

PlanMER voor het Brabants Energieperspectief 2050

Provincie Noord-Brabant

November 2025



Inhoudsopgave

Samenvatting	6
1 Inleiding	24
1.1 Aanleiding: Brabants Energieperspectief 2050	24
1.2 Waarom een milieueffectrapportage?	24
1.3 Stappen in de mer-procedure	25
1.4 Leeswijzer	26
2 Het Brabants Energieperspectief 2050	27
2.1 Waarom een Energieperspectief 2050?	27
2.1.1 Een aanvulling op bestaand beleid	27
2.1.2 Waarom nu?	28
2.2 Waarom volstaat het bestaande beleid niet meer?	28
2.3 Wat doet de provincie al anders?	29
2.4 De kern van het Energieperspectief 2050	30
2.4.1 Brabantse waarden en leidende principes	30
2.4.2 De vier uitgangspunten voor het energiesysteem van 2050	31
2.5 Routekaart naar 2050	32
2.6 Relatie met andere plannen en programma's	33
2.6.1 Relatie met ander energiebeleid	33
2.6.2 Plek Energieperspectief binnen provinciaal ruimtelijk beleid	34
3 De oplossingsrichtingen voor het Brabants energiesysteem	36
3.1 Inleiding	36
3.2 Systeemalternatieven	37
3.2.1 Bouwstenen energiesysteem	37
3.2.2 Invulling systeemalternatieven	38
3.3 Sturingsalternatieven	43
3.4 Voorkeursalternatief	43
4 Aanpak planMER Brabants Energieperspectief 2050	44
4.1 Referentiesituatie	44
4.2 Beoordelingsmethodiek	44
4.3 Doelbereik	44

4.3.1	Hoofddoelstellingen	44
4.3.2	Nevendoelen	45
4.3.2.1	Brabantse waarden voor het energiesysteem	45
4.3.2.2	Trias Energetica	46
4.3.2.3	Verhouding vraag en aanbod energie	47
4.3.2.4	Te hanteren indicatoren voor beoordeling nevendoelstellingen	48
4.4	Beoordelingskader (milieu)effecten	48
4.5	Detailniveau en visualisatie	50
5	Referentiesituatie	51
5.1	Beschrijving van het Brabantse energiesysteem	51
5.1.1	Energieverbruik	51
5.1.2	Aandeel duurzaam opgewekte energie	54
5.1.3	Verhouding piek/dal, verbruik en aanbod	58
5.1.4	CO ₂ -uitstoot	62
5.1.5	Betrouwbaarheid energiesysteem	63
5.1.6	Betaalbaarheid energie	63
5.1.7	Beoordeling doelbereik referentiesituatie	64
5.2	Referentiesituatie overige (milieu)aspecten	65
5.2.1	Bodem en water	65
5.2.2	Natuur en biodiversiteit	69
5.2.3	Ruimtelijke kwaliteit	77
5.2.4	Gezonde en veilige leefomgeving	85
5.2.5	Economie	93
5.2.6	Beoordeling referentiesituatie (milieu)aspecten	94
6	Beoordeling doelbereik	96
6.1	Doelbereik hoofddoelstellingen	96
6.1.1	Energievraag en -aanbod systeemalternatieven	96
6.1.2	Systeemalternatieven	98
6.1.3	Sturingsalternatieven	101
6.1.4	Samenhang tussen systeem- en sturingsalternatieven	104
6.2	Doelbereik nevendoelstellingen	105
6.2.1	Betrouwbaar energiesysteem	105
6.2.1.1	Systeemalternatieven	105
6.2.1.2	Sturingsalternatieven	108
6.2.2	Betaalbare energie	110
6.2.2.1	Systeemalternatieven	110
6.2.2.2	Sturingsalternatieven	113

6.3	Beoordeling doelbereik alternatieven	115
6.3.1	Systeemalternatieven	115
6.3.2	Sturingsalternatieven	116
7	Beoordeling (Milieu)effecten	119
7.1	Ruimtelijke analyses	119
7.1.1	Ruimte vraag van de systeemalternatieven	119
7.1.2	Ruimte vraag bouwstenen met grootste ruimtelijke impact	124
7.2	(Milieu)effecten systeemalternatieven	132
7.2.1	Maatgevende aspecten	132
7.2.1.1	Geluid	132
7.2.1.2	Ruimtelijke kwaliteit	133
7.2.1.3	Natuur en biodiversiteit	135
7.2.2	Overige aspecten	140
7.2.2.1	Bodem en water	140
7.2.2.2	Gezonde en veilige leefomgeving	140
7.2.2.3	Economie	142
7.2.3	Beoordeling (milieu)effecten systeemalternatieven	142
7.3	Mitigatie en compensatie	143
7.3.1	Bodem en water	144
7.3.2	Natuur en biodiversiteit	144
7.3.3	Ruimtelijke kwaliteit	144
7.3.4	Gezonde en veilige leefomgeving	145
7.3.5	Economie	145
8	Voorkeursalternatief Brabants Energieperspectief 2050	146
8.1	Totstandkoming voorkeursalternatief	146
8.2	Toelichting voorkeursalternatief	146
8.2.1	Energievormen en -mix	146
8.2.2	Bestuurlijke keuzes op hoofdlijnen	148
8.2.3	De provincie als regisseur van de energietransitie	153
8.3	Doelbereik en (milieu)effecten voorkeursalternatief	153
8.3.1	Vergelijking voorkeursalternatief en onderzochte alternatieven	153
8.3.2	Doelbereik voorkeursalternatief	154
8.3.3	(Milieu)effecten voorkeursalternatief	157
9	Gevoeligheidsanalyses onzekere ontwikkelingen	158
9.1	Vraag en aanbod energie	158
9.1.1	Energiebesparing	158

9.1.2	Balans tussen vraag en aanbod van energie	158
9.1.3	Import en export van energie	159
9.1.4	Mate van elektrificatie	160
9.2	Innovatieve technieken	161
9.2.1	CO ₂ -opslag	161
9.2.2	Small Modular Reactors (SMR's)	161
9.2.3	Geothermie	162
10	Conclusies en aanbevelingen	163
10.1	Doelbereik systeemalternatieven en sturingsalternatieven	163
10.2	(Milieu)effecten systeemalternatieven	164
10.3	Gevoeligheidsanalyses	166
10.4	Conclusies	167
11	Leemten in kennis en evaluatie	169
11.1	Leemten in kennis	169
11.2	Monitoring en evaluatie	170
Bijlagen		170
Bijlage A	Ingreep-effectrelaties bouwstenen energiesysteem	172
Bijlage B	Bevoegdheden en rollen bij bouwstenen energiesysteem	182
Bijlage C	Beoordeling (milieu)effecten overige aspecten per systeemalternatief	184

Samenvatting

Aanleiding

De Energieagenda 2019-2030 is het geldende beleidskader voor energie binnen de provincie Noord-Brabant. De Energieagenda is opgesteld om richting te geven aan de energietransitie, met als einddoel om in Brabant in 2030 50% en in 2050 100% duurzame energie (grotendeels afkomstig uit Brabant) en een reductie van 90% van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990 te bereiken. Sinds de vaststelling van de Energieagenda in 2018 is er veel veranderd. Zo is de laatste jaren door technologische ontwikkelingen en stijgende energieprijzen de vraag naar elektriciteit snel gegroeid evenals het aanbod van duurzame energie. Hierdoor deden netcongestie en groeiende ruimtelijke claims van het energiesysteem hun intrede. Om de Brabantse opgaven met betrekking tot bijvoorbeeld wonen, werken en mobiliteit toekomstbestendig te kunnen blijven ontwikkelen, is daarom een aanvulling nodig op het beleid uit de Energieagenda 2019-2030. De provincie stelt daarom samen met de regio's, de Brabantse gemeenten, bedrijven, maatschappelijke organisaties en andere partijen het Energieperspectief 2050 op, dat een aanvulling (addendum) is op de Energieagenda. Het Energieperspectief 2050 geeft vanuit de provinciale mogelijkheden richting aan het toekomstige energiesysteem, om zo de andere Brabantse opgaven mogelijk te blijven maken.

Voor het Energieperspectief wordt de procedure van de milieueffectrapportage (mer) doorlopen, die tot doel heeft om het milieubelang volwaardig mee te kunnen wegen in de besluitvorming over het Energieperspectief. De resultaten van het uitgevoerde onderzoek zijn opgenomen in dit milieueffectrapport (planMER). In dit planMER zijn de (milieu)effecten van verschillende alternatieven voor de (ruimtelijke) invulling van het energiesysteem en de door de provincie in te zetten sturingsmiddelen onderzocht. Ook is beoordeeld in hoeverre deze alternatieven bijdragen aan de doelstellingen van de Energieagenda 2019-2030 (en in het verlengde daarvan het Energieperspectief). Ten slotte zijn ook de (milieu)effecten en het doelbereik van het voorkeursalternatief (VKA) onderzocht. Het VKA is de uiteindelijke invulling van het Energieperspectief en bevat zowel een globaal beeld van de (ruimtelijke) invulling van het energiesysteem, als de provinciale sturing. De inzichten die met dit planMER zijn opgedaan kan de provincie gebruiken bij het verder aanscherpen van het beleid in het Energieperspectief en/of bij de verdere uitwerking van het beleid in uitvoeringsprogramma's en projecten.

De kern van het Energieperspectief

Het Energieperspectief laat zien hoe de provincie het toekomstige energiesysteem in wil richten en wat dit betekent voor de rol van de provincie bij het bereiken van dit toekomstbeeld. Vertrekpunt voor het Energieperspectief vormt de Brabantse Omgevingsvisie 'De kwaliteit van Brabant', waarin energie wordt gezien als een fundamenteel onderdeel van de fysieke leefomgeving, naast water, bodem, lucht en biodiversiteit. De Energieagenda 2019-2030 blijft leidend voor de uitvoering van concrete projecten en programma's. Het Energieperspectief 2050 geeft, als addendum op de Energieagenda, richting aan de koers ná 2030 en helpt bij het voorbereiden van omslagpunten, investeringsbeslissingen en bestuurlijke keuzes.

Uitgangspunten voor het energiesysteem van 2050

De afgelopen jaren heeft de provincie onderzoeken naar bronnen, systeemstudies en participatietrajecten uitgevoerd om een beeld van het toekomstige energiesysteem te vormen. Op basis van de uitkomsten van deze studies en trajecten zijn in het Energieperspectief vier uitgangspunten voor het energiesysteem van de toekomst geformuleerd:

1. **Het systeem is rechtvaardig.** De energietransitie is pas geslaagd als het voor álle Brabanders werkt. De provincie wil een energiesysteem waarin iedereen mee kan doen én mee kan profiteren – ongeacht inkomen, woonvorm of achtergrond. Dat vraagt om structurele borging van sociale rechtvaardigheid in beleid, uitvoering en investeringen.
2. **Het systeem is ruimtelijk ingepast.** De opwek, transport, gebruik, opslag en conversie van energie vult de provincie slim in op de plaats waar dit het meest passend is. Hierdoor draagt het energiesysteem bij aan de kwaliteit van de leefomgeving.
3. **Het systeem is hybride.** Binnen de provincie wordt gebruik gemaakt van zowel centrale als decentrale opwek en infrastructuur. Daarbij wordt vraag en aanbod zoveel mogelijk bij elkaar gebracht. In het energiesysteem bestaan kleinschalige lokale initiatieven naast grote industriële installaties. De stroom van windmolens op zee komt in Brabant aan land, maar ook het kleine warmtenet rond de buurtsuper heeft een plaats.
4. **Het systeem is flexibel.** De provincie vindt het belangrijk om pieken en dalen in de vraag naar- en de productie van energie slim op te vangen. Waar nodig wordt energie opgeslagen en omgezet naar andere vormen. De hoeveelheid beschikbare energie wordt afgestemd op de vraag die er op dat moment is. Bijvoorbeeld door energie te maken op het moment dat daar vraag naar is, of door energie op te slaan als er meer aanbod dan vraag is.

Routekaart naar 2050

Het Energieperspectief bevat een routekaart waarin de provincie schetst hoe ze haar energiebeleid structureel verankert in ruimtelijke ontwikkeling, investeringsstrategie en maatschappelijke afwegingen. De energietransitie vraagt om samenwerking tussen alle overheden en een adaptieve aanpak, waarbij beleid, regelgeving en investeringen stapsgewijs worden aangepast aan de lange termijn koers. Transparante communicatie en ruimte voor bijsturing zijn daarbij essentieel, gezien de vele onzekerheden rondom het toekomstige energiesysteem.

Tot **2030** ligt de nadruk op het versnellen en voorbereiden van de transitie, door het oplossen van knelpunten en voorbereiden van keuzes over het toekomstige systeem, bijvoorbeeld door het ontwikkelen van beleid voor groen gas, verduurzaming van de industrie, batterijopslag en warmte, en het verankeren van de nieuwe provinciale rol binnen de Omgevingsvisie- en verordening. Per regio wordt de energieopgave in kaart gebracht en worden afspraken gemaakt over investeringen en uitvoering. Ook verkent de provincie de mogelijkheden voor het oprichten van een regionaal warmtebedrijf. In het Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (pMIEK) geeft de provincie aan welke ontwikkelingen op de middellange termijn verwacht worden en welke infrastructuur daarvoor nodig is.

In de periode tot **2040** verschuift de focus naar schalen en verbinden. Er wordt ingezet op het uitbreiden van waterstofinfrastructuur, voorbereiding van ruimtelijke keuzes voor kernenergie en realisatie van integrale gebiedsontwikkeling, waarbij energie een sturend principe wordt in ruimtelijke plannen en verbindingen legt met landbouw, natuur en klimaatadaptatie. Het gebiedsprogramma voor Powerport Moerdijk is gereed en in uitvoering.

Tot **2050** draait het om realiseren en evalueren. Het uiteindelijke doel is een rechtvaardig, ruimtelijk ingepast, hybride en flexibel energiesysteem dat volledig duurzaam is en voldoet aan de gestelde provinciale doelstellingen.

Plek Energieperspectief binnen provinciaal ruimtelijk beleid

Het Energieperspectief vormt een verbindende schakel tussen het provinciale energiebeleid en het ruimtelijke beleid van de provincie. Input voor het Energieperspectief vormen het Brabants Ruimtelijk voorstel¹ en de systeemstudies die de provincie heeft uitgevoerd naar het toekomstige energiesysteem. Het Brabants Ruimtelijk voorstel bevat een integraal overzicht van de benodigde ruimte voor alle sectorale opgaven binnen de provincie, zoals wonen, werken, natuur, landbouw, bodem, water en energie. De Brabantse systeemstudies fase I² en fase II³ geven een beeld van de mogelijke invulling van het toekomstige energiesysteem in Brabant, inclusief de ruimtelijke impact ervan. Zowel in het Ruimtelijk voorstel als de systeemstudies worden geen keuzes gemaakt. Op basis van deze input maakt het Energieperspectief keuzes op hoofdlijnen voor het energiesysteem, maar het bevat geen ruimtelijke keuzes, aangezien deze een integrale afweging vragen. De integrale ruimtelijke keuzes met betrekking tot het energiesysteem (en alle andere opgaven binnen Brabant) worden vastgelegd in de Brabantse Omgevingsvisie en -verordening.

Onderzochte alternatieven

In een planMER is het gebruikelijk om meerdere alternatieven te onderzoeken voor het behalen van de gestelde doelen. In dit planMER zijn alternatieven onderzocht voor het toekomstige energiesysteem (systeemalternatieven) en de sturingsmiddelen die de provincie in kan zetten (sturingsalternatieven). Voor het energiesysteem zijn de volgende systeemalternatieven onderzocht, die zijn overgenomen uit de Brabantse systeemstudie fase II:

- 1. Lokale kracht:** In dit alternatief ligt de regie bij lokale en regionale overheden die maximaal inzetten op lokaal opgewekte elektriciteit en warmte. Energie wordt verspreid opgewekt en opgeslagen op diverse locaties door de hele provincie, waarbij wind- en zonne-energie op land en op daken optimaal worden benut. Ook elektrolyzers en batterijen worden breed verspreid toegepast, terwijl de bestaande fossiele centrales worden omgebouwd naar duurzame varianten en er beperkt wordt ingezet op groen gas na 2030.
- 2. De grote opgaven gebundeld.** In dit alternatief ligt de aansturing bij de rijksoverheid, met de nadruk op grootschalige projecten die nationale opgaven combineren. De focus ligt op windparken op zee, grote clusters windturbines op land in het rivierengebied, en zonneparken in de regio De Peel. Energieopwekking, opslag en conversie worden geconcentreerd rond bestaande industriële clusters zoals Moerdijk en Geertruidenberg, waar ook grote duurzame elektriciteitscentrales en elektrolyzers worden gerealiseerd. Daarnaast worden rondom deze clusters bovenlokale warmtenetten aangelegd en batterijen geplaatst om de netbalans te ondersteunen.

¹ [Ruimtelijk Voorstel Brabant - Brabant](#)

² Energie systeem studie Noord-Brabant, DNV i.o.v. provincie Noord-Brabant, 30-05-2021

³ Brabants energiesysteem, ontwikkelingen richting 2050 en ruimtelijke consequenties, CE Delft en Generation Energy i.o.v. provincie Noord-Brabant, april 2023

3. **Op grote schaal denken.** Dit alternatief gaat uit van een open internationale energiemarkt en een krachtig Europees en mondiaal klimaatbeleid. Brabant fungeert importeert vooral duurzame energie, met name waterstof, maar ook groen gas. De energie-infrastructuur concentreert zich rond de havengebieden en industriële clusters Moerdijk en Geertruidenberg, waar grote duurzame elektriciteitscentrales, elektrolyzers en batterijen worden geplaatst. Windenergie op land speelt hier vrijwel geen rol meer, en ook zonne-energie beperkt zich tot enkele parken bij de industriële clusters.

Voor de in te zetten provinciale sturingsmiddelen zijn de volgende sturingsalternatieven onderzocht:

1. **Provincie faciliteert en stimuleert.** De provincie gaat door met beleid uitvoeren zoals ze dat nu doet. Daarbij ligt de focus op het ondersteunen van andere partijen bij de energietransitie en het stimuleren van gedragsverandering, bijvoorbeeld door het delen van informatie of subsidies.
2. **Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig).** Dit alternatief ligt tussen de andere alternatieven in. De provincie pakt meer de regie bij het realiseren van de energietransitie en stimuleert partijen om de energietransitie vorm te geven. Op onderdelen van deze transitie, waar stimuleren naar verwachting niet voldoende resultaat oplevert, zet de provincie regulerende instrumenten in (zoals de omgevingsverordening).
3. **Provincie reguleert.** De provincie gebruikt haar instrumenten (zoals de omgevingsverordening) om de energietransitie te reguleren c.q. 'af te dwingen'.

Het planMER onderzoekt met de beschreven systeem- en sturingsalternatieven de volledige breedte van mogelijkheden voor het toekomstige energiesysteem en de provinciale sturingsmiddelen. Het uiteindelijke beleid, vastgelegd als het voorkeursalternatief (VKA) in het Energieperspectief 2050, is een combinatie van deze alternatieven. Het planMER levert de benodigde informatie om de juiste afwegingen voor dit VKA te maken.

Aanpak planMER Energieperspectief

Het planMER maakt onderscheid in een beoordeling van het doelbereik en een beoordeling van de (milieu)effecten van de verschillende systeem- en sturingsalternatieven. De effecten zijn beoordeeld ten opzichte van een zogenoemde referentiesituatie (de situatie in 2050 zonder uitvoering van de maatregelen uit het Energieperspectief) en de beoordeling is uitgevoerd op basis van 'expert judgement'.

Bij de beoordeling van het doelbereik van de verschillende alternatieven zijn alle maatregelen betrokken die invloed hebben op het behalen van de doelstellingen, dus zowel de maatregelen uit Energieagenda 2019-2030 als uit de beoordeelde alternatieven. Met behulp van een visuele beoordeling met schuifjes is duidelijk gemaakt in hoeverre de doelstellingen – met en zonder de verschillende alternatieven - worden gehaald en welke bijdrage aan het bepalen van de doelstellingen wordt verwacht van de alternatieven. Hoe hoger het schuifje staat, hoe groter het doelbereik. Hoe groter het verschil tussen het schuifje voor de referentiesituatie en het betreffende alternatief, hoe groter de bijdrage van dat alternatief aan het doelbereik. Het is evident dat er bij het bepalen van de toekomstige situatie een grote onzekerheid is. De onzekerheden zijn gevisualiseerd door de hoogte van de schuifjes.

Bij de beoordeling van (milieu)effecten is (naast de effecten op het energiesysteem die vallen onder de beoordeling doelbereik) gekeken naar de milieu- en omgevingsaspecten Bodem en water, Natuur en biodiversiteit, Ruimtelijke kwaliteit, Gezonde en veilige leefomgeving en Economie. Omdat de ruimtelijke invulling van het energiesysteem bepalend is voor de (milieu)effecten ervan, zijn hierbij alleen de systeemalternatieven beoordeeld. Bij de (milieu)effecten zijn alleen de aanvullende maatregelen uit de verschillende systeemalternatieven beoordeeld. De beleidsmaatregelen uit de Energieagenda maken onderdeel uit van de referentiesituatie ten opzichte waarvan de effecten zijn beoordeeld. De (milieu)effecten zijn op een vergelijkbare wijze beoordeeld en gevisualiseerd als het doelbereik (met schuifjes).

Beoordeling doelbereik

Bij de beoordeling van het doelbereik is onderscheid gemaakt tussen de hoofd- en neven doelstellingen. De hoofddoelstellingen voor het Energieperspectief 2050 volgen uit de Energieagenda 2019-2030:

- 2030: Ten minste 50% duurzame energie.
- 2050: 100% duurzame energie, grotendeels afkomstig uit Noord-Brabant en een reductie van 90% van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990.

De neven doelstellingen volgen uit de Brabantse waarden voor het energiesysteem, namelijk Betrouwbaar, Betaalbaar en Omgevingsbewust, waarbij deze laatste niet apart is beoordeeld omdat deze gedekt wordt door de beoordeling van de (milieu)effecten.

Doelbereik Systeemalternatieven

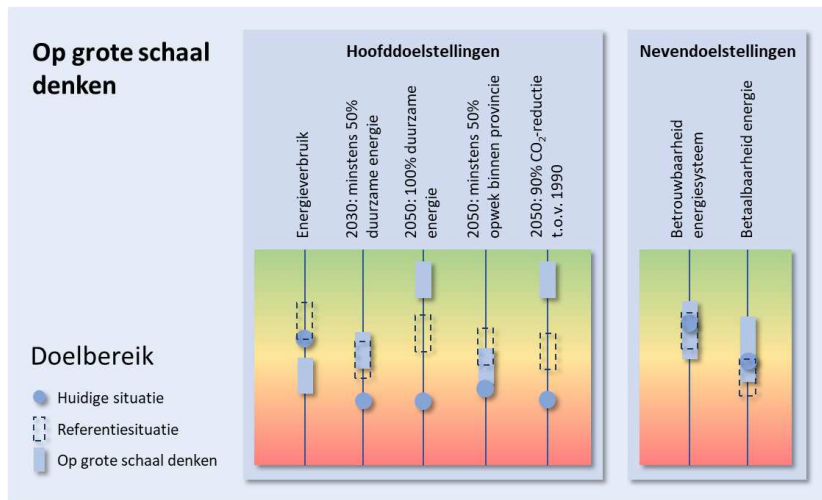
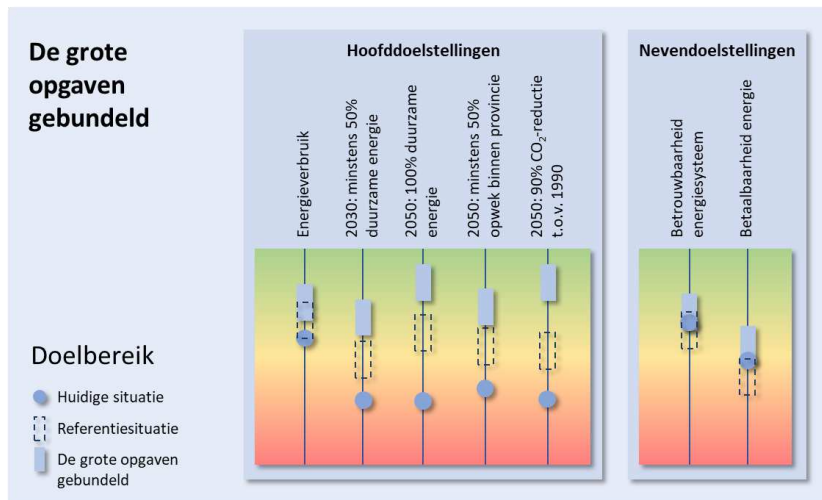
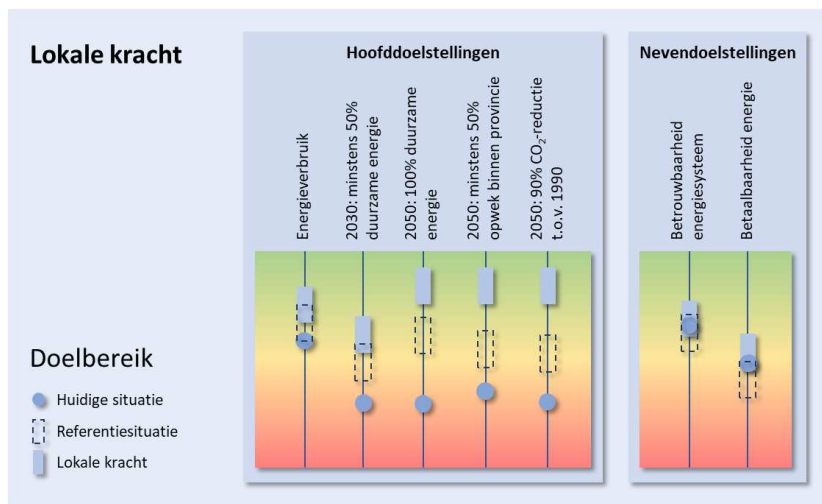
De drie systeemalternatieven voor het Brabants Energieperspectief laten duidelijke verschillen zien in aanpak en impact. 'Lokale kracht' legt de nadruk op lokale opwekking van duurzame energie, stimuleert daarmee lokaal eigenaarschap en participatie, en scoort daarmee goed op de doelstelling om het merendeel van de duurzame energie binnen de eigen provincie op te wekken. Dit draagt ook bij aan de betrouwbaarheid van het energiesysteem doordat regio's minder afhankelijk zijn van landelijke of internationale energiestromen. Dit alternatief kent echter wel het risico van versnippering van het energiesysteem doordat (provinciale) coördinatie ontbreekt. Dit kan ook leiden tot een ongelijke voortgang tussen gemeenten.

Verder kan een decentrale aanpak leiden tot lokale netcongestie, de noodzaak van voldoende opslag- en reservecapaciteit en een grotere complexiteit qua beheer en cybersecurity. Verder biedt 'Lokale kracht' op termijn kansen voor lagere kosten en lokale opbrengsten, maar kent in de beginfase hogere lasten.

'De grote opgaven gebundeld' kiest voor centrale aansturing en grootschalige projecten, waardoor nationale doelen snel worden gehaald, al blijft het aandeel lokaal opgewekte energie achter en kan het lokale maatschappelijk draagvlak door de landelijke aansturing onder druk staan. Door clustering en schaalvoordelen kunnen fluctuaties in aanbod en prijs worden beperkt, en is Nederland beter bestand tegen internationale crises. De afhankelijkheid van enkele grote infrastructuren heeft echter ook risico's: uitval of sabotage van een centrale voorziening kan direct grote delen van het land raken. De betrouwbaarheid is onder normale omstandigheden hoog, maar bij calamiteiten juist kwetsbaar door de centralisatie.

'Op grote schaal denken' focust op import van duurzame energie en industriële groei, wat de energietransitie versnelt en innovatieve technologieën stimuleert, maar de afhankelijkheid van internationale markten vergroot en het regionale aandeel lokale opwekking en betrokkenheid bij de energietransitie beperkt. Onder normale omstandigheden levert dit een stabiele en diverse energievoorziening op, waarbij schaalvoordelen en innovaties de betrouwbaarheid, voorspelbaarheid en betaalbaarheid ondersteunen. Echter, de afhankelijkheid van internationale markten maakt het systeem gevoelig voor geopolitieke spanningen, handelsbeperkingen of storingen in het buitenland. Daarnaast zorgt de grootschalige import er voor dat voordelen van de energietransitie mogelijk vooral bij industrie en investeerders terecht komen.

De figuren hiernaast geven een visualisatie van het doelbereik van de systeemalternatieven.



Te zien is dat de systeemalternatieven 'Lokale kracht' en 'De grote opgaven gebundeld' vergelijkbaar scoren en voor alle doelstellingen een stap in de goede richting laten zien. Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' scoort slecht op de doelstelling om in 2050 het grootste deel van de duurzame energie binnen de provincie zelf te produceren. Dit is logisch aangezien dit alternatief zich richt op import van duurzame energiedragers (met name waterstof, maar ook groen gas). Daarnaast laat dit alternatief een sterke toename van het totale energieverbruik zien. Dit komt vooral door de sterke toename van energie-intensieve industrie.

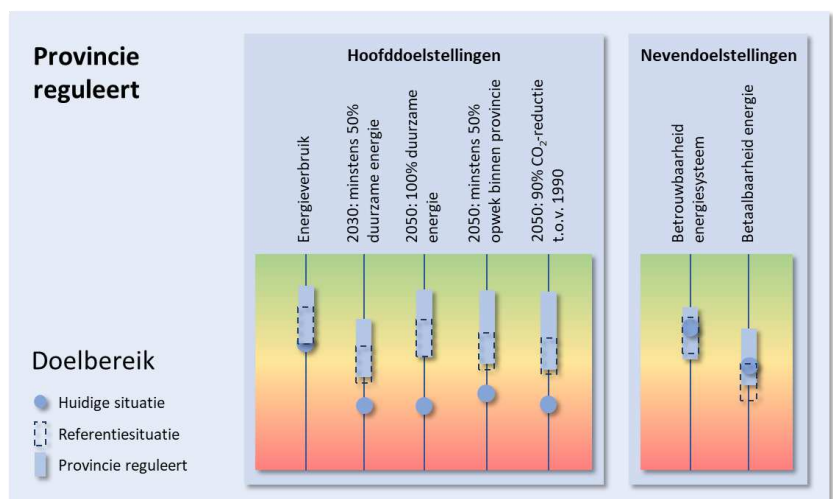
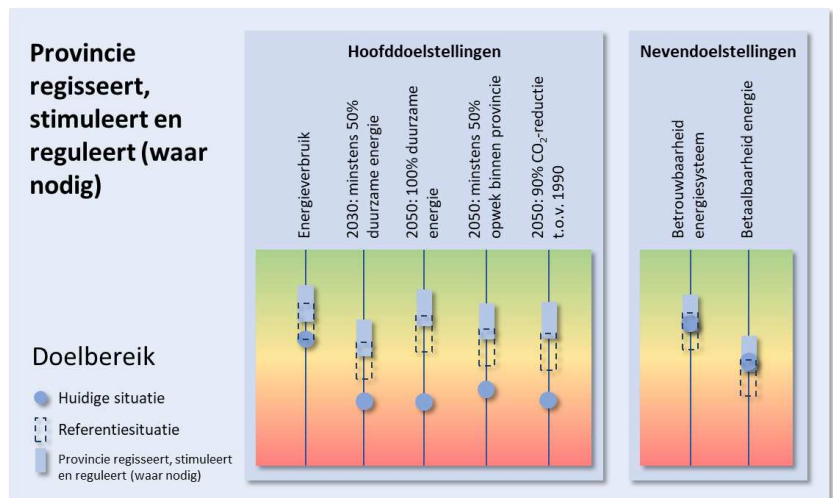
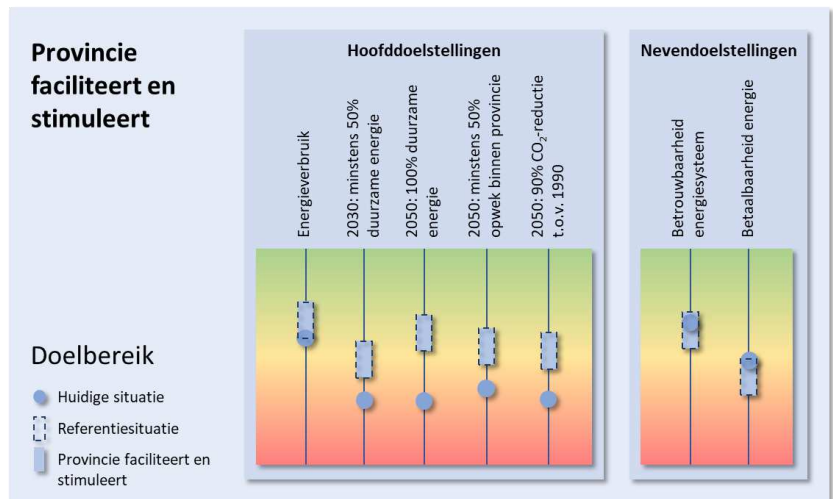
Doelbereik Sturingsalternatieven

Bij vergelijking van de drie sturingsalternatieven voor het Brabants Energieperspectief blijkt dat elk model duidelijke voor- en nadelen kent op het gebied van effectiviteit, draagvlak en risico's. Als de provincie vooral faciliteert en stimuleert, ontstaat veel ruimte voor lokale initiatieven, maar blijft het behalen van de provinciale doelen onzeker door het ontbreken van verplichtingen, versnippering van initiatieven en afhankelijkheid van lokale motivatie en middelen. Een gebrek aan samenwerking en samenhang kan leiden tot ongelijke lastenverdeling en hogere energielasten.

Het alternatief waarbij de provincie regisseert, stimuleert en reguleert waar nodig, combineert centrale sturing met lokale inbreng, waardoor zowel samenhang als voortgang worden bevorderd zonder het draagvlak te verliezen. Dit draagt bij aan het bereiken van een duurzame, betrouwbare en betaalbare energievoorziening. Dankzij actieve regie kan de provincie gerichte kaders stellen, innovatie stimuleren en waar nodig minimale normen afdwingen. Dit model scoort het beste op het combineren van effectiviteit, draagvlak en innovatiekracht, mits er voldoende flexibiliteit en samenwerking is.

Primair reguleren door de provincie biedt de meeste zekerheid op doelbereik dankzij strenge normen en handhaving, maar kan innovatie, lokale initiatieven en het maatschappelijk draagvlak ondermijnen en voor vertraging zorgen door juridische procedures. Een aanvullende rol voor de provincie als (mede)ontwikkelaar of via financiële ondersteuning van lokale initiatieven kan helpen om de afhankelijkheid van de markt te verkleinen, de energietransitie te versnellen en betaalbaar te houden.

De figuren hiernaast geven een visualisatie van het doelbereik van de sturingsalternatieven.



Te zien is dat het sturingsalternatief 'Provincie stimuleert en faciliteert' geen invloed heeft op het doelbereik doordat dit alternatief ervan uitgaat dat de provincie doorgaat met het uitvoeren van het huidige beleid. Hiermee komen de doelen dan ook niet verder in zicht. Het sturingsalternatief 'Provincie reguleert' biedt in potentie de meeste kansen op het halen van de doelen, maar heeft daarbij een grotere onzekerheid, vanwege de mogelijke rem op innovatie en maatschappelijke weerstand. Het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' biedt daarmee de meeste zekerheid om de doelen binnen bereik te krijgen.

Samenhang tussen systeem- en sturingsalternatieven

De rol en mate van sturing die van de provincie gevraagd wordt, varieert per systeemalternatief. Bij 'Lokale kracht' is een duidelijke regierol van de provincie nodig om de samenhang tussen lokale initiatieven te waarborgen. Hiermee kan de provincie al haar sturingsmiddelen inzetten om de provinciale doelen te behalen. Bij de alternatieven waarbij de regie bij het Rijk of de EU ligt, is de rol van de provincie beperkter en meer gericht 'naar boven' (zoals lobbyen bij het Rijk, de EU en netbeheerders). De provincie kan hier vooral ontwikkelingen van boven bijsturen, in plaats van zelf regisseren. Bij 'Op grote schaal denken' is de afstand tot het niveau waar besluiten genomen worden het grootst, waardoor bijsturen lastiger wordt. In het sturingsalternatief waarin de provincie alleen faciliteert en stimuleert, zijn de mogelijkheden tot bijsturing het kleinst omdat regulerende maatregelen ontbreken. Bij de andere sturingsalternatieven kan de provincie meer richting geven, afhankelijk van de ruimte die de wet biedt.

Beoordeling (milieu)effecten

Ruimte vraag van de systeemalternatieven

De verschillende systeemalternatieven voor het Brabantse energiesysteem vragen elk om een andere inzet van bouwstenen (zoals windturbines, zonnevelden, batterijen, etc.), wat resulteert in uiteenlopende ruimteclaims tot 2050, zie de figuur op de volgende pagina. In alle alternatieven is de bestaande en tot 2030 geplande ruimteclaim aanzienlijk. Na 2030 valt vooral bij 'Op grote schaal denken' de extra ruimteclaim mee door de nadruk op import van duurzame energie, terwijl bij de andere alternatieven tussen 2030 en 2050 juist een flinke toename optreedt. Wind op land neemt in alle alternatieven de meeste ruimte in beslag, vooral door indirect ruimtegebruik (veiligheidsafstanden) waarbinnen combinaties met functies zoals landbouw of natuur mogelijk blijven. Bij 'De grote opgaven gebundeld' is de ontwikkeling meer geconcentreerd, bij 'Lokale kracht' meer verspreid, wat leidt tot regionale verschillen in impact en een grotere behoefte aan uitbreiding van het elektriciteitsnet in het systeemalternatief 'Lokale kracht'. Ook de uitbreiding van het hoogspanningsnet vraagt, afhankelijk van lengte en tracé ook de nodige ruimte. Ten slotte valt een deel van de energieopgave buiten de provincie, vooral bij het alternatief met veel import ('Op grote schaal denken'), maar de locatie en omvang daarvan zijn nog onzeker.

Ruimte vraag bouwstenen met grootste ruimtelijke impact

De analyse van de ruimte vraag van de systeemalternatieven benadrukt dat met name wind op land en zonnevelden een grote ruimtelijke impact hebben op provinciaal niveau, evenals de uitbreiding van het hoogspanningsnet en buisleidingen. Daarom zijn voor deze bouwstenen in dit planMER aanvullende ruimtelijke analyses uitgevoerd, waarbij zowel het directe als het indirecte ruimtebeslag en de te verwachten omgevingseffecten in kaart zijn gebracht. Direct ruimtebeslag betreft grond die uitsluitend voor het energiesysteem wordt gebruikt, terwijl indirect ruimtebeslag gebieden omvat waar beperkingen gelden voor andere functies, bijvoorbeeld vanwege veiligheid, onderhoud of het beperken van negatieve effecten zoals geluid.

Windturbines

Windturbines vragen om een direct ruimtebeslag van circa 0,2 hectare per turbine voor fundering, kraanopstelplaats, toegangswegen en een inkoopstation. Het indirecte ruimtebeslag bestaat uit ongeveer 5 hectare per turbine onder de rotor (overdraai), waar extensief gebruik mogelijk blijft, en een veel groter gebied (50-80 hectare) met beperkingen voor stedelijke functies vanwege geluid. De precieze omvang hiervan hangt af van lokale normen en opstellingen.

