergegeven in Tabel 38 in Bijlage B.

Tabel 20 - Beoordeling vier energiemixen op Betaalbaarheid

Betaalbaarheid (mln €)	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Totaal NCW over 50 jaar	-186.420	-194.030	-243.870	-248.880
Direct en indirect (bruto) economisch effect provincie	4.300	4.000	9.300	5.100

5.2.2 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van het energiesysteem is landelijk bepaald en alle energiemixen voldoen aan de eisen op dat vlak. De inzet van flexopties, zowel bij gebruikers als bij energie-installaties, is verschillend per energiemix, maar niet onderscheidend. De algemene betrouwbaarheid is daarmee voor alle mixen zeer goed.

Een relevant en onderscheidend punt is de betrouwbaarheid van de energiebronnen/installaties voor de omgeving. Als een calamiteit met een bron/installatie plaatsvindt, wat betekent dat dan voor de omgeving, voor (delen van) Groningen?

De energiebronnen zon, wind hebben een laag risicoprofiel, de kans dat een wiek van een windturbine schade of letsel veroorzaakt, is klein én ook klein qua omvang. Het effect op het energiesysteem is klein als één eenheid uitvalt. Daarmee is de impact van deze bronnen gering.

De energiebron kernenergie heeft bij een calamiteit een zeer grote impact, ook al is de kans daarop zeer klein. Een zeer grote omgeving kan grote schade ondervinden en een substantiële bron van elektriciteit valt uit.

Fossiel + CCS heeft beperkte impact, alleen op de directe omgeving. De hoeveelheid (blauwe) waterstof neemt binnen de scope van Groningen met circa 25% af.

Alle energiemixen gebruiken veel lokale bronnen. Energiemix 3 gebruikt daar bovenop veel kernenergie en fossiel + CCS, daarmee is deze mix het meest risicovol.

Tabel 21 - Beoordeling vier energiemixen op Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Normaal bedrijf	99,99%	99,99%	99,99%	99,99%
Uitval grootste eenheid	Windturbine 1 à 2 MW	Windturbine 1 à 2 MW	SMR-centrale 200 MW	Windturbine 1 à 2 MW

5.2.3 Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van alle energiebronnen is verschillend, maar de uitval van een bron betekent niet de uitval van het energiesysteem. Groningen is voor gas en elektriciteit volledig gekoppeld aan het (inter)nationale energiesysteem. Wel kunnen de kosten oplopen als een relevante bron qua beschikbaarheid in de problemen komt, zoals we in 2022 hebben gezien met de beschikbaarheid van (Russisch) aardgas. De energiemix in Groningen speelt daarbij geen rol.

Wel is de beschikbaarheid van ruimte voor het energiesysteem relevant. Het ruimtebeslag is voor elke energiemix anders, ook al is het niet precies te kwantificeren. In Paragraaf 3.4 zijn wel per techniek grootteordes genoemd. Het enige overeenkomende ruimtebeslag is dat voor de uitbreiding van de elektrische infrastructuur en voor aanlanding van wind op zee en elektrolyzers; niet alleen voor het eigen gebruik, maar ook voor doorvoer naar andere delen van Nederland.

In energiemixen 2 t/m 4 is het ruimtegebruik sterk vergelijkbaar met elkaar. Kleine verschillen worden veroorzaakt door toepassing van kernenergie en fossiel + CCS (in energie-mix 3), of door verschillende mate van gebruik van hulpketels (in energiemix 4 hoger). Energiemix 1 heeft het grootste ruimtegebruik, wat vooral veroorzaakt wordt door zon in veld.

In Tabel 22 zijn de totalen weergegeven, afkomstig uit Tabel 13.

Tabel 22 - Ruimtebeslag, exclusief infrastructuur

Hectares	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Ruimtebeslag productie ¹⁸	5.530	4.516	4.528	4.518

5.2.4 Bestendigheid

De bestendigheid betekent dat het systeem tot in lengte van jaren zo zou kunnen voortbestaan. Met name de broeikasgasemissies zijn daarbij een belangrijke factor. Voor alle energiemixen geldt dat er geen klimaatemissies zijn, dat is een randvoorwaarde geweest. Binnen bestendigheid beperken we ons in de scope van dit project verder tot de bestendigheid van het energiegebruik, het materiaalgebruik is buiten scope. Alle provinciale energiebronnen zijn hernieuwbaar, met als enige kanttekening dat nucleaire installaties (energiemix 3) gebruik maken van de eindige grondstof uranium en afval oplevert dat meer dan 100.000 jaar afgescheiden moet blijven van de leefomgeving. Ook is dit systeem afhankelijk van de externe beschikbaarheid van uranium, aardgas en CO₂-opslagfaciliteiten.

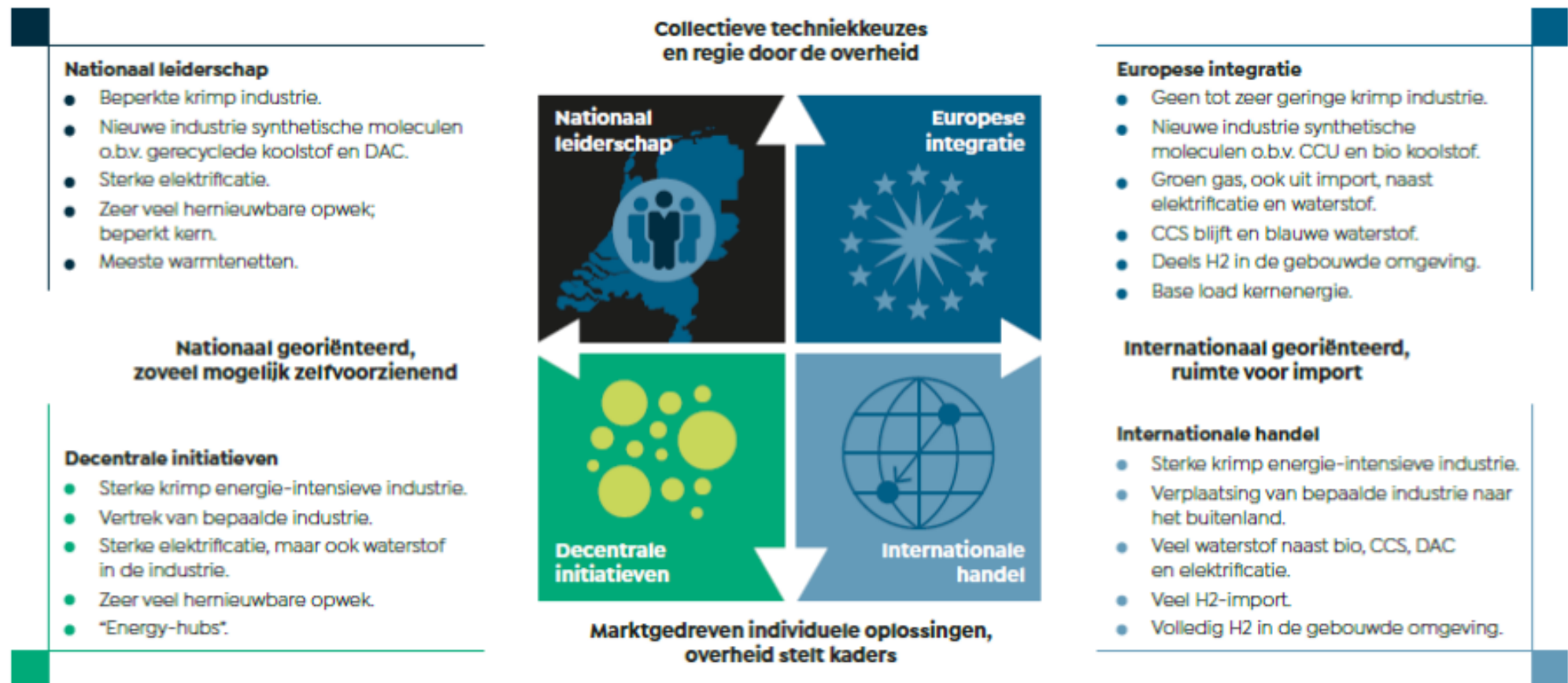
¹⁸ Dit is exclusief het ruimtegebruik van infrastructuur, en ook het ruimtebeslag van wind op zee is hierin niet opgenomen.