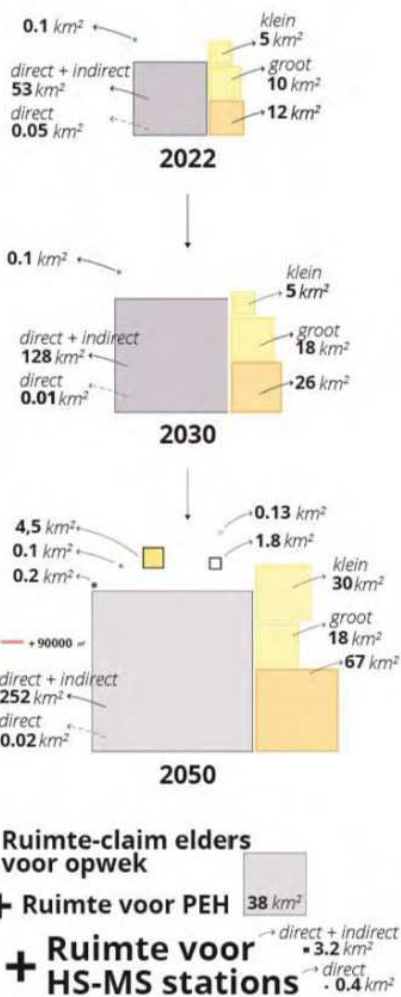
Het vermogen van moderne windturbines neemt toe, net als het aantal vollasturen door grotere rotorbladen en hogere masten. Een typische turbine (4 MW of meer) levert naar schatting 12.420 MWh per jaar (circa 42,8 TJ). Per hectare direct ruimtebeslag wordt een opbrengst van 215 TJ per jaar geschat. Per hectare indirect ruimtebeslag wordt een opbrengst van 8,5 TJ per jaar verwacht binnen de overdraaizone en 0,6 TJ per jaar binnen de geluidzone.

Windturbines leveren dag en nacht stroom en de productie is afhankelijk van windsnelheden, die per seizoen variëren.

Belangrijke omgevingseffecten zijn geluid (zonder landelijke norm, lokaal geregeld), slagschaduw (te beperken met stilstandvoorzieningen), landschappelijke impact (zichtbaarheid, verlichting) en effecten op natuur (aanvaringen van vogels en vleermuizen met rotorbladen). Daarbij hangt de hinderbeleving voor geluid vooral samen met de mate van (financiële) betrokkenheid van omwonenden en de lokale geluidbelasting.

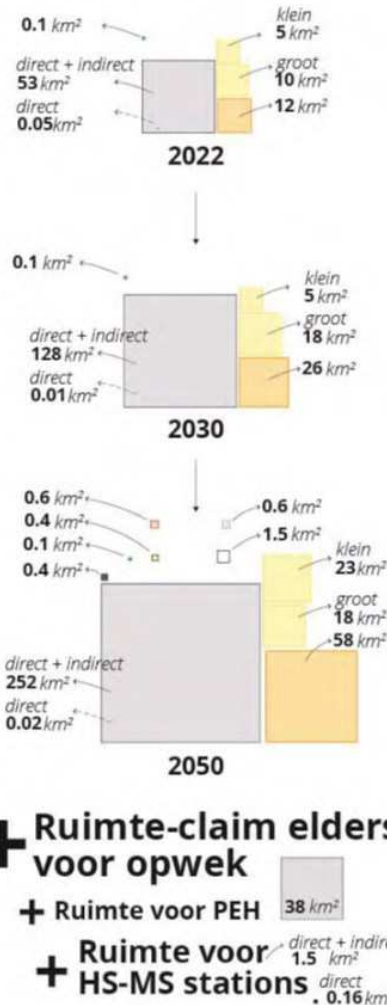
Lokale kracht

Directe en indirecte ruimteclaim bouwstenen



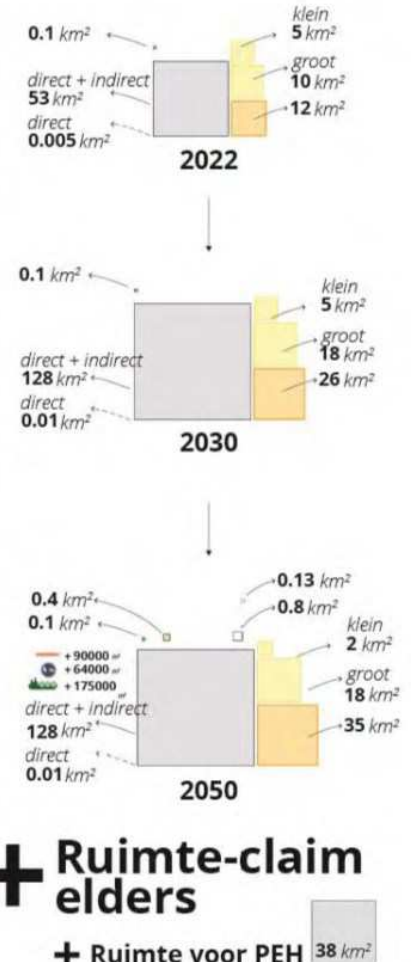
De grote opgaven gebundeld

Directe en indirecte ruimteclaim bouwstenen



Op grote schaal denken

Directe en indirecte ruimteclaim bouwstenen



Zon op veld

Zonnepanelen op veld hebben een direct ruimtebeslag van ongeveer 1 hectare per 1 MW vermogen, met nauwelijks indirect ruimtebeslag. De energieopbrengst varieert afhankelijk van de opstelling, waarbij een intensieve opstelling tot circa 5 TJ per hectare per jaar kan opleveren. Bij de berekeningen voor het Energieperspectief is uitgegaan van 3 TJ per hectare per jaar. Zonnenvelden produceren weinig tot geen geluid en veroorzaken geen grote veiligheidsrisico's, maar worden vaak omheind en omvormers kunnen lokaal wel geluid produceren. De energieopbrengst is beperkt tot de dagperiode en fluctueert met het zonlicht, met hogere opbrengsten in de zomer vanwege de langere dagen en hoger staande zon. Een intensieve opstelling maakt het zonnenveld meestal monofunctioneel, terwijl een minder intensieve opstelling beperkte natuur- of landbouwfuncties mogelijk maakt. Omgevingseffecten zijn vooral verminderd agrarisch gebruik en mogelijke landschappelijke impact door zichtbaarheid en reflectie.

Hoogspanningsverbindingen (bovengronds)

Bovengrondse 380 kV hoogspanningsverbindingen vormen de hoofdaders van het elektriciteitsnet en moeten om technische redenen bovengronds worden aangelegd. Ze bestaan uit masten met geleiders en een bliksemendraad, waarbij het directe ruimtebeslag relatief klein is (circa 700-750 m² per kilometer). Indirect is er de ZRO-strook (circa 70 meter, of 7 hectare per km) waar beperkingen gelden, zoals het verbod op hoge bomen. De magneetveldzone rond een hoogspanningsverbinding is ongeveer 130 meter breed (13 hectare per km), waarbinnen beperkingen gelden voor stedelijke functies. Omgevingseffecten zijn vooral de zichtbaarheid in het landschap, zogenoemde draadslachtoffers

(vogels en vleermuizen die in aanvaring komen met de bliksem draad), en de aanwezige magneetvelden waarvan de invloed wordt beperkt door het toepassen van het voorzorgbeleid (voldoende afstand tot gevoelige bestemmingen en slimme configuratie). Andere effecten zoals geluid zijn minimaal, uitgaande van de hiervoor genoemde afstand tot gevoelige bestemmingen vanwege de magneetveldzone.

Buisleidingen (ondergronds)

Ondergrondse buisleidingen hebben een gering direct ruimtebeslag. Bovengronds zijn alleen enkele voorzieningen voor beheer en onderhoud aanwezig. Het indirecte ruimtebeslag wordt bepaald door de ZRO-strook die beperkingen omvat vanwege veiligheid, bereikbaarheid en bescherming van de leiding. Binnen deze strook zijn landbouw, natuur en recreatie toegestaan, maar stedelijke functies niet. Omgevingseffecten ontstaan vooral tijdens de aanleg door bodemverstoring, mogelijke aantasting van natuurwaarden en archeologie, en effecten op waterhuishouding. Deze effecten kunnen met een zorgvuldige aanleg grotendeels worden voorkomen of beperkt. Het bundelen van buisleidingen in leidingstraten kan ruimte besparen, mits er voldoende afstand gehouden wordt tot andere leidingen en hoogspanningsverbindingen.

Overige bouwstenen energiesysteem

Naast de hiervoor behandelde bouwstenen met de grootste ruimtelijke impact, is in dit planMER voor alle bouwstenen voor het energiesysteem een zogenoemde ingreep-effectrelatie in beeld gebracht. Deze ingreep-effectrelaties laten per bouwsteen (ingreep) op hoofdlijnen zien welke effecten op kunnen treden tijdens de aanleg, het gebruik en de ontmanteling van de betreffende bouwsteen. Ook is aangegeven of elders effecten op kunnen treden, bijvoorbeeld tijdens de winning van delfstoffen die ingezet worden om energie te produceren. Deze ingreep-effectrelaties kunnen bij de verdere uitwerking van het Energieperspectief in concrete programma's en projecten gebruikt worden om de milieueffecten in meer detail in beeld te brengen. Zo wordt geborgd dat het (lokale) milieubelang ook wordt meegenomen in de verdere uitwerking en uitvoering van het Energieperspectief.

Maatgevende aspecten

Op basis van de analyses van de bouwstenen voor het energiesysteem met de grootste ruimtelijke impact, is te zien dat effecten op geluid, ruimtelijke kwaliteit en natuur maatgevend zijn voor de effecten van het energiesysteem op provinciale schaal. De effecten op overige aspecten zijn minder onderscheidend, doordat het gaat om kleine effecten (op provinciale schaal) en/of de effecten kunnen worden voorkomen of beperkt door rekening te houden met veiligheidsafstanden en/of het treffen van (verplichte) maatregelen.

Geluid

De bouwsteen voor het energiesysteem met de grootste effecten door geluid is de opwekking van elektriciteit door middel van windturbines op land, zie de figuur op de volgende pagina. Bij de andere bouwstenen is geluidhinder veel minder aan de orde of alleen lokaal rond de betreffende bouwsteen (zoals rond transformatorstations). Bij deze andere bouwstenen is het vaak mogelijk om maatregelen te nemen om de geluidhinder te beperken. Bij windturbines zijn deze mogelijkheden ook aanwezig (bijvoorbeeld door aanpassingen aan de wieken en door stilstandvoorzieningen) maar deze hebben maar een beperkte reductie van de geluidemissie tot gevolg. Hinder als gevolg van het geluid van windturbines kan ook bij lagere geluidniveaus optreden.

Bij het systeemalternatief Lokale kracht wordt sterk ingezet op lokale productie van energie en een ruimtelijke spreiding van het energiesysteem over de gehele provincie. Dat impliceert dat in Noord-Brabant een groot aantal windturbines noodzakelijk is (ruim 200) en er verspreid over de hele provincie nieuwe potentiële bronnen van geluidhinder worden gerealiseerd. Het is daarbij onvermijdelijk dat dit leidt tot een toename van geluidhinder door windturbines en andere installaties. In de praktijk zal de geluidhinder worden beperkt door geluidbeperkende maatregelen en goede locatiekeuzes.

Bij het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' zal het aantal windturbines in de provincie ook toenemen, maar minder sterk. Ook worden ze geconcentreerd in het rivierengebied, waar de bevolkingsdichtheid relatief laag is en het daardoor makkelijker is om plaatsing dichtbij woonkernen te mijden. De andere bouwstenen voor het energiesysteem worden vooral geclusterd rond de industriële gebieden in Moerdijk en Geertruidenberg waardoor de extra geluidhinder beperkt zal zijn. Dit geldt ook voor systeemalternatief 'Op grote schaal denken', waarvoor daarnaast geldt dat, na uitvoering van de Regionale Energie Strategieën (RES-en), geen nieuwe windturbines op land worden geplaatst.



Deze figuur geeft een schematische weergave. In werkelijkheid kunnen de geluidsniveaus en afstanden per situatie verschillen en zal het geluidsniveau na 300 meter nog verder afnemen.

Ruimtelijke kwaliteit

Ten aanzien van ruimtelijke kwaliteit heeft het energiesysteem met name invloed op de belevingswaarde en gebruikswaarde. De invloed op belevingswaarde wordt bepaald door de zichtbaarheid van het energiesysteem in het landschap (met name windturbines en hoogspanningsverbindingen, en in mindere mate zonnepanelen). Daarbij zorgt de obstakelverlichting op windturbines dat deze ook in de nacht zichtbaar zijn. De gebruikswaarde wordt beïnvloed door het directe ruimtebeslag (grootschalig bij zonnepanelen en clustering bouwstenen, kleinschalig bij overige ontwikkelingen) en de ruimtelijke beperkingen binnen de ZRO-strook bij hoogspanningsverbindingen en buisleidingen.

'Lokale kracht' zorgt voor verspreide energievoorzieningen, waaronder een groot aantal windturbines, wat kan leiden tot versnippering van het landschap, een rommelig landschappelijk beeld en conflicten met bestaande functies. Dit alternatief biedt door de lokale aanpak echter ook kansen voor lokale participatie en maatwerk. Het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' concentreert infrastructuur in clusters, waardoor het grootste deel van Brabant onaangetast blijft. Wel kan de realisatie van windturbines in het rivierengebied de belevingswaarde ervan aantasten. Dat geldt op een kleinere schaal ook voor de zonnepanelen in De Peel. 'Op grote schaal denken' beperkt de impact tot industriële clusters, waardoor de rest van Brabant grotendeels onaangetast blijft, maar de afstand tot de energietransitie voor bewoners groter wordt. In alle alternatieven zijn aanpassingen aan het hoogspanningsnet nodig, wat de belevingswaarde ter plekke van de nieuwe tracés beïnvloed. Ook leggen de ZRO-stroken rond hoogspanningsverbindingen en buisleidingen in alle alternatieven ruimtelijke beperkingen op.

Ten aanzien van herkomstwaarde en toekomstwaarde biedt 'Lokale kracht' kansen voor flexibiliteit en maatwerk, maar treden effecten wel verspreid over de hele provincie op. De grote opgaven gebundeld' vindt een balans tussen behoud van ruimtelijke kwaliteit buiten de clusters en efficiënt ruimtegebruik binnen de clusters, maar kan lokaal leiden tot verlies van identiteit, met een negatieve invloed op de herkomstwaarde. 'Op grote schaal denken' minimaliseert de ruimtelijke impact voor het grootste deel van Brabant, maar concentreert de nadelen in de industriële zones en vermindert de lokale betrokkenheid bij, en invloed op het energiesysteem.

(Beschermd) natuurgebieden

'Lokale kracht' kent door de brede spreiding van energievoorzieningen in de provincie het grootste risico op versnippering en effecten op instandhoudingsdoelen, abiotische condities en stikstofdepositie. Dit geldt zowel voor beschermde natuur in Natura 2000-gebieden en het Natuurnetwerk Brabant (NNB) als voor waardevolle natuur buiten deze gebieden. De verspreide plaatsing van initiatieven vergroot het risico op aantasting van het areaal en de kwaliteit van natuurtypen, maar de kleinschalige en lokale aanpak biedt wel kansen voor maatwerk en natuur-inclusieve ontwikkeling.

Het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' biedt kansen voor integrale gebiedsontwikkeling (bijvoorbeeld bij zonnevelden in De Peel) door de bundeling van energie-infrastructuur aan nationale opgaven en concentreert de energie-infrastructuur in specifieke clusters. Hierdoor is de impact elders in Brabant beperkt, maar waar deze clusters samenkomen, zoals in het rivierengebied, kunnen risico's ontstaan voor (beschermd) natuur.

Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' legt de minste directe ruimtelijke en ecologische druk op (beschermd) natuurgebieden in Brabant. Dit komt doordat de meeste energie wordt geïmporteerd, waardoor minder lokale opwekking nodig is. Zo worden er in dit alternatief geen extra windturbines aangelegd na afrondingen van de RES-en. De ruimtelijke ingrepen concentreren zich rond de bestaande industrieclusters Moerdijk en Geertruidenberg. Hierdoor blijft (beschermd) natuur buiten deze gebieden grotendeels gespaard.

Voor alle alternatieven geldt dat negatieve effecten op Natura 2000-gebieden en het NNB moeten worden voorkomen of gecompenseerd. De potentiële risico's op effecten op beschermde natuurgebieden verschillen daarmee per systeemalternatief, maar in de praktijk zullen de effecten van alle systeemalternatieven vergelijkbaar zijn als gevolg van goede locatiekeuzes en het treffen van maatregelen om effecten te voorkomen, beperken of compenseren.

Flora en fauna

Ten aanzien van de invloed van de systeemalternatieven op flora en fauna kan gesteld worden dat 'Op grote schaal denken' het meeste potentieel biedt om de soortenrijkdom in Brabant te behouden, doordat de ruimtelijke impact op het landschap en natuurgebieden relatief beperkt blijft en geconcentreerd is de bestaande industrieclusters Moerdijk en Geertruidenberg. 'De grote opgaven gebundeld' clustert de energie-infrastructuur in specifieke clusters. Flora en fauna buiten deze clusters worden daarmee niet beïnvloed. Daarnaast kan de clustering, mits goed ingericht en gecombineerd met natuurontwikkeling (zoals bij de zonnevelden in De Peel), lokaal kansen bieden voor versterking van biodiversiteit, maar het risico op verstoring blijft bestaan.

'Lokale kracht' kent het risico van versnippering en verstoring op veel verschillende plekken. Aan de andere kant biedt de meer kleinschalige aanpak de meeste kansen voor maatwerk en daarmee lokale versterking van biodiversiteit. De mate waarin de alternatieven bijdragen aan de soortenrijkdom hangt dus sterk af van de wijze van uitvoering en de zorgvuldigheid waarmee ruimtelijke en ecologische belangen worden geïntegreerd. Voor alle alternatieven geldt dat de impact beperkt wordt doordat voldaan moet worden aan wet- en regelgeving voor bescherming van flora en fauna.

Overige milieu- en omgevingsaspecten*Bodem en water*

De drie systeemalternatieven verschillen in hun effecten op bodem, water en klimaatadaptatie. 'Lokale kracht' veroorzaakt een verspreide, kleinschalige impact met risico op diffuse bodem- en waterbelasting, maar biedt lokaal maatwerk en kansen voor integratie van energie- en klimaatopgaven. 'De grote opgaven gebundeld' concentreert de effecten op enkele grote locaties, waardoor monitoring eenvoudiger is en synergie op kan treden tussen opgaven. Wel neemt de druk op bodem en water lokaal toe. 'Op grote schaal denken' beperkt de impact grotendeels tot bestaande industrieclusters, waardoor de kwaliteit van bodem en watersysteem buiten deze clusters behouden blijft en gerichte bescherming mogelijk is. Succesvolle benutting van kansen en beheersing van risico's hangt in alle gevallen af van goede ruimtelijke afstemming c.q. locatiekeuze en integratie van energiebeleid met andere beleidsvelden.

Gezonde en veilige leefomgeving

Alle alternatieven verbeteren de luchtkwaliteit doordat het energiesysteem geen gebruik meer maakt van fossiele brandstoffen. Effecten tijdens de aanleg van nieuwe energie-infrastructuur kunnen voorkomen worden door de toepassing van emissiearme aanlegtechnieken. Qua hinder door slagschaduw scoort 'Op grote schaal denken' het gunstigst (geen extra windturbines), terwijl 'Lokale kracht' het meeste risico op hinder geeft door de spreiding van windturbines over de provincie. 'De grote opgaven gebundeld' concentreert nieuwe windturbines in het rivierengebied. De relatief dunbevolkte omgeving zorgt hier voor een beperking van de effecten. Gezondheidseffecten door magneetvelden worden bij alle alternatieven geminimaliseerd door het landelijke voorzorgbeleid. Stress kan toenemen als bewoners zich niet betrokken voelen. Het risico hierop is groter in de systeemalternatieven 'De grote opgaven

gebundeld' en 'Op grote schaal denken', maar de ruimtelijke impact van het energiesysteem is vanwege clustering wel kleiner dan in 'Lokale kracht'. Lokaal maatwerk in 'Lokale kracht' kan eventuele stress deels beperken.

Externe veiligheidsrisico's zijn in 'Lokale kracht' meer verspreid en vragen om maatwerk, terwijl clustering in de andere alternatieven lokaal hogere risico's geeft, maar wel kansen biedt voor integrale beheersing en monitoring. Op het gebied van luchtvaartveiligheid scoort 'Op grote schaal denken' het beste door concentratie van energie-infrastructuur buiten de invloedsgebieden van luchthavens, terwijl 'Lokale kracht' door verspreiding het meeste risico oplevert, ondanks mogelijkheden voor lokaal maatwerk. Voor alle alternatieven geldt dat voldaan moet worden aan normen en randvoorwaarden die de luchtvaartveiligheid moeten garanderen, zoals hoogtebeperkingen rond de luchthavens.

Economie

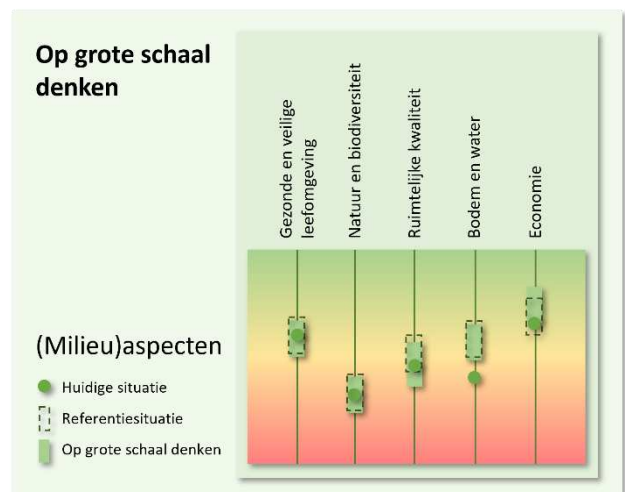
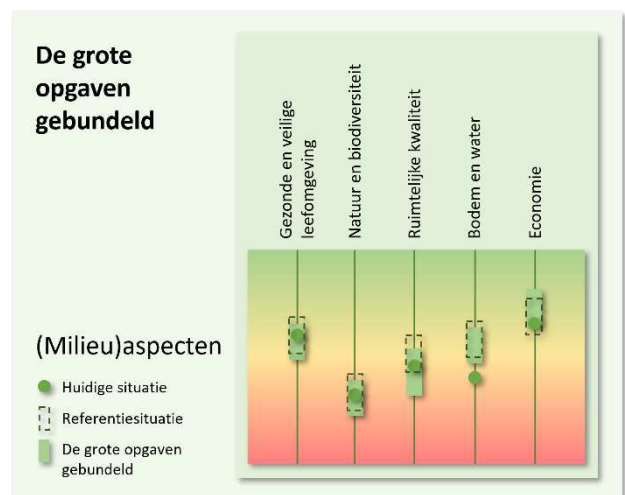
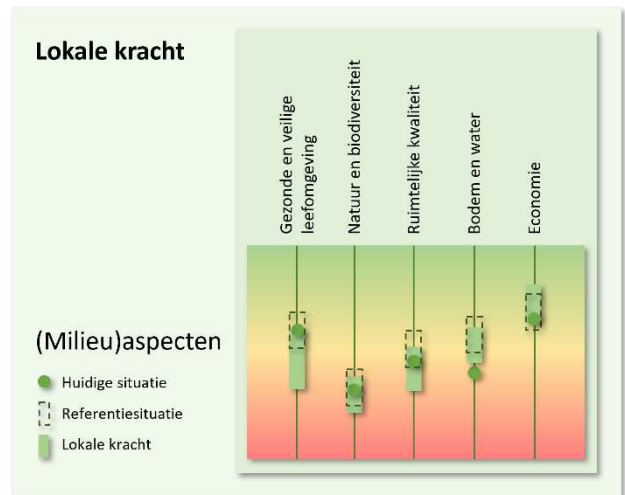
Alle systeemalternatieven verminderen het gebruik van natuurlijke hulpbronnen doordat ze fossiele energie vervangen door duurzame bronnen. 'Lokale kracht' stimuleert lokale inzet van hernieuwbare energie, maar kan leiden tot versnippering en druk op bijvoorbeeld landbouwgrond. 'De grote opgaven gebundeld' kiest voor centrale grootschalige opwekking, waardoor effecten lokaal geconcentreerd zijn. Ook hier kan dit ten koste gaan van landbouwgrond. 'Op grote schaal denken' beperkt de ruimtelijke impact in eigen land, maar vergroot de afhankelijkheid van buitenlandse, mogelijk minder duurzame bronnen.

Ten aanzien van circulariteit biedt 'Lokale kracht' vooral kansen voor lokale circulariteit en korte kringlopen, maar kent risico's van versnippering en beperkte schaalvoordelen. 'De grote opgaven gebundeld' biedt grootschalige efficiëntie door regionale clustering, maar kan lokale initiatieven verdringen. 'Op grote schaal denken' benut de industriële schaal en internationale samenwerking, maar vergroot de afhankelijkheid van import en kan de aandacht voor lokale circulariteit verminderen.

De systeemalternatieven dragen op een verschillende manier bij aan de economische vitaliteit. 'Lokale kracht' stimuleert vooral de spreiding en versterking van lokale economieën, maar brengt versnippering en daardoor hogere kosten met zich mee. 'De grote opgaven gebundeld' geeft een sterke impuls aan de nationale economie en innovatie in specifieke regio's, maar scoort minder op lokale spreiding. 'Op grote schaal denken' biedt de meeste kansen voor industriële clusters en havens met internationale focus, maar vergroot regionale ongelijkheid en afhankelijkheid van externe (geopolitieke) factoren.

Beoordeling (milieu)effecten systeemalternatieven

De figuren hiernaast geven een visualisatie van de (milieu)effecten van de systeemalternatieven. Te zien is dat alle systeemalternatieven (beperkte) risico's hebben op negatieve effecten op de aspecten Gezonde en veilige leefomgeving, Natuur en biodiversiteit, Ruimtelijke kwaliteit, en Bodem en water, maar de mate en spreiding van deze risico's verschillen. 'Lokale kracht' kent de grootste impact door de verspreide aanleg van energie-infrastructuur over de provincie, maar biedt wel kansen voor lokaal maatwerk. 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' beperken de impact tot specifieke industriële clusters en gebieden, waardoor grote



delen van Brabant gevrijwaard blijven van nieuwe infrastructuur. Economisch gezien bieden alle alternatieven mogelijkheden voor meer circulariteit en minder afhankelijkheid van natuurlijke hulpbronnen, met voordelen voor lokale bedrijven. Wel is het belangrijk om ook kleinere bedrijven te betrekken, zodat niet alleen de grote bedrijven profiteren van de energietransitie.

Mitigatie en compensatie

Hieronder zijn per aspect maatregelen samengevat om de hiervoor geconstateerde (milieu)effecten van de systeemalternatieven te voorkomen, beperken of compenseren:

- **Bodem en water:** Bodembeschermende en duurzame technieken toepassen. Energie-infrastructuur combineren met waterbergingsmaatregelen. Natuurlijke infiltratie behouden door het beperken van verharding. Monitoring en snelle interventie bij incidenten. Bestaande verontreinigingen saneren tijdens de aanleg van energie-infrastructuur. Bodemverontreiniging voorkomen door het inzetten van geavanceerde technieken op grootschalige locaties.
- **Natuur en biodiversiteit:** Betrek lokale partijen en ecologische experts bij de locatiekeuze van energie-infrastructuur. Natuurvriendelijk ontwerpen en bouwen. Plaats energievoorzieningen waar mogelijk op bestaande bedrijventerreinen. Combineer energie-initiatieven met natuurontwikkeling. Zet bufferzones en monitoring in bij grootschalige ontwikkelingen nabij natuurgebieden.
- **Ruimtelijke kwaliteit:** Zorgvuldige inpassing van energievoorzieningen met respect voor landschap en cultuurhistorie. Toepassen van lokale participatie en maatwerk bij locatiekeuze energievoorzieningen. Combineer energievoorzieningen met andere functies (integrale gebiedsontwikkeling). , en verschillende functies slim te combineren. Zorg er met flexibele planning, monitoring, en goede communicatie met stakeholders voor dat de belevingswaarde en lokale identiteit behouden blijven en versnippering van het landschap wordt voorkomen.
- **Gezonde en veilige leefomgeving:** Verminder hinder en veiligheidsrisico's bij plaatsing van windturbines door een goede locatiekeuze en technische innovaties. Strikte naleving van eisen luchtvaartveiligheid, magneetvelden en veiligheidsafstanden. Pas centrale regie toe op gezamenlijke veiligheidsmaatregelen bij industriële clusters. Cluster energievoorzieningen op industriële locaties om hinder te beperken. Pas emissiebeperkende maatregelen toe tijdens de aanleg.
- **Economie:** Stimuleer lokale samenwerking en kennisdeling om versnippering te voorkomen. Faciliteer ruimtelijke inpassing en participatie van omwonenden. Ondersteun (o.a. financieel) lokale innovatie en ondernemerschap. Stimuleer circulaire processen en benutting restwarmte op industriële clusters. Spreid economische groei door lokale bedrijven te betrekken bij grote projecten. Diversifieer internationale energieleveranciers om de leveringszekerheid te vergroten.

Voorkeursalternatief Energieperspectief

Toelichting voorkeursalternatief

De uiteindelijke invulling van het Energieperspectief kan in het kader van dit planMER gezien worden als het voorkeursalternatief (VKA) van de provincie om de doelstellingen te bereiken. De hoofdlijnen van dit VKA zijn hieronder toegelicht.

Energievormen en-mix

Het toekomstige energiesysteem van Brabant vereist een samenhangende aanpak waarbij flexibiliteit en balans tussen verschillende energievormen centraal staan. In 2050 bestaat de energiemix vooral uit elektriciteit (meer dan de helft), opgewekt via wind, zon en innovatieve technieken, zoals SMR's (zie tekstkader). Daarnaast spelen warmte en waterstof een belangrijke rol. Elektriciteit wordt deels lokaal opgewekt en deels geïmporteerd, waarbij investeringen in opslag en infrastructuur noodzakelijk zijn. Warmte blijft essentieel, vooral voor woningen en industrie, met een groeiende rol voor collectieve warmtenetten en lokale duurzame bronnen. Waterstof krijgt een groter aandeel in de energiemix. Daarbij wordt infrastructuur voor import en distributie aangelegd. Groen gas vervult een beperkte, aanvullende rol, voornamelijk in situaties waar andere duurzame opties niet haalbaar zijn.

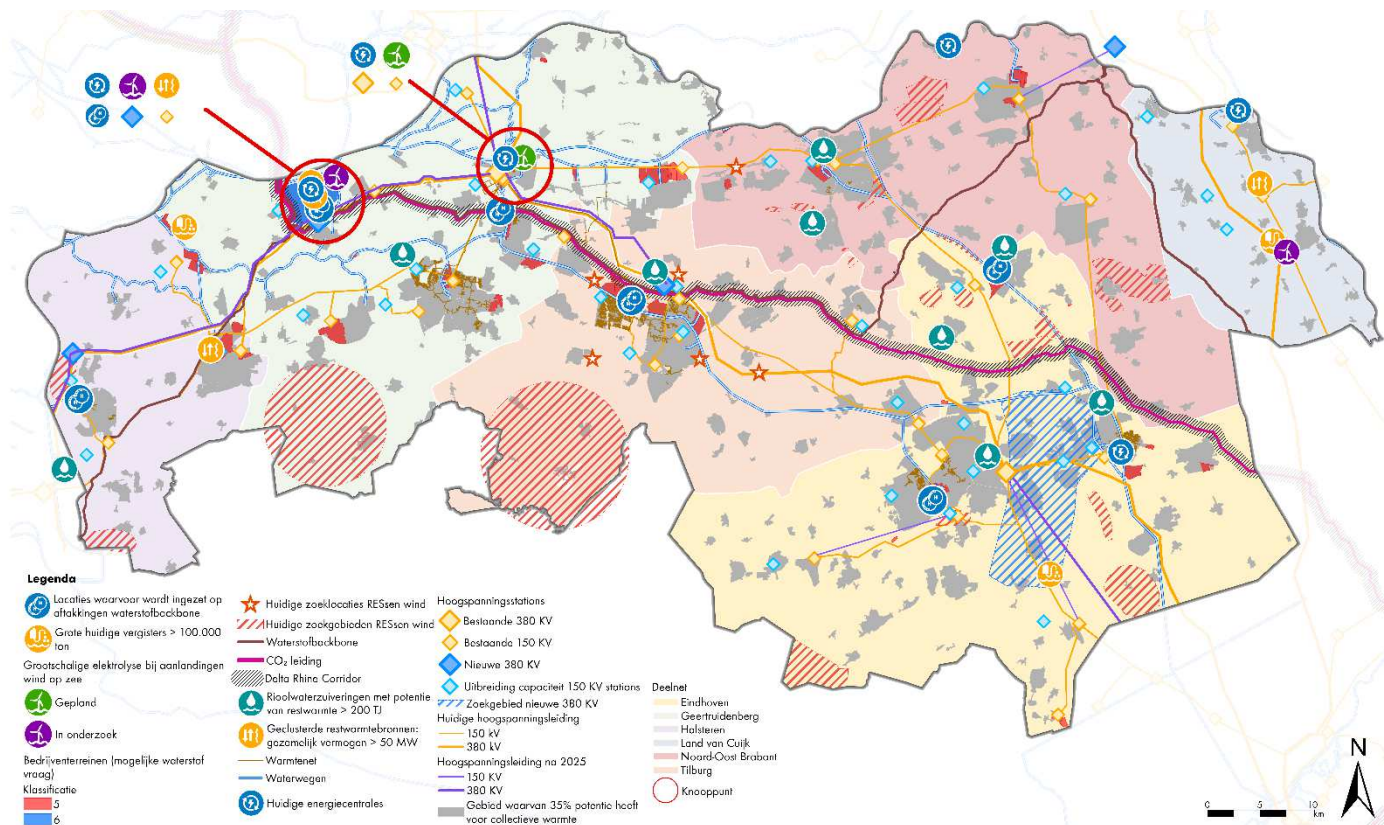
Small Modular Reactors (SMR's)

De provincie Noord-Brabant onderzoekt de mogelijkheden van kernenergie, met name via Small Modular Reactors (SMR's), die flexibel inzetbaar zijn voor diverse energietoepassingen en relatief snel te bouwen zijn. SMR's kunnen bijdragen aan leveringszekerheid, CO₂-reductie en lokale energievoorziening, vooral bij industrieclusters. Voor de inzet van SMR's is echter zorgvuldige ruimtelijke en maatschappelijke voorbereiding nodig. De provincie zet daarom de komende jaren in op vervolgonderzoek naar geschikte locaties, randvoorwaarden en acceptatie, en sluit hierbij aan bij de kaders die volgen uit de landelijke SMR-visie. In het kader van het planMER is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor een scenario waarin de provincie inzet op SMR's om in een deel van de energievraag te voorzien.

Niet elke energiedrager is geschikt voor elke toepassing. Zo is elektriciteit handig voor huishoudens en lichte voertuigen, terwijl waterstof beter past bij zware industrie of transport. De provincie kiest daarom bewust welke energiedrager ze waar inzet. De voorkeursvolgorde per energiedrager is hieronder weergegeven.

Gebouwde omgeving Warmte voor ruimteverwarming en tapwater	Industrie lage temperatuur Lage temperatuur productieprocessen	Industrie hoge temperatuur Hoge temperatuur productieprocessen	Mobiliteit Verduurzamen voertuigbrandstoffen	Landbouw Warmte glastuinbouw
Voorkeursvolgorde voor inzet van dragers				
1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas waar geen alternatieve beschikbaar zijn (zoals monumentale panden) 4. Geen gebruik van waterstof	1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas 4. Bij voorkeur géén gebruik van waterstof	1. Waterstof 2. Groen gas 3. Elektrificatie	1. Elektrificatie voor alle modaliteiten 2. Biobrandstoffen als transitie voor wegvervoer en scheepvaart, en lange termijn luchtvaart 3. Mogelijk waterstof voor zwaar wegtransport, voor scheepvaart en luchtvaart	1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas 4. Geen gebruik van waterstof

De afbeelding hieronder geeft een globaal ruimtelijk beeld van het Brabantse energiesysteem van de toekomst.



Bestuurlijke keuzes op hoofdlijnen

De provincie Noord-Brabant ziet dat het energiesysteem voor 2050 voor grote uitdagingen staat, zoals het ontbreken van een integrale aanpak tussen energie en andere ruimtelijke sectoren, onvoldoende rechtvaardigheid, beperkte bestuurlijke invloed en het ontbreken van een langetermijn-investeringsstrategie. Om deze knelpunten aan te pakken, wil de provincie haar regierol versterken en neemt zij concrete keuzes op in het Energieperspectief. Dit omvat het centraal stellen van energie in ruimtelijke ontwikkeling, provinciale regie op collectieve warmte, prioriteit geven aan netcapaciteit, regionale waterstofclusters stimuleren, energiebesparing structureel verankeren, tijdige voorbereiding op kernenergie, borging van participatie en rechtvaardigheid, ontwikkeling van een investeringsstrategie en versterking van bestuurlijke regie via onder andere een Energyboard en gebiedsgerichte sturing.

De provincie als regisseur van de energietransitie

Het energieperspectief schetst hoe de provincie Noord-Brabant haar rol in de energietransitie versterkt van een faciliterende naar een sturende en regisserende partij. De provincie neemt actief strategische besluiten, ontwikkelt toetsingskaders, zet financiële instrumenten in en bereidt zich voor op risicodragende deelname in publieke energievoorzieningen. Hierbij worden keuzes integraal gemaakt, waarbij energiedragers, infrastructuur en ruimtelijke gevolgen samenhangend worden afgewogen en beleid wordt afgestemd met andere maatschappelijke opgaven zoals stikstof, water, wonen, mobiliteit, landbouw, defensie en economie. Als schakel tussen nationaal en regionaal energiesysteem verbindt de provincie landelijke kaders met regionale en lokale opgaven via programma's als het pMIEK en borgt zij samenhang tussen energie en ruimte, met ruimte voor gebiedsspecifieke keuzes en bijsturing. Energie-infrastructuur wordt verankerd in omgevingsbeleid en strategische clusters krijgen prioriteit in netcapaciteit. Partnerschap en samenwerking met gemeenten, netbeheerders, bedrijven, maatschappelijke organisaties en inwoners vormen de basis, waarbij het Brabantbrede Bestuurlijk Overleg Energie (BBOE) het centrale platform wordt voor afstemming, besluitvorming en uitvoering, met oog voor maatschappelijke meerwaarde. Voor het oppakken van deze regierol heeft de provincie structureel meer capaciteit en financiële middelen nodig.

Vergelijking voorkeursalternatief en onderzochte alternatieven

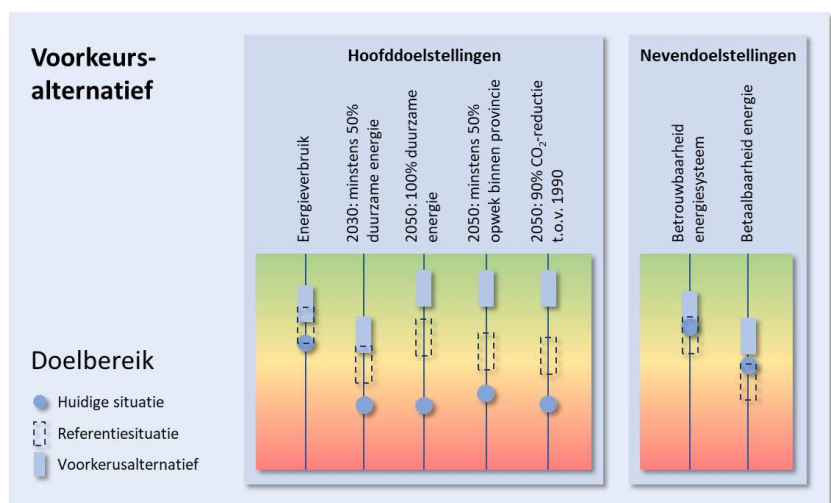
Het VKA voor de energietransitie in Brabant combineert kenmerken van het systeemalternatief 'Lokale kracht' en het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'. Beide alternatieven benadrukken flexibiliteit en decentrale opwekking, met veel aandacht voor lokale energiebronnen en zelfvoorzienendheid. Wat het voorkeursalternatief van systeemalternatief 'Lokale kracht' onderscheidt, is de extra focus op clustering van collectieve warmtenetten en regionale waterstofclusters, en het expliciet verbinden van energiebeleid met andere provinciale thema's zoals stikstof, water, wonen, mobiliteit, landbouw, defensie en economie. Ten aanzien van sturingsmiddelen kan het VKA gezien worden als een nadere uitwerking van sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)', inclusief concrete bestuurlijke keuzes, toetsingskaders, investeringsstrategieën en aandacht voor sociale inclusie en participatie.

Doelbereik voorkeursalternatief

Het VKA onderscheidt zich van de combinatie 'Lokale kracht' en 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' door de uitwerking van de centrale regierol van de provincie en de integrale blik op de plek van het energiesysteem binnen andere (ruimtelijke) opgaven. Hierdoor kunnen ruimtelijke, sociale en economische opgaven beter op elkaar worden afgestemd en ontstaat een robuuster, flexibeler en betrouwbaarder energiesysteem. Het VKA biedt meer mogelijkheden om doelstellingen voor duurzame energieopwekking, leveringszekerheid, CO₂-reductie, betaalbaarheid en sociale rechtvaardigheid te behalen, mede dankzij expliciete aandacht voor participatie en een eerlijke verdeling van lusten en lasten. Provinciale regie op warmtenetten en waterstofinfrastructuur zorgt voor efficiëntie en toekomstbestendigheid. Kortom, de centrale, integrale aanpak in het VKA vergroot de kans op een succesvolle en breed gedragen energietransitie in Noord-Brabant.

Ondanks dat het VKA een solide basis biedt voor het behalen van de doelstellingen richting 2030 en 2050 zijn er enkele resterende risico's die het behalen van de doelstellingen kunnen vertragen of bemoeilijken. Vertraging door ruimtelijke procedures, maatschappelijke weerstand, technologische onzekerheden en de noodzaak tot intensieve samenwerking vormen de grootste uitdagingen. Ook de betaalbaarheid en leveringszekerheid van het energiesysteem blijven kwetsbaar door fluctuaties in prijzen en afhankelijkheid van innovatieve technieken.

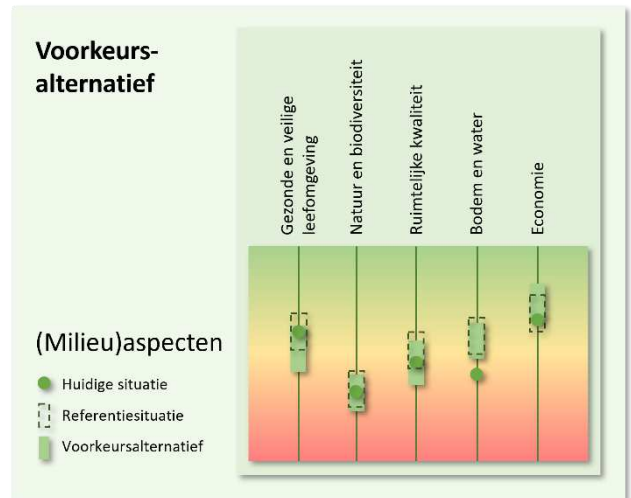
Als de provincie haar regierol effectief invult, bestuurlijke knelpunten tijdig oplost en voldoende capaciteit en middelen mobiliseert, zijn de kansen om de gestelde doelen te halen groot, zie de figuur hierboven. Echter, het succes hangt af van adaptief beleid, maatschappelijke acceptatie en het vermogen om flexibel in te spelen op onvoorziene ontwikkelingen. Een integrale, programmatische aanpak en sterke samenwerking zijn daarmee onmisbaar voor het realiseren van een duurzaam, betrouwbaar, betaalbaar en omgevingsbewust energiesysteem in Noord-Brabant.



(Milieu)effecten VKA

De milieueffecten van het voorkeursalternatief zijn vergelijkbaar met die van het systeemalternatief 'Lokale kracht' door de gezamenlijke focus op lokale en decentrale energieopwekking. Het verschil zit vooral in de geclusterde aanpak van het voorkeursalternatief, waardoor ruimtelijke versnippering afneemt en negatieve milieueffecten minder verspreid voorkomen. Dankzij de regierol van de provincie kan bij projecten beter worden gestuurd op milieubeperking, onder andere door clustering van infrastructuur en koppeling met andere opgaven zoals natuur en waterbeheer. Dit leidt tot efficiënter ruimtegebruik en minder impact op kwetsbare gebieden. Door integrale keuzes kunnen schaalvoordelen worden benut en neemt de benodigde infrastructuur af, wat de milieueffecten per opgewekte eenheid energie verlaagt. Tot slot biedt het VKA ruimte voor kernenergie via SMR's, wat op termijn bijdraagt aan CO₂-reductie en leveringszekerheid.

Ondanks de genoemde voordelen blijven de milieueffecten van het VKA vergelijkbaar aan die van het systeemalternatief 'Lokale kracht', al treden ze wel in mindere mate op, zie de figuur hiernaast. Vooral de verspreide aanleg van windturbines blijft een aandachtspunt voor Geluid en Ruimtelijke kwaliteit.



Gevoelheidsanalyses

Over de toekomst is nog veel onzeker. Dat geldt zeker voor de ontwikkeling van het energiesysteem van de toekomst. In het planMER is een beschouwing opgenomen van een aantal onzekere ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op het toekomstige energiesysteem. Daarbij is ingegaan op waar de onzekerheid in zit, wat het betekent voor het energiesysteem en welke milieueffecten dit tot gevolg kan hebben. Hieronder zijn de conclusies uit de gevoelheidsanalyses samengevat.

Vraag en aanbod energie

Energiebesparing

De energievraag in Brabant hangt af van diverse factoren, zoals economische groei, technologische vooruitgang, energieprijzen en gedrag van inwoners en bedrijven. De mate van energiebesparing is een belangrijke onzekerheid: als deze sneller of omvangrijker plaatsvindt dan verwacht, kan de energievraag lager uitvallen dan geraamd. Dit betekent dat infrastructuur mogelijk te ruim wordt ontworpen, wat tot overcapaciteit en hogere kosten kan leiden, maar tegelijk kansen biedt om investeringen te faseren of te verkleinen. Een lagere energievraag kan de transitie naar een duurzaam energiesysteem vereenvoudigen, de druk op nieuwe infrastructuur en bronnen verminderen, en het systeem robuuster maken met meer ruimte voor lokale en decentrale oplossingen. Milieueffecten van een lagere energievraag zijn overwegend positief: minder energieproductie en transport betekenen minder uitstoot, ruimtebeslag en impact op natuur en landschap, waardoor het energiesysteem duurzamer en beter inpasbaar wordt.

Balans tussen vraag en aanbod van energie

De balans tussen vraag en aanbod van energie in het toekomstige energiesysteem is onzeker door onder meer de wisselvalligheid van zon- en windenergie, veranderend gedrag en technologische ontwikkelingen. Dit kan leiden tot periodes van overschot en tekort aan energie, zowel binnen een dag als over de seizoenen. Om hierop in te spelen, moet flexibiliteit in het systeem meer nadruk krijgen. Denk aan uitbreiding van opslag, vraagsturing, flexibiliteitsmarkten en robuustere infrastructuur. Structurele onbalans maakt het energiesysteem kwetsbaarder en minder betrouwbaar, maar stimuleert ook innovatie, zoals slimme netwerken en lokale opslag. Milieueffecten van een disbalans tussen energievraag en -aanbod zijn dubbel: overproductie leidt tot verspilling en tekorten verhogen het gebruik van fossiele back-up met extra uitstoot. Daarnaast nemen ruimtegebruik en impact op landschap toe door extra opslag en transport. Het optimaal balanceren van vraag en aanbod is daarmee zowel een technische als een ruimtelijke uitdaging binnen de energietransitie.

Import en export van energie

De toekomstige mogelijkheden om energie te importeren zijn onzeker, zeker bij geopolitieke spanningen. Bij beperkte import zal Brabant meer moeten inzetten op eigen productie (zoals waterstof, biogas en geothermie), energiebesparing en vraagsturing. Dit vraagt om aanpassing van de infrastructuur en kan leiden tot meer zelfvoorzienendheid, maar brengt het risico van vertraging van de energietransitie en hogere kosten met zich mee.

Milieueffecten zijn dubbel: lokale productie stimuleert duurzaamheid, maar schaarste kan leiden tot meer fossiel gebruik en extra ruimtedruk door investeringen in opslag- en transportmogelijkheden.

In het geval van export groeit Brabant mogelijk uit tot logistiek knooppunt voor elektriciteit en waterstof. Dit vereist flexibiliteit, schaalbaarheid en uitbreiding van transportnetwerken, maar brengt risico's voor de lokale energievoorziening en netcongestie met zich mee wanneer internationale export geprioriteerd wordt. Economische kansen en innovatie staan tegenover het gevaar dat Brabant vooral een transportregio wordt met minder lokale meerwaarde. Qua milieueffecten leidt een toename van energie-infrastructuur tot meer ruimtedruk, wat kan leiden tot impact op natuur, landschap en leefomgeving.

Mate van elektrificatie

Een scenario met een sterk stijgende elektriciteitsvraag door versnelde elektrificatie van industrie en huishoudens brengt grote onzekerheden met zich mee, voortvloeiend uit technologische veranderingen, beleid en gedrag. Versnelde elektrificatie vereist een snelle en grootschalige uitbreiding van het Brabantse energiesysteem, met meer duurzame opwekking, versterking van het netwerk, inzet van grootschalige opslag en slimme vraagsturing. Brabant kan zich ontwikkelen tot een innovatieve regio met veel duurzame elektriciteit en een flexibel net, wat economische kansen biedt. Tegelijkertijd bestaat het risico op dat infrastructuur achterblijft op de stijgende vraag, met mogelijke congestie en hogere kosten tot gevolg. Hierdoor worden regionale samenwerking en ruimtelijke afstemming cruciaal. De milieueffecten zijn dubbel: meer duurzame opwek verlaagt de uitstoot, maar uitbreiding van infrastructuur legt extra druk op ruimte en natuur, en bij tekorten kan tijdelijk gebruik van fossiele energie toenemen, wat negatieve gevolgen heeft voor luchtkwaliteit en klimaat.

Innovatieve technieken

CO₂-opslag

Het scenario waarin Brabant sterk inzet op CO₂-afvang en -opslag (CCS) brengt onzekerheden met zich mee op technisch, economisch, beleidsmatig en maatschappelijk vlak. CCS zorgt ervoor dat fossiele brandstoffen langer in het energiesysteem blijven zonder directe uitstoot van broeikasgassen, maar het kan de overstap naar volledig duurzame energiebronnen vertragen. Het toekomstbeeld in dit scenario is een hybride systeem met zowel fossiele als duurzame componenten, waarbij de rol van CCS centraal staat voor de reductie van emissies. Qua milieueffecten neemt de uitstoot van CO₂ af, maar het ruimtegebruik van de infrastructuur en de risico's van opslag (zoals lekkage) blijven groot. Het gebruik van fossiele bronnen wordt weliswaar emissievrij gemaakt, maar het systeem blijft afhankelijk van winning, import en verwerking van fossiele brandstoffen.

Small Modular Reactors (SMR's)

Een scenario waarin Brabant inzet op Small Modular Reactors (SMR's) brengt diverse onzekerheden met zich mee, zoals technologische volwassenheid, kosten, bouw tijden, en maatschappelijke acceptatie. SMR's bieden stabiele, weersonafhankelijke elektriciteitsopwekking en kunnen basislast leveren, waardoor de noodzaak voor grootschalige opslag afneemt. Toch blijft flexibiliteit belangrijk, omdat de uitrol van SMR's onzeker is en de infrastructuur ook alternatieve duurzame bronnen moet kunnen ondersteunen. SMR's dragen bij aan CO₂-reductie en een verbeterde luchtkwaliteit, maar kernenergie brengt ook milieuvraagstukken mee zoals radioactief afval en stralingsrisico's. Brabant kan zich met de inzet op SMR's ontwikkelen tot een innovatieve regio, maar het tempo van de energietransitie en de uiteindelijke energiemix blijven onzeker door technologische en maatschappelijke uitdagingen.

Geothermie

Het benutten van geothermie in Brabant biedt kansen voor duurzame warmte, maar kent aanzienlijke onzekerheden door technische en geologische factoren. Het potentieel is groot, maar de daadwerkelijke toepassing wordt beperkt door lastige locatiebepaling van rendabele bronnen, kostbare boringen en afhankelijkheid van innovaties. Daarom moet het energiesysteem flexibel en adaptief worden ingericht, zodat bij tegenvallende resultaten alternatieven als restwarmte, aquathermie of zonthermie kunnen worden ingezet. Geothermie levert milieuwinst op door weinig uitstoot en beperkte ruimtelijke impact, maar vraagt om zorgvuldige monitoring van bodemdaling, seismische activiteit en grondwatervervuiling. Door de onzekerheden blijft het toekomstbeeld gekenmerkt door flexibiliteit en de noodzaak om snel te kunnen schakelen tussen diverse warmtebronnen.

Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde beoordelingen (doelbereik, milieueffecten en gevoeligheidsanalyses) en de daaruit volgende aanbevelingen, zijn hierna de belangrijkste conclusies van dit planMER samengevat.

Conclusie doelbereik: lokaal georiënteerde aanpak met sterke provinciale regie

Om de energietransitie in Noord-Brabant succesvol, betrouwbaar en betaalbaar te maken, verdient een lokaal georiënteerde aanpak met sterke provinciale regie, stimulering en waar nodig regulering de voorkeur. Door in te zetten op decentrale opwekking, integrale ruimtelijke afstemming, actieve participatie en een flexibele inzet van sturingsinstrumenten, kan de provincie zowel de klimaatdoelstellingen als de maatschappelijke randvoorwaarden realiseren. Essentieel is een inclusieve benadering, waarbij de lasten en lusten eerlijk verdeeld worden en draagvlak breed wordt geborgd. Alleen door samenwerking, flexibiliteit en gerichte sturing kan Noord-Brabant de energietransitie tijdig en succesvol realiseren.

Conclusie milieueffecten: zorg voor integrale, gebiedsgerichte afstemming

Om de milieueffecten van de energietransitie zo veel mogelijk te beperken, is het essentieel dat de provincie Noord-Brabant inzet op integrale en gebiedsgerichte afstemming tussen energie, natuur, bodem, water, landschap, veiligheid, landbouw, defensie en economie. Door clustering te combineren met lokaal maatwerk en participatie, ontstaat ruimte voor synergie, innovatie en duurzame ontwikkeling. Daarbij is het van belang om scherp te sturen op locatiekeuze, monitoring van milieueffecten en het flexibel kunnen inspelen op nieuwe inzichten en technologische ontwikkelingen.

Conclusie gevoeligheidsanalyses: oproep tot adaptief en robuust beleid

De gevoeligheidsanalyses tonen aan dat onzekerheden onvermijdelijk zijn in de Brabantse energietransitie. Door te kiezen voor een adaptief, risicosprekend en ruimtelijk flexibel beleid, vergroot de provincie haar slagkracht om zowel de hoofddoelstellingen als de nevendoelestellingen te realiseren. Het is essentieel om de ruimtelijke inrichting en beleidsinstrumenten zo in te richten dat ze kunnen meebewegen met nieuwe inzichten, technologische ontwikkelingen en maatschappelijke wensen. Daarmee wordt de Brabantse energietransitie niet alleen duurzamer en robuuster, maar ook eerlijker en beter inpasbaar in de leefomgeving.

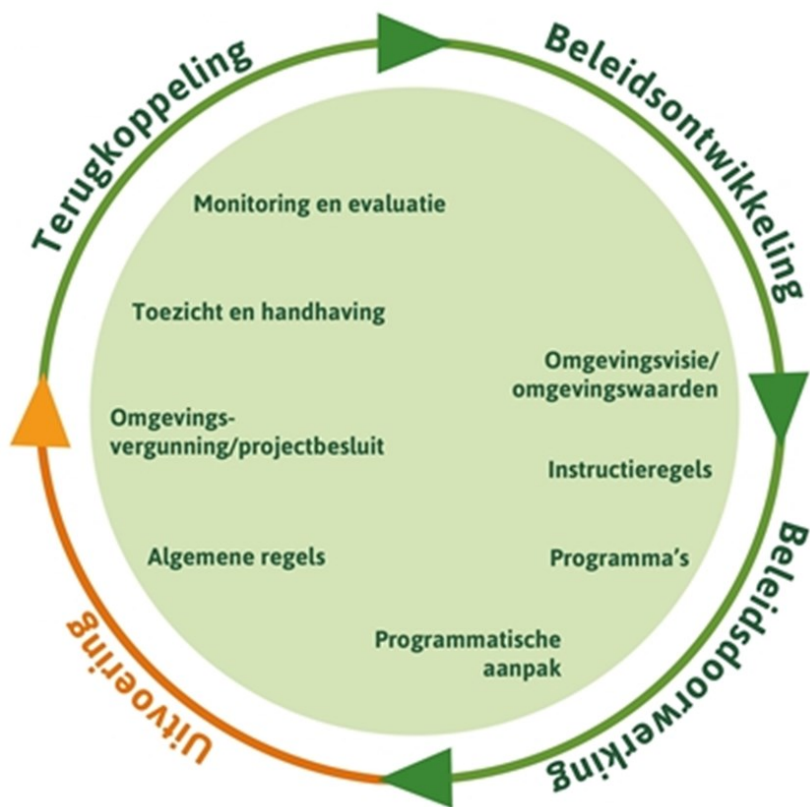
Leemten in kennis

Tijdens het uitgevoerde onderzoek zijn enkele leemten in kennis geconstateerd die het Brabants Energieperspectief 2050 kunnen beïnvloeden. Deze leemten betreffen onder andere het abstractieniveau van het plan, waardoor concrete effecten en doelbereik moeilijk te voorspellen zijn, evenals de onvoorspelbaarheid van het gedrag en de keuzes van burgers, bedrijven en andere actoren. Daarnaast zijn er onzekerheden rondom technologische ontwikkeling die het lastig maken om te kiezen voor bepaalde oplossingsrichtingen. Doordat het ruimtelijke inpassing en milieueffecten het Energieperspectief geen concrete ruimtelijke keuzes bevat, zijn de milieueffecten van toekomstige projecten niet exact te bepalen. Ook is onbekend of vraag en aanbod van energie in de toekomst in balans zullen zijn. Ten slotte is de mate van maatschappelijk draagvlak voor bepaalde keuzes (zoals windenergie, SMR's, CCS) onzeker.

Deze kennisleemten kunnen besluitvorming vertragen of tot suboptimale keuzes leiden. Daarom zijn monitoring, adaptief beleid, participatie, aanvullende studies bij de vervolgitwerking en een flexibele inrichting van processen essentieel. Door voortdurend te monitoren en bij te sturen, kan worden ingespeeld op nieuwe inzichten en ontwikkelingen, en wordt de kans vergroot dat gestelde doelen daadwerkelijk worden gehaald.

Monitoring en evaluatie

Een MER is bedoeld om inzicht te krijgen in de daadwerkelijk optredende effecten (en het doelbereik) van plannen en projecten. Bij flexibele plannen (zoals het Energieperspectief), onzekere effecten en leemten in kennis kan dat alleen door inzet van monitoring en evaluatie. Daarmee worden vragen beantwoord als: In hoeverre komen de voorspelde effecten overeen met de praktijk? In hoeverre is nieuwe informatie/beleid/ontwikkelingen aan de orde om de beoordeling van de effecten op de onderdelen van het beoordelingskader aan te passen? In hoeverre is bijsturing nodig om de doelstellingen te halen? Monitoring en evaluatie ondersteunen daarmee het correct doorlopen van de beleidscyclus.



Voor de monitoring van de effecten en het doelbereik van het Energieperspectief zal de provincie gebruik maken van de monitoringsmiddelen die zij tot haar beschikking heeft, zoals de landelijke klimaatmonitor, de provinciale energiemonitor Energieagenda 2019-2030, de rapportages op Brabant InZicht en de continue monitoring van de voortgang van de aanpak die in het Energieperspectief is vastgelegd.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding: Brabants Energieperspectief 2050

De Energieagenda 2019-2030⁴ (hierna: Energieagenda) is het geldende beleidskader voor energie binnen de provincie Noord-Brabant. De Energieagenda is opgesteld om richting te geven aan de energietransitie, met als einddoel om in Brabant in 2030 50% en in 2050 100% duurzame energie (grotendeels afkomstig uit Brabant) en een reductie van 90% van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990 te bereiken. Sinds de vaststelling van de Energieagenda in 2018 is er veel veranderd. Dit is inherent aan een transitie waar het energiedomein nu mee te maken heeft en waarin ontwikkelingen soms snel en onvoorspelbaar zijn. Zo is de laatste jaren door technologische ontwikkelingen en stijgende energieprijzen de vraag naar elektriciteit snel gegroeid evenals het aanbod van duurzame energie. Hierdoor deden netcongestie en groeiende ruimtelijke claims van het energiesysteem hun intrede.

De rol en inzet van Provincie Noord-Brabant in de energietransitie is eind 2023 door de Zuidelijke rekenkamer geëvalueerd. De conclusie uit deze evaluatie⁵, waar het Energieperspectief 2050 opvolging aan geeft, is *“De provincie kan meer doen om de energietransitie te bevorderen. Hiervoor moet de provincie een steviger regierol durven pakken, zowel richting partners als op het ruimtelijk domein, en het provinciale instrumentarium durven inzetten”*.

Om de Brabantse opgaven met betrekking tot bijvoorbeeld wonen, werken en mobiliteit toekomstbestendig te kunnen blijven ontwikkelen, moet de provincie verder kijken dan de Energieagenda 2019-2030 nu reikt. Het bouwen en ontwikkelen van een robuust toekomstbestendig energiesysteem kost tientallen jaren. De provincie wil ervoor zorgen dat bijvoorbeeld de toekomstige woningbouwlocaties en bedrijventerreinen tijdig van energie kunnen worden voorzien. Met het Energieperspectief 2050 brengt de provincie, samen met de regio's, de Brabantse gemeenten, bedrijven, maatschappelijke organisaties en andere partijen, in beeld wat hiervoor nodig is. Het Energieperspectief 2050 geeft vanuit de provinciale mogelijkheden richting aan het toekomstige energiesysteem om zo de andere Brabantse opgaven mogelijk te blijven maken. Het Energieperspectief 2050 vormt daarmee een aanvulling (addendum) op het geldende beleidskader in de Energieagenda 2019-2030.

1.2 Waarom een milieueffectrapportage?

Het instrument milieueffectrapportage (mer) is bedoeld om het milieu- en omgevingsbelang goed te betrekken in de besluitvorming. Het is wettelijk verplicht bij zowel concrete projectbesluiten (project-mer) als bij wettelijke voorgeschreven plannen en programma's met (mogelijk) significante milieueffecten (plan-mer). Voor het Energieperspectief 2050 wordt de plan-mer-procedure doorlopen, waarbij een milieueffectrapport (MER) wordt opgesteld.

Mer-plicht

Of er voor het Energieperspectief 2050 een plan-mer-plicht geldt, hangt af van de volgende vragen:

1. Is het Energieperspectief 2050 een 'type' plan of programma dat plan-mer-plichtig is?
2. Is het Energieperspectief 2050 kaderstellend voor mer-(beoordelings)plichtige besluiten of moet er een passende beoordeling worden gemaakt?

Ad 1)

Ondanks dat de Energieagenda en het Energieperspectief niet als zodanig genoemd worden in de Omgevingswet, kan het gezien worden als een programma dat de provincie gebruikt voor de beleidsontwikkeling, -doorwerking en -uitvoering ten aanzien van energie. Een programma als het Energieperspectief 2050 is al snel kaderstellend (ook al is er geen sprake van een besluit dat directe doorwerking heeft naar derden). Een programma geeft immers nog een stap concreter dan een visie aan welke maatregelen nodig zijn om doelen te bereiken en welke eventuele neveneffecten op (kunnen) treden. Het Energieperspectief 2050 kan daarmee gezien worden als een 'type' plan of programma dat plan-mer-plichtig is.

Ad 2)

Op basis van de opgaven en doelen van het Energieperspectief 2050 is er voldoende aanleiding om te stellen dat het Energieperspectief 2050 het kader vormt voor projecten waarvoor een mer-plicht of een mer-beoordelingsplicht geldt.

⁴ https://www.brabant.nl/publish/pages/9483/energieagenda_2019-2030.pdf

⁵ https://zuidelijkerekenkamer.nl/app/uploads/2023/11/20231116_Eindrapport_Voortgang_Energietransitie_NoordBrabant.pdf

Denk daarbij aan kaderstellende uitspraken over de ontwikkeling van energiebronnen als windenergie, kernenergie en aardwarmte, maar ook over de benodigde infrastructuur voor transport en opslag van energie. Wanneer voor dit soort onderwerpen een verdere concretisering komt in het Energieperspectief 2050, is dit al snel kaderstellend voor merplichtige activiteiten. Er wordt immers beleid ontwikkeld waarin kaders worden opgenomen voor toekomstige activiteiten (bijvoorbeeld ruimere ontwikkelmogelijkheden op gewenste plekken of juist strengere op niet gewenste plekken).

Tweede belangrijke aanleiding voor de plan-mer-plicht is de noodzaak tot een Passende Beoordeling bij (mogelijk) significant negatieve gevolgen op Natura 2000-gebieden. Het gaat in het Energieperspectief 2050 om beleidswijzingen verspreid over de gehele provincie. Negatieve gevolgen voor Natura 2000-gebieden kunnen dan ook niet op voorhand worden uitgesloten. Gezien het hoge abstractieniveau van de uitspraken die in het Energieperspectief 2050 worden gedaan, is het echter niet mogelijk om een zinvolle Passende beoordeling uit te voeren, zie navolgend tekstkader.

Passende beoordeling Energieperspectief 2050

Het Energieperspectief bevat geen concrete ruimtelijke locatiekeuzes voor activiteiten met mogelijk significant negatieve gevolgen voor Natura 2000-gebieden. Wel bevat het Energieperspectief een ruimtelijk beeld op hoofdlijnen voor het energiesysteem van de toekomst. Dit is echter dusdanig abstract dat een beoordeling of sprake is van significante negatieve gevolgen voor Natura 2000-gebieden niet uitgevoerd kan worden. Bij het opstellen van projectbesluiten voor concrete maatregelen of projecten en bij andere vervolgbesluiten, moeten de gevolgen voor Natura 2000-gebieden in detail in beeld gebracht worden, om significant negatieve gevolgen uit te sluiten.

1.3 Stappen in de mer-procedure

Deze mer-procedure is gekoppeld aan de planprocedure van het Energieperspectief 2050. Dit betekent dat een planMER moet worden opgesteld voordat de vaststelling van het Energieperspectief 2050 kan plaatsvinden. Met het doorlopen van de mer-procedure moet worden gegarandeerd dat het milieubelang vroegtijdig en volwaardig wordt meegewogen in de besluitvorming. Dit is wettelijk geregeld in de Omgevingswet en het Omgevingsbesluit, waarin de Europese regelgeving over milieueffectrapportages is doorvertaald.

Voor het Brabants Energieperspectief 2050 wordt de uitgebreide mer-procedure gevolgd. Daarbij zijn de volgende stappen reeds doorlopen:

- **Openbare kennisgeving.** Het voornemen om het Brabants Energieperspectief 2050 te gaan opstellen en hiervoor de mer-procedure te doorlopen is openbaar aangekondigd. Deze kennisgeving is gedaan door het bevoegd gezag, via de publicatie van de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) voor het Brabants Energieperspectief 2050⁶;
- **Zienswijzen en ter inzagelegging.** Voor het verkrijgen van zienswijzen zijn door het bevoegd gezag stukken ter inzage gelegd, in dit geval de NRD. De NRD beschrijft wat er in het planMER onderzocht wordt, op welke manier en tot in welk detail. De NRD Brabants Energieperspectief 2050 heeft ter inzage gelegen van 14 april tot en met 25 mei 2025. Er zijn in totaal vijf reacties ingediend;
- **Raadpleging en advies reikwijdte en detailniveau voor het Brabants Energieperspectief 2050.** Met behulp van de NRD heeft het bevoegd gezag de wettelijke adviseurs en de overheden geraadpleegd over de reikwijdte en het detailniveau van het op te stellen planMER. Daarbij is ook advies gevraagd aan de Commissie voor de mer en Brabant Advies. Op basis van de ingediende reacties en ontvangen adviezen hebben Gedeputeerde Staten op 24 september 2025 reikwijdte en detailniveau voor het op te stellen planMER vastgesteld.

De volgende stappen uit de mer-procedure worden nog doorlopen:

- **Opstellen MER.** Bij het doorlopen van deze mer-procedure wordt een milieueffectrapport voor plannen (planMER) opgesteld;
- **Kennisgeving en zienswijzen.** Bij het doorlopen van de mer-procedure wordt:
 1. openbaar kennis gegeven van het planMER;
 2. het planMER ter inzage gelegd samen met het Ontwerp van het Brabants Energieperspectief 2050;
 3. een ieder in de gelegenheid gesteld zienswijzen over het planMER naar voren te brengen;
- **Advies Commissie mer.** Bij de uitgebreide mer-procedure moet het bevoegd gezag het MER laten toetsen door de onafhankelijke Commissie voor de mer. De beschikbare termijn voor de toetsing door de Commissie mer loopt

⁶ https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/Bijlagen/TerInzageLegging/2025/til-2025-12160/1/bijlage/Brabants_Energieperspectief_2050_nrd_6105633_C2353276_rapport.pdf

grotendeels parallel aan de termijn voor het verkrijgen van zienswijzen. De Commissie mer wordt gevraagd de ontvangen zienswijzen te betrekken bij haar toetsing;

- **Besluit, motivering en bekendmaking.** Het plan of besluit wordt pas vastgesteld door het bevoegd gezag als de mer-procedure tot aan deze stap correct en volledig is doorlopen en de gegevens in het MER redelijkerwijs aan het uiteindelijke plan of besluit ten grondslag kunnen worden gelegd;
- **Bezwaar en beroep.** De mogelijkheden om bezwaar te kunnen maken en beroep aan te kunnen tekenen tegen het vastgestelde plan of tegen het besluit volgen uit de wettelijke bepalingen waarin de betreffende moeder- of basisprocedure is vastgelegd. In het geval van het Brabants Energieperspectief 2050 is er geen mogelijkheid voor bezwaar en beroep;
- **Evaluatie.** Na vaststelling van een mer-plichtig plan of het nemen van een mer-plichtig besluit moet het betreffende bevoegd gezag de daadwerkelijke milieugevolgen van de uitvoering van de voorgenomen activiteit onderzoeken. De provincie heeft een uitgebreid monitoringsprogramma waarbij zal worden aangesloten; Brabant InZicht (brabantinzicht.nl). Brabant InZicht toont de toestand van natuur, water en milieu in Brabant in feiten, cijfers en kaarten.

De stappen uit de mer-procedure zijn schematisch toegelicht in figuur 1.1.

Hoe werkt de mer-procedure?



Figuur 1.1 Stappen in de mer-procedure, bron: Commissie mer

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de hoofdlijnen van het Energieperspectief en de relatie met ander beleid. In hoofdstuk 3 zijn de alternatieven beschreven die in dit planMER zijn onderzocht. De aanpak die in dit planMER is gehanteerd is toegelicht in hoofdstuk 4, waarna in hoofdstuk 5 de referentiesituatie is beschreven. Dit is de toekomstige situatie wanneer de beleidsmaatregelen uit het Energieperspectief niet worden uitgevoerd, maar overige vastgestelde ontwikkelingen wel doorgaan. Hoofdstukken 6 en 7 vormen het hart van het planMER en beschrijven het doelbereik (in hoeverre voldoen de alternatieven aan de gestelde doelen?), respectievelijk de (milieu)effecten van de onderzochte alternatieven. Hoofdstuk 8 beschrijft en beoordeelt het voorkeursalternatief. Dit is de uiteindelijke invulling van het Energieperspectief. Hoofdstuk 9 gaat via gevoeligheidsanalyses in op een aantal onzekerheden in de toekomstige ontwikkeling van het energiesysteem. Conclusies en aanbevelingen voor het vervolg zijn opgenomen in hoofdstuk 10 en het planMER sluit in hoofdstuk 11 af met de geconstateerde leemten in kennis en een voorstel voor monitoring en evaluatie.

2 Het Brabants Energieperspectief 2050

In dit hoofdstuk zijn de hoofdlijnen van het Brabants Energieperspectief toegelicht. Toegelicht is waarom er (nu) een Energieperspectief wordt opgesteld, waarom het bestaande beleid niet meer voldoet en wat de kern is van het nieuwe beleid. Ten slotte is een routekaart opgenomen richting 2050 en is de relatie met ander beleid toegelicht.

2.1 Waarom een Energieperspectief 2050?

De wereld verandert snel – en dat geldt zeker voor de energievoorziening. Wat gisteren werkte, is vandaag niet altijd genoeg. De energietransitie is de afgelopen jaren in een stroomversnelling geraakt en raakt steeds meer verweven met andere maatschappelijke opgaven. Tegelijkertijd neemt de (ruimtelijke) complexiteit toe: energie is niet langer een afzonderlijk thema, maar een sturend principe in ruimtelijke ontwikkeling, economie en leefomgeving. De energietransitie vraagt dus om een andere manier van denken én doen, nu en in de toekomst. Het Energieperspectief geeft hier invulling aan door een omschrijving te geven van hoe de provincie het toekomstige energiesysteem het liefste ziet.

De provincie maakt het Energieperspectief in afstemming met onder andere gemeenten, waterschappen, inwoners, netbeheerders en andere organisaties die betrokken zijn bij de energietransitie. Ze kijken daarbij naar het systeem van 2030, 2040 én 2050. Het doel van het Energieperspectief is om duidelijkheid te geven over hoe het toekomstige energiesysteem eruit kan zien. Hiermee weten de gebruikers van het energiesysteem beter welke keuzes ze kunnen maken op het gebied van verduurzaming.

2.1.1 Een aanvulling op bestaand beleid

Het Energieperspectief is een actualisatie en verdere uitwerking van de door Provinciale Staten vastgestelde kaders uit de Omgevingsvisie en Energieagenda 2019-2030. Het vormt daarmee een aanvulling op het bestaande beleid en is dan ook een addendum bij de Energieagenda 2019-2030. Het Energieperspectief geeft inzicht in de aanvullende stappen die de provincie moet zetten om de energietransitie verder te brengen. Dit Energieperspectief laat daarbij niet alleen zien hoe de provincie het toekomstige energiesysteem in wil richten maar ook wat dit betekent voor de rol van de provincie bij het bereiken van dit toekomstbeeld.

Brabantse Omgevingsvisie ‘De kwaliteit van Brabant’

Vertrekpunt voor het Energieperspectief vormt de Brabantse Omgevingsvisie ‘De kwaliteit van Brabant’⁷. In de Omgevingsvisie stelt de provincie het doel dat Brabant in 2050 (breed) welvarend, verbonden, klimaatproof en vernieuwend is. Ook wil de provincie een goede leefomgevingskwaliteit bieden voor alle Brabanders. Ze ziet energie als een fundamenteel onderdeel van de fysieke leefomgeving, naast water, bodem, lucht en biodiversiteit. De visie benoemt expliciet dat de transitie naar een duurzaam en betrouwbaar energiesysteem decennia aan tijd vraagt. Daarvoor is een actieve rol van de provincie nodig in het aanpassen van productie, opslag en transport van energie. Energieproductie en -gebruik worden gekoppeld aan andere opgaven zoals klimaatadaptatie, circulaire economie en ruimtelijke kwaliteit. Daarbij biedt de provincie ook ruimte aan decentrale initiatieven van inwoners en organisaties, zoals lokale energiecoöperaties.

Energieagenda 2019-2030

De Energieagenda 2019–2030 blijft leidend voor de uitvoering van concrete projecten en programma's. Denk bijvoorbeeld aan energiebesparing in woningen, ontwikkeling van energiehub's en de uitrol van collectieve warmtevoorzieningen. Het Energieperspectief 2050 geeft, als addendum op de Energieagenda, richting aan de koers ná 2030 en helpt bij het voorbereiden van omslagpunten, investeringsbeslissingen en bestuurlijke keuzes.

De Omgevingsvisie, Energieagenda en het Energieperspectief vormen een samenhangend beleidskader voor de energietransitie in Brabant: van versnelling in het heden naar systeemverandering richting 2050.

⁷ <https://www.brabant.nl/onderwerpen/omgevingsbeleid/omgevingsvisie/>

2.1.2 Waarom nu?

Er zijn verschillende redenen waarom de provincie er nu voor kiest om de bestaande Energieagenda 2019-2030 aan te vullen:

- **Energie is een noodzakelijke randvoorwaarde voor toekomstbestendige ontwikkeling.** Om de Brabantse opgaven op het gebied van wonen, werken, mobiliteit en leefomgeving toekomstbestendig te blijven ontwikkelen, moet de provincie verder vooruitkijken dan de huidige Energieagenda. Energie staat daarbij op zichzelf, maar is in toenemende mate randvoorwaardelijk in ruimtelijke en maatschappelijke keuzes die om sturing vragen.
- **Met het Energieperspectief geeft de provincie invulling aan de motie van Provinciale Staten over de energiemix 2030–2050.** Deze motie vraagt om een visie op alle relevante energievormen, inclusief ruimtelijke impact en netcongestie.
- **Het Rijk heeft provincies expliciet gevraagd om regie te nemen in de ruimtelijke inpassing van het energiesysteem.** In de recente Klimaat- en Energienota 2025 benadrukt het kabinet dat de energietransitie vraagt om versnelling, samenwerking en gebiedsgerichte sturing. Daarnaast heeft het kabinet op 2 oktober 2025 een besluit naar de Tweede Kamer gestuurd waarin de uitbreiding van het stroomnet wordt aangemerkt als zwaarwegend maatschappelijk belang. Dit geeft de provincie meer juridische en bestuurlijke ruimte om versneld te handelen bij de ruimtelijke inpassing van energie-infrastructuur.
- **Koers bepalen biedt handelingsperspectief.** Door nu richting te geven aan het toekomstige energiesysteem, ontstaat duidelijkheid voor partijen die willen investeren en ontwikkelen. Gemeenten, bedrijven en industrie hebben behoefte aan een helder kader om hun plannen op af te stemmen. Dit voorkomt vertraging en versnelt de realisatie van gezamenlijke opgaven.
- **Overheden, netbeheerders en marktpartijen hebben tijd nodig om het Energieperspectief 2050 te vertalen naar hun eigen plannen en investeringsstrategieën.** Gemeenten werken aan hun omgevingsplannen, netbeheerders aan hun investeringsplannen en bedrijven aan hun verduurzamingsroutes. Het is daarom belangrijk dat de provincie nu al vooruitkijkt naar het energiesysteem van 2050 en dit verankert in haar beleid. Het Energieperspectief 2050 biedt hiervoor de noodzakelijke inhoudelijke en strategische onderbouwing.
- **De aanleg van energie-infrastructuur kent lange doorlooptijden.** Het bouwen en ontwikkelen van een robuust en toekomstbestendig energiesysteem kost tientallen jaren. Daarom is het essentieel om tijdig te anticiperen op toekomstige energiebehoeften, zodat bijvoorbeeld op woningbouwlocaties en bedrijventerreinen op het juiste moment energie beschikbaar is. Dit vraagt om vroegtijdige afstemming en integratie van ruimtelijke plannen.
- **Samenwerking en regie zijn nu nodig.** In het Energieperspectief 2050 brengt de provincie met inbreng van stakeholders in beeld wat er nodig is voor een duurzaam energiesysteem. De provincie kan hierin regie nemen en stimuleren. Veel besluiten liggen echter bij andere partijen zoals netbeheerders, bedrijven en inwoners. Ook het Rijk en de Autoriteit Consument & Markt spelen een onmisbare rol in wet- en regelgeving. Juist daarom is het belangrijk dat de provincie nu richting geeft, zodat alle partijen hun rol richting de uitvoering goed kunnen oppakken.