Literatuur

- CE Delft. (2023a). *Brabants energiesysteem. Ontwikkelingen richting 2050 en ruimtelijke consequenties.*
- CE Delft. (2023b). *Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem in Groningen en Drenthe.*
- CE Delft, & Pondera. (2023). *Integrale Effectenanalyse - Programma Energiehoofdstructuur 2023 - Ontwikkeling energiehoofdinfrastructuur 2030-2050.*
- CE Delft, & Witteveen+Bos. (2024). *Elektriciteitsmix en marktdynamiek in 2035 CO2-vrij elektriciteitssysteem.*
- DNV. (2024). *Maakbaarheidsgat Nederlandse elektriciteitsnet per 2030.*
- Enexis. (2024). *Investeringsplan 2024.*
- F. Kullmann et al. (2022). *The value of recycling for low-carbon energy systems - A case study of Germany's energy transition.*
- Gasunie. (ongoing). *HyStock Waterstofopslag.*
- Ministerie van Financiën. (2020). *Advies werkgroep discontovoet 2020.*
- Netbeheer Nederland. (2019). *Basisinformatie over energie-infrastructuur: Opgesteld voor de Regionale Energie Strategieën.*
https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Basisdocument_over_energie-infrastructuur_143.pdf
- Netbeheer Nederland. (2023a). *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's.*
- Netbeheer Nederland. (2023b). *Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050 eindrapport.*
- Netbeheer Nederland. (2023c). *Integrale infrastructuurverkenning 2030 -2050.*
- Pondera Consult, & CE Delft. (2023). *Integrale Effectenanalyse Programma Energiehoofdstructuur.*
- Provincie Groningen. (2020). *Startnotitie Omgevingsvisie.*
- Provincie Groningen. (2022a). *Koersdocument Omgevingsvisie.*
- Provincie Groningen. (2022b). *Wat Groningers Beweegt: Uitvoeringsprogramma Mobiliteit Provincie Groningen 2022-2027.*
- Provincie Groningen. (2023a). *Dit is Groningen, waardevol Groningen.*
https://www.provinciegroningen.nl/fileadmin/user_upload/Dit_is_Groningen.pdf
- Provincie Groningen. (2023b). *Voortgangsrapportage RES 2.0 Groningen.*
- Provincie Groningen. (2024a). *Bouwstenendocument Programma Energie.*
- Provincie Groningen. (2024b). *Economische Visie 2035.*
https://www.provinciegroningen.nl/fileadmin/user_upload/Documenten/Beleid_en_documenten/Documentenzoeker/Werken_en_ondernemen/Economische_visie/Economische_Visie_2035_PS17072024.pdf
- Provincie Groningen. (2024c). *Startnotitie Leefbaarheidsvisie 2024-2035.*
- Provincie Groningen. (2024d). *Uitvoeringsprogramma Leefbaarheid 2024.*
- Provincie Groningen. (2025). *Concept ontwerp omgevingsvisie 2025-2050.*
- Rijksoverheid. (2024). *Programma Energiehoofdstructuur.*
- TenneT. (2024). *Investeringsplan Net op land 2024-2033.*
- Witteveen+Bos. (2024). *PlanMER Omgevingsvisie provincie Groningen.*
- Witteveen+Bos, & CE Delft. (2021). *Perspectieven elektriciteit uit water.*

A Energiescenario's II3050

Op dit moment zijn de vier scenario's van Netbeheer Nederland voor energiegebruik en -productie de meest uitgewerkte scenario's, waarbij ook de consequenties voor de energienetten in beeld is gebracht.



Bron: (Netbeheer Nederland, 2023a).

A.1 Scenario's

In de systeemstudie Groningen-Drenthe van 2019 zijn vier scenario's doorgerekend met verschil in vraag en aanbod. In Tabel 28 zijn de cijfers voor Groningen plus Drenthe weergegeven.

Voor de feitelijke data van het energiegebruik baseren we ons op de eerdere systeemstudie voor Groningen, aangevuld met de meest recente IJ3050-scenario's (2023) die passen bij elk van de vier scenariobeelden in 2050.

In de volgende tabel hebben we de energievraagontwikkeling getypeerd in de scenario's van IJ3050, in een volgende stap gaan we de cijfers eraan koppelen.

Tabel 23 - Energievraag - kenmerken

Energievraag	Decentraal	Internationaal	Europees	Nationaal
Gebouwde omgeving	Efficiënt	Efficiënt	Efficiënt	Extra efficiënt
Mobiliteit	Huidig	Huidig	Hoog	Laag
Landbouw	Huidig	Huidig	Huidig	Huidig
Industrie	Huidig, efficiënt	Laag	Hoog	Huidig, efficiënt
Datacenters	Groei	Groei	Groei	Groei

In Scenario Decentraal is er sprake van een veel meer over de provincie gespreide ontwikkeling rond kleinere steden en dorpen. Dat betekent dat wonen en werken in het buitengebied zich relatief sneller ontwikkelen, er minder mobiliteit is ten gevolge van forensen, meer woningen zijn verspreid over de gehele provincie en er zijn veel regionale producten. Ook is er een toename van met name kleinschalige landbouw.

Tabel 24 - Energievraag Scenario Decentraal

Ontwikkeling	Scenario Decentraal
Wonen	Beperkte groei aantal woningen buiten de stad, veel ruimte voor water/natuur
Werken	Veel kleinere bedrijven(terreinen) verspreid over de provincie, recycling
Mobiliteit	Afname mobiliteit, kleinschalige logistiek
Landbouw	Kleinschalige duurzame landbouw, regionale kringlopen, geen intensieve veehouderij
Energie	Lage energievraag, veel biomassa, zelfvoorzienend met zon en wind. Ondergrondse ontwikkeling van het elektriciteitsnet.

In Scenario Internationaal vindt de verstedelijking dermate gespreid plaats dat er geen duidelijke structuur meer is te onderscheiden. Wel ontstaan in sommige regio's nieuwe stedelijke velden met bebouwing in lagere dichtheden. Voor de provincie Groningen betekent dat het aaneengroeien van Assen en Groningen tot aan Delfzijl. Er is een afnemende rol van landbouw, een toename van het wonen in dorpen en er zijn veel kleine bedrijven.

Tabel 25 - Energievraag Scenario Internationaal

Ontwikkeling	Scenario Internationaal
Wonen	Hoge groei uitgesmeerd over alle gemeenten
Werken	Veel ICT-bedrijven, thuiswerken, meer datacenters
Mobiliteit	Afname mobiliteit
Landbouw	Productieve, hoogtechnologische, duurzame landbouw, buitendijks
Energie	Hoge energievraag, energiebedrijven sterk internationaal, groei elektriciteitsnetwerk is incrementeel = niet efficiënt, veel elektrificatie, import waterstof, kleinschalige kernenergie

Scenario Europees betekent voor de provincie Groningen dat er weinig verstedelijking plaatsvindt. De Eemshaven wordt voor de groeiende wereldhandel een belangrijke plaats voor industriële activiteiten van mondiale bedrijven. We gaan uit van een lage groei van het aantal woningen in Groningen (2050 = huidig + 5%).

Tabel 26 - Energievraag Scenario Europees

Ontwikkeling	Scenario Europees
Wonen	Lage groei aantal woningen
Werken	Groei Eemshaven + Delfzijl, veel recycling
Mobiliteit	Van en naar Eemshaven/Delfzijl
Landbouw	Productieve, grootschalige, duurzame landbouw, productiebossen
Energie	Hoge energievraag, ondergrondse ontwikkeling van elektriciteitsnet, nationale energie-bedrijven, kernenergie EPR op industrielocatie Eemshaven

In Scenario Nationaal ontstaat een stedelijk kralensnoer met compacte bebouwing op de openbaarvervoerknopen in grotere en vooral ook middelgrote steden langs de huidige spoorlijnen naar Uithuizen, Delfzijl, Leeuwarden en Stadskanaal. Hier worden locaties die in verband met een veilig en goed functionerend water- en bodemsysteem minder geschikt zijn, zoveel mogelijk ontzien. De locaties voor bedrijfsactiviteiten voor de circulaire economie zijn zo gekozen en ingericht dat ze gemakkelijk (per fiets of met openbaar vervoer) bereikbaar zijn voor stedelingen die er bijvoorbeeld producten laten reviseren. Dit betekent ook dat de stad Groningen zich sterk ontwikkelt en handhaaft (verder wordt versterkt) tot een compacte stad met een sterke regionale functie. Naar alle windrichtingen is er goed openbaar vervoer, zodat bedrijven zich kunnen vestigen zonder veel automobilititeit.

Tabel 27 - Energievraag Scenario Nationaal

Ontwikkeling	Scenario Nationaal
Wonen	Groei stad Groningen, in buitengebied veel ruimte voor natuur
Werken	Lagere consumptie, minder bedrijven, hergebruik goederen
Mobiliteit	Goed ov, weinig automobilititeit, weinig distributie van goederen, Lelylijn
Landbouw	Productieve, grootschalige, duurzame landbouw, nieuw bos, verzilting, geen veeteelt meer
Energie	Lage energievraag, geothermie, veel zonne-energie en wind op land

Samen met de cijfers van IJ3050 vertalen we dit naar de volgende vraag naar energie, weergegeven in Tabel 28.

Tabel 28 - Energievraag II3050-scenario's - cijfers

Energievraag (PJ/j)	Decentraal	Internationaal	Europees	Nationaal
Gebouwde omgeving	16,1	16,8	16,9	15,1
Mobiliteit	13,8	15,0	26,4	7,5
Landbouw	3,4	2,8	3,1	2,9
Industrie	25,5	16,3	52,1	22,4
Datacenters	27,2	27,2	27,2	27,2
Overig	2,1	2,7	3,1	2,6
Totaal	88,1	80,9	128,9	77,6

De figuren in Bijlage A.3 geven de relatie weer tussen de totale vraag naar energie (elektriciteit, gas, warmte) en de productie met wind op land, wind op zee, zon, geothermie, biomassa, kernenergie, import, etc.