2.2 Waarom volstaat het bestaande beleid niet meer?

De provincie heeft met de vaststelling van de Energieagenda 2019–2030 en de Uitvoeringsagenda Energie 2024–2027 een stevige lijn neergezet. De afgelopen jaren heeft de provincie onder andere gewerkt aan:

- **Energiebesparing.** De provincie ondersteunt gemeenten zodat zij inwoners beter kunnen helpen met energiebesparing. Ook adviseert de provincie eigenaren van maatschappelijk vastgoed en MKB bij het verduurzamen van hun panden.
- **De warmtetransitie.** De provincie neemt regie door de mogelijkheden van een Regionaal Warmtebedrijf te verkennen. Daarnaast heeft de provincie een Kennispunt Warmte gelanceerd, waarmee ze gemeenten helpt met hun vragen over de warmtetransitie.
- **Netcapaciteit.** De provincie neemt deel aan het Landelijk Actieprogramma Netcongestie door het versnellen van de realisatie van netuitbreiding, de ontwikkeling van energiehub's en het opstellen van een Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (pMIEK).
- **Hernieuwbare energie.** In de RES-regio's zijn afspraken gemaakt over de hoeveelheid opwek van wind en zon op land in 2030. De provincie ziet toe op de uitvoering van deze afspraken en pakt een rol wanneer dit van haar wordt gevraagd of wanneer dit vanuit provinciaal belang nodig is.

Er zijn verschillende redenen waarom een aanvulling op deze aanpak nodig is.

Ontwikkelingen in de leefomgeving gaan snel

Energie is een randvoorwaarde om ontwikkelingen in de leefomgeving mogelijk te maken. Zo moet de woningvoorraad in Brabant tot 2050 met 265.000 woningen groeien. Dat is ongeveer een kwart meer dan nu en al deze woningen

hebben energie nodig. De industrie en mobiliteit staan voor grote verduurzamingsopgaven, waarin energie een belangrijke rol speelt. Deze versnelling gaat samen met kansen voor technologische ontwikkelingen. Technische innovaties in sturing, digitalisering en opslagtechnologie zijn bijvoorbeeld van belang om vraag en aanbod beter in balans te brengen en (industriële) processen beter te laten aansluiten op de beschikbare capaciteit van het net.

De ruimtelijke complexiteit neemt toe.

Voor de energietransitie is ruimte nodig, maar ruimte is schaars en niet alles kan overal. Zo wordt de energieopgave in Powerport Moerdijk door het Rijk aangemerkt als energieknooppunt van nationaal belang, terwijl deze grote energieopgave meer ruimte vraagt dan beschikbaar is. Ook de grote groeiopgave van Brainport in Eindhoven vraagt om een stevige uitbreiding van de energie-infrastructuur met het nodige ruimtebeslag. Energie wordt meer en meer een sturend principe voor ruimtelijke ontwikkeling. Ook het in balans brengen van vraag en aanbod van energie op ieder schaalniveau is complex. De provincie vormt een steeds belangrijkere schakel tussen het nationaal energiesysteem en lokale ontwikkelingen. Dit vraagt om afstemming en interbestuurlijke samenwerking.

2.3 Wat doet de provincie al anders?

De Energieagenda 2019–2030 vormt een stevige basis om het Brabantse energiesysteem richting 2050 vorm te geven. Aanvullend op het bestaande beleid uit deze agenda heeft de provincie de afgelopen jaren afzonderlijke onderzoeken naar bronnen, systemen en participatietrajecten uitgevoerd. Deze hebben geleid tot aanpakken, zoals een waterstofstrategie en een aanpak energie besparen, die in samenhang moeten worden uitgevoerd. Daarnaast heeft de provincie het pMIEK opgesteld, dat bijdraagt aan het maken van keuzes door het Rijk om te investeren in de lokale en regionale energie-infrastructuur. Deze basis is verder vormgegeven in de Uitvoeringsagenda 2024-2027. Het Energieperspectief bouwt hierop voort en vertaalt deze aanpakken naar een samenhangende strategie richting 2050. Deze strategie sluit aan op de systeemlogica van het energiesysteem en maakt het mogelijk om sneller en integraler te handelen. De provincie kiest bewust voor een nieuwe koers: niet langer denken in de transitiepaden⁸, maar in de essentiële functies van het energiesysteem zoals opwekking, infrastructuur, energiebesparing en opslag.

De koerswijziging betekent dat de provincie in haar beleid niet langer redeneert vanuit sectorale eindbeelden, maar vanuit de vraag: wat is nodig om het energiesysteem als geheel betrouwbaar, betaalbaar en duurzaam te maken? Daarmee leggen we de basis voor de systeemkeuzes die in dit Energieperspectief richting 2050 worden gemaakt. Vanuit deze koerswijziging is de provincie al aan het opereren:

- **Brabantse Waterstofstrategie.** Waterstof gaat een sleutelrol spelen in de verduurzaming van industrie en zwaar transport. De Brabantse Waterstofstrategie laat zien waar regionale productie en infrastructuur kansrijk zijn, mits tijdig geïnvesteerd wordt in backbone-aansluitingen en clusters.
- **Collectieve warmtenetten** bieden in stedelijke gebieden een haalbare en efficiënte oplossing, zoals blijkt uit het Handelingsperspectief Warmte voor steden, dorpen en kleine kernen. Tegelijkertijd vraagt dit om regie, publieke betrokkenheid en versnelling van besluitvorming.
- **Small Modular Reactors (SMR's).** Het ruimtelijk onderzoek naar SMR's (uitgevoerd door PALLAS) laat zien dat kernenergie – en in het bijzonder SMR's (Small Modular Reactors) – op termijn een relevante bijdrage kan leveren aan het Brabantse energiesysteem. SMR's bieden kansen voor leveringszekerheid, CO₂-reductie en lokale energievoorziening, met name in industrieclusters en bij grote energiegebruikers. Tegelijkertijd vraagt de ruimtelijke en maatschappelijke inpassing om een zorgvuldige en proactieve voorbereiding. De provincie zet de komende jaren actief in op vervolgonderzoek: naar geschikte locaties, ruimtelijke randvoorwaarden, koelwaterbeschikbaarheid en maatschappelijke acceptatie. Daarbij sluit de provincie aan op de nationale SMR-visie, waarin het Rijk werkt aan kaders voor bevoegd gezag, ruimtelijk beleid en ondersteuning van regionale initiatieven. De provincie positioneert zich als actieve partner in deze ontwikkeling, zodat ze tijdig kan sturen op ruimtelijke condities en maatschappelijke randvoorwaarden en voorbereid is op toekomstige keuzes.
- De **Aanpak Netcongestie** onderstreept dat versnelling van de aanleg van energie-infrastructuur én slimme benutting van bestaande capaciteit cruciaal zijn om de transitie niet te laten vastlopen. Naast deelname aan de Landelijke Aanpak Netcongestie werkt de provincie aan een overzicht van Brabant waar de problemen als gevolg van netcongestie zich voordoen. Dit is cruciaal om te bepalen waar inzet nodig is om netcongestie zoveel mogelijk te beperken. Ook pakt de provincie de rol van bevoegd gezag op bij de uitbreiding van de energie-infrastructuur.
- **Powerport Moerdijk.** Uit het Brabants Ruimtelijk Voorstel en de concept nota Ruimte blijkt dat de energieopgave van Powerport Moerdijk meer ruimte vraagt dan dat er beschikbaar is. Om de energietransitie hier toch verder te

⁸ Elektriciteit, Industrie, Gebouwde omgeving, Landbouw en Mobiliteit, zie <https://www.brabant.nl/onderwerpen/energie/energiebeleid/>

brengen, hebben wij de Ontwerptafel Powerport Regio Moerdijk opgezet met het doel om alle belangen en afwegingen in de regio samen te brengen.

- **Aanpak Energiebesparing** is de snelste en goedkoopste route naar verduurzaming. Energie die niet wordt gebruikt, hoeft niet opgewekt, getransporteerd en betaald te worden. De Aanpak Energiebesparing beschrijft het volledige pakket dat de provincie inzet om energiebesparing in Brabant te versnellen.

Het voorgaande laat zien dat de provincie al stappen zet in de nieuwe aanpak. De uitdaging voor het Energieperspectief is om dit richting 2050 te verbinden, te vertalen naar bestuurlijke keuzes en te verankeren in beleid en uitvoering.

2.4 De kern van het Energieperspectief 2050

2.4.1 Brabantse waarden en leidende principes

Bij het maken van keuzes over de ontwikkeling van het energiesysteem laat de provincie zich leiden door de Brabantse waarden en door de leidende principes, die in de notitie Bouwstenen voor het Brabants Energieperspectief⁹ zijn uitgewerkt. Deze notitie is op 2 december 2024 door Gedeputeerde Staten vastgesteld en op 17 januari 2025 met Provinciale Staten besproken.

De Brabantse waarden vinden de provincie, Brabanders en belanghebbenden belangrijk voor de ontwikkeling van het Brabantse energiesysteem. De leidende principes zijn een afgeleide daarvan en geven een meer praktische richting aan de keuzes die voorliggen.

De waarden en principes zijn tot stand gekomen in dialoog met belanghebbenden, en komen onder andere voort uit de maatschappelijke waarden die in het Nationaal Plan Energiesysteem¹⁰ zijn gepresenteerd. Daarnaast is in juni-juli 2024 onderzoek gedaan onder 1459 Brabantse inwoners naar de waarden die zij belangrijk vinden. De resultaten uit dat onderzoek zijn verwerkt in de Brabantse waarden. In bijlage 1 van de notitie Bouwstenen voor het Brabants Energieperspectief is een nadere toelichting op de totstandkoming van de Brabantse waarden opgenomen.

Brabantse waarden

De Brabantse waarden zoals opgenomen in de notitie Bouwstenen voor het Brabants Energieperspectief, zijn:

1. **Betrouwbaar:** een betrouwbaar energiesysteem gaat over de zekerheid van en de toegang tot het energiesysteem. Dat geldt voor elke (potentiële) gebruiker: het Brabantse energiesysteem is er voor iedereen.
2. **Betaalbaar:** energie is een basisvoorziening voor inwoners en bedrijven. Daarom moeten bedrijven en huishoudens energie kunnen betalen. Dat geldt ook voor benodigde investeringen voor bijvoorbeeld het isoleren van een woning en de aanschaf van warmtepompen, zonnepanelen of thuisbatterijen.
3. **Omgevingsbewust:** Het ontwikkelen van het energiesysteem vraagt om nieuwe bronnen en infrastructuur. Die vragen om ruimte, zijn direct zichtbaar en hebben invloed op onze leefomgeving. Een omgevingsbewust energiesysteem houdt hier rekening mee en vermindert de negatieve impact op de omgeving, nu en voor de toekomstige generaties.

De provincie wil elke waarde zo optimaal mogelijk invullen. Deze waarden kunnen daarmee gezien worden als nevendoelen voor het Energieperspectief 2050, naast het hoofddoel om te komen tot 100% duurzame energie in 2050, zoals geformuleerd in de Energieagenda 2019-2030, zie paragraaf 4.3.2.1.

Tussen de Brabantse waarden kan spanning bestaan. Zo stijgt de Betrouwbaarheid bijvoorbeeld wanneer er een overcapaciteit aan energieproductie is, of wanneer infrastructuur voor energietransport zwaarder wordt uitgevoerd. De kosten die daarmee gepaard gaan komen terecht bij de eindgebruikers, waardoor de betaalbaarheid afneemt. Ook leidt een toename van de energieproductie en een zwaardere infrastructuur tot meer omgevingseffecten. Figuur 2.1 geeft de mogelijke spanning tussen de waarden weer.

Waar spanning optreedt, streeft de provincie naar een goede balans tussen de drie Brabantse waarden, zonder dat een van de waarden ondersneeuwt. Overigens is de provincie niet de enige organisatie die verantwoordelijk is voor borging van de Brabantse waarden. Betaalbaarheid is afhankelijk van vele factoren, waaronder bijvoorbeeld de

⁹ <https://noordbrabant.bestuurlijkeinformatie.nl/Agenda/Document/06807521-3f7d-4486-9bf0-6e371131f108?documentId=35e09d88-e578-4a98-a568-a72362fa93f9&agendatemplId=4e7f0a40-d5be-4fc5-8632-a671fdd7d809>

¹⁰ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/01/nationaal-plan-energiesysteem>

nettarieven voor transport van elektriciteit en de salderingsregeling waarmee zelf opgewekte elektriciteit verrekend mag worden met het verbruik (regeling stopt per 1 januari 2027). Deze komen tot stand in een proces waarin netbeheerders en de Autoriteit Consument en Markt formele verantwoordelijkheden hebben. De provincie stuurt op de balans tussen de Brabantse waarden binnen haar eigen mogelijkheden en verantwoordelijkheden.



Figuur 2.1 Relatie tussen Brabantse waarden voor het energiesysteem (Bron: Startnotitie voor het Brabants Energieperspectief, provincie Noord-Brabant, februari 2025)

Leidende principes voor het Energieperspectief

Op basis van de Brabantse waarden heeft de provincie leidende principes voor de inrichting van het energiesysteem beschreven (in de Bouwstenennotitie beschreven als 'opgaven'), die invulling geven aan de hoofddoelstelling: een klimaatneutraal energiesysteem in 2050. Samen met de Brabantse waarden, geven de leidende principes richting aan de keuzes die in het perspectief opgenomen worden. De leidende principes uit de bouwstenennotitie zijn:

- 1. Beperken van de energievraag.** De beschikbare duurzame energiebronnen voor warmte en elektriciteit in Brabant zijn aanzienlijk kleiner dan de verwachte toekomstige vraag. Vermindering van de energievraag, bijvoorbeeld door energieverspilling tegen te gaan, verkleint dit verschil.
- 2. Bewust inzetten van duurzame energiedragers.** De beschikbare duurzame Brabantse energiebronnen kunnen voor verschillende doelen worden ingezet, bijvoorbeeld het verwarmen van huizen of het opladen van elektrische voertuigen. Energiedragers zo doelmatig mogelijk inzetten voorkomt conversieverlies¹¹ en gebruikt de beschikbare bronnen efficiënt.
- 3. Vergroten van het duurzame energieaanbod.** De Brabantse energievraag ligt veel hoger dan het duurzame energieaanbod. Er moeten daarom meer duurzame Brabantse bronnen worden ontwikkeld, waardoor het aanbod van duurzame energie stijgt.
- 4. Ruimtelijk bij elkaar brengen van energievraag en -aanbod.** Door vraag en aanbod in elkaars nabijheid te ontwikkelen vermindert de noodzaak voor transport van energie. Hierdoor is minder energie-infrastructuur nodig.
- 5. In de tijd bij elkaar brengen van energievraag en -aanbod.** Door energievraag en -aanbod zoveel mogelijk op hetzelfde moment te laten plaatsvinden, vermindert de noodzaak voor opslag van energie. Hierdoor is minder energieopslag nodig.
- 6. Fossiele brandstoffen weloverwogen uitsfaseren.** Een onmiddellijke en rigoureuze stopzetting van fossiele brandstoffen kan leiden tot onvoorziene energieschaarste, omdat de infrastructuur en de ontwikkeling van duurzame energiebronnen nog niet volledig zijn gerealiseerd. Een geleidelijke en weloverwogen uitsfaserings zorgt ervoor dat er voldoende tijd is om nieuwe, duurzame energiebronnen te ontwikkelen en de bijbehorende infrastructuur op te bouwen. Zo wordt onnodige energieschaarste voorkomen.

2.4.2 De vier uitgangspunten voor het energiesysteem van 2050

De afgelopen jaren heeft de provincie onderzoeken naar bronnen, systeemstudies en participatietrajecten uitgevoerd om een beeld van het toekomstige energiesysteem te vormen. Op basis van de uitkomsten van deze studies en

¹¹ Het verlies van energie door het omzetten van de ene vorm naar de andere, bijvoorbeeld elektriciteit naar warmte

trajecten (waaronder de Brabantse waarden en Leidende principes) zijn in het Energieperspectief vier belangrijke uitgangspunten voor het energiesysteem van de toekomst geformuleerd:

1. **Het systeem is rechtvaardig.** De energietransitie is pas geslaagd als het voor álle Brabanders werkt. De provincie wil een energiesysteem waarin iedereen mee kan doen én mee kan profiteren – ongeacht inkomen, woonvorm of achtergrond. Dat vraagt om structurele borging van sociale rechtvaardigheid in beleid, uitvoering en investeringen.
2. **Het systeem is ruimtelijk ingepast.** De opwek, transport, gebruik, opslag en conversie van energie vult de provincie slim in op de plaats waar dit het meest passend is. Hierdoor draagt het energiesysteem bij aan de kwaliteit van de leefomgeving.
3. **Het systeem is hybride.** Binnen de provincie wordt gebruik gemaakt van zowel centrale als decentrale opwek en infrastructuur. Daarbij wordt vraag en aanbod zoveel mogelijk bij elkaar gebracht. In het energiesysteem bestaan kleinschalige lokale initiatieven naast grote industriële installaties. De stroom van windmolens op zee komt in Brabant aan land, maar ook het kleine warmtenet rond de buurtsuper heeft een plaats.
4. **Het systeem is flexibel.** De provincie vindt het belangrijk om pieken en dalen in de vraag naar- en de productie van energie slim op te vangen. Wanneer het nodig is wordt energie opgeslagen en omgezet naar andere vormen. De hoeveelheid beschikbare energie wordt afgestemd op de vraag die er op dat moment is. Bijvoorbeeld door energie te maken op het moment dat daar vraag naar is, of door energie op te slaan als er meer aanbod dan vraag is.

Op basis van deze uitgangspunten zijn in het Energieperspectief bestuurlijke keuzes op hoofdlijnen gemaakt. Deze keuzes zijn beschreven en beoordeeld op hun doelbereik en (milieu)effecten in hoofdstuk 8.

2.5 Routekaart naar 2050

In het energieperspectief beschrijft de provincie haar routekaart naar 2050 en hoe zij haar energiebeleid structureel en richtinggevend verankert in ruimtelijke ontwikkeling, investeringsstrategie en maatschappelijke afwegingen. De energietransitie vereist een gezamenlijke inspanning van overheden op alle niveaus, waarbij beleid, vergunningverlening, regelgeving, subsidies en investeringslijnen stapsgewijs worden aangepast aan de lange termijn koers. Alleen door samen te werken aan een consistent en toekomstgericht kader kan de energietransitie worden versneld en verankerd.

De routekaart naar 2050 wordt niet gezien als een eindstation, maar als een tussenhalte in een doorlopend verhaal van een adaptieve aanpak. De weg naar het energiesysteem van de toekomst kent veel onzekerheden en vraagt om voortdurende afstemming met andere transitieopgaven, zoals verstedelijking, verduurzaming van industrie, mobiliteit en landbouw. Het energiesysteem zelf is volop in ontwikkeling, waardoor het nog niet precies duidelijk is welke stappen wanneer nodig zijn en welke keuzes het meeste effect zullen hebben. Transparante communicatie naar alle betrokken partners en ruimte om tussentijds bij te sturen zijn daarom essentieel.

Tot 2030: Versnellen en voorbereiden

Voor de periode tot 2030 ligt de nadruk op versnellen en voorbereiden. In deze periode legt de provincie de nadruk op het oplossen van knelpunten en het voorbereiden van keuzes over het toekomstige systeem. Ook worden de inzichten uit het Energieperspectief voor de kortere termijn vertaald naar de uitvoering in de omgevingswet. Het digitaal stelsel omgevingswet (DSO) is het digitale loket van de Omgevingswet waarin regels, vergunningen en ruimtelijke plannen samenkomen. De provincie moet haar nieuwe rol – zoals bevoegd gezag bij energie-infrastructuur – hierin goed verankeren. Zo worden keuzes uit het Energieperspectief zichtbaar en uitvoerbaar in de praktijk. Hieronder is een aantal belangrijke concrete activiteiten benoemd die de provincie tot 2030 oppakt.

Er wordt beleid ontwikkeld voor groen gas, verduurzaming van de industrie, grootschalige batterijopslag en warmte. Inzichten uit het Energieperspectief worden vertaald naar uitvoeringsinstrumenten voor de korte termijn. Gebiedsgerichte keuzes worden gemaakt, waarbij per regio de energieopgave in kaart wordt gebracht en afspraken worden gemaakt over investeringen en uitvoering.

De provincie bereidt zich voor op de komst van de Wet Collectieve Warmte en zet de verkenning naar een Regionaal Warmtebedrijf voort. Ook wordt gewerkt aan plannen voor grootschalige isolatie van woningen en maatschappelijk vastgoed, en aan een Brabantse Aanpak Netcongestie om de impact van netcongestie te beperken. Er wordt beleid opgesteld voor groen gas en grootschalige batterijopslag. De provincie pakt vaker de bevoegd gezag rol op voor uitbreiding van de energie-infrastructuur en voor wind op land. In het pMIEK geeft de provincie aan welke ontwikkelingen op de middellange termijn verwacht worden en welke infrastructuur daarvoor nodig is. De organisatie

wordt ingericht met meer capaciteit en structurele financiële middelen, zodat maatschappelijke input kan worden geborgd en regionale visies concreet kunnen worden gemaakt.

Tot 2040: Schalen en verbinden

In de periode tot 2040 verschuift de focus naar schalen en verbinden. De fundamenten voor het energiesysteem van 2050 worden gelegd door het opschalen van waterstofinfrastructuur, het voorbereiden van ruimtelijke keuzes voor kernenergie en het realiseren van integrale gebiedsontwikkeling. Energie wordt steeds meer een sturend principe in ruimtelijke plannen, waarbij koppelingen worden gelegd met landbouw, natuur en klimaatadaptatie. Het gebiedsprogramma voor Powerport Moerdijk is gereed en in uitvoering.

Tot 2050: Realiseren en evalueren

De periode tot 2050 staat in het teken van realiseren en evalueren. Het uiteindelijke doel is een rechtvaardig, ruimtelijk ingepast, hybride en flexibel energiesysteem, dat voldoet aan de doelstelling van een volledig duurzaam energiesysteem in 2050.

2.6 Relatie met andere plannen en programma's

2.6.1 Relatie met ander energiebeleid

Energieagenda 2019-2030

Zoals eerder aangegeven vormt het Energieperspectief 2050 een addendum bij het vigerende beleidskader voor energie binnen Noord-Brabant, de Energieagenda 2019-2030. De Energieagenda beschrijft hoe de provincie Noord-Brabant werkt aan de energietransitie binnen de vijf transitiepaden uit het nationale Klimaatakkoord (Elektriciteit, Industrie, Gebouwde Omgeving, Mobiliteit en Landbouw) en wat de doelen en Brabantse principes zijn die leidend zijn voor het handelen van de provincie binnen de energietransitie. Het beleid, de doelen en ambities uit de Energieagenda 2019-2030 blijven overeind. Het Energieperspectief 2050 scherpt het energiebeleid verder aan om in te spelen op de ontwikkelingen die sinds de vaststelling van de Energieagenda 2019-2030 hebben plaatsgevonden.

Energie voor Brabant, Uitvoeringsagenda Energie 2024-2027

De Uitvoeringsagenda Energie 2024-2027 is een uitwerking van de Energieagenda 2019-2030 en concretiseert de provinciale inzet in de bestuursperiode 2024-2027 om de doelen en ambities rond de energietransitie te behalen. In de Uitvoeringsagenda heeft de provincie beschreven wat ze als belangrijkste vraagstukken ziet en via welke uitvoeringslijnen en met welke projecten en activiteiten ze de komende jaren hieraan werkt. In de Uitvoeringsagenda is de beleidsinzet voor de periode 2024-2027 beschreven voor de volgende vier uitvoeringslijnen

1. Energiebesparing en verduurzaming;
2. Hernieuwbare energie;
3. Toegankelijkheid en beschikbaarheid van energie;
4. Gebiedsaanpak.

Ten slotte wordt in de Uitvoeringsagenda ingegaan op de wijze waarop de provincie de uitvoering vorm wil geven en welke randvoorwaarden hierbij van belang zijn.

Overige plannen en programma's

Bij de invulling van de keuzes in het Energieperspectief 2050 begint de provincie niet op nul. Er zijn diverse nationale, provinciale en regionale trajecten uitgevoerd waar de provincie op voortbouwt in de uitwerking van de keuzes. Onder andere:

- Nationaal Plan Energiesysteem Programma Energiehoofdstructuur, Nationaal Waterstofprogramma, Nationale Omgevingsvisie¹²;
- De energiesysteemverkenningen voor West-Brabant, Metropool Regio Eindhoven, Hart van Brabant en Noordoost-Brabant¹³;
- Novex De Peel, Ontwerptafel Powerport Moerdijk¹⁴;

¹² [Nationaal plan energiesysteem \(NPE\) | RVO.nl](#), [Programma Energiehoofdstructuur | RVO.nl](#), [Home | Nationaal Waterstof Programma](#), [Nationale Omgevingsvisie | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

¹³ <https://reswestbrabant.nl/over/voelksvertegenwoordiging/raadsleden/documenten+raadsleden/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2926996>. <https://www.energieregionre.nl/nieuws/documenten+nieuws/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=2917448>.

¹⁴ [NOVEX De Peel - Novex de Peel](#), [Ontwerptafel Powerport | gemeente Moerdijk](#)

- En diverse andere regionale, provinciale en nationale trajecten.

2.6.2 Plek Energieperspectief binnen provinciaal ruimtelijk beleid

Het Energieperspectief vormt een schakel binnen de verankering van het provinciale energiebeleid in het ruimtelijke beleid van de provincie. Figuur 2.2 geeft de positie van deze schakel weer binnen het bredere provinciale kader. Daarbij is te zien dat het Energieperspectief sectorale keuzes op hoofdlijnen maakt.

Input voor de gemaakte keuzes vormen het Brabants Ruimtelijk voorstel en de systeemstudies die de provincie heeft uitgevoerd naar het toekomstige energiesysteem. Het Brabants Ruimtelijk voorstel¹⁵ bevat een integraal overzicht van de benodigde ruimte voor alle sectorale opgaven binnen de provincie, zoals wonen, werken, natuur, landbouw, bodem, water en energie. Dit Ruimtelijk voorstel is bedoeld om inzicht te bieden in de opgaven, niet om keuzes te maken. De Brabantse systeemstudies fase I¹⁶ en fase II¹⁷ geven een beeld van de mogelijke invulling van het toekomstige energiesysteem in Brabant, inclusief de ruimtelijke impact ervan. Dit zijn sectorale studies, bedoeld om inzicht te bieden in de (ruimtelijke) opgaven voor de energietransitie. Ook hierin zijn geen keuzes gemaakt.

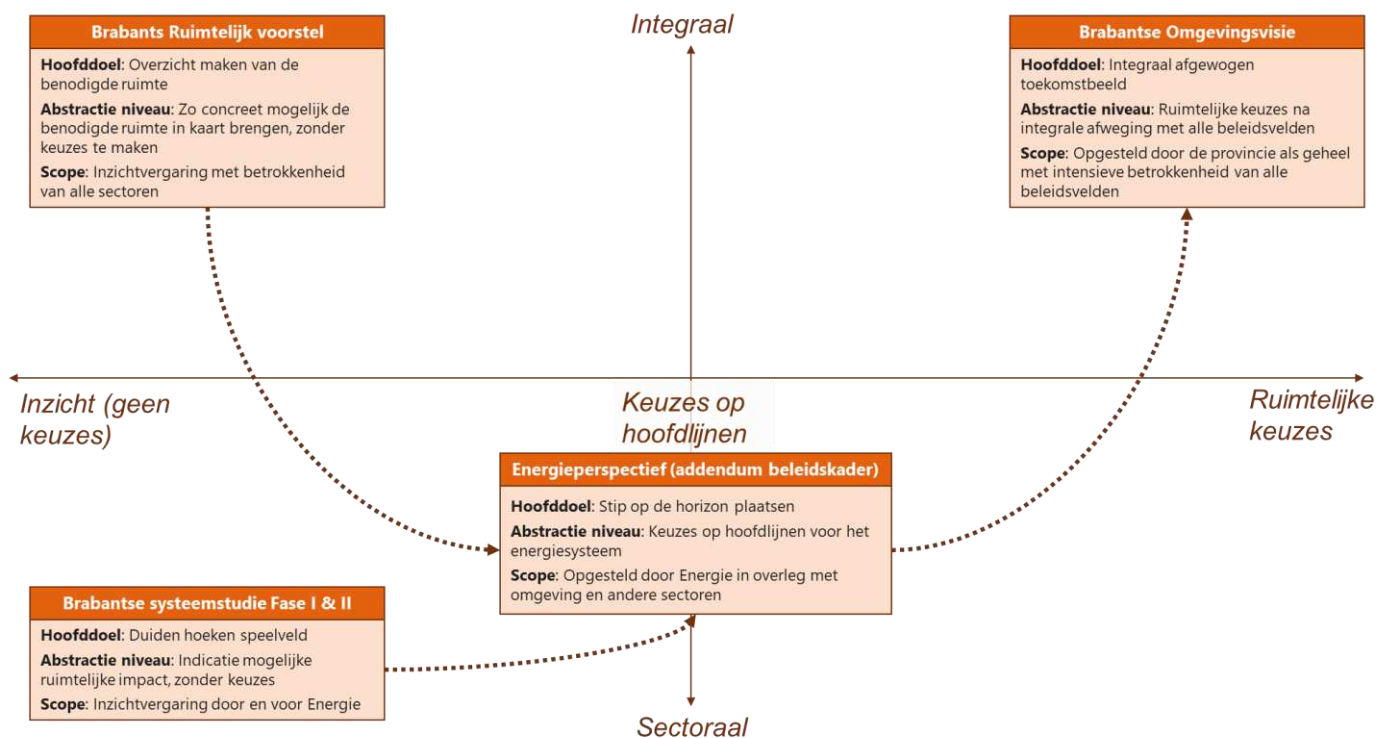
Op basis van het Ruimtelijk voorstel en de systeemstudies, heeft de provincie het Energieperspectief opgesteld, dat een stip op de horizon plaatst voor het energiesysteem van de toekomst. Het Energieperspectief maakt keuzes op hoofdlijnen voor het energiesysteem, maar bevat geen ruimtelijke keuzes, aangezien deze een integrale afweging vragen. Het Energieperspectief is een sectoraal plan, maar is wel opgesteld in overleg met omgevingspartijen en andere sectoren. Vandaar dat het iets hoger op as sectoraal versus integraal staat dan de systeemstudies.

Het Energieperspectief is zelf input voor de vastlegging van ruimtelijke keuzes voor het energiesysteem in de Brabantse Omgevingsvisie. De Omgevingsvisie bevat een integraal afgewogen toekomstbeeld voor de gehele provincie. Daarbij worden ruimtelijke keuzes gemaakt voor alle sectoren (waaronder energie), na een integrale afweging tussen alle belangen en opgaven.

¹⁵ [Ruimtelijk Voorstel Brabant - Brabant](#)

¹⁶ Energie systeem studie Noord-Brabant, DNV i.o.v. provincie Noord-Brabant, 30-05-2021

¹⁷ Brabants energiesysteem, ontwikkelingen richting 2050 en ruimtelijke consequenties, CE Delft en Generation Energy i.o.v. provincie Noord-Brabant, april 2023



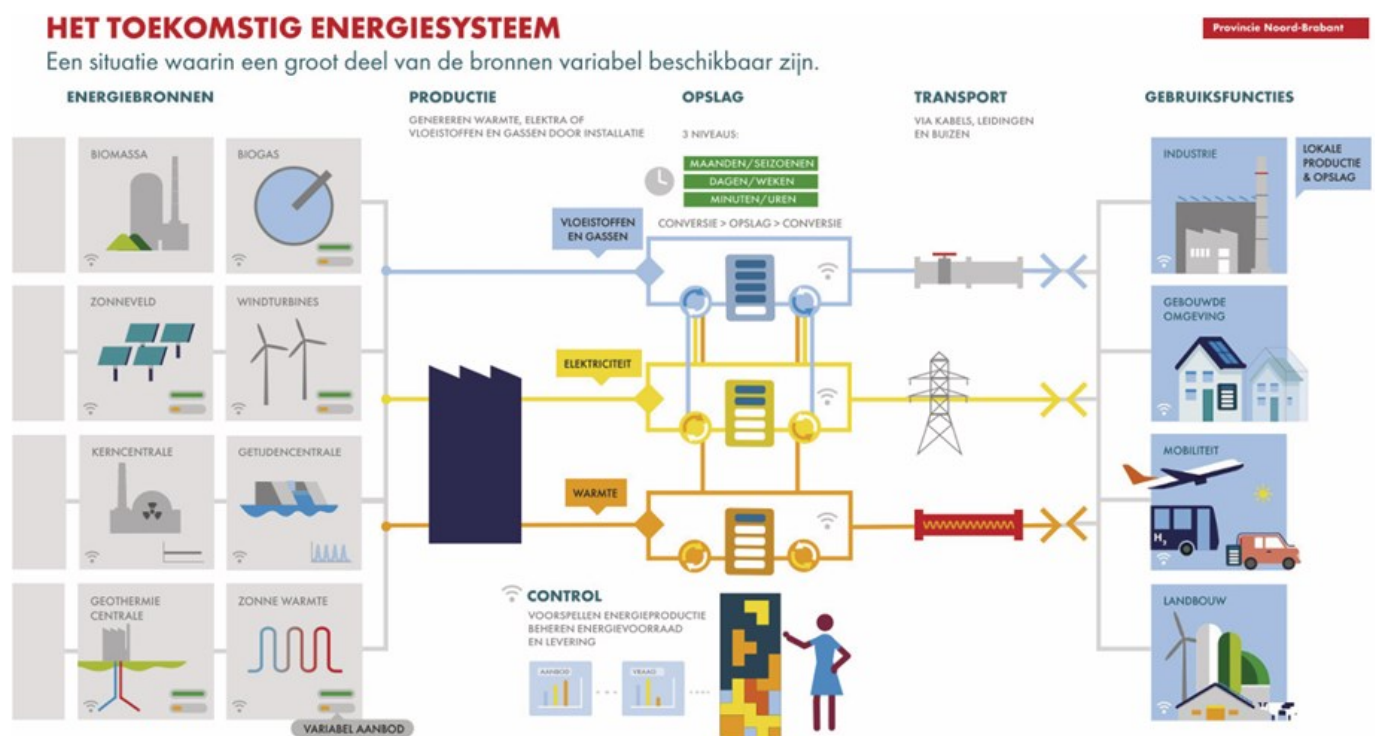
Figuur 2.2 Het Energieperspectief als schakel in het ruimtelijke beleid van de provincie

3 De oplossingsrichtingen voor het Brabants energiesysteem

Dit hoofdstuk beschrijft de oplossingsrichtingen (alternatieven) die in het MER zijn onderzocht op doelbereik en milieueffecten. Daarbij is, na een inleiding, in paragraaf 3.2 eerst ingegaan op alternatieven voor het energiesysteem van de toekomst (systeemalternatieven). Vervolgens is in paragraaf 3.3 ingegaan op alternatieven voor de in te zetten provinciale sturingsmiddelen (sturingsalternatieven). Bij het bepalen van de alternatieven is het van belang dat in het planMER alleen de beleidsuitspraken in de beoordeling zijn meegenomen die nieuw zijn ten opzichte van bestaand beleid, of een nadere uitwerking vormen van bestaand beleid. Bestaand beleid maakt onderdeel uit van de referentiesituatie waarmee de effecten van de alternatieven worden vergeleken, zie paragraaf 4.1.

3.1 Inleiding

Het klassieke energiesysteem kent een infrastructuur van aardgas, elektra en warmte. De productie, levering en het afnemen van energie voor wonen, werken en mobiliteit was van een architectuur die vooral één richting op werkte (van productie naar gebruik) en los van elkaar stond. Met de groeiende ambities op het gebied van wonen, werken en mobiliteit voldoet dit energiesysteem niet meer. Dat is de reden dat een transitie in gang is gezet naar een toekomstig energiesysteem, waarin een groot deel van de energiebronnen variabel (in de tijd) beschikbaar zal zijn. Dit toekomstige energiesysteem is schematisch weergegeven in onderstaande afbeelding.



Figuur 3.1 Toekomstig energiesysteem

Het toekomstige energiesysteem moet flexibel zijn vanwege de variabiliteit en diversiteit van energiebronnen. Traditionele energiebronnen als aardgas en steenkool zijn consistent en voorspelbaar in hun levering. Echter, de nieuwe energiebronnen zoals wind- en zonne-energie zijn afhankelijk van externe factoren zoals weersomstandigheden en tijd van de dag. Daarnaast zijn er, naast de landelijke opgaven van nieuwe energiebronnen (zoals wind op zee), decentrale bronnen ontstaan, zoals zonnepanelen op daken en lokale warmtebronnen. Deze veelvoud van bronnen zijn slim te matchen met waar, wanneer en hoeveel de energie nodig is. Hiervoor zullen – afhankelijk van de karakteristiek van de leverende bronnen en afnemers – meer of minder conversie- en opslagvoorzieningen nodig zijn is de verwachting.

De NRD ging uit van één eindbeeld voor het energiesysteem in 2050, met alternatieven voor de in te zetten sturingsmiddelen die de provincie heeft om dat eindbeeld te bereiken. In haar advies over reikwijdte en detailniveau

van het planMER¹⁸, heeft de Commissie mer de provincie geadviseerd om ook naar alternatieven voor het energiesysteem zelf te kijken. Er is namelijk nog veel onzeker over hoe het energiesysteem zich naar de toekomst toe gaat ontwikkelen. Het eindbeeld is een klimaatneutraal energiesysteem in 2050, maar hoe dat er precies uit komt te zien is nog niet zeker. Daarbij is het zo dat juist de (ruimtelijke) invulling van het energiesysteem bepalend is voor de (milieu)effecten ervan. Zo leidt een zonnepark bijvoorbeeld tot hele andere effecten dan een windturbine of kerncentrale. Naast de in de NRD aangekondigde alternatieven voor de provinciale sturingsmiddelen (sturingsalternatieven), zijn in het planMER dan ook verschillende alternatieven voor het toekomstige energiesysteem onderzocht (systeemalternatieven).

De te onderzoeken alternatieven moeten het gehele speelveld in beeld brengen, zodat bestuurders op basis van het MER inzicht hebben in de afwegingen die spelen bij de verschillende keuzes die in het Energieperspectief 2050 gemaakt worden. De focus ligt daarbij op de mogelijke variatie en/of breedte die er is bij de toe te passen (ruimtelijke) keuzes en maatregelen, maar ook op de in te zetten sturingsmiddelen. Dit zijn namelijk de onderdelen van het Energieperspectief 2050 waarvoor nog keuzes gemaakt moeten worden.

3.2 Systeemalternatieven

3.2.1 Bouwstenen energiesysteem

Als eerste stap in de ontwikkeling van systeemalternatieven zijn (mede op basis van het advies van de Commissie mer) de verschillende onderdelen van het toekomstige energiesysteem in beeld gebracht, onderverdeeld in energiebronnen, productie en opslag van energie, en transport. De verschillende bouwstenen zijn gebundeld voor de energiedragers elektriciteit, warmte, en vloeistoffen en gassen, zie Tabel 3.1. Per onderdeel c.q. bouwsteen is een ingreep-effectrelatie¹⁹ opgesteld, zie 0. Deze ingreep-effectrelaties laten per bouwsteen op hoofdlijnen zien welke effecten op kunnen treden tijdens de aanleg, het gebruik en de ontmanteling van de betreffende bouwsteen. Ook is aangegeven of elders effecten op kunnen treden, bijvoorbeeld tijdens de winning van delfstoffen die ingezet worden om energie te produceren.

Tabel 3.1 Bouwstenen huidig en toekomstig energiesysteem

Elektriciteit	Warmte	Vloeistoffen en gassen
Energiebronnen²⁰		
<ul style="list-style-type: none"> • Wind op land (solitair) • Wind op land (windpark) • Zonnepark op land • Zon op dak 	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermie (HT en LT) • Aquathermie • Warmte-koude opslag 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergisting (groen gas)
Productie²⁰		
<ul style="list-style-type: none"> • Gasvormige duurzame moleculen centrale • Aardgascentrale • Vaste duurzame moleculen centrale • Kerncentrale (SMR) • Warmte kracht koppeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermie pomp en regelunit (gebouw) • Restwarmte productieprocessen • Warmte kracht koppeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrolyser

¹⁸ <https://commissiemer.nl/docs/mer/p39/p3938/a3938rd.pdf>

¹⁹ Een ingreep-effectrelatie beschrijft het verband tussen een specifieke maatregel of verandering (de ingreep) en de gevolgen (effecten) die deze teweegbrengt. Dit kan gaan om directe effecten, zoals een toename van duurzame energieproductie na plaatsing van windturbines, maar ook om indirecte effecten, zoals veranderingen in de ruimtelijke ordening, milieubelasting of maatschappelijke acceptatie. Met deze relaties kan de provincie de impact van beleidskeuzes beter afwegen en gericht sturen op gewenste uitkomsten binnen het energiesysteem.