A.2 Energievraag

Op basis van de scenario's constateren we dat de energievraag per scenario weinig verschillend is, op een aantal sectoren na. Wel is de inzet van de energiedragers verschillend. In Scenario Europees wordt relatief veel biofuels, groengas gebruikt; in scenario Internationaal relatief de meeste elektriciteit.

De energievraag van Gebouwde omgeving is in alle scenario's nagenoeg gelijk (16 PJ/jaar); maar wel met gebruik van verschillende energiedragers:

- Decentraal: warmte, elektriciteit, groengas;
- Internationaal: vooral waterstof;
- Europees: van alles wat;
- Nationaal: vooral elektriciteit en warmte.

De energievraag van Mobiliteit in Scenario Nationaal is veel lager dan het gemiddelde van de scenario's (15 PJ), terwijl het in Scenario Europees juist veel hoger is. We schalen alle scenario's op 15 PJ en kijken bij de gevoeligheidsanalyse naar het effect van veel meer (26 PJ) en veel minder (7 PJ) energievraag vanuit mobiliteit:

- Decentraal: elektriciteit (70%), biofuels (25%);
- Internationaal: weinig elektriciteit, waterstof en biofuels;
- Europees: 26,4 PJ/jaar: van alles wat, veel biofuels;
- Nationaal: 7 PJ/jaar: elektriciteit en biofuels.

De energievraag van Industrie in Scenario Internationaal is veel lager dan het gemiddelde van de scenario's (23 PJ), terwijl het in Scenario Europees juist veel hoger is:

- Decentraal: elektriciteit (80%), waterstof (20%);
- Internationaal: 17 PJ; elektriciteit (80%), waterstof (20%);
- Europees: 52 PJ/jaar; veel groengas;
- Nationaal: elektriciteit (80%), waterstof (20%).

Omdat in de systeemstudie 2019 de vraag van de industrie in alle scenario's rond de 100 PJ lag (inclusief datacenters en inclusief feedstock), verhogen we nu de vraag in alle scenario's naar het niveau van Scenario 3: Internationaal-Welzijn, op het niveau van 52 PJ/jaar in de gevoeligheidsanalyse kijken we naar een scenario met een veel lagere energievraag voor de industrie, doordat delen van de huidige industrie zijn verdwenen uit Groningen.

De energievraag van Landbouw is in alle scenario's nagenoeg gelijk (3 PJ/jaar), wel met gebruik van verschillende energiedragers:

- Decentraal: warmte, elektriciteit;
- Internationaal: naast warmte en elektriciteit ook waterstof;
- Europees: warmte, elektriciteit;
- Nationaal: warmte, elektriciteit.

In de totale energievraag verschilt de inzet van energiedragers als volgt:

- elektriciteit: 57-62%;
- waterstof: 3-13%;
- groengas: 4-13%;
- biofuels: 6-14%;
- warmte: 8-16%.

Voor de doorrekening van de energiemixen zullen we werken met één vraagscenario, waar de bovengenoemde, sterke verschillen uit geëlimineerd zijn, zodat het effect van de energiemix niet wordt beïnvloed door een andere energievraag.

In **Scenario 1: Lokaal-Welzijn** ligt het accent op een efficiënte vraag, geen grote structuurveranderingen ten opzichte van huidig.

We gebruiken het **Scenario 'Decentraal'** van II3050.

In **Scenario 2: (Inter)nationaal-Welvaart** krimpt de industrie en is er een efficiënte vraag in de andere sectoren. Er is relatieve groei van de vraag naar waterstof.

We gebruiken het **Scenario 'Internationaal'** van II3050.

In **Scenario 3: (Inter)nationaal-Welzijn** is er een versterking van de energie-intensieve industrie in de Eemshaven en Delfzijl en veel gebruik van biomassa voor de productie van chemische producten. We gebruiken het **Scenario 'Europees'** van II3050.

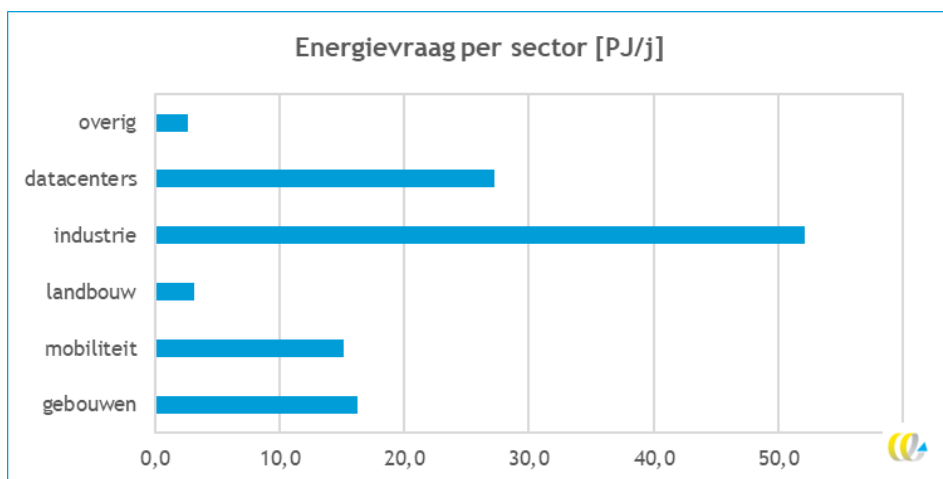
In het **Scenario 4: Lokaal-Welvaart** is de vraag door extra maatregelen efficiënter dan in de andere scenario's en is de mobiliteitsbehoefte laag.

We gebruiken het **Scenario 'Nationaal'** van II3050.

In de volgende tabellen zijn de vier energievraagscenario's gekwantificeerd.

Tabel 29 - Energievraag - cijfers Groningen 2050

Energievraag (PJ/j)	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Elektriciteit	64,5	60,9	59,4	63,2
Waterstof	6,3	13,6	31,6	32,7
Groengas	33,0	30,3	7,6	6,4
Biofuels	5,8	8,2	12,3	7,6
Warmte	6,8	3,3	5,4	6,5
Totaal	116	116	116	116



A.3 Energiebronnen

De potentie per energiebron is verschillend en weergegeven in Tabel 30.

Tabel 30 - Potentiële energiebronnen Groningen

Energie	Huidige productie (GW)	Huidige productie (PJ/j)	Realistische potentie Groningen (GW)	Realistische potentie Groningen (PJ/j)	Provinciale Beperkingen (GW)	Provinciale Beperkingen (PJ/j)
Biomassa	0	0	–	1,2		
Zon op dak	0,8	2,3	8,4	25,3	N.v.t.	
Zon in veld	0,8	2,5	8,6	26,1	2,4	8,3
Wind op land NL	0,9	8,3	1,9	22,7	1,1	12,5
Wind op zee NL	0,6	8,6	4	73		
Kernenergie *	0	0	1,6	43,2	Geen kernenergie	
Fossiel + CCS *	0	0	1,2	25,2		
Getijdenenergie	0	0	0,06	0,5		

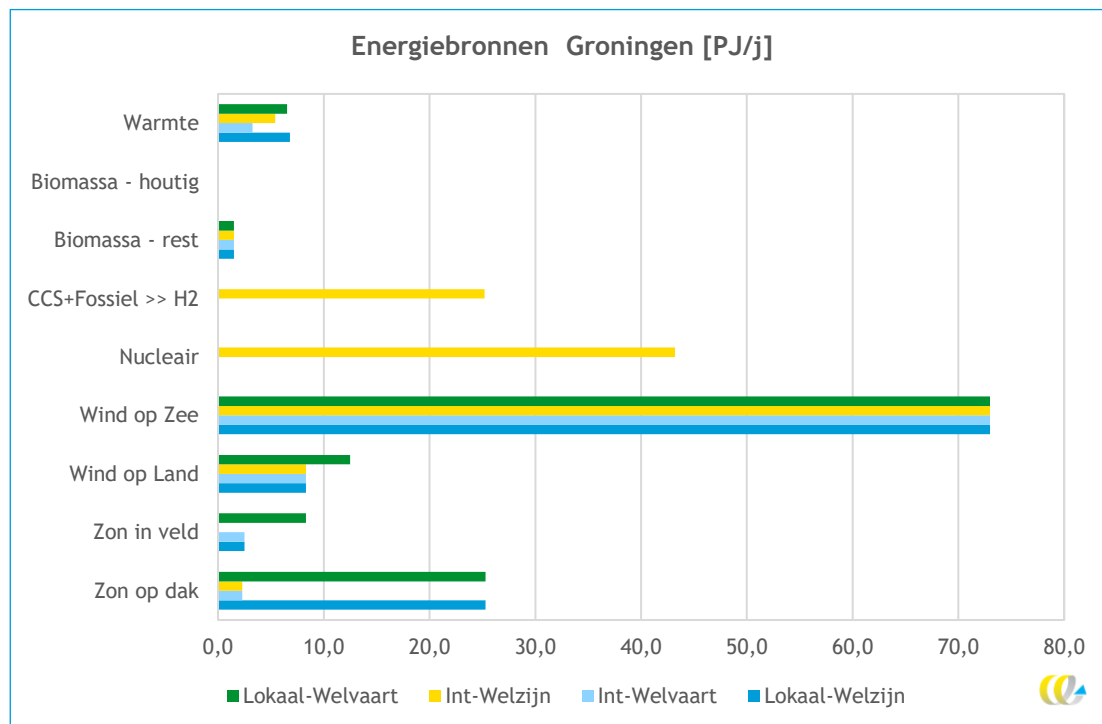
* Kernenergie en fossiel + CCS zijn beperkt Gronings, omdat zowel het uranium als het aardgas van buiten Groningen komen. De centrale is wel in Groningen gepositioneerd.