²⁰ Het verschil tussen Energiebronnen en Productie is niet overal even duidelijk te maken. Zo is in theorie bijvoorbeeld de wind de energiebron en een windturbine de productiefaciliteit die er elektriciteit mee opwekt. In deze tabel staan de productiefaciliteiten die een (primaire) energiebron direct omzetten in een energiedrager onder energiebronnen. De productiefaciliteiten die andere grondstoffen gebruiken om via een tussenstap een energiedrager te produceren (bijvoorbeeld het creëren van stoom via verbranding van biomassa of gas om een turbine aan te drijven) zijn in deze tabel onder productie gezet.

Elektriciteit	Warmte	Vloeistoffen en gasen
Opslag		
<ul style="list-style-type: none"> Batterij 		
Transport		
<ul style="list-style-type: none"> Hoogspanningsleiding (bovengronds, 380kV en 150 kV) Hoogspanningsleiding (ondergronds, tot 150kV) Onderstation 380kV Onderstation 150 kV Onderstation 10kV Converterstation AC-DC Aardgasleiding Aardgasonderstation 	<ul style="list-style-type: none"> Warmteleiding 	<ul style="list-style-type: none"> Waterstofleiding Waterstofonderstation Groen gasleiding Groen gasonderstation

3.2.2 Invulling systeemalternatieven

Op basis van verschillende toekomstscenario's zijn alternatieven voor het energiesysteem ontwikkeld, waarvan de (milieu)effecten in dit planMER zijn onderzocht. De alternatieven sluiten aan op de toekomstscenario's uit de studie naar het Brabants Energiesysteem in 2050, die in 2023 is uitgevoerd door CE Delft en Generation Energy²¹. Deze studie bevat drie toekomstscenario's, die op hun beurt gebaseerd zijn op de mogelijke toekomstbeelden die in het kader van de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050 scenario's) zijn ontworpen, zie tekstkader.

II3050 toekomstscenario's

De scenariostudie die voor de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 is uitgevoerd schetst vier mogelijke toekomstbeelden voor een klimaatneutrale energievoorziening in 2050:

- Scenario "regionale sturing"**
 In het scenario "regionale sturing" bepalen lokale gemeenschappen veel zelf. Circulariteit speelt een grote rol. Warmtenetten op aardwarmte en meer elektrificatie zijn belangrijk in dit scenario, net als een sterke groei van zonne- en windenergie. Minder industrie maakt Nederland bijna energieneutraal. Gas blijft aanwezig als piekvoorziening, vooral groen gas uit biomassa en waterstof opgewekt met wind en zon.
- Scenario "nationale sturing"**
 In het scenario "nationale sturing", waarbij de nationale overheid de regie voert, is de groei van warmtenetten kleiner, maar vindt er een sterke elektrificatie plaats binnen alle verbruikssectoren. Dit scenario omvat een groot aandeel zon- en windvermogen ten opzichte van de andere scenario's. Daarnaast vindt import plaats, mede dankzij een stabiele industriesector die elektrificeert om te verduurzamen. In dit scenario blijft gas benodigd voor het voeden van back-upcentrales en industriële processen. Hiervoor wordt groen gas en "groene" waterstof gebruikt.
- Scenario "Europese CO₂-sturing"**
 In het scenario "Europese CO₂-sturing" wordt regulering voornamelijk gerealiseerd via een Europese CO₂-heffing die van toepassing is op alle sectoren. Dit resulteert in meer gebruik van groen gas in verschillende sectoren. Er vindt een grote groei plaats van zonne- en windenergie. In dit scenario ontwikkelt de industrie zich verder, waarbij CO₂-uitstoot wordt voorkomen door hybride elektrificatie en het afvangen en ondergronds opslaan van CO₂, zoals bij de productie van "blauwe" waterstof²². Mede door de hybridisering wordt de piekvraag naar elektriciteit gematigd. Dit scenario kent meer import dan de voorgaande twee scenario's. Ook behoudt gas in dit scenario een rol in wijken en andere sectoren, in de vorm van groen gas en een combinatie van "blauwe" en geïmporteerde "groene" waterstof²³.

²¹ Brabants energiesysteem, ontwikkelingen richting 2050 en ruimtelijke consequenties, CE Delft en Generation Energy, in opdracht van provincie Noord-Brabant en Enexis, april 2023.

²² "Blauwe" waterstof is waterstof die geproduceerd wordt uit fossiele bronnen, waarbij de CO₂ die daarbij vrijkomt wordt afgevangen en opgeslagen.

²³ "Groene" waterstof is waterstof die met duurzame energie geproduceerd wordt uit hernieuwbare bronnen, zoals water en biomassa.

- **Scenario “Internationale sturing”**

In het scenario “Internationale sturing” zoekt de markt internationaal naar de goedkoopste opties. Veel waterstof wordt geïmporteerd uit landen waar de productie ervan eenvoudiger is. Groen gas speelt een kleinere rol dan in de andere scenario’s. Er vindt een sterke hybridisering plaats, met waterstof als back-up, onder andere om de groei van de industrie te ondersteunen. De import van waterstof zorgt ervoor dat er minder windenergie nodig is voor nationale elektrolyse. De productie van duurzame elektriciteit is in dit scenario dan ook het laagst. Toch groeit ook in dit scenario de nationale elektriciteitsproductie tussen 2030 en 2050.

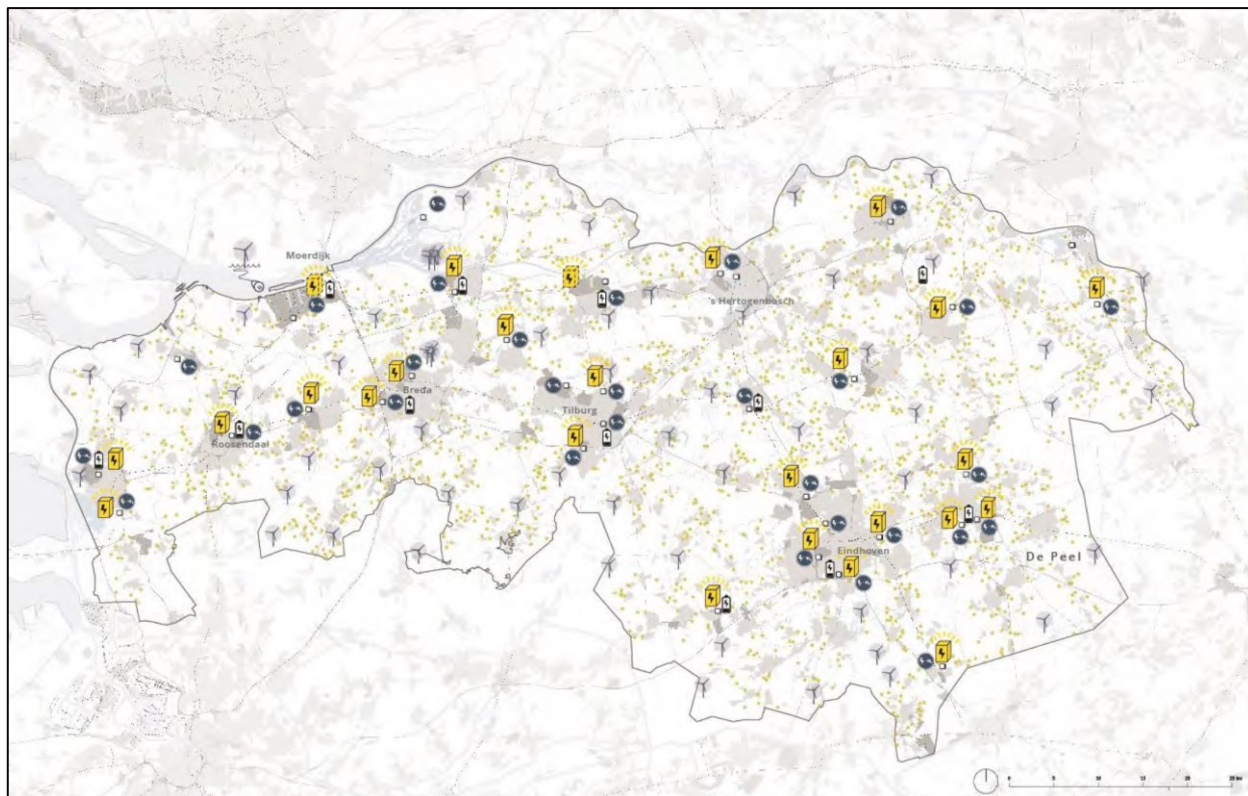
De II3050-scenario’s gaan uit van een klimaatneutraal energiesysteem in 2050. In elk scenario wordt dus uitsluitend gebruik gemaakt van CO₂-vrije energiedragers, maar het verschilt tussen de scenario’s welke CO₂-vrije energiedragers het meest gebruikt worden. Daarnaast verschillen bijvoorbeeld de te gebruiken energiebronnen en de hoeveelheid import tussen de scenario’s. Op deze manier ontstaat een ‘speelveld’, waarvan de scenario’s de hoeken opzoeken. Op basis van de II3050 scenario’s zijn in de studie naar het Brabants Energiesysteem de volgende scenario’s ontwikkeld, die in dit planMER als extreme alternatieven voor het toekomstige energiesysteem worden onderzocht:

1. **Lokale kracht**, uitgaande van zoveel mogelijk elektrificatie, vooral met behulp van lokale bronnen (komt grofweg overeen met het scenario “Regionale sturing” uit de II3050).
2. **De grote opgaven gebundeld**, uitgaande van zoveel mogelijk alternatieve (warmte) bronnen, vooral vanuit andere delen van Nederland, zoals wind op zee (komt grofweg overeen met het scenario “Nationale sturing” uit de II3050).
3. **Op grote schaal denken**, uitgaande van zoveel mogelijk (veelal geïmporteerde) moleculen, met name groen gas en waterstof (komt grofweg overeen met de scenario’s “Europese CO₂-sturing” en “Internationale sturing” uit de II3050).

Net zoals de II3050 scenario’s gaan al deze alternatieven uit van een klimaatneutraal energiesysteem in 2050. Alleen de wijze waarop dit gerealiseerd wordt verschilt tussen de alternatieven. Samen brengen deze systeemalternatieven de ‘hoeken van het speelveld’ in beeld en daarmee ook de bandbreedte aan milieueffecten die op kunnen treden. Op de volgende pagina’s is een nadere toelichting op de verschillende systeemalternatieven gegeven.

Ad. 1 Lokale kracht

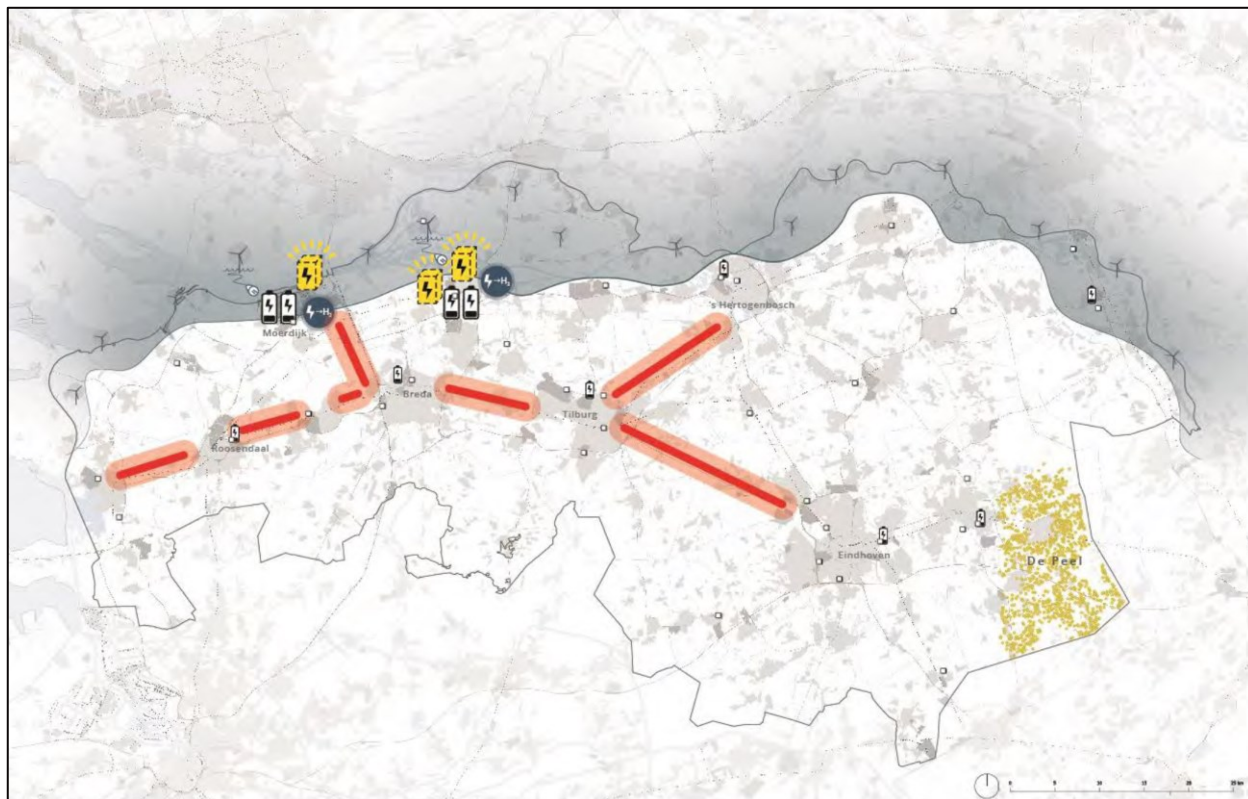
In dit alternatief sturen lokale en regionale overheden de energietransitie aan. Er wordt maximaal ingezet op lokaal opgewekte elektriciteit en beschikbare warmtebronnen. Nederland en haar regio's zijn grotendeels zelfvoorzienend, met verspreide initiatieven voor opwek en opslag, waardoor de energietransitie overal ruimtelijke gevolgen heeft.

**Bouwstenen 2030-2050**

							
Windturbine	Zon op veld	Zon op dak	E-centrale	Electrolyser	Groen gas	Batterij	Aanlanding Wind op zee
Na uitvoering RES nog 222 windturbines die zullen landen in de buurt van gebruik en van HS/MS stations.	Na uitvoering RES nog grote opgave (41 km ²) voor zon op veld. Ook deze zal verspreid landen, in de buurt van steden en het netwerk.	Zo veel mogelijk daken, groot en klein, vol met zon. Er resteert na de RES met name een opgave voor kleine daken.	Bestaande fossiele centrales worden hernieuwbare centrales en nieuwe e-centrales worden gebouwd bij HS-MS transformatoren.	Verspreid bij opweklocaties van zon en wind	Geen extra groengas na 2030: voor die tijd is lokale potentieel al aangeboord	Batterijen worden op drie schaalniveaus geplaatst: Bij de opwek, in de wijk en bij de woonhuizen	1 aanlanding van 2 GW vanuit wind-op-zee rondom industriële cluster

Ad. 2 De grote opgaven gebundeld

De rijksoverheid stuurt de energietransitie in dit alternatief aan met grootschalige projecten, vooral windparken op zee, gecombineerd met waterstofproductie. Hierdoor wordt veel elektriciteit gebruikt en is Nederland grotendeels zelfvoorzienend. Ruimtelijk wordt de energietransitie gebundeld met locaties waar nationale opgaven spelen, bijvoorbeeld in het rivierengebied en de industriële clusters Moerdijk en Geertruidenberg.

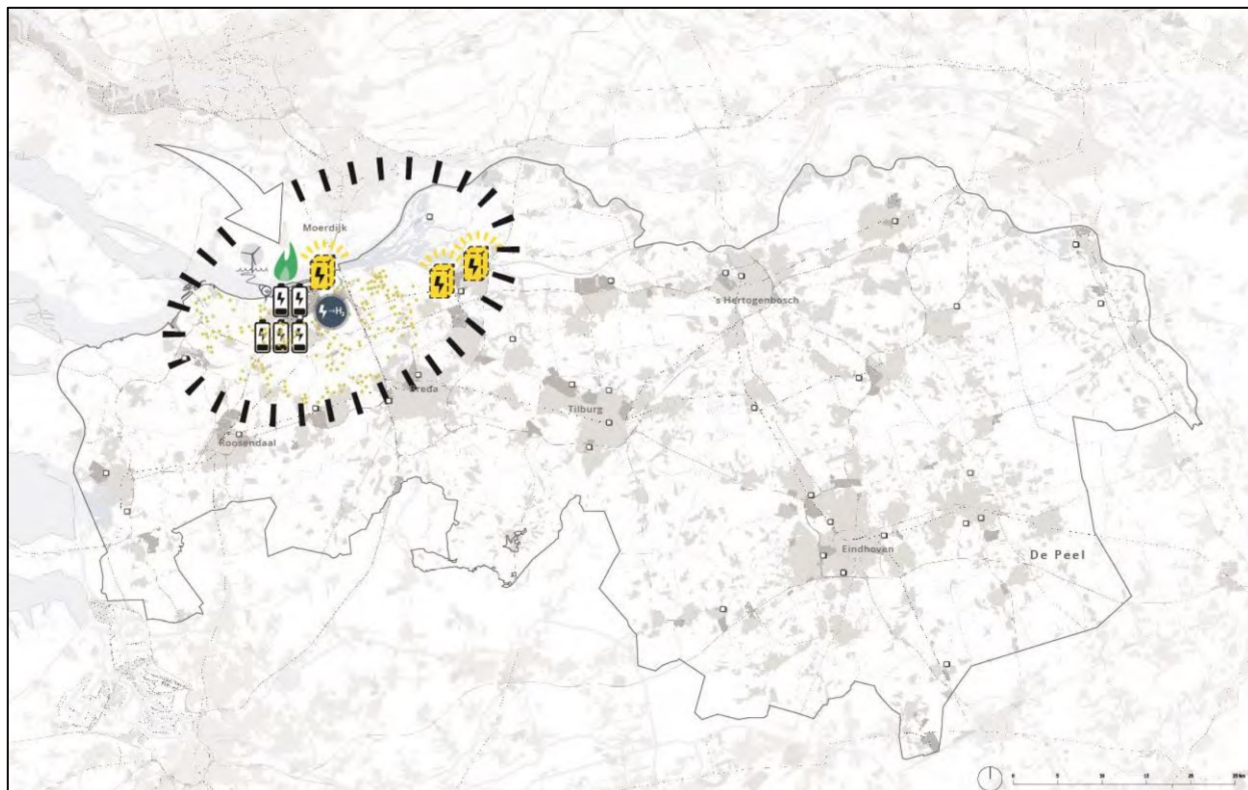










Bouwstenen 2030-2050

Windturbine	Zon op veld	Zon op dak	E-centrale	Electrolyser	Bovenlokaal warmtenet	Batterij	Aanlanding Wind op zee
In grootschalig landschap met een waterveiligheidsopgave of een waterbergingsopgave worden grote clusters van wind geplaatst die direct op TenneT worden aangesloten.	Na de uitvoering van de RES nog grote zonneparken in combinatie met natuurontwikkeling en landbouwtransitie rond de Peel.	Zo veel mogelijk daken, vooral grote daken, vol met zon.	MEGA E-Centrales op huidige locaties	MEGA-Electrolyser bij Moerdijk en Geertruidenberg	Bovenlokaal warmtenet rondom de grotere clusters	Bij HS-MS onderstations worden batterijen geplaatst om de druk in het elektriciteitsnet te reguleren. Daarnaast rondom cluster moerdijk en geertruidenberg	2 aanlandingen van totaal 9 GW vanuit wind-op-zee rondom industriële cluster

Ad 3. Op grote schaal denken

Dit alternatief veronderstelt een open wereldmarkt en sterk klimaatbeleid op internationaal niveau (EU en wereld). Nederland importeert veel duurzame energie (vooral waterstof, maar ook groen gas) wat leidt tot een groei van de energie-intensieve industrie. Vanwege de grootschalige import, concentreert de ruimtelijke impact zich rond de havengebieden.

**Bouwstenen 2030-2050**

							
Windturbine	Zon op veld	Zon op dak	E-centrale	Electrolyser	Bovenlokaal warmtenet	Batterij	Aanlanding Wind op zee
Na de realisatie van de RES zoekgebieden geen verdere windturbines.	Na de uitvoering van de RES nog enkele zonneparken (8 km ²) rondom het industriële cluster.	Geen extra zon-op-dak na de realisatie van de RES.	MEGA E-Centrale bij importlocatie Moerdijk/Geertruidenberg	MEGA-Electrolyser bij hub-locatie Moerdijk	Rond de energie-hub waar veel biogas wordt geïmporteerd en mogelijk biomassa wordt geïmporteerd	Rondom de import hub ruimte voor centrale opslag.	1 aanlandingen van totaal 2 GW vanuit wind-op-zee rondom industriële cluster

3.3 Sturingsalternatieven

Om de gestelde doelen voor 2030 en 2050 te behalen zijn de sturingsmiddelen die de provincie inzet van groot belang. Zonder de juiste sturing van onder andere de provincie is het bereiken van een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 niet mogelijk. Om de benodigde (milieu)informatie voor het maken van keuzes over de in te zetten sturingsmiddelen boven tafel te krijgen, zijn in het planMER de volgende drie alternatieven onderzocht:

1. **Provincie faciliteert en stimuleert.** De provincie gaat door met beleid uitvoeren zoals ze dat nu doet. Daarbij ligt de focus op het ondersteunen van andere partijen bij de energietransitie en het stimuleren van gedragsverandering, bijvoorbeeld door het delen van informatie of subsidies.
2. **Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig).** Dit alternatief ligt tussen de andere alternatieven in. De provincie pakt meer de regie bij het realiseren van de energietransitie en stimuleert partijen om de energietransitie vorm te geven. Op onderdelen van deze transitie, waar stimuleren naar verwachting niet voldoende resultaat oplevert, zet de provincie regulerende instrumenten in (zoals de omgevingsverordening).
3. **Provincie reguleert.** De provincie gebruikt haar instrumenten (zoals de omgevingsverordening) om de energietransitie te reguleren c.q. 'af te dwingen'.

3.4 Voorkeursalternatief

Met de hiervoor toegelichte systeemalternatieven en sturingsalternatieven wordt de volledige bandbreedte van de (ruimtelijke) invulling van het toekomstige energiesysteem en de door de provincie in te zetten sturingsmiddelen in dit planMER onderzocht. Het uiteindelijke beleidsvoornemen dat opgenomen is in het Energieperspectief 2050, bestaat uit een mix van deze alternatieven. Deze uiteindelijke mix aan beleidsmaatregelen en in te zetten instrumenten wordt het voorkeursalternatief (VKA) genoemd. Het planMER heeft de informatie in beeld gebracht die nodig is om de benodigde afwegingen bij het bepalen van dit VKA te maken. Een toelichting op het VKA en de beoordeling ervan is opgenomen in hoofdstuk 8.

4 Aanpak planMER Brabants Energieperspectief 2050

In dit planMER zijn de (milieu)effecten van het Brabants Energieperspectief beoordeeld. Daarbij is onderscheid gemaakt in een beoordeling van het doelbereik en een beoordeling van de milieueffecten. De effecten zijn beoordeeld ten opzichte van een zogenoemde referentiesituatie en de beoordeling is uitgevoerd op basis van 'expert judgement'. In dit hoofdstuk is een nadere toelichting op de aanpak opgenomen.

4.1 Referentiesituatie

In het planMER zijn de effecten van de te onderzoeken alternatieven voor het Brabants Energieperspectief 2050 beoordeeld ten opzichte van de referentiesituatie. De referentiesituatie is de situatie in 2050 zonder realisatie van de maatregelen uit het Brabants Energieperspectief 2050. Het betreft de huidige situatie, aangevuld met autonome ontwikkelingen. Een autonome ontwikkeling is een verandering ten opzichte van de huidige situatie op basis van vastgesteld beleid. Belangrijk om hierbij aan te geven is dat de huidige Energieagenda 2019-2030 daarmee onderdeel uitmaakt van de referentiesituatie. Dit is immers vastgesteld beleid. De referentiesituatie is beschreven in hoofdstuk 5. Zowel de huidige situatie als de referentiesituatie is, waar mogelijk kwantitatief, anders kwalitatief beschreven en beoordeeld op een schaal, zoals getoond in Figuur 4.2. Dit is gedaan op basis van literatuur en expert judgement.

4.2 Beoordelingsmethodiek

Er is in het planMER onderscheid gemaakt in een beoordeling van het doelbereik en de milieueffecten. Zowel de invloed op het doelbereik als de milieueffecten zijn kwalitatief beoordeeld op basis van 'expert judgement'. Een beoordeling op basis van expert judgement is in dit planMER voldoende, omdat het gaat om een programma met een hoog abstractieniveau. Het is niet mogelijk om kwantitatieve analyses uit te voeren, omdat de beleidsmaatregelen uit het Brabants Energieperspectief 2050 daarvoor niet specifiek genoeg zijn uitgewerkt. Vanwege het hoge abstractieniveau is het eveneens vrijwel niet mogelijk om concrete effecten te benoemen. Er worden dan ook voornamelijk kansen en risico's benoemd.

4.3 Doelbereik

In het planMER is kwalitatief (waar mogelijk onderbouwd met kwantitatieve gegevens, bijvoorbeeld via GIS-analyses) onderzocht in welke mate de verschillende alternatieven een bijdrage leveren aan de doelen van het Energieperspectief 2050 (het doelbereik). Om te kunnen toetsen in hoeverre de alternatieven aan de (neven)doelen voldoen is het van belang een goed zicht te hebben op de huidige en toekomstige staat van het energiesysteem (vraag, aanbod, transport, opslag, etc.). In het planMER is dan ook een uitgebreide omschrijving van dit systeem opgenomen, als onderdeel van de beschrijving van de referentiesituatie (zie hoofdstuk 5).

Bij de beoordeling van het doelbereik is in het planMER onderscheid gemaakt tussen de hoofddoelstellingen en enkele nevendoelen van het Energieperspectief 2050. Hieronder zijn deze (neven)doelen toegelicht.

4.3.1 Hoofddoelstellingen

De hoofddoelstellingen voor het Energieperspectief 2050 volgen uit de Energieagenda 2019-2030 en bedragen:

- 2030: Ten minste 50% duurzame energie.
- 2050: 100% duurzame energie, grotendeels afkomstig uit Noord-Brabant en een reductie van 90% van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990.

Te hanteren indicatoren voor beoordeling hoofddoelstellingen

Om te toetsen in hoeverre de in dit planMER te onderzoeken alternatieven voldoen aan de hoofddoelstellingen, zijn de volgende indicatoren gebruikt.

Indicator	Sub indicator	Toelichting
Totaal energieverbruik (PJ/jaar)	-	Ondanks dat dit niet expliciet als hoofddoelstelling is benoemd, is het beperken van de energievraag wel een van de leidende principes in het Brabants Energieperspectief. Hoe minder verbruik, hoe beter, want het opwekken van energie heeft gevolgen, ook de duurzame vorm.
Percentage duurzaam opgewekte energie, t.o.v. het totaal.	2030: ten minste 50% duurzame energie	Deze indicator brengt in beeld in hoeverre het lukt om in 2030 ten minste 50% van de hoeveelheid gebruikte energie op duurzame wijze op te wekken.
	2050: 100% duurzame energie	Deze indicator brengt in beeld in hoeverre het lukt om in 2050 100% van de hoeveelheid gebruikte energie op duurzame wijze op te wekken.
	Verhouding piek/dal (etmaal), zowel voor (primaire) vraag als (primaire) aanbod.	Deze indicator brengt het verschil tussen vraag en aanbod in beeld (uit verschillende bronnen, waaronder de duurzame). Streven is vraag en aanbod over de dag bij elkaar te brengen.
	Verhouding piek/dal (jaar), zowel voor vraag als aanbod.	Idem als voorgaande, maar dan over het jaar (seizoensverschillen).
Aandeel binnen provincie opgewekte duurzame energie, als percentage van het totaal.	-	Het streven is om zo veel mogelijk duurzame energie binnen de provincie zelf op te wekken.
CO ₂ -uitstoot (kTon/jaar)	2050: 90% reductie CO ₂ -uitstoot ten opzichte van 1990	Deze indicator brengt in beeld in hoeverre voldaan wordt aan de doelstelling om de CO ₂ -uitstoot in 2050 met 90% te verminderen ten opzichte van 1990.

Tabel 4.1 Beoordelingskader hoofddoelstellingen planMER Energieperspectief 2050

Omdat tijdens de beoordeling van het doelbereik bleek dat er behoorlijke overlap zit tussen de indicatoren, zijn ze niet apart beoordeeld. Als voorbeeld: beleidsmaatregelen die leiden tot een beperking van het energieverbruik of een toename van het aandeel duurzaam opgewekte energie, leiden vrijwel altijd ook tot een reductie van de CO₂-uitstoot. Een beoordeling per indicator zorgt daarmee voor veel dubbelingen. Om deze reden zijn de indicatoren voor de hoofddoelstellingen in samenhang beoordeeld.

4.3.2 Nevendoelen

Naast de hoofddoelstellingen kunnen de Brabantse waarden **Betrouwbaar**, **Betaalbaar** en **Omgevingsbewust**, zoals opgenomen in de notitie Bouwstenen voor het Brabants Energieperspectief, gezien worden als nevendoelen c.q. randvoorwaarden waaraan het energiesysteem moet voldoen, zie paragraaf 4.3.2.1. Ook is in het planMER de zogenoemde '**Trias Energetica**' betrokken bij de toets aan doelbereik, zie paragraaf 4.3.2.2. Ten slotte draagt het rechte trekken van de scheve **verhouding tussen vraag en aanbod van energie** bij aan de doelstellingen voor het Brabants Energieperspectief 2050, zie paragraaf 4.3.2.3.

4.3.2.1 Brabantse waarden voor het energiesysteem

De Brabantse waarden voor het energiesysteem zijn tot stand gekomen in afstemming met Brabantse stakeholders en belanghebbenden. Hieronder zijn deze waarden nader toegelicht. Ten behoeve van de beoordeling van het doelbereik zijn deze waarden vertaald in concrete criteria en/of indicatoren, zie paragraaf 4.3.2.4.

Betrouwbaar

Een betrouwbaar energiesysteem gaat over de zekerheid van en de toegang tot het energiesysteem. Dat geldt voor elke (potentiële) gebruiker: het Brabantse energiesysteem is er voor iedereen.

De Brabanders drukken een betrouwbaar energiesysteem uit in:

- De samenleving mag ervan uitgaan dat energie beschikbaar is en het systeem werkt. Wij ontwikkelen hiervoor een robuuste energie-infrastructuur en maken gebruik van diverse energiebronnen.
- De beschikbaarheid van en toegang tot de energie zijn voorspelbaar. Dat kan ook inhouden dat momenten dat energie niet beschikbaar is, vooraf worden aangekondigd. Prijzen zijn stabiel en vooraf bekend voor gebruikers. Het energiesysteem is veilig voor externe invloeden en voor haar omgeving. Fysieke en digitale veiligheid zijn geborgd.
- Het toekomstig energiesysteem is ook betrouwbaar bij conflicten en crises, en daarmee onafhankelijk van geopolitieke spanningen.

Betaalbaar

Energie is een basisvoorziening voor inwoners en bedrijven. Daarom moeten bedrijven en huishoudens energie kunnen betalen. Dat geldt ook voor bijkomende investeringen voor bijvoorbeeld het isoleren van een woning en de aanschaf van warmtepompen, zonnepanelen of thuisbatterijen. De Brabanders drukken betaalbaarheid uit in:

- Zo laag mogelijke maatschappelijke kosten voor het energiesysteem en de samenleving. Deze kostenminimalisatie moet in verhouding tot de economische impact en toekomstige opbrengsten worden beschouwd.
- Het toekomstig energiesysteem is voor iedereen financieel toegankelijk. Energie is betaalbaar in zowel vaste als variabele lasten voor ieder huishouden en financieel gezond bedrijf.
- Een eerlijke verdeling van lasten en lusten. Dat betekent dat specifieke investeringen die slechts een beperkte doelgroep dienen niet door iedereen worden gedragen. Andersom moeten investeringen met een groot maatschappelijk belang - zoals een warmtenet - eerlijk worden gedeeld. Dit betekent ook brede financiële participatie bij energieopwekking, zodat de samenleving hiervan kan profiteren.

Omgevingsbewust

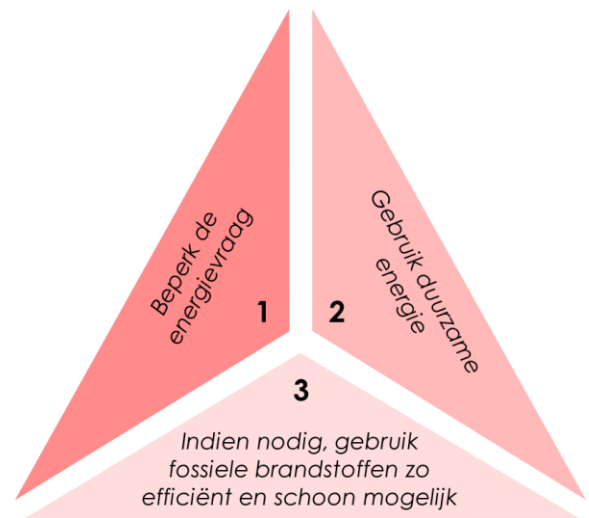
Het ontwikkelen van het energiesysteem vraagt om nieuwe bronnen en infrastructuren. Die vragen om ruimte, zijn direct zichtbaar en hebben invloed op onze leefomgeving. Een omgevingsbewust energiesysteem houdt hier rekening mee en vermindert de negatieve impact op de omgeving; nu en voor de toekomstige generaties. De Brabanders drukken een omgevingsbewust energiesysteem uit in:

- Het toekomstige energiesysteem minimaliseert schadelijke effecten voor de gezondheid. Waar mogelijk draagt het bij aan een gezonde leefomgeving.
- Het toekomstig energiesysteem draagt waar mogelijk bij aan een schoner en gezonder ecosysteem en het verminderen van lucht- en watervervuiling. Onder andere om ervoor te zorgen dat de toekomstige generaties kunnen leven in een gezonde en leefbare wereld.
- Het toekomstige energiesysteem minimaliseert haar impact op de natuur, het landschap, de leefomgeving van mens en dieren en het milieu. Waar mogelijk dragen oplossingen bij aan natuurherstel.
- Het toekomstige energiesysteem wordt ontwikkeld voor de toekomstige generaties. Hierbij houden wij het gewenste toekomstbeeld voor ogen en kijken we niet alleen naar de korte termijn.
- Het toekomstige provinciale energiesysteem maakt, waar mogelijk, gebruik van de regionale energievisies.

4.3.2.2 Trias Energetica

De Trias Energetica is een veelgebruikt model om energiebesparende maatregelen te implementeren, zodat ze efficiënt samenwerken. Efficiëntie houdt in: zo duurzaam mogelijk, dus energiezuinig en met gebruik van hernieuwbare energiebronnen. Daarnaast is kosteneffectiviteit belangrijk, met als doel meer energie te besparen per uitgegeven euro. Het begrip werd in 1979 ontwikkeld aan de TU Delft en in 1996 geïntroduceerd door Novem (E. Lysen). TU Delft (C. Duijvestein) heeft het model vervolgens verder uitgewerkt. Het Trias Energetica model bestaat uit drie stappen:

- **Stap 1: Beperk de energievraag.** Dit kan worden bereikt door energie-efficiëntie en besparingsmaatregelen. Door het optimaliseren van energiegebruik in huishoudens, bedrijven en openbare infrastructuren, wordt het totale energieverbruik gereduceerd. Voorbeelden van energie-efficiëntie zijn het verbeteren van isolatie, het gebruik van energiezuinige apparaten en het implementeren van slimme technologieën.
- **Stap 2: Gebruik duurzame energie.** De tweede stap richt zich op het gebruik van hernieuwbare energiebronnen zoals zonne-energie, windenergie, waterkracht en biomassa. Deze bronnen zijn onuitputtelijk en hebben een lagere milieu-impact dan fossiele brandstoffen. Het bevorderen van duurzame energieproductie draagt bij aan een schoner en gezonder ecosysteem.
- **Stap 3: Indien nodig, gebruik eindige (fossiele) brandstoffen zo efficiënt en schoon mogelijk.** Hoewel de focus ligt op hernieuwbare energie, kan het noodzakelijk blijven om eindige brandstoffen te gebruiken wanneer duurzame bronnen niet voldoende energie leveren. Het is belangrijk dat deze eindige brandstoffen zo efficiënt en milieuvriendelijk mogelijk worden ingezet, bijvoorbeeld door middel van moderne technologieën die de uitstoot van schadelijke stoffen verminderen.

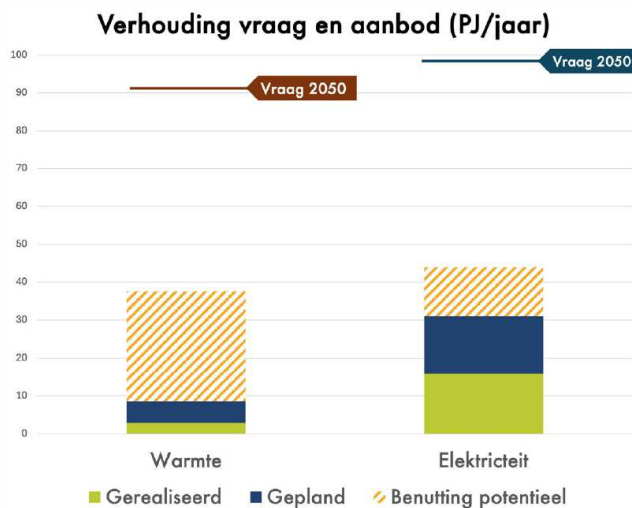


Trias Energetica

De hoofddoelstelling voor het Energieperspectief is een volledig duurzaam energiesysteem in 2050, waarbij geen gebruik meer wordt gemaakt van fossiele brandstoffen. Vanaf 2050 komt stap 3 van de Trias Energetica dan ook te vervallen, maar tot die tijd blijven fossiele brandstoffen nodig en is het dan ook van belang daar zo efficiënt en schoon mogelijk mee om te gaan.

4.3.2.3 Verhouding vraag en aanbod energie

De Brabantse energievraag is aanzienlijk groter dan het aanbod uit duurzame Brabantse energiebronnen. Figuur 4.1 visualiseert dit verschil tussen vraag en aanbod, waarbij is aangenomen dat 10% van het theoretische potentieel uit de ontwikkeling van nieuwe lokale en regionale Brabantse energiebronnen kan worden benut. De provincie Noord-Brabant staat daarmee samen met de Brabantse stakeholders voor een grote uitdaging in de energietransitie. De provincie wil (samen met alle stakeholders) via de zes leidende principes, zoals toegelicht in paragraaf 2.4.1, met deze uitdaging aan de slag gaan. Alle zes de leidende principes dragen hier aan bij. Het gaat dus niet alleen om het beperken van de vraag en vergroten van het aanbod, maar bijvoorbeeld ook om het in de tijd bij elkaar brengen van vraag en aanbod en het bewust inzetten van duurzame energiedragers.



Figuur 4.1 Verhouding vraag naar en aanbod van warmte en elektriciteit (Bron: Bouwstenen voor het Brabants Energieperspectief, provincie Noord-Brabant, december 2024)

4.3.2.4 Te hanteren indicatoren voor beoordeling nevendoelestellingen

De Trias Energetica en de verhouding tussen vraag en aanbod komen met de indicatoren zoals opgenomen onder de hoofddoelestellingen voldoende aan bod. Deze leiden daarmee niet tot aanvullende indicatoren in de toetsing van doelbereik. Dit geldt ook voor de Brabantse waarde voor het energiesysteem Omgevingsbewust, aangezien deze voldoende gedekt wordt door de beoordeling van de (milieu)aspecten die in het beoordelingskader van dit planMER zijn benoemd, zie paragraaf 4.4.