Rekening houdend met de randvoorwaarden uit het Bouwstenendocument (zie Paragraaf 1.1), gebruiken we de volgende energiebronnen in de vier energiemixscenario's:

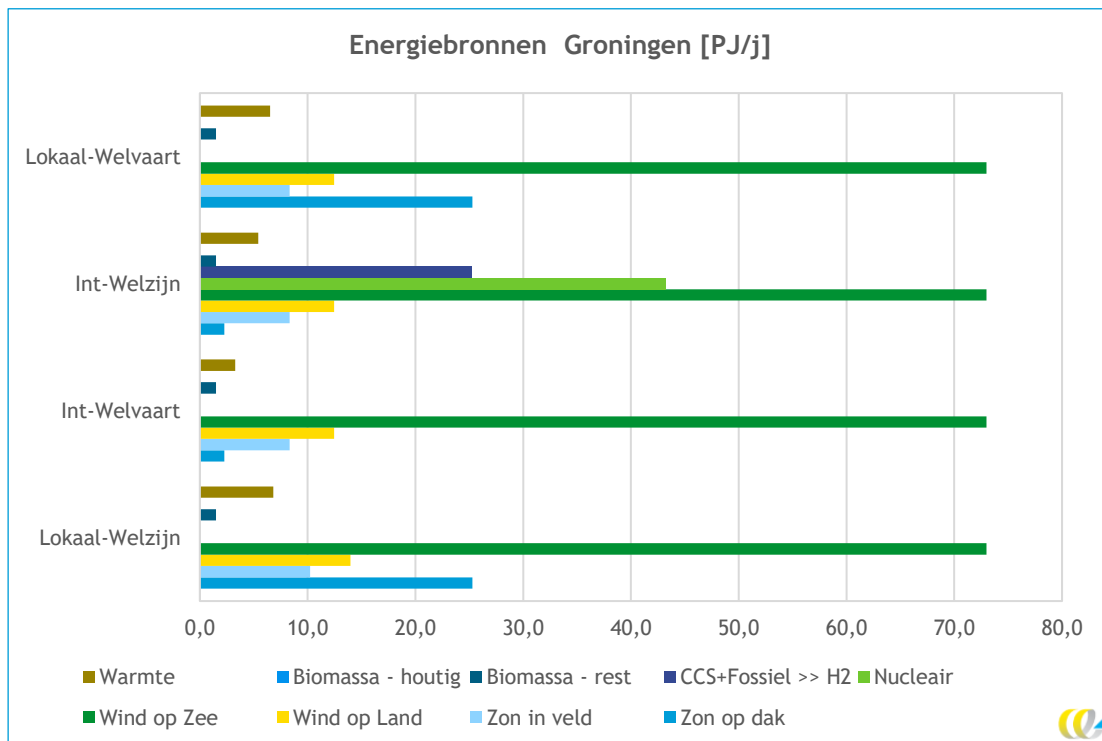
Tabel 31 - Energiebronnen - cijfers (in PJ/jaar)

Energiebronnen	1. Lokaal-Welzijn	2. (Inter)nationaal-Welvaart	3. (Inter)nationaal-Welzijn	4. Lokaal-Welvaart
Zon op dak	25,3	2,3	2,3	25,3
Zon in veld	10,2	8,3	8,3	8,3
Wind op land	14,0	12,5	12,5	12,5
Wind op zee	73,0	73,0	73,0	73,0
Nucleair	0,0	0,0	43,2	0,0
Fossiel + CCS	0,0	0,0	25,2	0,0
Biomassa - rest	1,5	1,5	1,5	1,5
Biomassa - houtig	0,0	0,0	0,0	0,0
Warmte	6,8	3,3	5,4	6,5
Totaal	130,8	100,8	171,4	127,1

Figuur 17 - Energiebronnen Groningen in de vier energiescenario's, gegroepeerd per energiebron



Figuur 18 - Energiebronnen Groningen in de 4 energiescenario's, gegroepeerd per energiescenario



Figuur 19 - Energievraag en -bronnen Groningen in de vier energiescenario's, gegroepeerd per energiescenario



B Welvaartsverkenning: kosten-batenanalyse

Hierna lichten we ons beoordelingskader en de methodiek van de kosten-batenanalyse (of: welvaartsverkenning) toe. In dit beoordelingskader maken we onderscheid tussen twee typen criteria:

1. **Nationale welvaart**, strevend naar de hoogste *maatschappelijke welvaart* en beoordeeld op directe, indirecte en externe effecten (in lijn met een traditionele mkba (maatschappelijke kosten-batenanalyse).
2. **Regionale spin-off**, strevend naar de beste *regionale spin-off* en beoordeeld op directe en indirecte economische effecten (in euro's en werkgelegenheid).

In analyses van deze twee criteria beoordelen we effecten van de energiemixen op twee verschillende manieren; deze moeten dus als twee los van elkaar staande analyses worden gezien. In Paragraaf B.1 van deze bijlage lichten we de methode toe die we hebben gebruikt voor het beoordelen van het effect van de vier energiemixen op de nationale welvaart. In Paragraaf B.2 doen we hetzelfde voor de regionale spin-off.

B.1 Nationale welvaart: waardering van de vier energiemixen

Methodie

Door middel van een mkba kunnen de huidige en de toekomstige voor- en nadelen van ruimtelijke projecten voor de samenleving als geheel zo objectief mogelijk (in euro's) in kaart worden gebracht. Een mkba wordt ingezet vanuit een ruime opvatting van het begrip 'welvaart'. In dit geval: het energiesysteem levert de Nederlander de mogelijkheid goederen en diensten te produceren en consumeren, en daarmee voorziet het in economisch nut.

Naast het energiesysteem neemt een mkba ook immateriële zaken mee, die geen prijs op een markt hebben. Dit zijn bijvoorbeeld effecten op milieu, landschap, natuur en ruimtelijke kwaliteit. Ook hier geldt dat we alle schakels van het energiesysteem meenemen. Daarbij maken we onderscheid tussen effecten die niet door de initiatiefnemer (de partij die verantwoordelijk is voor de infrastructuur) worden meegewogen en effecten die wel onderdeel zijn van financiële afweging bij de aanleg ervan.

Als er geen markten zijn waarvan een prijs kan worden afgeleid, wordt de waarde van deze effecten met een specifieke waarderingstechniek in geld uitgedrukt. Binnen een mkba wordt een vergelijking gemaakt van alle kosten en baten van één of meerdere projectalternatieven (mogelijke oplossingsrichtingen) met een nul-alternatief (meest waarschijnlijke ontwikkeling, mocht het project niet doorgaan). Het verschil tussen het projectalternatief en het nul-alternatief vormt het uitgangspunt van een 'klassieke mkba'.

Aangezien wij in dit project geen complete mkba voorstaan, maar een deel van de (onderscheidende) effecten per scenario in beeld brengen, beschouwen we dit als een (nationale) 'welvaartsverkenning' of 'quickscan'. Het verschil met een klassieke mkba is dat wij in onze welvaartsverkenning niet vergelijken met een zogenaamd nul-alternatief. Daarin wijkt onze analyse duidelijk af van een mkba.

In de (nationale) welvaartsverkenning hanteren we de volgende uitgangspunten:

- De looptijd van de analyse is 50 jaar (gebaseerd op de levensduur van de infrastructuur), startend vanaf 2050. De kosten en baten worden uitgedrukt in het prijspeil van 2024.

- De resultaten worden gepresenteerd in een contante waarde over de hele looptijd van de analyse. Alle kosten en baten worden verrekend met een discontovoet van 2,25%, conform aanbevelingen van de Werkgroep Discontovoet (Ministerie van Financiën, 2020).
- De afbakening van de analyse betreft welvaartseffecten voor alle inwoners van Nederland. Dit is voor rijksbeleid de meest voor de hand liggende keuze.
- De kosten en baten worden gepresenteerd aan de hand van de effecten die bij de verschillende partijen optreden. Aangezien we de welvaartseffecten voor heel Nederland bepalen, wordt er géén rekening gehouden met sectorspecifieke financieringskosten en risico-opslagen, tenzij anders vermeld.

Mee te nemen effecten

In een welvaartanalyse worden doorgaans drie typen effecten onderscheiden:

1. Directe effecten.
2. Indirecte effecten.
3. Externe (of maatschappelijke) effecten.

Directe effecten

Directe effecten zijn de voor- en nadelen voor de exploitant van de projectalternatieven ten opzichte van elkaar. Het gaat hierbij in deze studie met name om investeringskosten (CAPEX) en exploitatiekosten (OPEX).