Voor de Brabantse waarden Betrouwbaar en Betaalbaar zijn de volgende indicatoren gehanteerd voor het bepalen van het doelbereik van de alternatieven voor het Brabants Energieperspectief 2050.

Indicator	Sub indicator	Toelichting
Betrouwbaarheid energiesysteem	Energie is beschikbaar (onder normale omstandigheden)	Energie is beschikbaar en het systeem werkt, heeft ook relatie met netcongestie. O.a. te beoordelen op basis van netcapaciteit. Voldoende reservecapaciteit als bepaalde bronnen uitvallen? Heeft ook relatie met opslag (met veel opslag kan je calamiteiten in productie opvangen).
	Beschikbaarheid en toegang tot energie zijn voorspelbaar (onder normale omstandigheden)	Energie is beschikbaar, of momenten dat energie niet beschikbaar is worden vooraf aangekondigd. Prijzen zijn stabiel en vooraf bekend. Fysieke en digitale veiligheid zijn geborgd.
	Het energiesysteem is betrouwbaar (beschikbaar en voorspelbaar) bij conflicten en crises	De toegang tot energie is gewaarborgd tijdens internationale conflicten en crises. Hoe meer (duurzame) energie binnen Brabant geproduceerd wordt, hoe beter dit scoort.
Betaalbaarheid energie	Maatschappelijke kosten	De maatschappelijke kosten van het toekomstige energiesysteem zijn zo laag mogelijk en staan in verhouding met de economische impact en opbrengsten ervan.
	Energiekosten bedrijfsleven	Energie is betaalbaar in zowel vaste als variabele lasten voor ieder huishouden en financieel gezond bedrijf. De fluctuaties van de energieprijzen per dag/week/jaar is beperkt.
	Energiekosten huishoudens	
	Verdeling van lasten en lusten energiesysteem	Investeringen voor een beperkte doelgroep worden niet door iedereen gedragen. Andersom worden investeringen van groot maatschappelijk belang (bv. warmtenet) eerlijk gedeeld. Daarnaast brede financiële participatie bij energieopwekking, zodat de hele samenleving hiervan kan profiteren.

Tabel 4.2 Beoordelingskader nevendoelestellingen planMER Energieperspectief 2050

Net als bij de beoordeling van de hoofddoelestellingen, bleek tijdens de beoordeling van de nevendoelestellingen dat er behoorlijke overlap zit tussen de sub indicatoren voor betrouwbaarheid en betaalbaarheid. De sub indicatoren zijn daarom niet apart beoordeeld. Wel is apart ingegaan op de betrouwbaarheid van het energiesysteem en de betaalbaarheid van energie.

4.4 Beoordelingskader (milieu)effecten

Aanvullend op de beoordeling van het doelbereik, zijn in het planMER de (milieu)effecten van de verschillende alternatieven voor het Energieperspectief 2050 in beeld gebracht en beoordeeld. Onderstaand is het beoordelingskader opgenomen waarmee deze beoordeling is uitgevoerd. Dit kader bevat de verschillende thema's, (sub)aspecten en indicatoren die een plek hebben in de beoordeling. Deels is er overlap tussen de beoordeling voor doelbereik en (milieu)effecten. Dit is het geval bij de nevendoelestelling 'Omgevingsbewust' (een van de drie Brabantse waarden voor het energiesysteem). Deze nevendoelestelling bevat een groot deel van de aspecten die bij de (milieu)effecten in beeld worden gebracht, zoals gezondheid, lucht- en watervervuiling, natuur, landschap en leefomgeving, en is daarom niet apart beoordeeld.

Thema	Aspect	Subaspect	Indicator
Bodem en water	Bodem	Bodem	Fysische kwaliteit
			Chemische kwaliteit
			Biologische kwaliteit (vitaliteit van de bodem)
	Water	Grondwater	Kwaliteit
			Kwantiteit
		Oppervlaktewater	Kwaliteit
			Kwantiteit
	Klimaatadaptatie	Klimaatadaptatie	Waterberging en waterveiligheid
			Droogte
			Zeespiegelstijging
Natuur en biodiversiteit	Natura 2000	Habitats	Instandhouding
			Abiotische condities
			Stikstofdepositie
	Natuurnetwerk Brabant (NNB)	NNB	Areaal
			Kwaliteit natuurtypen
			Abiotische condities
			Realisatie EVZ's
	Natuur buiten beschermde gebieden	Natuur buiten beschermde gebieden	Waardevolle natuur buiten NNB
	Flora en fauna	Soorten en populaties	Soortenrijkdom (biodiversiteit)
Ruimtelijke kwaliteit	Ruimtelijke kwaliteit	Ruimtelijke kwaliteit	Belevingswaarde
			Gebruikswaarde (wonen, werken, recreatie en landbouw)
			Toekomstwaarde
			Herkomstwaarde
Gezonde en veilige leefomgeving	Gezonde en veilige leefomgeving	Geluid	Geluidhinder
		Luchtkwaliteit	Stikstofoxiden
			Fijn stof
		Slagschaduw	Hinder door slagschaduw
		Overige gezondheidseffecten	Overige gezondheidseffecten (magneetvelden en stress)
		Externe veiligheid	Invloed op (beperkt) kwetsbare objecten
			Invloed op andere risicovolle bronnen
		Luchtvaartveiligheid	Invloed op luchtvaartveiligheid
Economie	Natuurlijke hulpbronnen	Natuurlijke hulpbronnen	Invloed op natuurlijke hulpbronnen
	Circulariteit	Circulariteit	Hergebruik materialen en grondstoffen
	Economische vitaliteit	Economische vitaliteit	Invloed op economische vitaliteit

Tabel 4.3 Beoordelingskader milieu- en omgevingseffecten planMER Energieperspectief 2050

4.5 Detailniveau en visualisatie

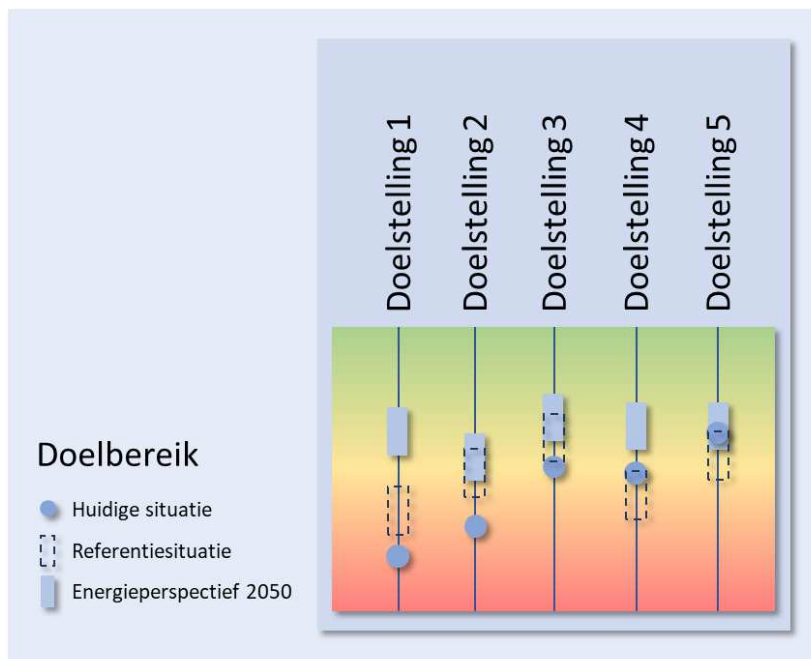
Beoordeling alternatieven

Voor de te onderzoeken alternatieven (zie hoofdstuk 3) is voor alle indicatoren uit het beoordelingskader kwalitatief onderzocht welke effecten kunnen worden verwacht. Deze effecten zijn gebaseerd op literatuur en expert judgement, waar mogelijk ondersteund met enkele kwantitatieve analyses. Deze effecten zijn beoordeeld op een schaal, zoals getoond in Figuur 4.2.

Visualisatie doelbereik en effecten

De effectbepaling in een planMER gaat, gezien het hoge abstractieniveau, altijd gepaard met onzekerheden. Het doelbereik en de effecten zijn in het planMER daarom gevisualiseerd met behulp van 'schuifjes', die de onzekerheid ten aanzien van de te behalen doelen aangeven. In Figuur 4.2 is een voorbeeld opgenomen voor het doelbereik van een aantal fictieve doelstellingen.

In de figuur voor het doelbereik is gevisualiseerd waar de situatie in de provincie op dit moment staat ten opzichte van het doel (huidige situatie), waar de situatie naar verwachting zal staan in het zichtjaar van het planMER (bv. 2050, referentiesituatie) en waar de situatie naar verwachting zal komen te staan met de beleidsmaatregelen uit het Brabants Energieperspectief 2050. De verticale positie van de stip (huidige situatie) en de schuifjes (referentie en Energieperspectief 2050) zeggen iets over de afstand tot het doel. Hoe hoger het schuifje, hoe meer het doel in zicht komt. Op deze manier is zowel zichtbaar wat de bijdrage van het Brabants Energieperspectief 2050 is ten opzichte van de referentiesituatie, als de mate waarin de doelen in beeld komen met de maatregelen uit het Brabants Energieperspectief 2050. De onzekerheden zijn daarbij gevisualiseerd door de hoogte van de schuifjes zelf. De milieueffecten zijn op eenzelfde manier gevisualiseerd. Daarbij is er geen sprake van een te behalen doel, maar is een beoordeling gegeven van de huidige staat voor het betreffende criterium en de invloed daarop als gevolg van de referentiesituatie en het Brabants Energieperspectief 2050.



Figuur 4.2 Fictief voorbeeld visualisatie doelbereik

5 Referentiesituatie

5.1 Beschrijving van het Brabantse energiesysteem

5.1.1 Energieverbruik

Huidige energieverbruik

Tabel 5.1 laat het totaal bekende energieverbruik (aardgas, elektriciteit, stadswarmte, verkeer/vervoer en overige warmte) zien voor de jaren 2018 tot en met 2023. De gegevens komen uit de klimaatmonitor²⁴. Te zien is dat er sprake is van een dalende trend in het verbruik van ongeveer 280PJ in 2018 tot iets meer dan 230 PJ in 2023. In 2022 bedroeg het totale bekende energieverbruik 239,6 PJ volgens de klimaatmonitor

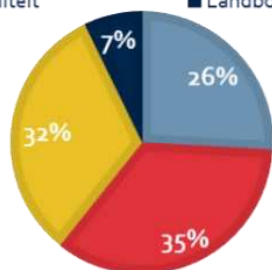
Tabel 5.1 Totaal bekend energieverbruik in PJ tussen 2018-2022. Bron: Klimaatmonitor

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Totaal bekend energieverbruik in PJ	279,7	277,4	262,9	261,4	239,6	233,4

Figuur 5.1 geeft de verdeling van de energievraag per sector en per drager weer. Ruim een derde van de energievraag is afkomstig van de gebouwde omgeving, gevolgd door een derde vanuit de mobiliteitssector. De industrie beslaat ongeveer een kwart van de vraag en de landbouw ten slotte 7%, voornamelijk afkomstig van de glastuinbouw.

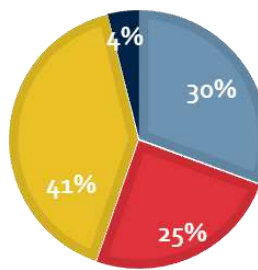
Huidige energievraag per sector

■ Industrie ■ Gebouwde omgeving
■ Mobiliteit ■ Landbouw



Huidige energievraag per drager

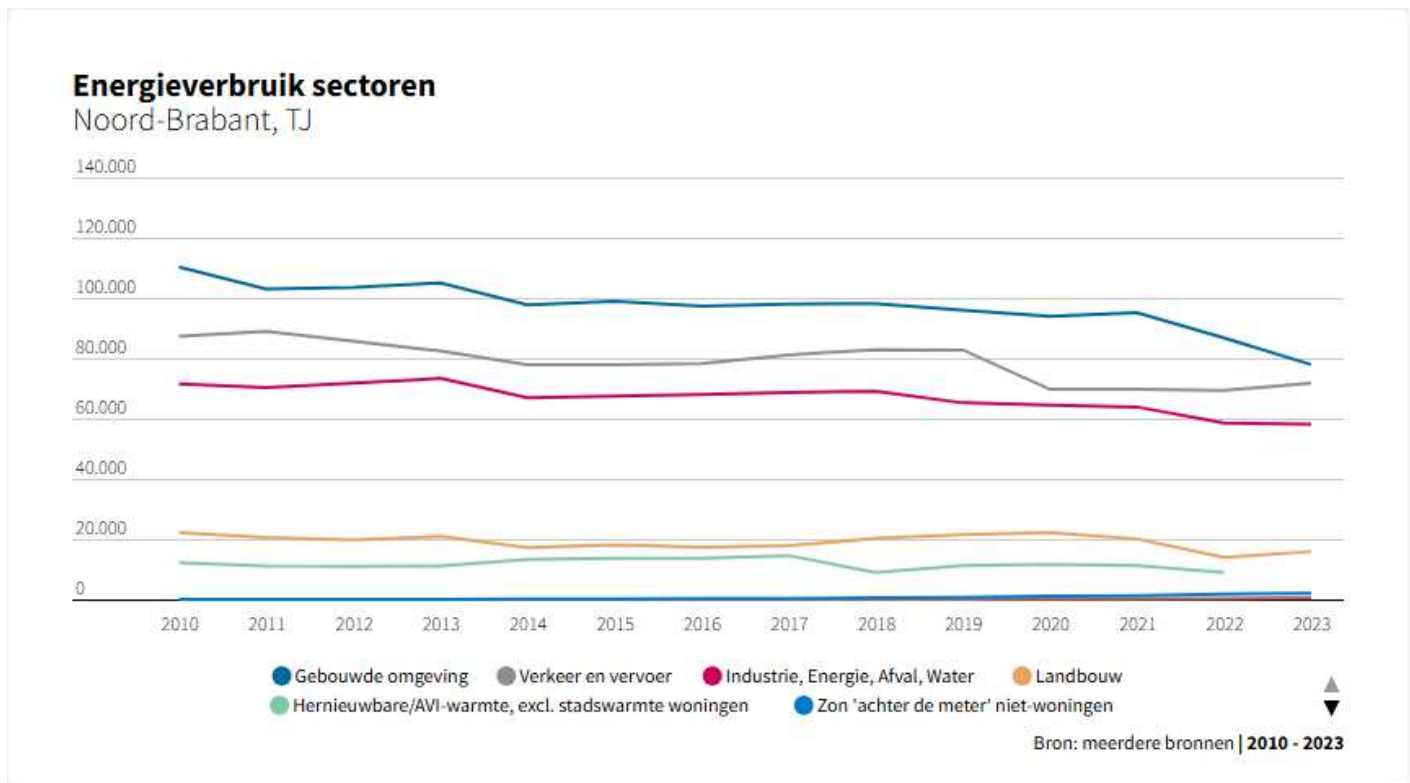
■ Voertuigbrandstoffen ■ Elektriciteit ■ Aardgas ■ Hernieuwbare warmte



Figuur 5.1 Huidige energievraag (2023) per sector (links) en drager (rechts) in Brabant. Bron: Klimaatmonitor.

Zoals weergegeven in Tabel 5.1 is er sprake van een licht dalende trend in energieverbruik. Gekeken naar de opbouw van energieverbruik per sector in Figuur 5.1 is deze daling voornamelijk waarneembaar in de gebouwde omgeving. De daling binnen deze sector is afkomstig van een daling in aardgasgebruik, met name tussen 2021 en 2023. Sinds eind 2021 zijn de energieprijzen sterk toegenomen door onder andere de Russische invasie van Oekraïne. Vooral grote industriële bedrijven, huishoudens en glastuinbouwbedrijven hebben hierdoor minder aardgas verbruikt. Daarnaast droeg bij huishoudens het warme weer en de zachte winters ook bij aan de vermindering van aardgasgebruik. Het is niet duidelijk in hoeverre het verminderd energieverbruik van de afgelopen drie jaar structureel is.

²⁴ [DASHBOARD - Energieverbruik - Noord-Brabant](#)



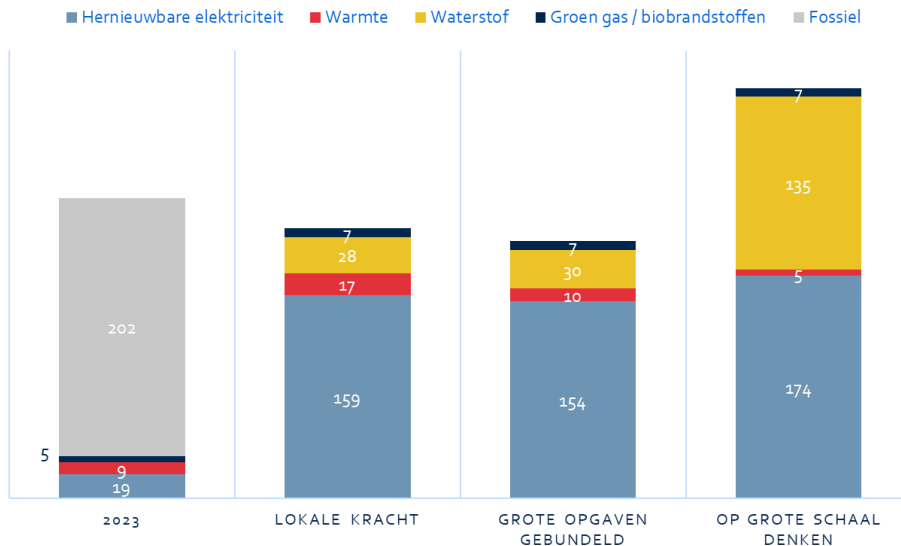
Figuur 5.2 Energieverbruik per sector, Bron: Klimaatmonitor

Mogelijke ontwikkeling energievraag in Brabant

De Brabantse energievraag kan zich op meerdere manieren ontwikkelen. Dit is afhankelijk van keuzes van overheden, zoals de provincie, maar ook van keuzes van bedrijven, inwoners en bijvoorbeeld van prijsontwikkelingen van energiedragers zoals waterstof. CE Delft heeft in 2023 onderzocht hoe de vraag naar energie zich kan ontwikkelen richting 2050²⁵ in de verschillende alternatieven voor het toekomstige energiesysteem in Brabant (Lokale kracht, De grote opgaven gebundeld, en Op grote schaal denken). In het systeemalternatief 'Lokale Kracht' ligt de sturing op het energiesysteem grotendeels bij lokale en regionale overheden. Het regionale potentieel voor verduurzaming wordt daarin maximaal benut en daarom wordt veel gebruik gemaakt van elektriciteit en lokale warmtebronnen. In het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' ligt de sturing van de energietransitie grotendeels bij de rijksoverheid. Daardoor zijn er veel grootschalige nationale projecten, met name windparken op zee, in combinatie met waterstofproductie. Hierdoor wordt ook in dit alternatief veel gebruik gemaakt van elektriciteit. In het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' is er veel import van duurzame energie vanuit andere landen in Europa en de rest van de wereld. Dit leidt in Nederland tot een groei van de energie-intensieve industrie en veel import van duurzame energie, met name van waterstof. De vraag naar energie stijgt sterk in dit alternatief door de groei van de energie intensieve industrie. In Figuur 5.3 is de energievraag in de drie alternatieven (scenario's) weergegeven ten opzichte van het verbruik in 2023. De figuur laat ook zien dat in 2023 in totaal 33 PJ van de verbruikte energie duurzame energie was. De rest was fossiele energie.

²⁵ [Brabants energiesysteem ontwikkelingen richting 2050](#)

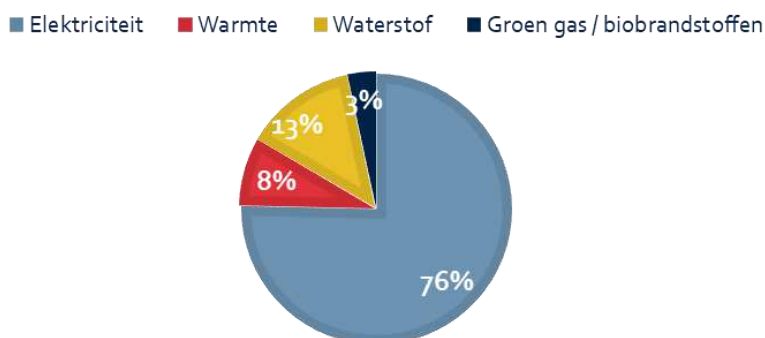
Verdeling energievraag dragers per scenario



Figuur 5.3 Energievraag voor de verschillende systeemalternatieven

Voor het systeemalternatief 'Lokale kracht' is in Figuur 5.4 de procentuele verdeling van de energievraag in 2050 over de dragers aangegeven. Dit systeemalternatief pas het beste bij de huidige ontwikkelingen die zowel lokale en regionale sturing laten zien, als sturing door de rijksoverheid. Daarbij moet worden aangetekend dat deze verdeling geen vastomlijnd eindbeeld geeft. In de energietransitie worden beslissingen door vele partijen genomen, en hangt de vraag naar energie ook af van de beschikbaarheid ervan en de prijs. Deze kennen veel onzekerheden waardoor de uiteindelijke vraag naar energie er in 2050 anders uit kan zien dan het systeemalternatief 'Lokale Kracht' aangeeft.

Energievraag per drager "lokale kracht"



Figuur 5.4 Energievraag per drager in 2050 voor het systeemalternatief 'Lokale kracht'

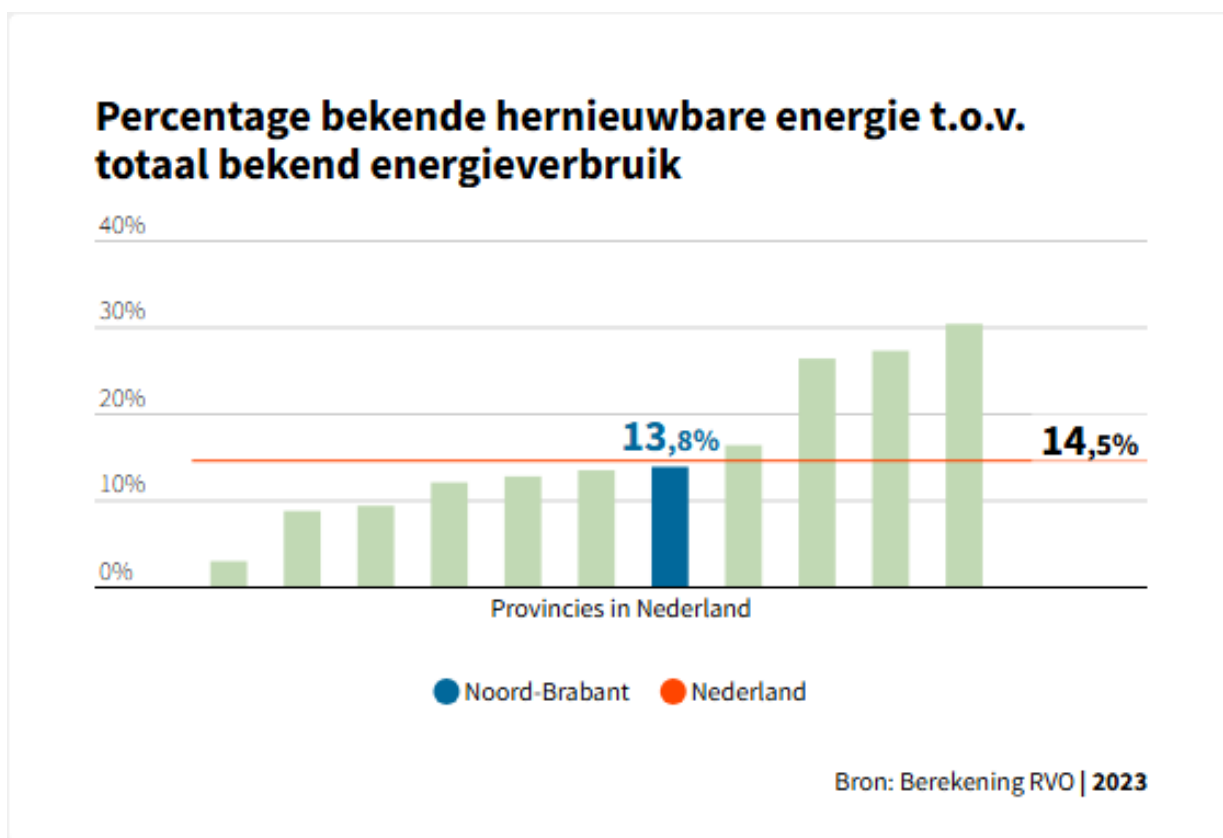
'Lokale kracht' laat een lichte daling zien van de vraag naar energie, namelijk van 235 PJ in 2023 naar 211 PJ in 2050. Die daling is vooral te verklaren door de afbouw van het gebruik van fossiele brandstoffen zoals benzine, diesel en aardgas. Alternatieven hiervoor zoals elektromotoren en elektrische verwarmingstechnieken zijn veel efficiënter dan verbrandingsmotoren en CV ketels. Deze alternatieven kennen veel minder warmteverlies, waardoor er minder energie nodig is om bijvoorbeeld dezelfde binnentemperatuur te halen. Het energiesysteem wordt door verduurzaming dus efficiënter. Naast deze technologische veranderingen dragen ook energiebesparing en betere isolatie van gebouwen bij aan een lagere energievraag.

Door de uitfasering van fossiele brandstoffen worden deze vervangen door duurzame energie, en neemt de vraag daarvan toe van 33 PJ naar 211 PJ. De grootste stijging zit in de vraag naar duurzame elektriciteit, namelijk van 19 PJ naar ongeveer 159 PJ. Dat komt doordat elektrificatie een verduurzamingsroute biedt voor alle sectoren en met name

voor de mobiliteitssector. Die gaat vrijwel geheel over op elektriciteit. Voor de gebouwde omgeving, landbouw en industrie komen (steeds meer) alternatieven beschikbaar, zoals hernieuwbare warmte en waterstof, maar ook in deze sectoren zal verduurzaming deels door elektrificatie worden bereikt.

5.1.2 Aandeel duurzaam opgewekte energie

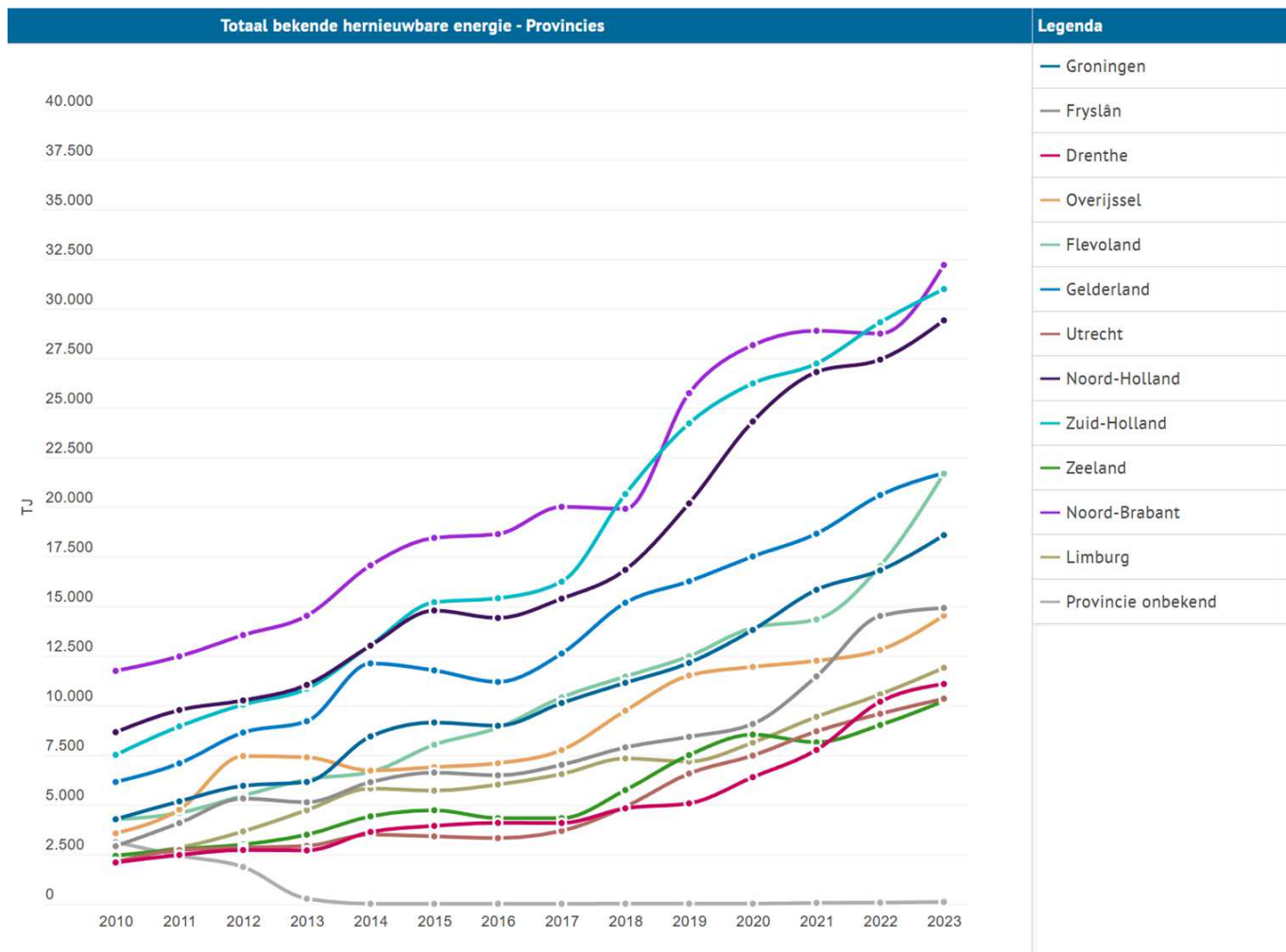
Het aandeel hernieuwbare energie is gestaag gestegen in de provincie Noord-Brabant, zoals weergegeven in Figuur 5.7. De productie van hernieuwbare energie in Brabant was in 2021 133% hoger dan in 2010²⁶. Dit komt met name door de snelle groei in de productie van hernieuwbare elektriciteit, zoals te zien in Figuur 5.8. Tussen 2010 en 2021 is die productie verzesvoudigd. In 2023 bestond 13,8% van het Brabantse energieverbruik uit duurzaam opgewekte energie²⁷. Figuur 5.5 laat zien dat Brabant daarmee relatief gezien in de middenmoot van Nederland zit. Figuur 5.6 laat echter zien dat Brabant in 2023 absoluut gezien de meeste hernieuwbare energie produceerde.



Figuur 5.5 Percentage bekende hernieuwbare energie t.o.v. bekend energieverbruik (2023), bron: Klimaatmonitor

²⁶ Provincie Noord-Brabant. (september 2024). Uitvoeringsagenda Energie 2024-2027.

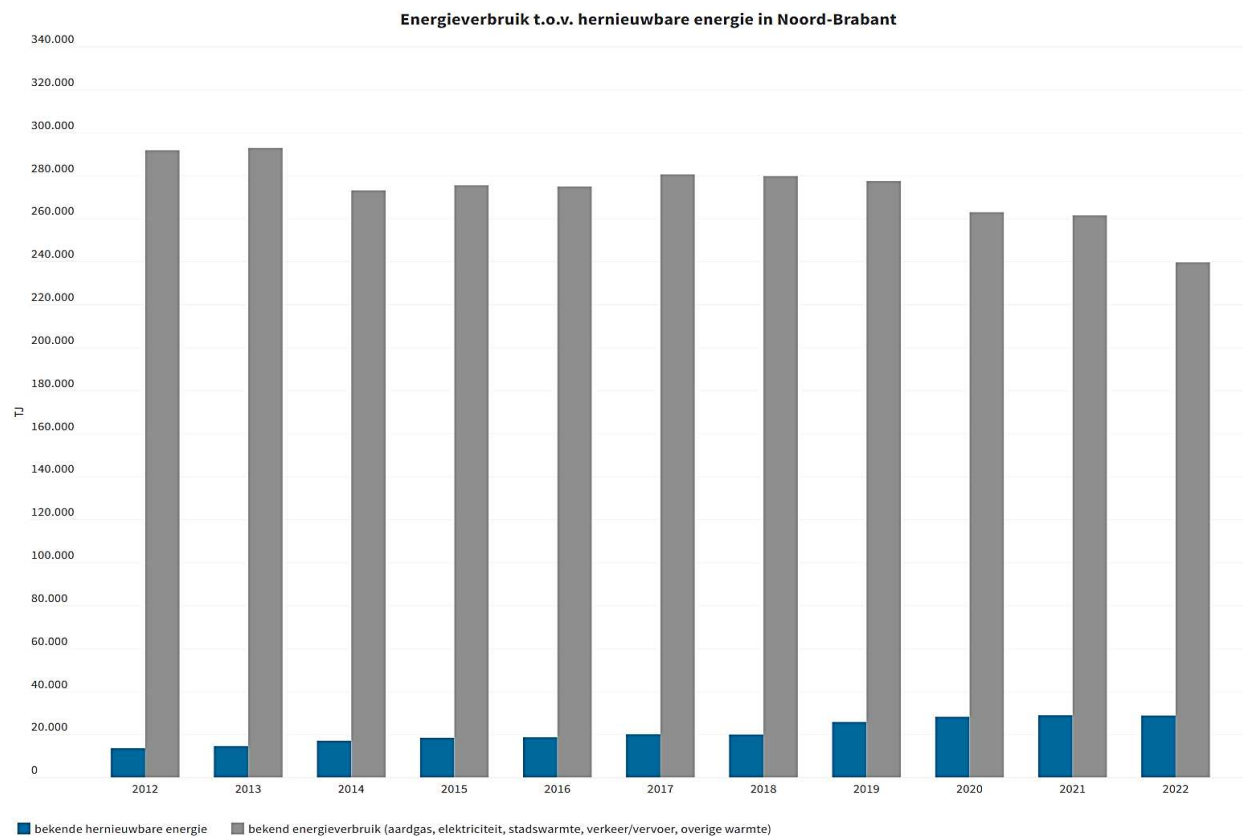
²⁷ Nationale Klimaatmonitor. RVO. Geraadpleegd in november 2025.



Figuur 5.6 Totaal bekende hernieuwbare energie per provincie, in TJ (2010-2023), bron: Klimaatmonitor

Het grootste gedeelte van de energievraag wordt nog steeds ingevuld door fossiele brandstoffen (aardgas, benzine en diesel). De provincie loopt hiermee achter op haar gesteld doelstelling van 50% duurzame energie in 2030. De Zuidelijke Rekenkamer heeft dan ook geconstateerd dat het doel voor 2030 met de huidige trend niet realistisch is²⁸.

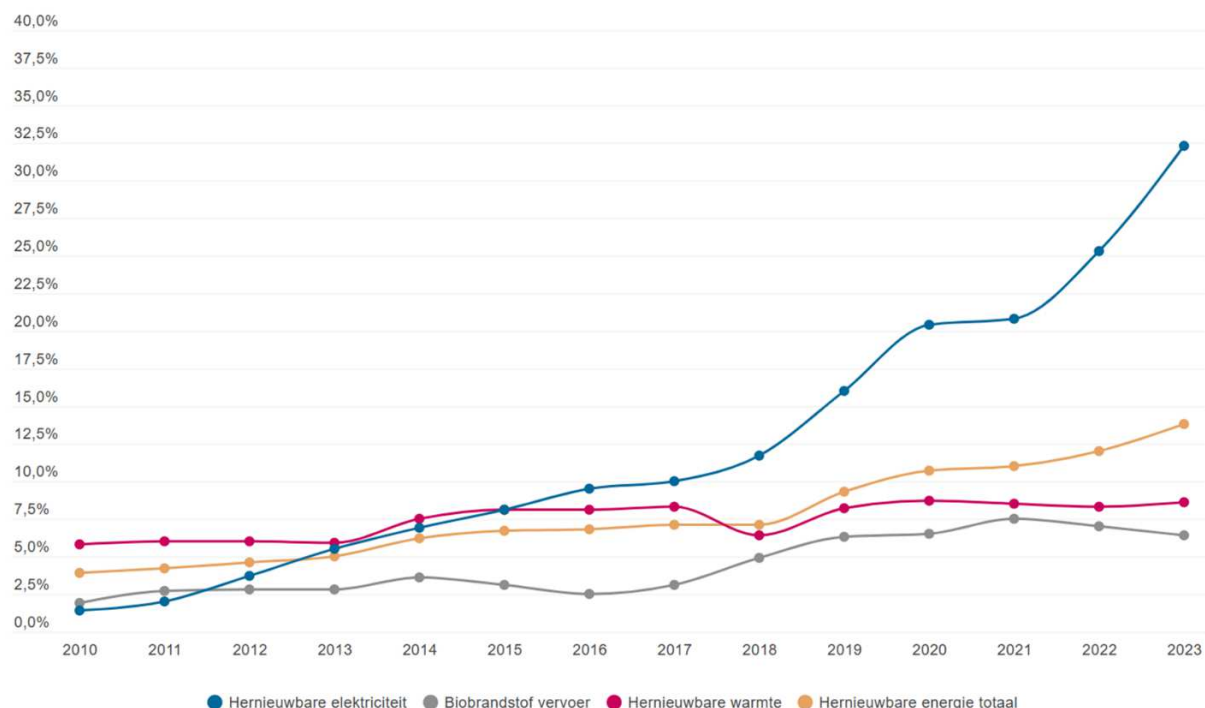
²⁸ [Zuidelijke Rekenkamer \(2023\). Voortgang energietransitie provincie Noord-Brabant.](#)



Bron: Verdeling regionale gegevens hernieuwbare energie o.b.v. verdeelsleutel per gemeente, Berekening (sub)totalen energieverbruik

Figuur 5.7 Aandeel hernieuwbare energie ten opzichte van het totale energieverbruik in de provincie Noord-Brabant voor de jaren 2012-2022. Bron: Nationale Klimaatmonitor.

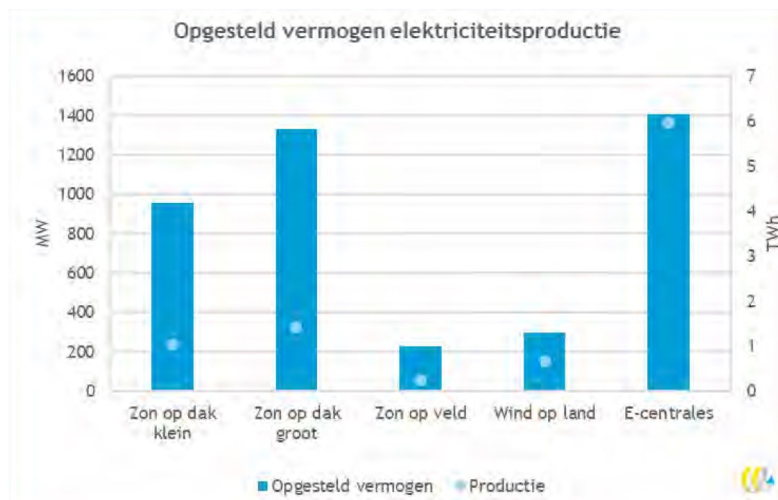
Percentage bekende hernieuwbare energie t.o.v. totaal verbruik - Noord-Brabant, %



Bron: Berekening o.b.v. gegevens meerdere bronnen | 2010 - 2023

Figuur 5.8 Percentage hernieuwbare energie ten opzichte van het totale verbruik voor elektriciteit, biobrandstof vervoer en warmte. Bron: Nationale Klimaatmonitor, geraadpleegd in november 2025.