Indirecte effecten

Indirecte effecten zijn de effecten die voortvloeien uit de directe effecten van de investeringen in en operationele fase van de infrastructuur. Preciezer gesteld: de doorwerking van directe effecten via transacties naar andere markten (zoals arbeidsmarkt) in de economie. In de praktijk is het welvaartseffect door indirecte effecten vaak beperkt.

Tekstkader 2 - Welvaartseffect werkgelegenheid

We kunnen de werkgelegenheid in een mkba of welvaartanalyse echter niet een-op-een als welvaartseffect zien. Bij een beperkte omvang van de beroepsbevolking (arbeidsaanbod) zal baancreatie op de ene plek vaak banenverlies op een andere plek betekenen: er vindt verdringing op de arbeidsmarkt plaats.

De welvaartswinst door een verhoogde productie of investeringsimpuls kan worden berekend als de werkgelegenheidsverandering maal de arbeidskosten ervan, plus de verandering van arbeidskosten voor de bestaande werkgelegenheid. Deze welvaartswinst wordt gedeeltelijk tenietgedaan, doordat het extra arbeidsaanbod ten koste gaat van vrije tijd en een eventuele uitkering. Het verlies aan vrije tijd dient van de productie-toename te worden afgetrokken. Wat overblijft is de welvaartswinst door extra belastingafdrachten en een besparing op uitkeringen. Deze kunnen worden gewaardeerd tegen geldende belastingtarieven en uitkerings-niveaus. Wanneer onduidelijk is wat voor type uitkeringsgerechtigden door de extra werkgelegenheid aan de slag gaan, kan het beste uit worden gegaan van een bijstandsuitkering voor een alleenstaande.¹⁹

De geschatte welvaartswinst komt dus neer op de extra belastingafdrachten en een besparing op uitkeringen. Dit geldt in beide gevallen alleen voor personen die vanuit een werkloosheidssituatie aan het werk gaan (ofwel, wanneer er geen verdringing plaatsvindt met andere banen).

¹⁹ Bron: [Werkwijzer voor kosten-batenanalyse in het sociale domein](#).

Externe effecten

Het energiesysteem heeft een grote ruimtelijke impact op onze omgeving. Het is voor veel mensen zichtbaar, heeft een verstorende invloed op de natuurlijke omgeving en natuurgebieden, en kan gezondheidseffecten voor de omwonenden met zich meebrengen. Externe (of maatschappelijke) effecten betreffen effecten die *onbeoogd* zijn door de gebruiker. Deze zijn vaak moeilijk in geld uit te drukken, omdat markten – en dus prijzen – ontbreken. Hieronder vallen effecten op milieu en ruimtelijke effecten voor de omwonenden. Sommige effecten zijn *niet onbeoogd* voor de initiatiefnemer. Voor het voorkomen van negatieve effecten op milieu of omwonenden, kunnen in dat geval al (verplichte) inpassingsmaatregelen zijn genomen. Er kan beargumenteerd worden dat deze kosten dan als directe kosten voor de initiatiefnemer kunnen worden meegenomen, indien deze inpassingsmaatregelen de externe effecten adequaat reguleren. Daar waar mogelijk worden effecten kwantitatief in beeld gebracht. Voor het inschatten van deze externe effecten is gebruik gemaakt van kengetallen die zijn verkregen via literatuur en experts. Andere externe effecten worden kwalitatief beoordeeld.

Resultaten

Een overzicht van de resultaten van de welvaartsverkenning op hoofdlijnen is te vinden in Tabel 32. We zien dat de totale kosten voor Scenario 1 en 2 lager uitvallen dan die voor Scenario 3 en 4. De grootste kostenpost zijn de directe kosten (de investering in en operationalisering van de productie-, transport-, installatie- en opslaginfrastructuur). De realisatie van de infrastructuur heeft als indirect effect dat het zorgt voor een stimulans op het gebied van werkgelegenheid. Directe, structurele werkgelegenheid levert baten op voor de maatschappij, zij het – in vergelijking met de directe effecten – beperkt in omvang. De gemonetariseerde externe effecten bestaan uit biodiversiteitsverlies door landgebruik, hinder (onder andere visueel en geluid), nucleaire veiligheid en CO₂-effecten. In vergelijking met de directe kosten, zijn de externe effecten beperkt. Hinder door windmolens en zonneparken veroorzaken de relatief hoge externe effecten, terwijl CO₂-emissies bij CCS voor de meeste externe kosten zorgen.

In het restant van deze paragraaf gaan we dieper in op de onderliggende resultaten. We bespreken eerst de directe effecten, daarna de indirecte effecten en ten slotte de externe effecten.

Tabel 32 - Overzicht resultaten welvaartsverkenning per scenario, looptijd 50 jaar, bedragen in € x mln.

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Directe effecten				
Productie	-74.200	-87.000	-95.000	-110.600
Transport	-79.400	-68.000	-71.500	-77.600
Installatie	-21.300	-27.700	-63.200	-48.300
Opslag	-11.600	-11.300	-10.900	-11.400
Subtotaal	-186.500	-194.000	-240.600	-247.900
Indirecte effecten				
Structurele werkgelegenheid	860	720	990	860
Subtotaal	860	720	990	860

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Externe effecten				
Landgebruik (biodiversiteitsverlies)	-200	-170	-210	-170
Hinder	-580	-580	-150	-1.670
Nucleaire veiligheid	0	0	— *	0
CO ₂ -effect	0	0	-3.900	0
Subtotaal	-780	-750	-4.260	-1.840
Totaal	-186.420	-194.030	-243.870	-248.880

* Nucleaire veiligheid is door het bijzondere karakter (groot effect, zeer kleine kans) niet monetair beoordeeld.

Directe effecten

Tabel 33 geeft een overzicht van de directe effecten voor de productie-, transport-, installatie- en opslaginfrastructuur. Hiervoor hebben we de jaarlijkse kosten – zoals gepresenteerd in Paragraaf 3.2 – gebruikt als input. De kosten voor de periode van 50 jaar hebben we verdisconteerd tegen de maatschappelijke discontovoet van 2,25%.

Tabel 33 - Overzicht directe effecten, looptijd 50 jaar, bedragen in € x mln.

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Zon op dak	-20.600	-1.900	-1.900	-20.600
Zon in veld	-6.600	-5.400	-5.400	-5.400
Wind op land	-8.500	-7.500	-7.500	-7.500
Wind op zee	-24.700	-24.700	-24.700	-24.700
Nucleair	0	0	-53.400	0
Fossiel + CCS	0	0	-30.700	0
Biomassa - rest	-900	-900	-900	-900
Warmte	-1.000	-500	-800	-1.000
Import/export H ₂	17.100	-17.100	44.800	-40.600
Import/export bio	-29.000	-29.000	-14.500	-9.900
Subtotaal productie	-74.200	-87.000	-95.000	-110.600
Elektriciteit	-29.500	-27.900	-27.200	-28.900
H ₂	-300	-600	-1.400	-1.500
Groengas	-1.500	-1.400	-300	-300
Biofuels	-100	-100	-200	-100
E-fuel	-8.300	-4.000	-6.600	-8.000
Warmte	-39.700	-34.000	-35.800	-38.800
Subtotaal transport	-79.400	-68.000	-71.500	-77.600
Elektriciteit	-4.400	-4.200	-4.100	-4.300
H ₂	-8.900	-16.600	-54.400	-39.800
Groengas	-5.000	-4.600	-1.200	-1.000
Biofuels	-900	-1.300	-1.900	-1.200
Warmte	-2.100	-1.000	-1.600	-2.000
Subtotaal installatie	-21.300	-27.700	-63.200	-48.300
Elektriciteit, H ₂ , groengas	-11.600	-11.300	-10.900	-11.400
Subtotaal opslag	-11.600	-11.300	-10.900	-11.400
Totaal	-186.500	-194.000	-240.600	-247.900

Indirecte effecten

Het voornaamste indirecte effect dat ontstaat door realisatie van de infrastructuur is het werkgelegenheidseffect. We kijken hierbij specifiek naar de *directe, structurele* werkgelegenheid. Met het werkgelegenheidsmodel van CE Delft hebben we op basis van de investeringsimpuls per technologie de arbeidsvraag bepaald. Hiermee hebben we het welvaartseffect in euro's bepaald (zie Tekstkader 2). Tabel 34 geeft een overzicht van de welvaartseffecten als gevolg van werkgelegenheid.

Merk op dat we geen werkgelegenheidseffect hebben bepaald gerelateerd aan de import/export van waterstof en biogas en het transport van groengas, biofuels en e-fuel. Het bepalen van de werkgelegenheidseffecten behoeft een andere methode, die buiten de scope van deze welvaartsverkenning valt.

Tabel 34 - Overzicht werkgelegenheidseffecten²⁰, bedragen in € x mln.

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Zon op dak	75	5	5	75
Zon in veld	20	15	15	15
Wind op land	20	20	20	20
Wind op zee	80	80	80	80
Nucleair	0	0	165	0
Fossiel + CCS	0	0	60	0
Biomassa - rest	0	0	0	0
Subtotaal productie	195	120	345	190
Elektriciteit	215	205	200	210
H ₂	5	5	15	15
Warmte	365	310	330	355
Subtotaal transport	585	520	545	580
Elektriciteit	25	20	20	25
H ₂	10	20	60	45
Groengas	25	25	5	5
Subtotaal installatie	60	65	85	75
Elektriciteit, H ₂ , groengas	15	15	10	15
Subtotaal opslag	15	15	10	15
Totaal	855	720	985	860

Externe effecten

Het gebruik van ruimte en land kan leiden tot biodiversiteitsverlies. De externe kosten voor landgebruik zijn gebaseerd op het verlies in biodiversiteit bij landgebruik (hectare/jaar), wat is gemonetariseerd in het Handboek Milieuprijzen van CE Delft. In onze analyse hebben we voor alle bovengrondse infrastructuur het ruimtegebruik en daarmee de externe kosten voor biodiversiteitsverlies berekend. Voor ondergrondse leidingen en kabels is er met name een tijdelijk effect (bij de aanleg), maar dit effect is beperkt. De effecten van andere manieren van transport (weg, trein, etc.) hebben we niet beoordeeld.

²⁰ Dit betreft netto baten.

Tabel 35 - Overzicht externe kosten biodiversiteitsverlies door landgebruik, looptijd 50 jaar, bedragen in € x mln.

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Zon op dak	0,0	0,0	0,0	0,0
Zon in veld	200,6	163,3	163,3	163,3
Wind op land	0,0	0,0	0,0	0,0
Wind op zee	0,0	0,0	0,0	0,0
Nucleair	0,0	0,0	14,1	0,0
Fossiel+ CCS	0,0	0,0	33,9	0,0
Biomassa - rest	0,2	0,2	0,2	0,2
Warmte	0,0	0,0	0,0	0,0
Import/export H ₂	0,0	0,0	0,0	0,0
Import/export bio	0,0	0,0	0,0	0,0
Subtotaal productie	200,9	163,5	211,4	163,5
Elektriciteit	0,0	0,0	0,0	0,0
H ₂	0,0	0,0	0,0	0,0
Groengas	0,0	0,0	0,0	0,0
Biofuels	0,0	0,0	0,0	0,0
E-fuel	0,0	0,0	0,0	0,0
Warmte	0,0	0,0	0,0	0,0
Subtotaal transport	0,0	0,0	0,0	0,0
Elektriciteit	0,2	0,2	0,2	0,2
H ₂	1,5	1,5	1,5	1,5
Groengas	0,0	0,0	0,0	0,0
Biofuels	0,0	0,0	0,0	0,0
Warmte	0,1	0,1	0,1	0,1
Subtotaal installatie	1,8	1,8	1,8	1,8
Elektriciteit, H ₂ , groengas	0,2	0,2	0,2	0,2
Subtotaal opslag	0,2	0,2	0,2	0,2
Totaal	202,9	165,4	213,4	165,5

Windmolens en zonneparken op land kunnen tot hinder van omwonenden leiden (visueel, geluid, etc.). Voor de beoordeling van deze externe effecten hebben we de methode gevolgd zoals deze ook voor het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) is gehanteerd.²¹ Deze methode is gebaseerd op woningwaardedalingen door het plaatsen van windmolens en zonneparken in de buurt van woningen; dit effect is in verschillende studies onderzocht. De waardedaling geeft uitdrukking aan het ervaren welvaartsverlies van omwonenden. Tabel 36 laat zien dat de externe kosten het hoogst uitvallen voor Scenario 4, waar relatief veel zon in veld is voorzien, en het laagst voor Scenario 3.

²¹ [Welvaartsanalyse Programma Energiehoofdstructuur](#).

Tabel 36 - Overzicht externe kosten door hinder, looptijd 50 jaar, bedragen in € x mln.

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Zon in veld	434	434	0	1.442
Wind op land	154	154	154	232
Totaal	589	589	154	1.674

De energiemixen zijn klimaatneutraal voorzien, waardoor het directe CO₂-effect van de oplossingen klein is. Uitzondering daarop is CCS, voorzien in Scenario 3, waarbij niet 100% van de emissies kan worden afgevangen. Voor ruim 25 PJ die is voorzien, leidt dit tot emissies van 0,2 Mton per jaar. De externe kosten van deze emissies hebben we voor de gehele looptijd van de analyse bepaald door gebruik te maken van de CO₂-prijs voor 2050 uit het Handboek Milieuprijzen (ongeveer € 600).

Tabel 37 - Overzicht externe kosten CO₂-emissies, looptijd 50 jaar, bedragen in € x mln.

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Fossiel + CCS	0	0	3.866	0

De nucleaire veiligheid van de kernreactoren hebben we, conform de beoordeling van kernenergie voor PEH, kwalitatief beoordeeld (in Tabel 32 aangeven met een ‘-’).

B.2 Regionale spin-off: waardering van de vier energiemixen

Methode

Deze analyse omvat een grove schatting van de regionale economische (spin-off-) effecten op basis van een input-outputanalyse (Tekstkader 3 geeft een uitgebreide toelichting op de methode). Voor de analyse in dit rapport hebben we gebruikgemaakt van de resultaten van onze studie naar de regionale spin-off-effecten voor Programma VAWOZ (studie nog niet gepubliceerd). We hebben de analyse in dit rapport niet op hetzelfde detailniveau uitgevoerd als de analyse voor VAWOZ, maar de resultaten geven een gevoel voor de ordegrrootte van de bruto economische- en werkgelegenheidseffecten als gevolg van de realisatie van de infrastructuur in de energiemixscenario's.

Met behulp van deze methode maken we een grove inschatting van zowel de **directe** als de **indirecte (bruto) economische effecten**. Dit hebben we gedaan met behulp van ‘multipliers’ uit de input-outputanalyse. Hiermee kan het totale effect (direct + indirect) worden geschat; de multiplier geeft aan wat het totale effect is van iedere euro aan economische impuls. In onze vorige studie zagen we dat deze tussen de 1,4 en 2,2 schommelt (afhankelijk van het type investering en de regio waar de investering plaatsvindt), waarbij 1,6 het vaakst voorkomt (de mediaan). Dit hebben we daarom als uitgangspunt voor deze analyse gekozen.

We maken in onze analyse verder een onderscheid tussen **eenmalige effecten** (als gevolg van de investeringsimpuls die plaatsvindt bij het realiseren van de infrastructuur) en **structurele effecten** (jaarlijkse effecten die in de operationele fase van de infrastructuur plaatsvinden).

Een belangrijk uitgangspunt van deze analyse is het aandeel van de economische impuls (bij de investering en in de operationele fase) die in Nederland terechtkomt. In de analyse voor VAWOZ zagen we dat dit sterk verschilt per type investering: 5 tot 60% van de investering gaat (direct) naar Nederlandse leveranciers. In de analyse in dit rapport zijn we er daarom van uitgegaan dat 33% in Nederland terechtkomt. Voor de operationele fase (onderhoud, reparatie, etc.) is de verwachting dat een groter aandeel van de economische impuls in Nederland terechtkomt: hiervoor is de aanname 67%. Van het aandeel van de economische impuls die in Nederland terechtkomt, komt slechts een deel in de provincie zelf terecht. In de analyse voor VAWOZ hebben we laten zien dat de economische structuur van de provincies (welke bedrijven zijn hier al aanwezig?) sterk verschilt: in Noord-Holland en Zuid-Holland bevinden zich bijvoorbeeld veel meer verschillende typen bedrijven dan in Zeeland, Limburg of Groningen. Daarom is het verwachte regionale effect van de investeringsimpuls in de provincie beperkt (grootweg 10% van de impuls die in Nederland terechtkomt). Voor de operationele fase kan dit aandeel toenemen, doordat nieuwe bedrijven zich in de regio zullen vestigen en meer werkgelegenheid lokaal kan worden ingevuld. De input-outputmodellen bevatten echter alleen data van de huidige (of historische) economische structuur. We weten niet hoe de economische structuur er in 2050 uitziet. We houden daarom voor de operationele fase dus (conservatief) vast aan de aanname dat 10% van de economische impuls in de provincie terechtkomt.

Tekstkader 3 - Directe en indirecte economische effecten met behulp van input-outputmodel

Aanbestedingen die bij leveranciers terechtkomen, hebben ook een indirect effect, aangezien goederen en diensten van andere partijen worden aangewend om deze levering mogelijk te maken. Met behulp van een input-outputmodel (IO-model) beschrijven we hoe deze investeringsimpuls kan doordruppelen naar andere regio's en sectoren. We bepalen hierbij het *bruto* economische effect.