Noord-Brabant wekt een deel van de energie die het verbruikt binnen de eigen provincie op (ongeveer 15% in 2021). Hierbij wordt voornamelijk elektriciteit geproduceerd. Dit gebeurt met behulp van hernieuwbare bronnen zoals zon en wind, en door elektriciteitscentrales in Moerdijk en Geertruidenberg. Circa 55% van de gebruikte elektriciteit in Brabant wordt in 2021 binnen de provincie opgewekt²⁹. Figuur 5.9 laat zien dat er in 2021 al een fors vermogen aan zon op dak is in de provincie, in totaal meer dan 2.000 MW. Daarnaast is er ongeveer 200 MW aan zon op veld en 300 MW aan wind op land. Naast dit hernieuwbare vermogen is er ongeveer 1.400 MW opgesteld vermogen aan elektriciteitscentrales.



Figuur 5.9 Opgesteld vermogen en elektriciteitsproductie Noord-Brabant (2021), Bron: CE Delft, 2023

Voor de energiedrager warmte worden momenteel warmtenetten ontwikkeld en aardwarmte onderzocht. Hoewel de warmtetransitie ook een belangrijk thema is, is de voortgang hiervan – in vergelijking tot opwek duurzame elektriciteit – redelijk beperkt. Er zijn lokale warmte-netten in de gemeentes Bergen op Zoom, Boxtel, Den Bosch, Eindhoven, Roosendaal, Goirle en Helmond. Deze warmtenetten hebben lokale warmtebronnen zoals warmtekrachtcentrales, warmtekrachtkoppelingen en biomassacentrales. Daarnaast is een groot bovenlokaal warmtenet aanwezig, het warmtenet Midden- en West-Brabant (Amernet). Hier zijn 51.000 huishoudens en 355 bedrijven op aangesloten in Breda, Tilburg, Oosterhout, Geertruidenberg, Drimmelen en Made. Het grootste deel van de geleverde warmte is afkomstig van de Amercentrale in Geertruidenberg.

Mogelijke ontwikkeling aanbod duurzame energie

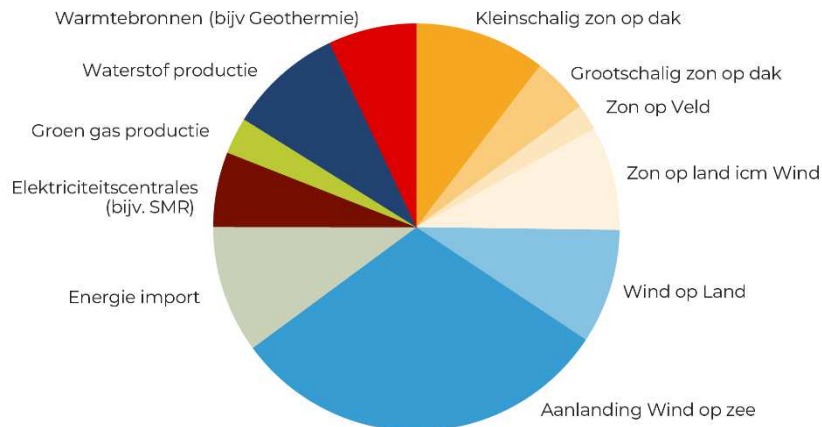
Voor de grootschalige opwek van elektriciteit uit zon en wind hebben de vier Brabantse RES-regio's met het Rijk afgesproken om in 2030 24,5 PJ elektriciteit uit zon en wind te produceren. Verdere opschaling daarvan is mogelijk op basis van de potentie van met name zon op dak. Daarnaast komen ook innovatieve technologieën in beeld voor opwek van elektriciteit zoals gesmolten zout reactoren, small modular reactoren en oxidatie van ijzerpoeder. Ook op kleinschaliger niveau zoals energiegemeenschappen, energiehubs, ondernemers, overheden en burgers wordt productie van elektriciteit gestimuleerd en georganiseerd. Het gaat daarbij veelal om het zelf opwekken van zon- en windenergie op om zelf te gebruiken of lokaal te verdelen.

Om een deel van het huidige gasverbruik voor lage en midden temperatuur te vervangen beschikt Brabant over lokale hernieuwbare warmtebronnen zoals geothermie en aquathermie. De provincie heeft de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar de potentie van warmte-oplossingen. Daaruit is gebleken dat daarmee ongeveer 35% van de gebouwde omgeving verwarmd kan worden door middel van warmtenetten in combinatie met duurzame warmtebronnen.

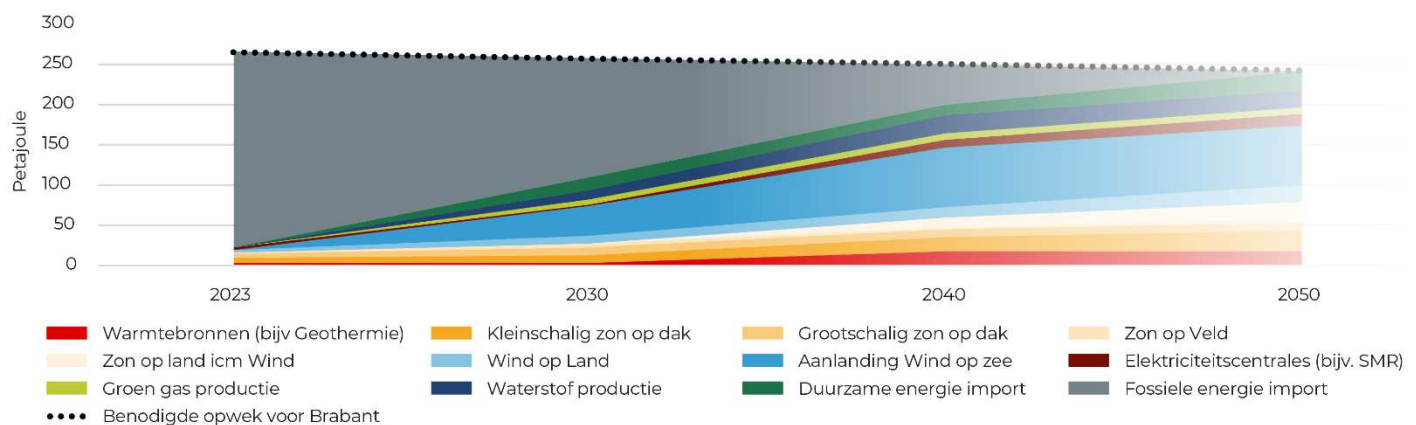
Het aanbod van duurzame moleculen bestaat op dit moment uit groen gas. Ongeveer 5% van de totale potentie wordt benut, waardoor ruimte is voor opschaling. In Brabant wordt nog geen groene waterstof geproduceerd en het is nog onzeker of grootschalige productie van waterstof ontwikkeld wordt. Dat is afhankelijk van de besluiten over aanlandingen van wind op zee.

²⁹ [CE Delft \(2023\). Brabants energiesysteem: Ontwikkelingen richting 2050 en ruimtelijke consequenties.](#)

Figuur 5.10 laat een mogelijke bronnenmix zien die op basis van het systeemalternatief 'Lokale Kracht' kan ontstaan. Figuur 5.11 geeft daarbij het ontwikkelpad weer. Ook deze bronnenmix en groeipaden zijn omkleedt met vele onzekerheden, bijvoorbeeld over de aanlanding van wind op zee in Brabant en de verdere ontwikkeling van wind op zee, de import van waterstof via de (aftakkingen) van de Delta Rhine Corridor en de realisatie van kleine modulaire kerncentrales.



Figuur 5.10 Mogelijke bronnenmix in 2050



Figuur 5.11 Mogelijk ontwikkelpad van de bronnenmix richting 2050

5.1.3 Verhouding piek/dal, verbruik en aanbod

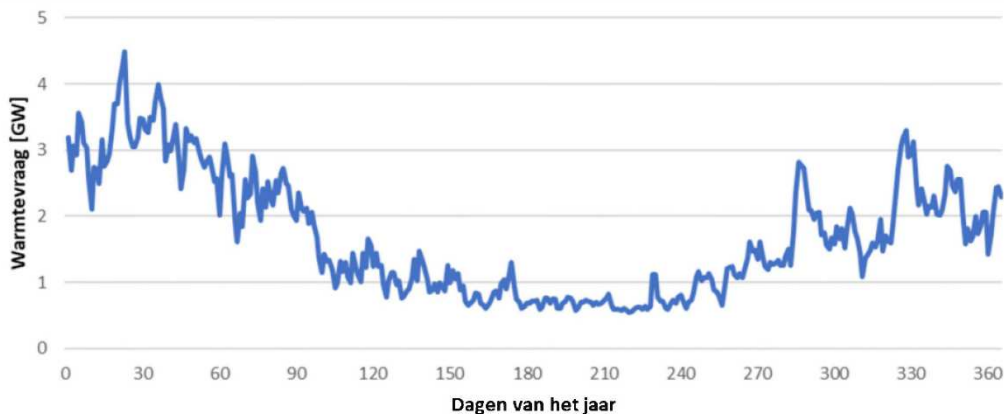
In de studie van DNV naar het energiesysteem in Noord-Brabant³⁰ uit 2021 zijn vraag en aanbodprofielen opgenomen die voor elk uur van een jaar aangeven hoe groot het aanbod en de vraag is. Een profiel geeft bijvoorbeeld voor elk uur van het jaar aan hoe groot de opbrengst van een zonnepaneel is en hoe dit zich verhoudt tot de vraag naar elektriciteit en warmte van een huis(houden). De profielen zijn gebaseerd op historische gegevens. Ondanks dat de profielen engszins verouderd zijn, geven ze nog steeds een goede indicatie van de verschillen in vraag en aanbod gedurende een dag, week en jaar.

Voor de vraag is gebruikt gemaakt van jaarprofielen (op uurbasis) die grotendeels gebaseerd zijn op profielen van de netbeheerders. Er zijn voor verschillende sectoren (woningen, dienstverlening, industrie en landbouw) aparte profielen voor elektriciteit en voor warmte. Voor de warmte onderscheidt men de vraag naar warm tapwater, ruimteverwarming en de warmte en stoomvraag voor de industrie. Daarnaast zijn er ook aparte profielen voor elektriciteit gebruik. Voor woningen en industrie is onderscheid gemaakt tussen gebruik van diverse elektrische apparaten en de inzet van warmtepompen en airco's.

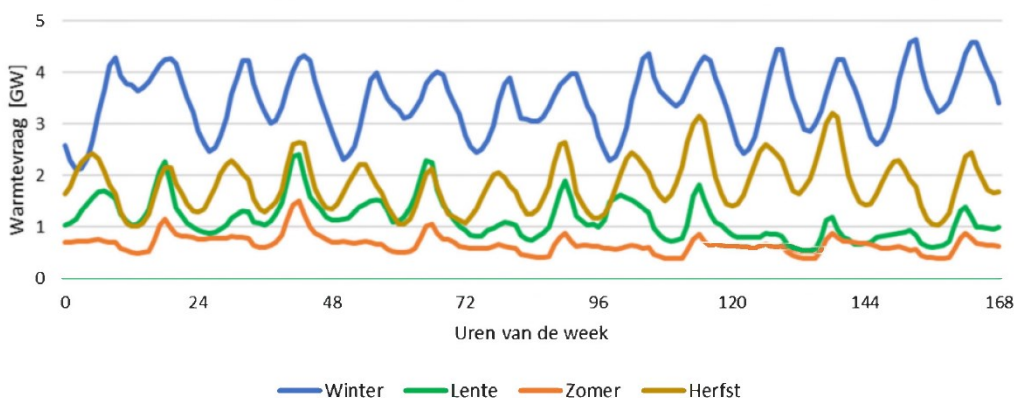
³⁰ DNV GL Netherlands B.V. (2021). Energiesysteem studie Noord-Brabant.

Warmtevraag in 2050

Figuur 5.12 geeft voor alle dagen in het jaar 2050 aan wat per dag de totale warmtevraag in Noord-Brabant is. De figuur laat zien op de koudste dag van het jaar is 4,5 GW aan vermogen nodig om te verwarmen. Dat is bijna zes keer zoveel dan op de dag met de minste vraag. Die heeft een vermogen nodig van 0,8 GW. In de zomer bestaat de vraag uit een constante vraag naar warm tapwater voor huishoudens en de warmte vraag voor de industrie. Dit is nog beter te zien in Figuur 5.13 die per seizoen de warmtevraag in een representatieve week geeft. Het profiel in zomer (week 31) is relatief vlak. In de winter en (iets minder) in de herfst zien we grote pieken (in de vraag naar warmte).



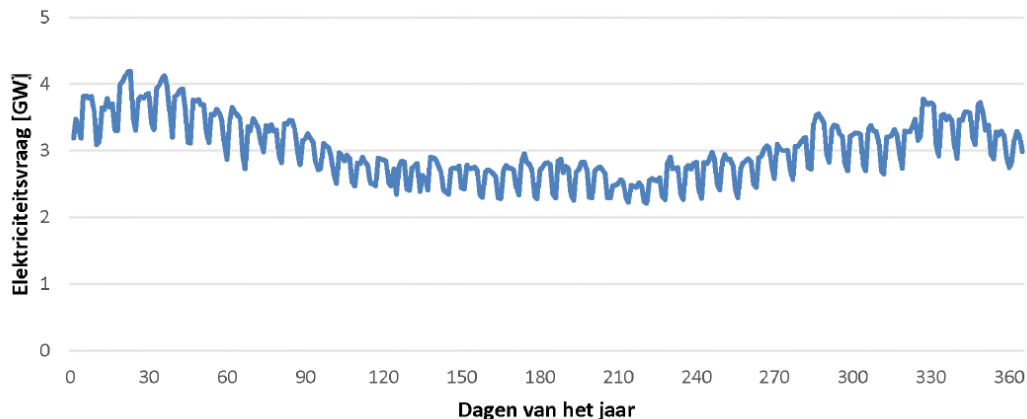
Figuur 5.12 Jaarprofiel warmtevraag Brabant in 2050 (gemiddelde vraag per dag), bron: DNV, 2021



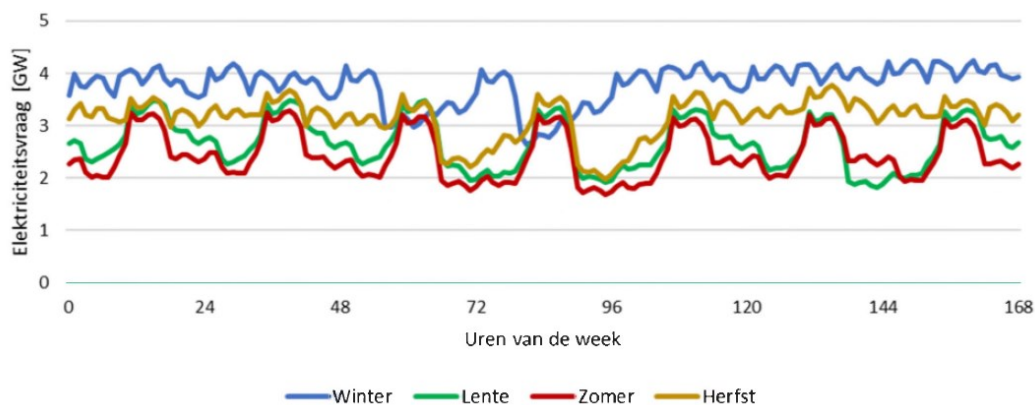
Figuur 5.13 Warmtevraag in de seizoenen in 2050, bron: DNV, 2021

Elektriciteitsvraag in 2050

Figuur 5.14 geeft voor alle dagen in het jaar 2050 aan wat per dag de totale elektriciteitsvraag in Noord-Brabant is. Uit de figuur blijkt dat de vraag in de winter hoger is dan in de zomer. Dit komt vooral door de hogere elektriciteitsvraag voor de warmtepompen die voor de warmtevoorziening nodig zijn. Hetzelfde is ook te zien in Figuur 5.15 die per seizoen de elektriciteitsvraag in een representatieve week in 2050 weergeeft. De figuur geeft vooral voor de zomer en lente weken relatief grillige patronen. Die worden vooral veroorzaakt door de interactie van de basisvraag en het laadpatroon voor elektrisch vervoer. Daarnaast valt op dat de vraagpatronen van lente en zomer zeer op elkaar lijken. De herfst wijkt hiervan af door de relatief hoge constante vraag in (de aanloop naar) het weekend (uren 100 tot 140). De extra vraag in de winter wordt veroorzaakt door de elektriciteitsvraag van warmtepompen.



Figuur 5.14 Jaarprofiel elektriciteitsvraag Brabant in 2050 (gemiddelde vraag per dag), bron: DNV, 2021

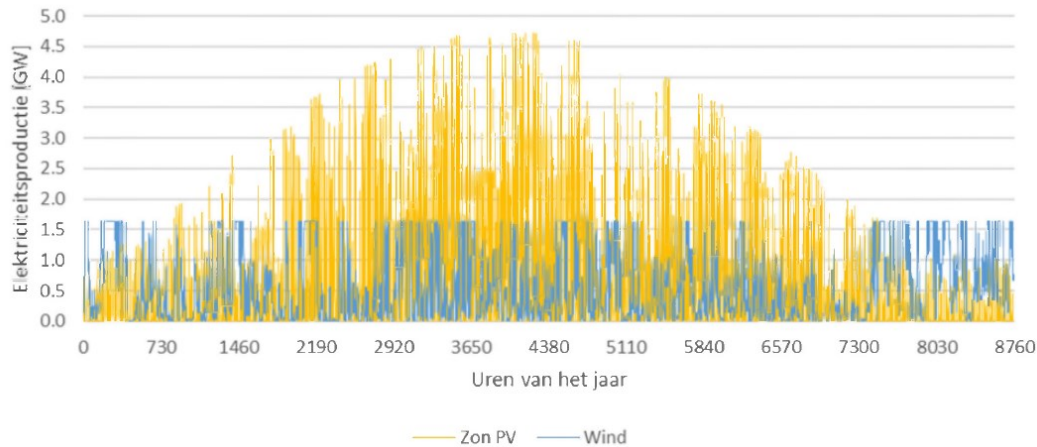


Figuur 5.15 Elektriciteitsvraag in de seizoenen in 2050, bron: DNV, 2021

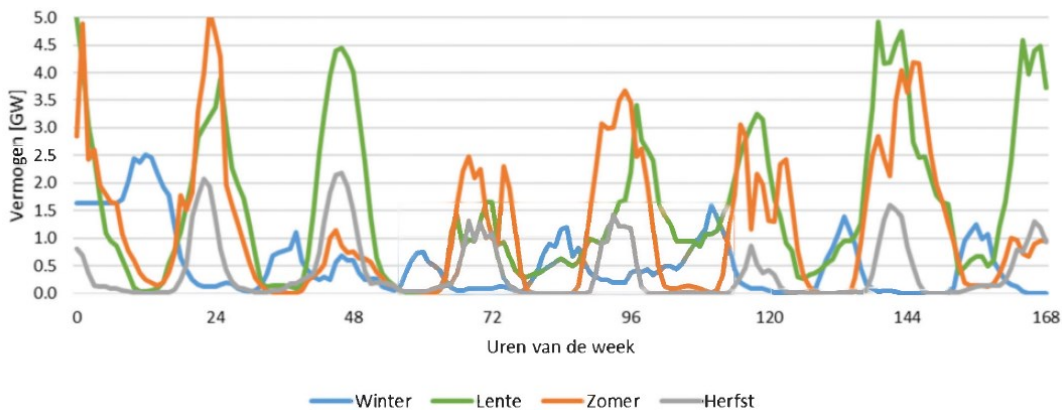
Elektriciteitsaanbod in 2050

Voor het aanbod zijn specifieke profielen gebruikt voor zon (PV), wind op land en wind op zee (situatie 2021). Daarbij is een energiemix gebruikt met een groot aandeel lokale productie. Voor overige bronnen zoals geothermie en aquathermie zijn constante profielen gebruikt.

Figuur 5.16 geeft voor alle dagen per jaar voor de gekozen energiebronnenmix het totale aanbod aan elektriciteit. De figuur laat zien dat in de wintermaanden, door de lage opbrengsten van zon, het aandeel wind iets groter is dan het aandeel zon. In deze periode worden de relatief lage opbrengsten uit zon-PV, gecompenseerd door de relatief hoge opbrengsten uit wind. In de late lente en de zomer zien we dat het aandeel zon vaak 3 maal zo hoog is als het aandeel wind. De figuur geeft alleen het aanbod van zon en wind uit Noord-Brabant. Figuur 5.17 laat zien dat deze energiemix vooral in de lente en zomer regelmatige grote uuropbrengsten leveren. In de herfst en winter zien we lagere pieken en ook dat de opbrengsten regelmatig nihil zijn (op de nagenoeg windstille langere nachten).



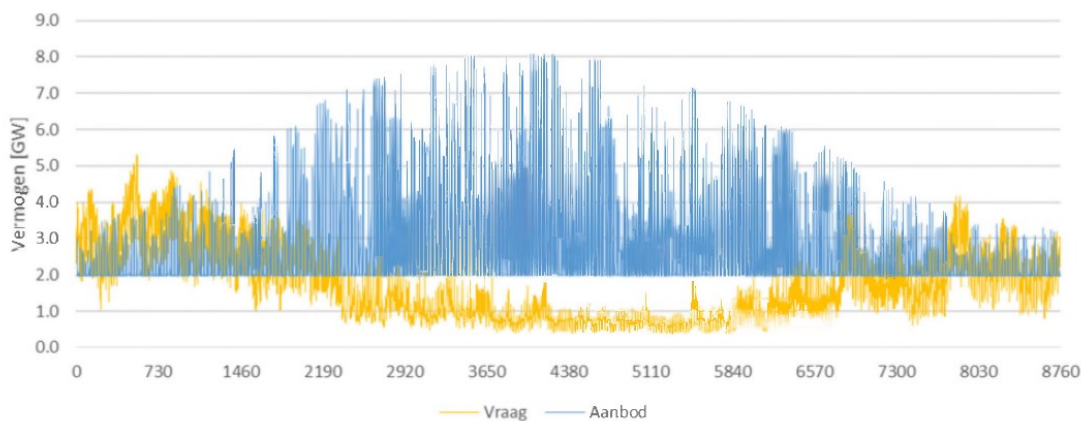
Figuur 5.16 Jaarprofiel lokaal zon en wind aanbod Brabant in 2050, bron: DNV, 2021



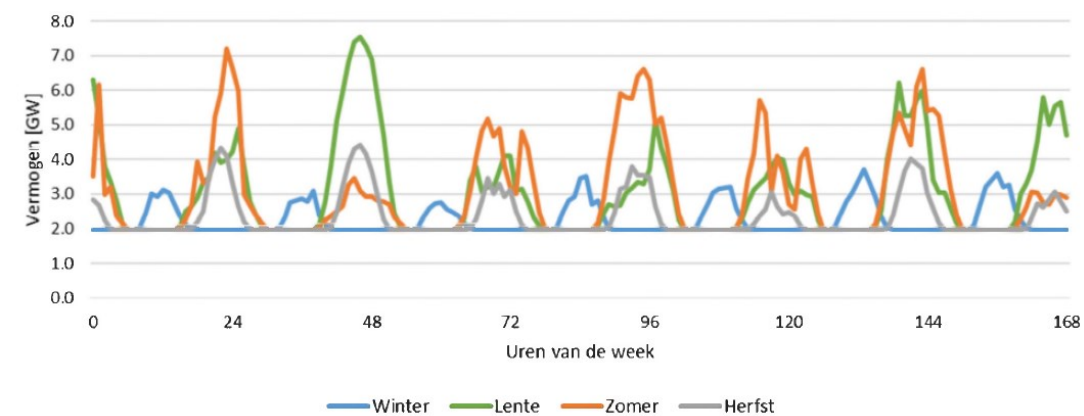
Figuur 5.17 Aanbod zon en wind in de seizoenen in Brabant in 2050, bron: DNV, 2021

Warmte aanbod in 2050

Figuur 5.18 geeft het jaarprofiel voor warmte vraag en aanbod voor Noord-Brabant in 2050 in de gekozen energiemix. Er is een constant aanbod (vlak profiel) het jaarrond van 2 GW uit geothermie, aquathermie en restwarmte van de industrie. Daarnaast is er nog een fluctuerend aanbod van zonnewarmte. De figuur laat duidelijk zien dat er in de zomer 5-7 GW aan warmte geoogst kan worden en dat er maar een vraag van 1-2 GW is. Voor warmte is aangenomen dat alle warmtebronnen behalve zonnewarmte een profiel hebben dat vlak is. De pieken in de weekprofielen in Figuur 5.18 worden veroorzaakt door het wisselende aanbod zonnewarmte. Figuur 5.19 geeft het aanbod van warmte uit de gekozen bronnenmix, uitgedrukt in het gemiddeld (vermogens)aanbod per karakteristieke week van de vier seizoenen (winter, lente, zomer, herfst).



Figuur 5.18 Jaarprofiel vraag en aanbod warmte in Brabant in 2050, bron: DNV, 2021



Figuur 5.19 Aanbod warmte in de seizoenen in Brabant in 2050, bron: DNV, 2021

5.1.4 CO₂-uitstoot

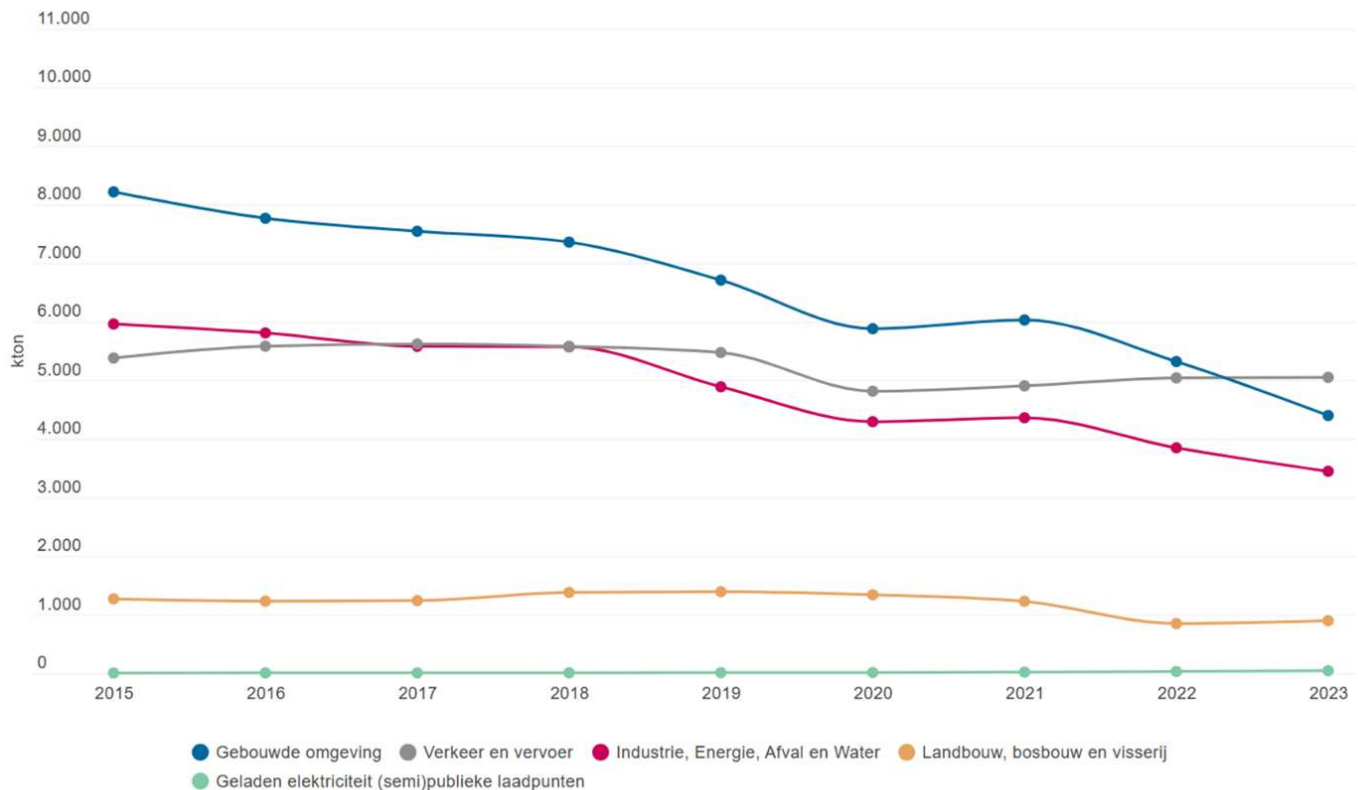
De klimaatmonitor laat zien dat Noord-Brabant het totaal aan broeikasgassen in 2023 met bijna 43% heeft gereduceerd ten opzichte van 1990. De daling van het totale energiegebruik en de toename van het gebruik van hernieuwbare energie hebben bijgedragen aan deze daling van de energie gerelateerde CO₂ -uitstoot³¹. Tabel 5.2 geeft een overzicht van de CO₂ cijfers in kTon/jaar. De provincie heeft als doelstelling om haar CO₂ uitstoot in 2030 met 55% verlaagd te hebben ten opzichte van 1990.

Tabel 5.2 CO₂ cijfers in kTon/jaar. Bron: Nationale Klimaatmonitor.

Jaar	Bekende CO ₂ -uitstoot (aardgas, elektr., stadswarmte, voertuigbrandstoffen) [kton]	Emissies overige broeikasgassen (CO ₂ -eq.) excl. luchtvaart en zeevaart [kton CO ₂ -equivalent]	Totaal Broeikasgassen
1990	21.000	10.600	31.600
2015	20.813	5.001	25.814
2019	18.456	4.564	23.020
2020	16.321	4.479	20.800
2021	16.522	4.352	20.874
2022	15.067	4.250	19.317
2023	13.815	4.220	18.035
1990-2023	-34,2%	-60,2%	-42,9%

Figuur 5.20 laat de CO₂-uitstoot in de jaren 2015-2023 zien voor de verschillende sectoren in Noord-Brabant. Te zien is dat vooral de sectoren gebouwde omgeving en Industrie, Energie, Afval en Water een daling van de uitstoot laten zien. Er is geen reden om aan te nemen dat deze daling zich de komende jaren niet verder doorzet, zeker omdat ook de sector Verkeer en vervoer naar de toekomst toe minder zal gaan uitstoten vanwege de verwachte elektrificatie.

³¹ Provincie Noord-Brabant. (versie september 2024). Uitvoeringsagenda Energie 2024-2027.

CO₂-uitstoot energieverbruik sectoren (aardgas, elektr., (stads)warmte, voertuigbrandstof) - Noor...

Bron: Berekening CO₂-uitstoot o.b.v. emissiefactoren, Emissieregistratie - CO₂-uitstoot verkeer en vervoer, Schatting laden bij (semi)publieke laadpunten | 2015 - 2023

Figuur 5.20 CO₂-uitstoot voor de verschillende sectoren in Noord-Brabant, bron: Klimaatmonitor

5.1.5 Betrouwbaarheid energiesysteem

De betrouwbaarheid van het energiesysteem in Nederland, en specifiek in Noord-Brabant, is traditioneel hoog geweest. Dit betekent dat huishoudens en bedrijven vrijwel altijd kunnen rekenen op een stabiele levering van elektriciteit en gas. Verschillende factoren dragen bij aan deze betrouwbaarheid, zoals een goed ontwikkelde infrastructuur, voldoende productiecapaciteit, een diversiteit aan energiebronnen en een sterke internationale koppeling van het net. Ook het regelvermogen van centrales en de aanwezigheid van noodvoorzieningen spelen een belangrijke rol.

Op dit moment staat de betrouwbaarheid echter onder druk door een aantal ontwikkelingen. De groeiende vraag naar elektriciteit, onder andere door elektrificatie van industrie en mobiliteit, zorgt voor een toenemende belasting van het netwerk. Tegelijkertijd leidt de integratie van hernieuwbare energiebronnen, zoals zon en wind, tot meer fluctuerend aanbod. Ook vormt netcongestie een steeds grotere uitdaging, waardoor het steeds moeilijker wordt om nieuwe aansluitingen te realiseren en aan de toenemende vraag te voldoen. Dit heeft directe gevolgen voor onder meer stedelijke ontwikkeling, verduurzaming van woningen, bedrijvengroei en de uitrol van zero-emissie openbaar vervoer.

Voor de toekomst zijn er diverse factoren en onzekerheden die de betrouwbaarheid van het energiesysteem beïnvloeden. Enerzijds kunnen investeringen in netuitbreiding, slimme technologieën die vraag en aanbod beter op elkaar afstemmen, en meer opslagcapaciteit de betrouwbaarheid vergroten. Anderzijds zorgen onzekerheden zoals het tempo van de energietransitie, beleidswijzigingen, beschikbaarheid van grondstoffen en internationale marktdynamiek voor risico's. Ook extreme weersomstandigheden en cyberdreigingen kunnen het systeem onder druk zetten.

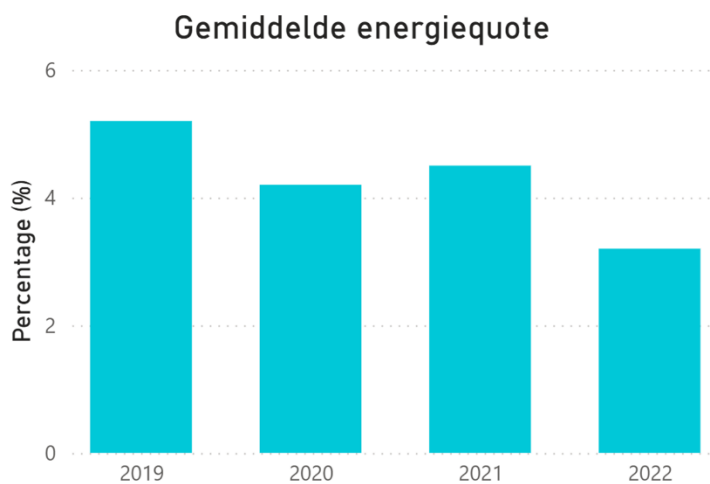
5.1.6 Betaalbaarheid energie

De prijs van energie wordt bepaald door een samenspel van verschillende factoren. Allereerst spelen de kosten van de gebruikte energiebronnen een grote rol, zoals de prijs van gas, olie of elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Daarnaast beïnvloeden vraag en aanbod op de internationale energiemarkt de prijs, waarbij geopolitieke spanningen,

seizoensinvloeden en economische groei of krimp voor schommelingen kunnen zorgen. Ook overheidsbeleid, zoals belastingen, subsidies en milieuregels, heeft veel invloed op de uiteindelijke kosten voor consumenten en bedrijven. Verder speelt de infrastructuur voor productie, transport en opslag van energie een rol, vooral in situaties van netcongestie of beperkte capaciteit.

De afgelopen jaren is de energieprijis sterk in beweging geweest. Tot ongeveer 2020 was er sprake van een relatief stabiele prijs, met soms lichte stijgingen door toenemende vraag. Vanaf 2021 zijn de prijzen echter fors gestegen, mede door geopolitieke spanningen, een herstellende economie na de coronapandemie en beperkte beschikbaarheid van gas, vooral als gevolg van het conflict tussen Rusland en Oekraïne. In 2022 en 2023 waren er historische pieken in de energieprijzen, gevolgd door enige daling door energiebesparende maatregelen, overheidsingrijpen en een groeiend aandeel hernieuwbare energie. Toch blijft de prijs volatiel en gevoelig voor externe invloeden.

Een goede maat voor de betaalbaarheid van energie is de energiequote. Deze geeft aan hoeveel huishoudens een laag inkomen hebben in combinatie met een te hoge energierekening en/of een woning met (zeer) slechte isolatie. Figuur 5.21 laat de energiequote in Brabant zien voor de periode 2019-2022. Te zien is dat de energiequote is gedaald van ongeveer 5% in 2019 naar ruim 3% in 2022.

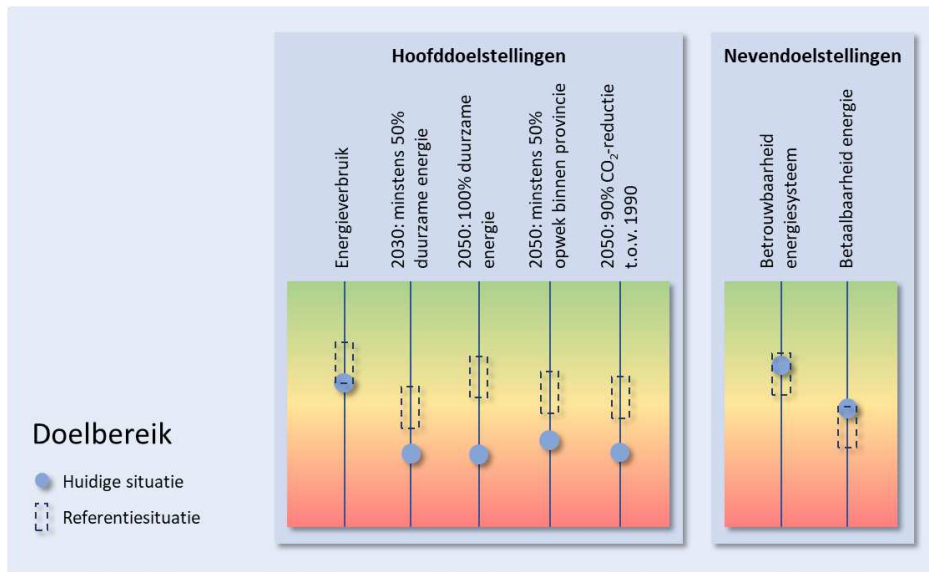


Figuur 5.21 Energiequote Noord-Brabant, bron: Monitor Energieagenda 2019-2030

Kijkend naar de toekomst zijn er verschillende factoren en onzekerheden die de energieprijis zullen beïnvloeden. De verdere overgang naar duurzame energie kan op de middellange termijn voor prijsdruk zorgen, zeker als investeringen in infrastructuur en opslagtechnologieën achterblijven bij de groeiende vraag. Tegelijkertijd kan een toename van hernieuwbare energiebronnen de prijsvorming stabiliseren en de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen verminderen. Onzekerheden zijn er echter genoeg: geopolitieke ontwikkelingen, beschikbaarheid van grondstoffen, technologische doorbraken en het tempo waarin beleid wordt aangepast, kunnen allemaal een stempel drukken op de toekomstige energieprijzen.

5.1.7 Beoordeling doelbereik referentiesituatie

Op basis van voorgaande beschrijvingen is in Figuur 5.22 een beoordeling opgenomen voor het huidige en te verwachten doelbereik. Het huidige doelbereik geeft deels een vertekend beeld omdat de doelen voor 2050 gelden. Wel is te zien dat de doelen nog niet in zicht komen met het huidige beleid, ook niet naar de toekomst toe (Referentiesituatie). Dit beeld ondersteunt de noodzaak van het Energieperspectief.