In een economische analyse kunnen investeringsimpulsen op hun effect worden beoordeeld met behulp van een input-outputtabel (of: IO-tabel). Dat is een vierkante tabel die de inzet en afzet van bedrijfstakken beschrijft. De IO-tabel heeft een algemene vorm. In de kolommen is de samenstelling van de waarde van de totale productie per bedrijfstak beschreven en waar de input vandaan komt: andere bedrijfstakken in het binnenland (de intermediaire input), import, het saldo kostprijsverhogende belastingen en -verlagende subsidies en de bruto toegevoegde waarde. De bruto toegevoegde waarde wordt onderverdeeld over kapitaal (winstinkomen ter compensatie van het ondernemersrisico) en arbeid (looninkomen ter compensatie van de ingezette arbeid). In de rijen is per bedrijfstak dezelfde totale productie verdeeld naar afzet beschreven: naar andere bedrijfstakken in het binnenland (intermediaire leveringen), export, huishoudens binnenland, en de overheid. De tabel beschrijft met name de binnenlandse intermediaire leveringen. De afzet van bedrijfstak A aan bedrijfstak B is de input van bedrijfstak B van bedrijfstak A.

Het CBS stelt elk jaar een IO-tabel op van de Nederlandse economie. Veel economische vraagstukken doen zich echter regionaal voor. Een nationale IO-tabel schiet dan tekort, waarbij een regionale tabel uitkomst kan bieden. TNO heeft tussen 2012 en 2015 een nieuwe generatie multiregionale input-output (MRIO) naar provincie opgesteld met actuele brondata over interregionale goederenstromen en dito personenvervoer naar motief. Daarvoor is gewerkt vanuit de COROP-regio's. In het kader van ons onderzoek hebben we de beschikbare MRIO-tabel aangepast en geactualiseerd. De MRIO-tabel beschrijft de intermediaire leveringen tussen 29 bedrijfstakken in 40 COROP-regio's in Nederland voor het jaar 2019. Deze is consistent met de nationale IO-tabel en met de regionaal-economische jaarcijfers van datzelfde jaar.

De IO-analyse bestaat uit het berekenen van achterwaartse productiemultipliers per bedrijfstak. De achterwaartse 'Leontief' multiplier heeft de algemene vorm $1, x$. De 1 betekent de investeringsimpuls, te lezen als € 1 extra productie die door de inkoop van grondstoffen, halffabricaten en allerlei diensten van de andere bedrijfstakken € x extra productie bij die andere bedrijfstakken veroorzaakt. Zij kopen ook weer bij andere bedrijfstakken in. Met de ratio banen/productie kan de extra werkgelegenheid als gevolg van de investeringsimpuls worden bepaald.

Het berekende effect is bruto, vanwege de definitie van de economische condities waaronder het model MRIO operationeel is. Het model berekent het effect van één impuls, waarbij wordt geabstraheerd van andere investeringen die concurreren om mensen en middelen (*ceteris paribus*). Ook betekent 'bruto' dat er geen terugkoppeling is met de goederen- en dienstenmarkt en arbeidsmarkt. De uitkomsten zijn daarom vergelijkbaar en bieden een interpreteerbare uitkomst, maar zijn geenszins een voorspelling in een sociaaleconomische en geografische realiteit waarin veel meer factoren van invloed zijn.

Verschillen in uitkomsten ontstaan vanuit het verschillende aanbod van kapitaal en arbeidsintensiteiten per regio of sector. De impuls leidt tot een uitbreiding van de productie en de aanschaf van benodigde goederen en diensten in allerlei bedrijfstakken in dezelfde en/of andere regio. De specifieke structuren van de intermediaire leveringen bepalen de uitkomsten. Deze structuren zijn per regio uniek.

Beperkingen analyse:

- Het is statisch en lineair. Verhoging van de investering met 1,5 geeft een 1,5 maal zo groot effect. In werkelijkheid bestaan er echter non-lineairiteiten (denk bijvoorbeeld aan een agglomeratievoordeel). Er is geen terugkoppeling met arbeidsmarkten en goederen- en dienstenmarkten. De extra gevraagde goederen, diensten en arbeid gaan niet ten koste van andere, concurrerende diensten. Dit is het bruto economische effect. In werkelijkheid zal dit niet het geval zijn.
- De analyse is geen voorspelling, maar een veronderstelling, waarbij het overige constant blijft (*ceteris paribus*). De economie is 'stilgezet' en er wordt één impuls op gegeven.

Resultaten

In Tabel 38 hebben we de resultaten van de regionale analyse gepresenteerd. We zien dat – naargelang de omvang van de investeringen – zowel de eenmalige als structurele effecten het hoogste uitvallen in Scenario 3. De investeringsimpuls leidt tot eenmalig bruto economisch effect voor de provincie van € 4 tot 9 miljard en een werkgelegenheidseffect van 800 tot 1.800 fte. De structurele (jaarlijkse) effecten voor de provincie hebben we geschat op € 400 miljoen tot 1 miljard en de werkgelegenheidseffecten op 800 tot 1.200 fte.

Tabel 38 - Overzicht regionale spin-off-effecten

	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Eenmalige effecten				
Directe investeringsimpuls Nederland (€ x mln.)	27.000	25.000	58.000	32.000
Direct en indirect (bruto) economisch effect Nederland (€ x mln.)	43.000	40.000	93.000	51.000
Direct en indirect (bruto) economisch effect provincie (€ x mln.)	4.300	4.000	9.300	5.100

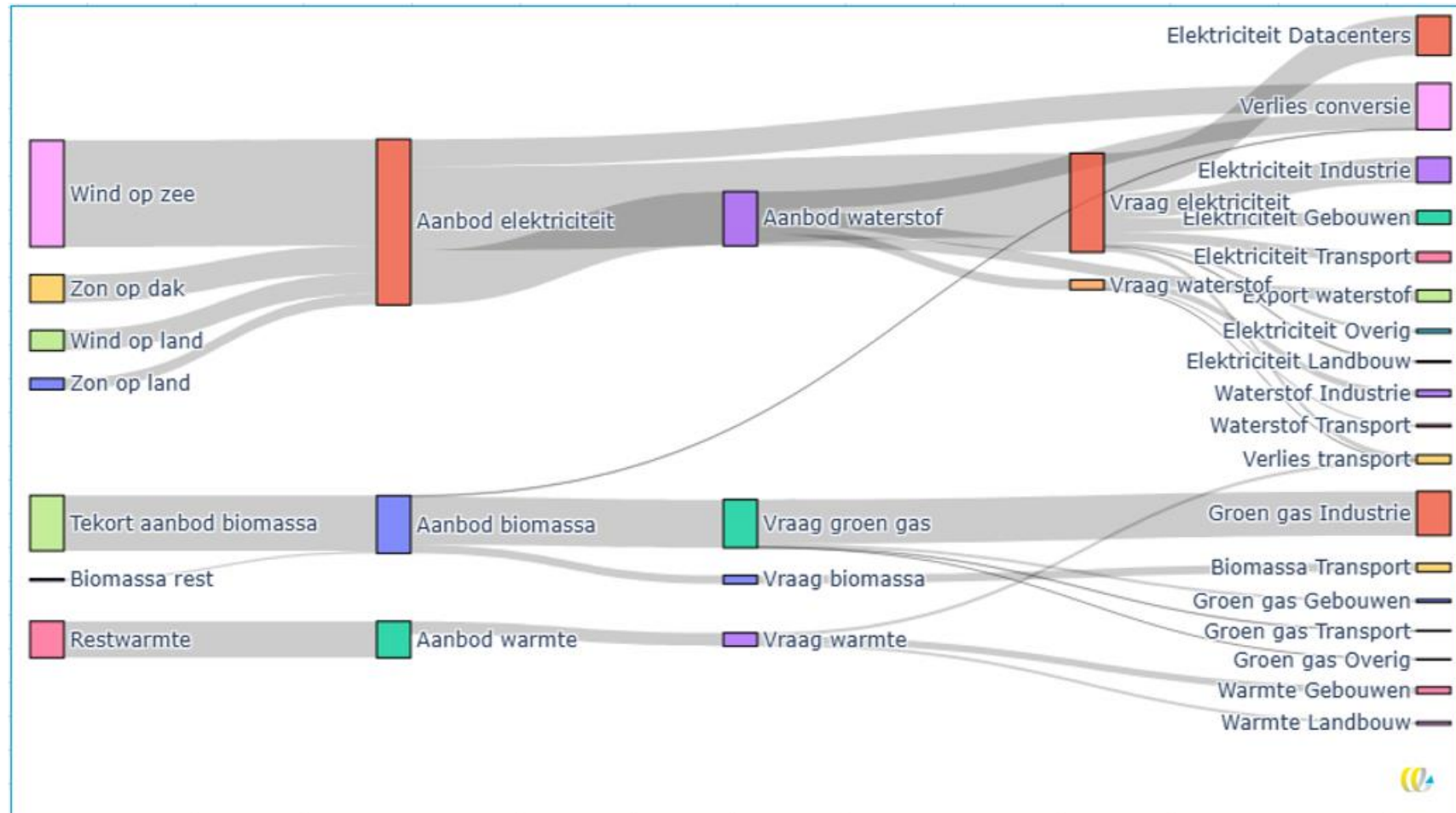
	Scenario 1: Lokaal-Welzijn	Scenario 2: (Inter)nationaal- Welvaart	Scenario 3: (Inter)nationaal- Welzijn	Scenario 4: Lokaal-Welvaart
Direct en indirect (bruto) eenmalig werkgelegenheidseffect Nederland (fte)	9.000	8.000	19.000	10.000
Direct en indirect (bruto) eenmalig werkgelegenheidseffect provincie (fte)	900	800	1.900	1.000
Structurele (jaarlijkse) effecten				
Directe economische impuls operationele fase Nederland (€ x mln.)	2.900	2.800	6.400	3.500
Direct en indirect (bruto) economisch effect Nederland (€ x mln.) *	4.600	4.500	10.200	5.600
Direct en indirect (bruto) economisch effect provincie (€ x mln.) *	460	450	1.020	560
Directe en indirecte (bruto) structurele werkgelegenheid Nederland (fte) *	10.600	8.800	12.400	10.600
Directe en indirecte (bruto) structurele werkgelegenheid provincie (fte) *	1.060	880	1.240	1.060

* Conservatieve schattingen op basis van *huidige* economische structuur. Het effect van mogelijke nieuwe bedrijvigheid in Nederland of in de provincie als gevolg van de investeringen in de energiemix zijn hierin *niet* meegenomen.

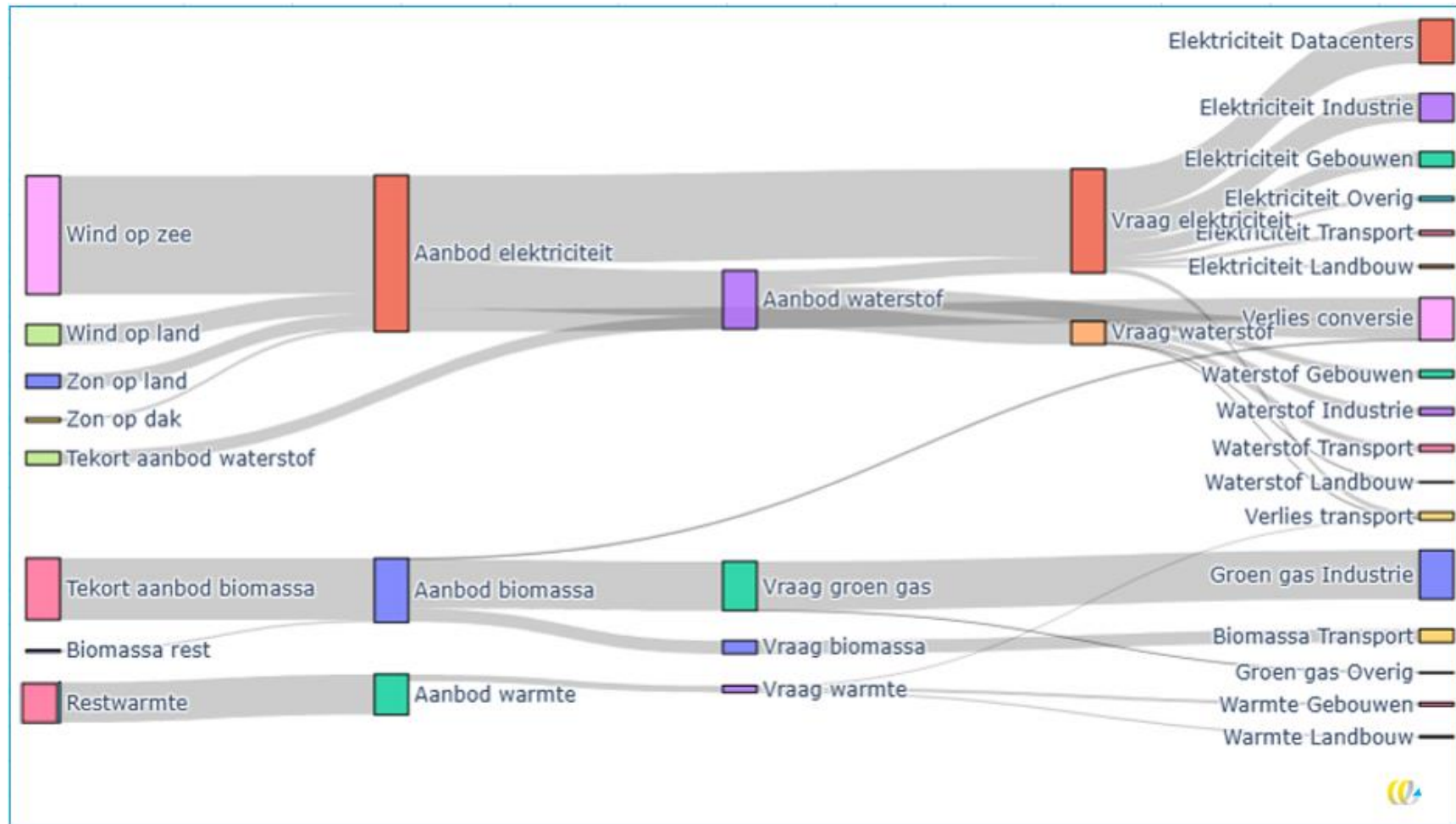
C Sankey-diagrammen

Voor de leesbaarheid zijn de Sankey-diagrammen uit Paragraaf 3.5 hierna groter afgebeeld.

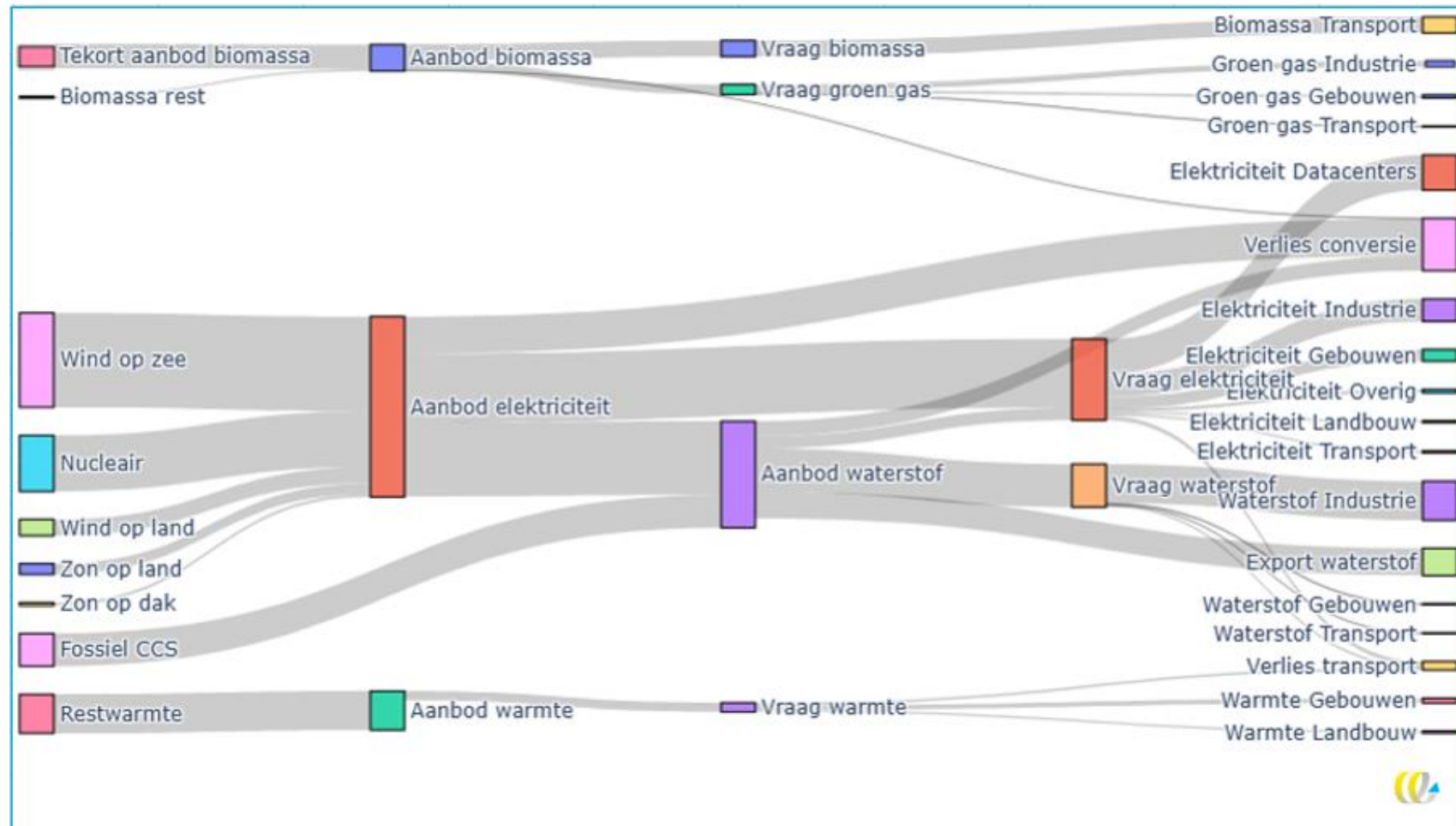
Figuur 20 - Overzicht energiestromen Scenario 1: Lokaal-Welzijn



Figuur 21 - Overzicht energiestromen Scenario 2: Internationaal-Welvaart



Figuur 22 - Overzicht energiestromen Scenario 3: Internationaal-Welzijn



Figuur 23 - Overzicht energiestromen Scenario 4: Lokaal-Welvaart