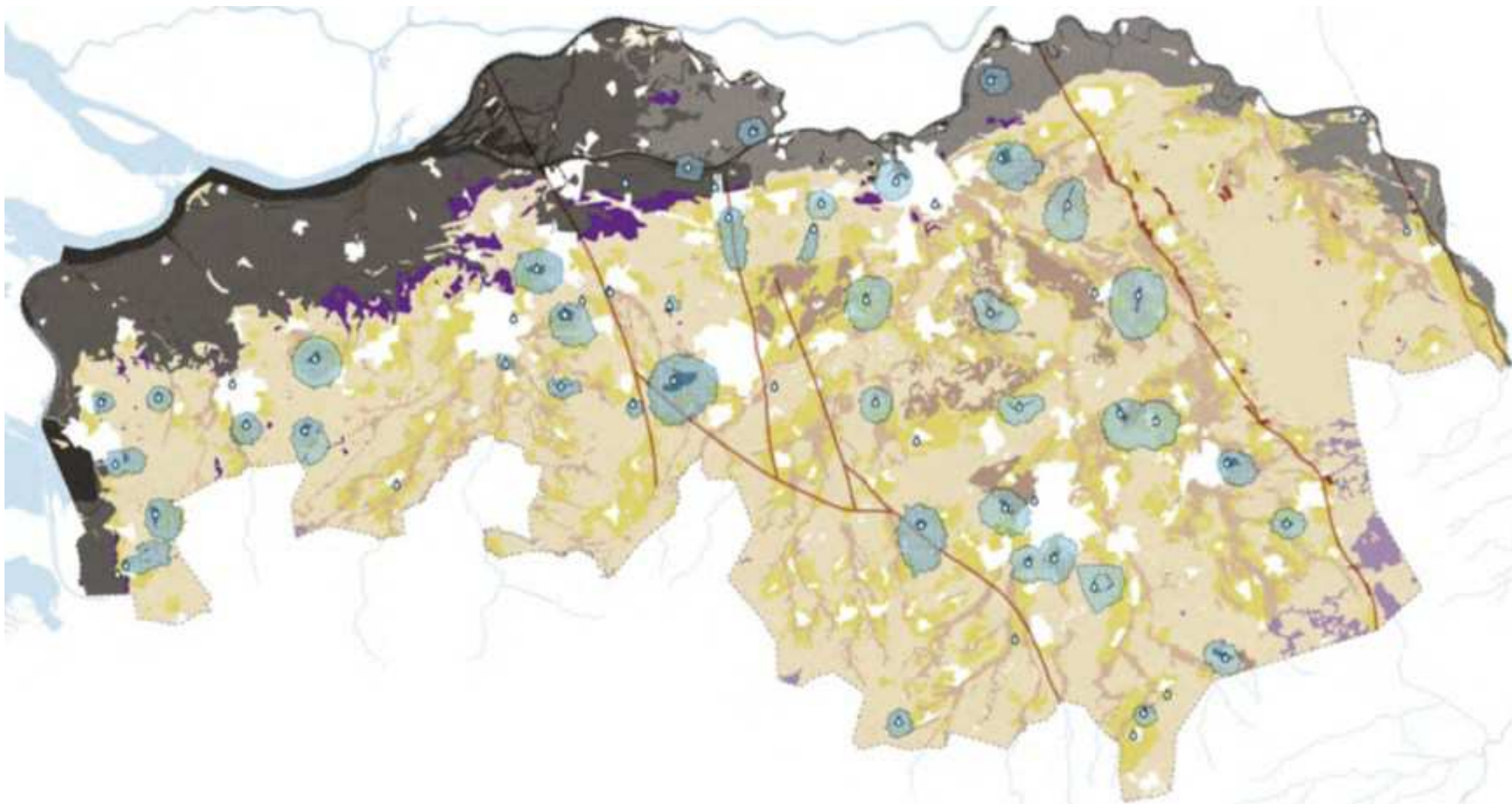
Figuur 5.22 Beoordeling doelbereik referentiesituatie

5.2 Referentiesituatie overige (milieu)aspecten

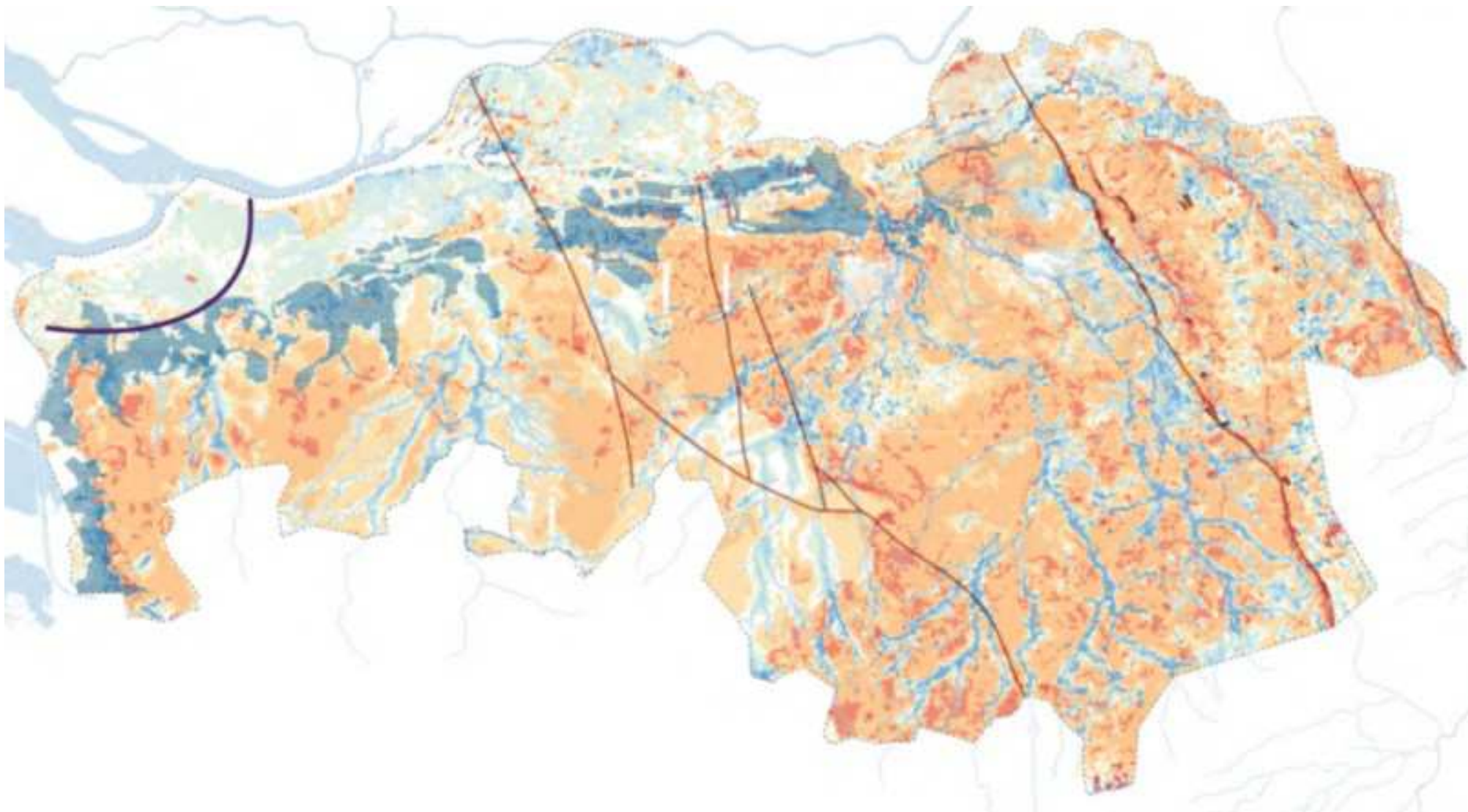
5.2.1 Bodem en water

De huidige toestand van het water- en bodemsysteem

Het water- en bodemsysteem in Noord-Brabant bestaat uit de hogere zandgronden in het zuiden en oosten, en het lagere, nattere rivierengebied en de overgang naar zee in het noorden en westen van de provincie (zie Figuur 5.23). De zandgronden worden gekenmerkt door een afwisseling van hogere gronden, flanken en lagere beekdalen. Deze beekdalen worden gevoed door kwelwater en afstromend oppervlaktewater vanuit de hogere delen (zie Figuur 5.24). De overgang tussen hoog en laag – ook wel ‘de naad van Brabant’ genoemd – staat onder invloed van diepere kwelstromen uit de zandgronden. De Peelhorst heeft een eigen hydrologisch karakter, met hoogveenrestanten, breuken en wijstverschijnselen.



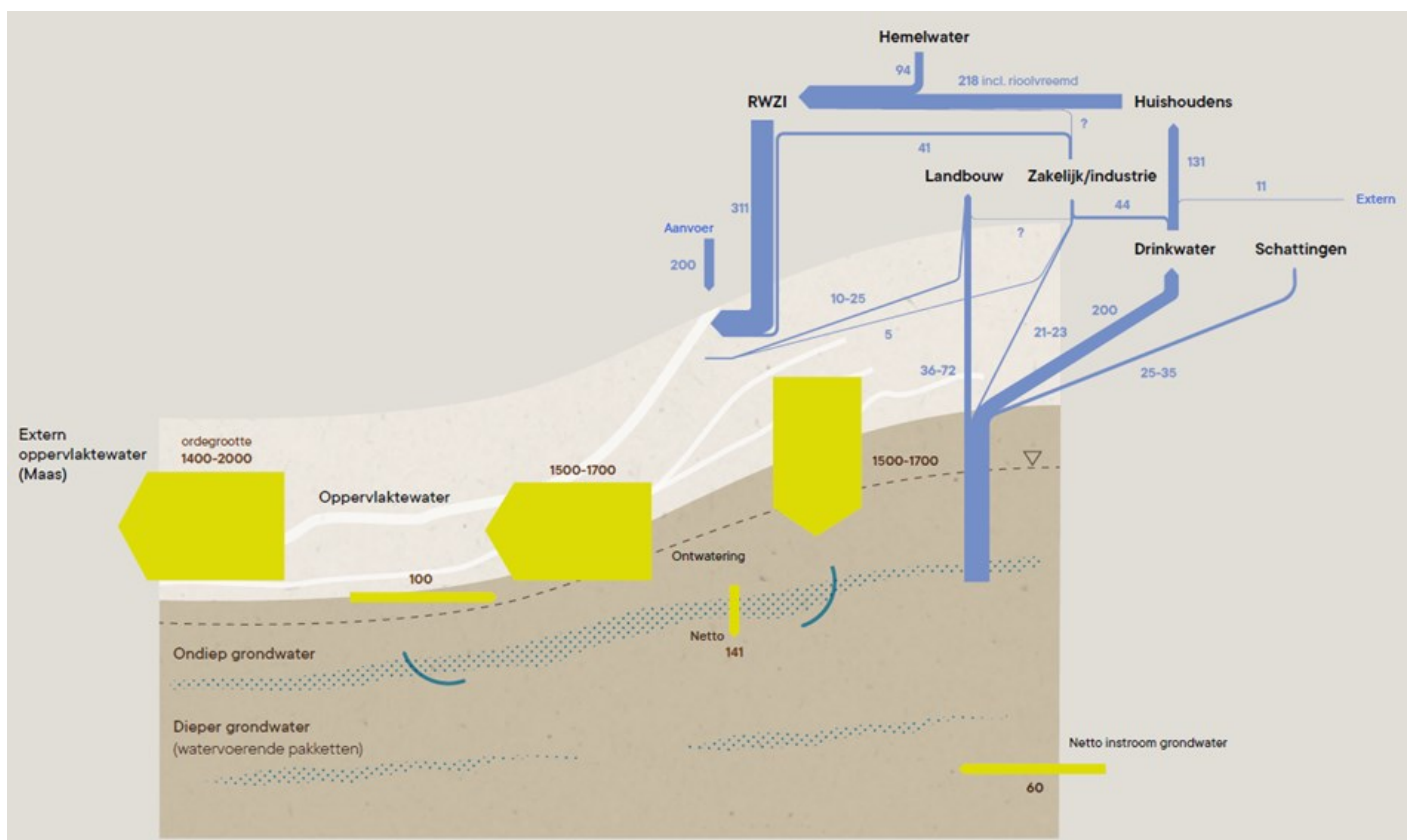
Figuur 5.23 De onderlaag van Noord-Brabant (bron: Adviescommissie Droogte, 2022)



Figuur 5.24 Infiltratie en kwel in Noord-Brabant (bron: Adviescommissie Droogte, 2022).

Door jarenlange menselijke ingrepen – zoals ontginningen en ruilverkavelingen – is een watersysteem ontstaan dat sterk gericht is op snelle afvoer van neerslag en het handhaven van grondwaterpeilen, vooral ten behoeve van agrarisch gebruik. Het bestaat uit grotere watergangen, meestal in beheer bij de waterschappen ('leggerwatergangen'), en een fijnmazig netwerk van sloten, greppels en drainage in agrarische percelen. Deze 'haarvaten' zijn grotendeels in eigendom en beheer van grondeigenaren, binnen de kaders die door de waterschappen zijn vastgesteld.

Naast dit fysisch-geografische beeld kan het systeem ook worden beschreven aan de hand van de bodem- en waterstromen binnen en over de provinciegrenzen. Het rapport 'Zonder water, geen later' geeft daar een grafische weergave van (Figuur 5.25). Dit laat zien dat het water- en bodemsysteem een functie heeft voor Noord-Brabant: de onderlaag dient als bron voor drink- en industriewater, en wordt gebruikt voor de beregening van landbouwgewassen. De omvang van die stromen (blauw in Figuur 5.25) is, in vergelijking met de 'natuurlijke' stromen relatief klein en de omvang van de stromen kent een zekere mate van onzekerheid³².



Figuur 5.25 Beeld van de stromen in het systeem (bron: Adviescommissie Droogte, 2022, brongegevens in Stofberg & Brakkee, 2022)

De energietransitie vraagt om een robuust bodem- en watersysteem. Technieken, zoals geothermie, zijn afhankelijk van stabiele grondwatercondities en voldoende waterkwaliteit. In de huidige situatie, waarin droogte en wateroverlast elkaar afwisselen, wordt de inzet van deze technieken bemoeilijkt.

Toekomstige ontwikkelingen

Momenteel wordt het Brabantse water- en bodemsysteem structureel overbenut. Er wordt te veel grondwater onttrokken voor drinkwater, industrie en landbouw. Dit leidt tot lage grondwaterstanden, watertekorten, verminderde infiltratie, onvoldoende aanvulling van de grondwatervoorraden en afnemende kwel. Autonome ontwikkelingen en beleidsmaatregelen dragen bij aan het verkleinen van deze onbalans, maar het veranderende klimaat—met droge, warme zomers en extreme neerslagpieken—dreigt de druk op het systeem juist weer te vergroten.

³² Stoberg & Brakkee, 2022: Effecten watermaatregelen in beeld, KWR-memo 2022.074

In stedelijke gebieden leidt het veranderende klimaat steeds vaker tot zowel droogte als wateroverlast terwijl er op de agrarische gronden schade wordt ondervonden door droogte én opbrengstderving door natte omstandigheden. Uit de Toestandsrapportage Verdroging³³ blijkt dat de grondwatercondities in een groot deel van de grondwaterafhankelijke natuur in Noord-Brabant onvoldoende zijn in relatie tot de gestelde doelen. Verminderde kwel in beekdalen kan leiden tot het droogvallen van beken en heeft bovendien negatieve effecten op de waterkwaliteit, zoals verhoogde nutriëntenconcentraties en temperatuurstijging.

Voor waterkwaliteit geldt dat voor veel wateren en waterlichamen de doelen uit de Kaderrichtlijn Water (KRW) niet tijdig zullen worden gehaald. Het ingezette beleid draagt bij aan verbetering, maar de noodzaak tot aanvullende maatregelen neemt toe door autonome ontwikkelingen, waaronder klimaatverandering. De provincie heeft daarvoor begin 2025 nieuw beleid vastgesteld in een addendum op het Regionaal Water en Bodemprogramma 2022-2027³⁴.

De energietransitie in Noord-Brabant vereist een integrale benadering van bodem, water en energie. Het versterken van het bodem- en watersysteem is niet alleen een ecologische opgave, maar ook een noodzakelijke voorwaarde voor het realiseren van duurzame energievoorziening in de provincie.

Beoordeling

In algemene zin staat de kwaliteit van het bodem- en watersysteem in Noord-Brabant onder druk. Het systeem wordt overbelast door intensief gebruik, waarbij de onttrekking van grondwater voor drinkwater, industrie en landbouw leidt tot lage grondwaterstanden, verminderde kwel en afnemende aanvulling van de voorraden. Deze druk is zichtbaar in zowel natuurgebieden als het agrarisch en stedelijk gebied. Lokale maatregelen dragen bij aan verbetering, maar zijn nog onvoldoende om de negatieve trends structureel te keren. Het aanvullende beleid uit het addendum op het Regionaal Water en Bodemprogramma 2022-2027 laat daarbij wel een verdere verbetering zien.

De beoordeling houdt rekening met de verwachte gemiddelde verbetering van het bodem- en watersysteem in specifieke gebieden waar actief beleid wordt gevoerd. De verschillen in kwaliteit tussen deze gebieden zullen naar verwachting toenemen, mede door de gerichte inzet van overheden en terreinbeheerders in natuurgebieden en de mindere sturing daarbuiten.

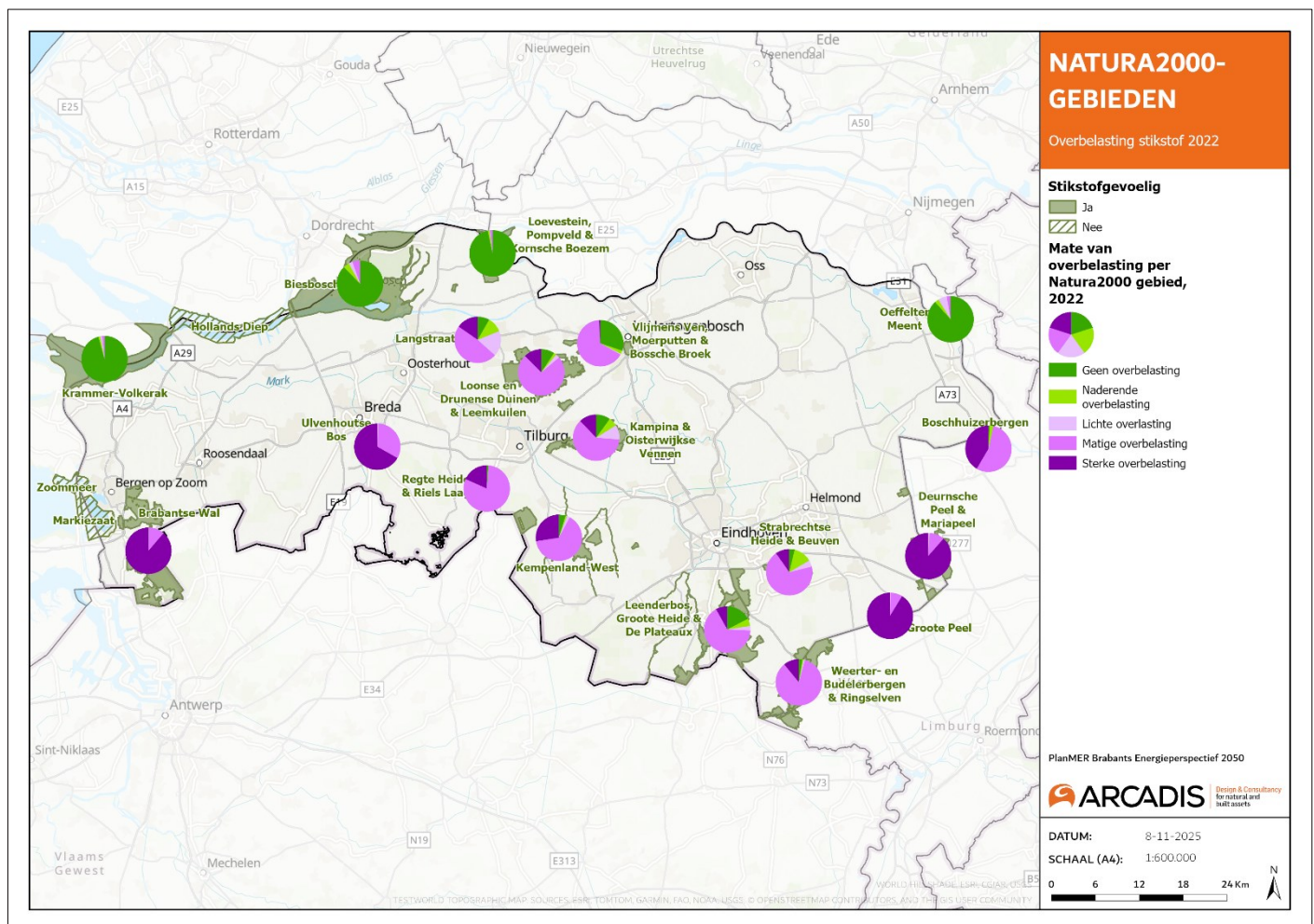
5.2.2 Natuur en biodiversiteit

Natuurgebieden

Figuur 5.26 geeft de verschillende natuurgebieden binnen Noord-Brabant weer. Meest relevant zijn de Natura 2000-gebieden en het Natuurnetwerk Brabant met daarin de Natte Natuurparels. De provincie Noord-Brabant kent 21 Natura 2000-gebieden die geheel of gedeeltelijk binnen de provinciegrenzen liggen. Het Natuurnetwerk Brabant (NNB) bestaat uit alle bestaande natuurgebieden in de provincie Noord-Brabant, plus de ecologische verbindingzones (EVZ's) tussen deze gebieden.

³³ Tauw, 2024: Toestandsrapportage Verdroging Noord-Brabant 2017-2022. rapport R001-1292128HWC-V03-kzo-NL

³⁴ <https://www.brabant.nl/onderwerpen/water-bodem/regionaal-water-bodem-programma-rwp-2022-2027/>



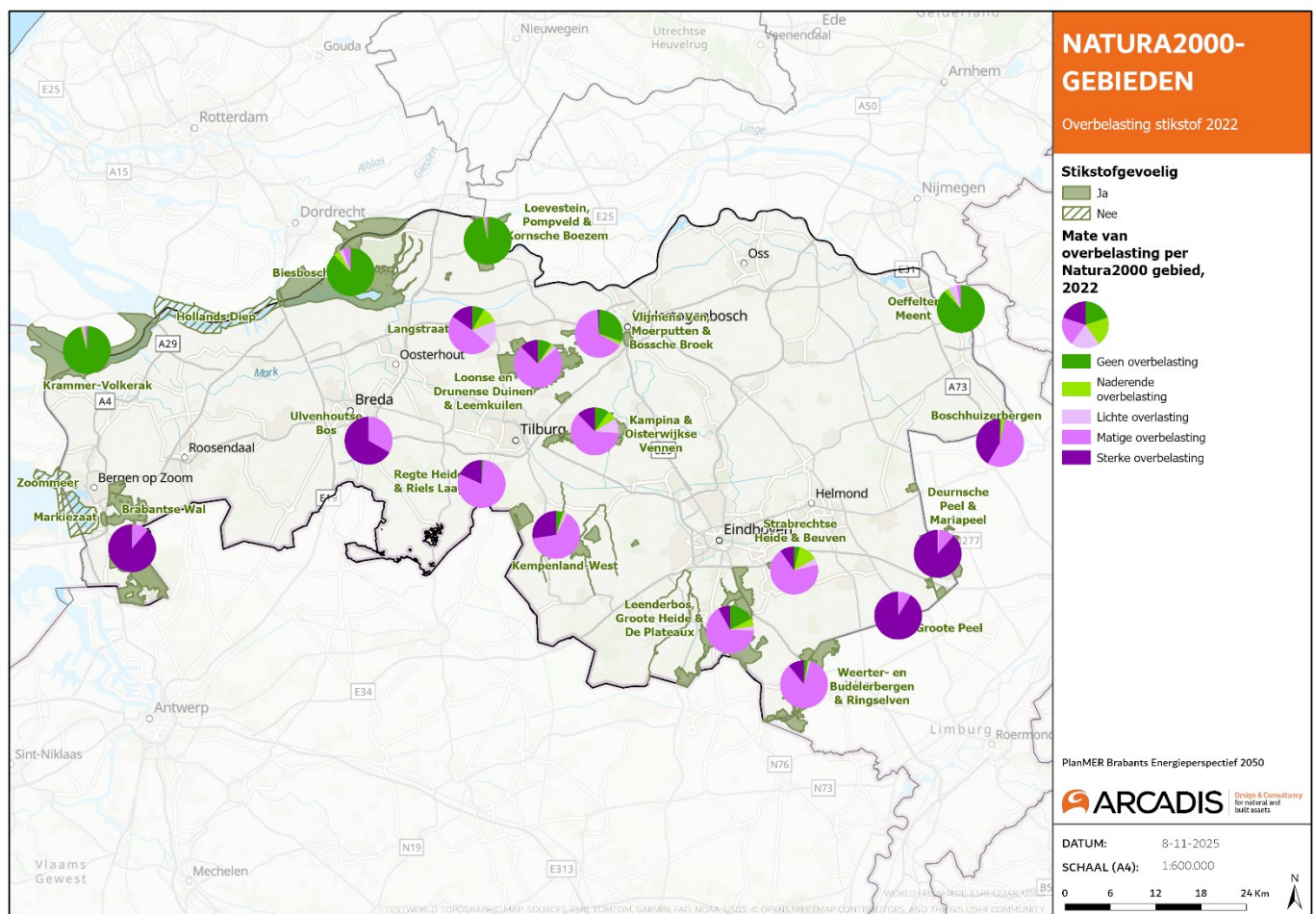
Figuur 5.26 Brabantse natuurgebieden

Natura 2000-gebieden

Natura 2000 is een Europees netwerk van beschermde natuurgebieden dat bepaalde dieren, planten en hun natuurlijke omgeving beschermt om de biodiversiteit te behouden. In de provincie Noord-Brabant liggen 21 Natura 2000-gebieden, voornamelijk op de hogere zandgronden. Het Natura 2000-gebied Deurnsche Peel & Mariapeel bevindt zich op het hoogst gelegen deel van de Peelhorst. Dit door tektoniek verheven gebied, de Peelhorst, wordt in het westen begrensd door de Peelrandbreuk en in het oosten door de Tegelenbreuk. De Groote Peel ligt in de Centrale Slenk. De hydrologische basis ligt op ongeveer 300 meter beneden maaiveld, dus veel dieper dan die van de Deurnsche Peel & Mariapeel. Onder de Groote Peel bevindt zich een deklaag van vnl. matig fijnzandige afzettingen met daarin op veel plekken echter ook op geringe diepte tamelijk slecht doorlatende lagen. Daardoor kon veenontwikkeling plaats vinden. De andere Natura 2000-gebieden liggen in beekdalen, het rivierengebied en de Delta. Een aantal gebieden is grensoverschrijdend met Vlaamse gebieden.

De kwaliteit van de natuurgebieden is een belangrijk aandachtspunt, vanwege de abiotische condities. Veel gebieden kennen problemen als een te hoge stikstofdepositie en te hoge concentraties verontreinigende stoffen in bodem en water. Figuur 5.27 toont de mate van overbelasting met stikstof in de Brabantse Natura-2000 gebieden. Alle gebieden hebben in meer of mindere mate te maken met matige tot sterke overbelasting. Delen van het Natura 2000-gebied waar geen stikstofgevoelige habitats als gekarteerd oppervlak zijn opgenomen in Aeries Monitor binnen Brabant zijn buiten beschouwing gelaten. Dit geldt voor Loevestein, Pompveld en Kornsche Boezem. Voor Loevestein, Pompveld & Kornsche Boezem geldt dat dit Natura 2000-gebied momenteel alleen stikstofgevoelige delen in Gelderland kennen.

In de afgelopen jaren is er via de beheerplannen gewerkt aan de uitvoering van maatregelen in Natura 2000-gebieden. Vanuit de Gebiedsgerichte Aanpak worden maatregelen uitgevoerd, waarbij opgaven rond de realisatie van het natuurnetwerk, herstel van natuurlijke condities, toekomstperspectief voor landbouw en waar mogelijk ruimtelijke ontwikkeling in en rondom de gebieden worden ondersteunt en gebundeld.



Figuur 5.27 Mate van overbelasting N2000-gebieden met stikstof (2022) (Aerius monitor, 2024)

Begin 2023 zijn voor de 15 Natura 2000-gebieden waarvoor de provincie Noord-Brabant verantwoordelijk is, natuurdoelanalyses (NDA) opgesteld. Uit deze analyses blijkt dat de natuur in deze gebieden verslechtert. De verplichte Europese natuurdoelen kunnen met de huidige maatregelen niet worden behaald. De problemen worden veroorzaakt door een mix van verzuring, vermessing en verdroging, die per gebied verschilt. Een diversiteit aan planten en bomen hebben hieronder te lijden en verdwijnen langzaam maar zeker uit de gebieden. Dat heeft onder meer tot gevolg dat het aantal insecten vermindert, waardoor in sommige gebieden bepaalde vogels en andere dieren niet meer kunnen leven.

Vogelsoorten vertonen over het algemeen een stabiele of positieve ontwikkeling op de lange termijn, maar er is nog steeds achteruitgang bij bepaalde soorten door landbouw, waterbeheer en stedelijke ontwikkeling. Klimaatverandering vormt ook een dreiging voor de toekomst, met verdroging en verminderde neerslag die de balans van ecosystemen beïnvloeden. Een EU-rapport uit 2020³⁵ bevestigt deze drukfactoren en benadrukt dat de biodiversiteitsdoelstellingen niet zijn behaald. Ook in Brabant staan de instandhoudingsdoelstellingen onder druk door stedelijke ontwikkeling, landbouweffecten en klimaatverandering. De gebiedsgerichte aanpak is bedoeld om deze uitdagingen aan te pakken en zal naar verwachting tot positieve effecten leiden.

Natuurnetwerk Brabant

Het Natuur Netwerk Brabant (NNB) bestaat uit alle bestaande natuurgebieden in de provincie Noord-Brabant, plus de ecologische verbindingzones (EVZ's) tussen deze gebieden (zie Figuur 5.26). De Natte natuurparels hebben binnen het NNB een aparte status. In heel Brabant zijn er 97 Natte Natuurparels. Dit zijn de meest waardevolle natte natuurgebieden, die afhankelijk zijn van voldoende en schoon (grond)water.

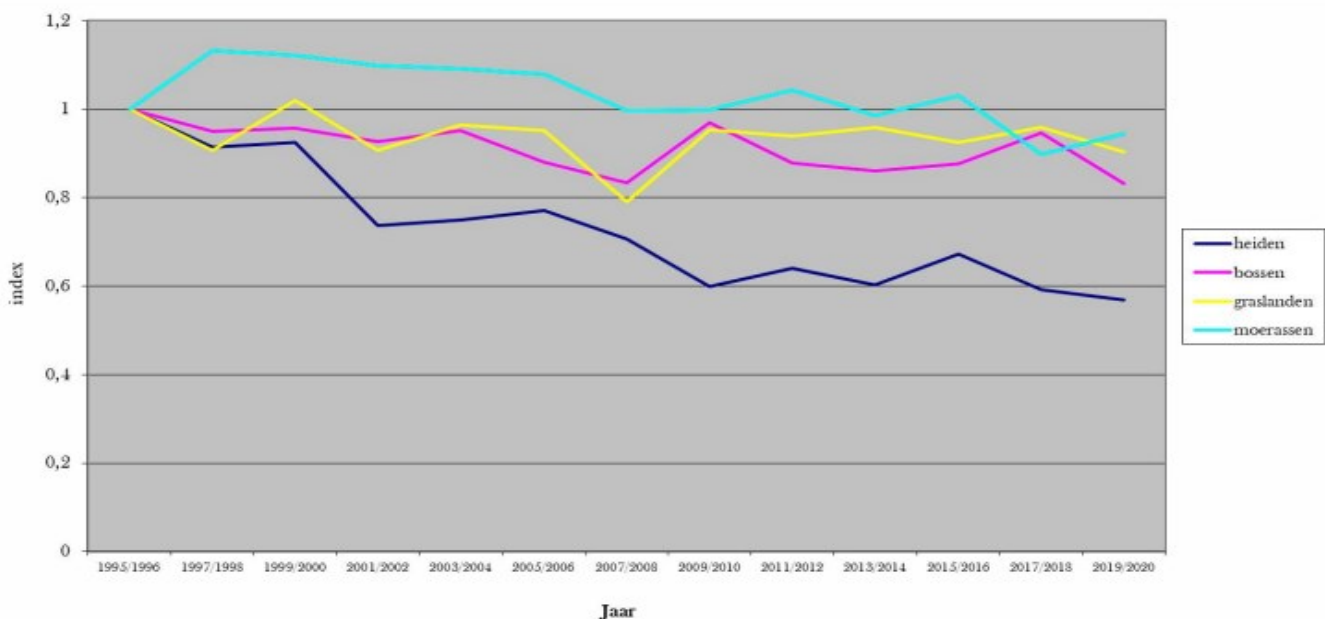
³⁵ [European Environmental Agency \(2020\). State of nature in the EU.](#)

Het NNB bestaat uit diverse typen natuur: bossen, heiden, graslanden en moerassen. Noord-Brabant wordt gekenmerkt door een sterke versnippering van de natuurgebieden. EVZ's zijn daarmee noodzakelijk voor een goed ecologisch functioneren. De provincie zet daarom in op de ontwikkeling van droge en natte ecologische verbindingzones. Een deel van de EVZ's uit Figuur 5.26 is gerealiseerd en een deel van de EVZ's moet nog worden gerealiseerd.

Het beleidskader Natuur 2030, als uitwerking van de Brabantse Omgevingsvisie, omschrijft wat de provincie in 2030 op het gebied van natuur wil bereiken. Het beleidskader Natuur heeft als basisopgave: natuurgebieden zijn ingericht en de afname van biodiversiteit is naar een positieve trend omgebogen. De doelen voor 2030 betreffen een ingericht, verbonden en beheerd NNB:

- In 2030 is 7.700 hectare NNB gerealiseerd (van functie veranderd en ingericht) ten opzichte van 2022;
- In 2030 is de totale opgave van 15.200 hectare gerealiseerd;
- In 2030 is 900 ha aan ecologische verbindingzones gerealiseerd of in uitvoering ten opzichte van 2022. In 2035 is de totale opgave van 1325 hectare aan EVZ's gerealiseerd;
- In 2030 is de natuurkwaliteit in het Natuurnetwerk minimaal behouden ten opzichte van 2022;
- In 2030 zijn 200 nieuwe faunapassages in provinciale en gemeentelijke wegen en kanalen aangelegd t.o.v. 2022.

De rapportage 'Toestand van de Natuur in Brabant'³⁶ uit 2021 toont trends voor habitats en soorten aan de hand van indexen. De index van natuurgebieden laat een sterke daling zien voor heidegebieden, die sinds 2009-2010 op een laag niveau stabiliseert (Figuur 5.28). Half-natuurlijke graslanden en bossen tonen al lange tijd stabiliteit, terwijl moerassen geleidelijk afnemen. Over het algemeen neemt de natuurkwaliteit in Brabant gestaag af, maar lokale herstelmaatregelen, zoals opgenomen in het Beleidskader Natuur, laten al een verbetering zien en hebben ook richting de toekomst naar verwachting een positief effect.



Figuur 5.28 Index van de verschillende habitats in Brabantse natuurgebieden (bron: Toestand van de Natuur in Brabant, 2021)

Waardevolle natuur buiten NNB

Buiten het Natuur Netwerk Brabant zijn ook het agrarische landschap en het stedelijk gebied van belang voor de natuur in Brabant. Het agrarisch landschap was en is van grote waarde, ook voor de biodiversiteit. Een groot aantal soorten flora en fauna is (deels) afhankelijk van het agrarisch gebied voor hun voortbestaan. Dit betreft weide- en akkervogels (bv patrijs), waterplanten, dassen, kleine marterachtigen en akkerkruiden. Bovendien gebruiken soorten uit het NNB en uit stedelijke regio's (zoals de huismus, steenuil en kerkuil) de natuur in het agrarisch landschap om voedsel te zoeken.

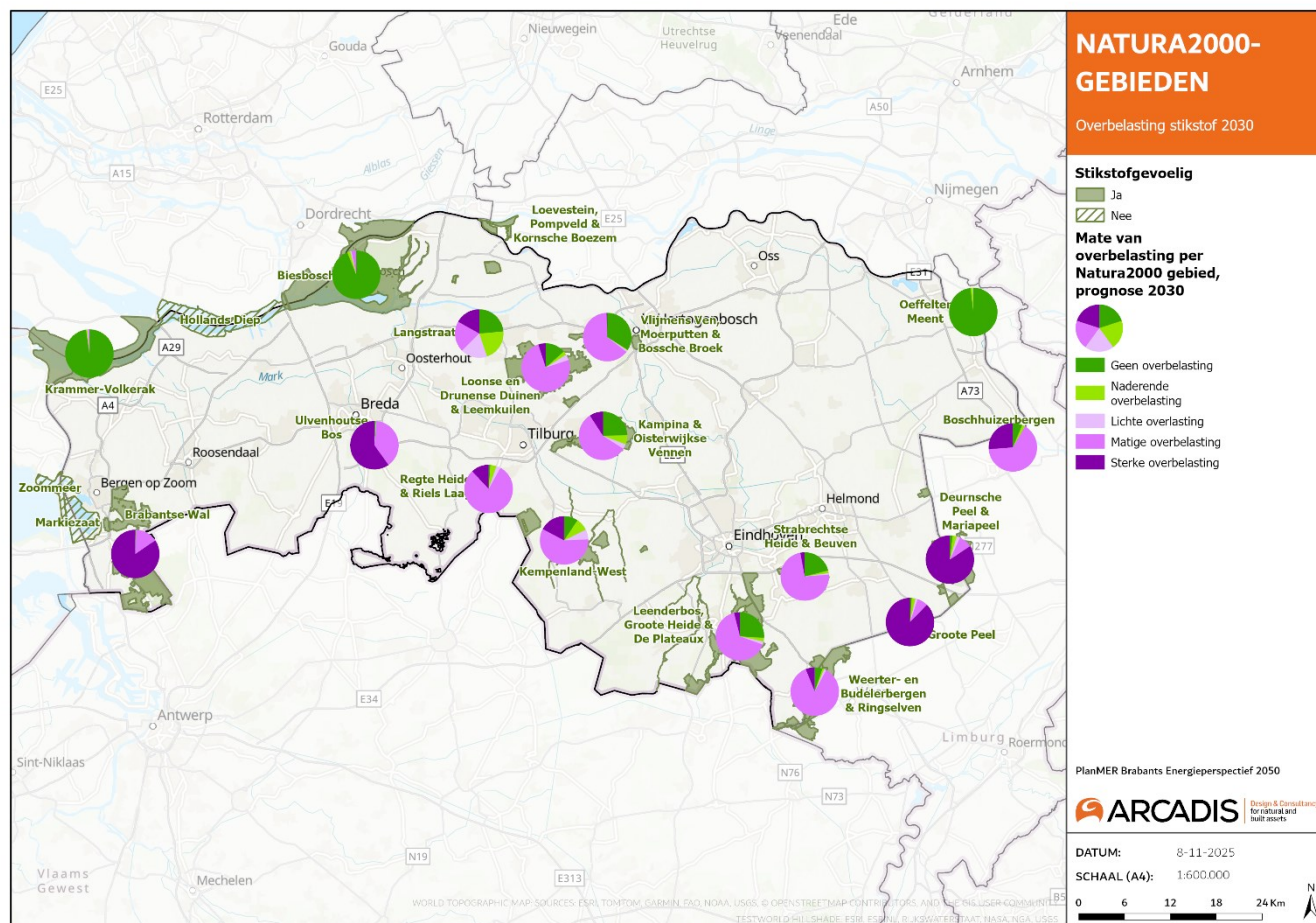
³⁶ Toestand van de Natuur in Brabant, juni 2021, Provincie Noord-Brabant

Het aandeel agrarisch natuurbeheer (5.045 ha) (IPO en LNV, 2021) in het totale landbouwgebied (236.884 ha in 2020) (CBS, 2021) is in de Provincie Noord-Brabant ongeveer 2%. Agrarisch natuurbeheer is een concept waarbij agrarische ondernemers verschillende maatregelen nemen op en rond hun bedrijf ten gunste van natuur en landschap.

In het Stedelijk gebied (Lahr et al., 2014; Lahr et al., 2016) van de Brabantse steden/dorpen komen ook veel planten- en diersoorten voor, zoals ook elders in Nederland. Voor enkele vogelsoorten, zoals huismus en gierzwaluw, is bekend dat het stedelijk gebied zelfs de belangrijkste habitat is en dit geldt ook voor andere, zeldzamere broedvogels zoals de slechtvalk (Nature Today, 2020).

Toekomstige ontwikkeling

De bestuurlijke inzet op een oplossing voor de stikstof problematiek zorgt ervoor dat verwacht wordt dat de stikstofbelasting in de toekomst in meer of mindere mate zal afnemen, zeker in de Natura 2000-gebieden. Ondanks dat de mate van overbelasting naar verwachting zal afnemen (zie figuur 5.29), blijft er in alle Natura 2000-gebieden in meer of mindere mate sprake van matige tot sterke overbelasting door stikstofdepositie.



Figuur 5.29 Mate van overbelasting N2000-gebieden met stikstof (prognose 2030) (Aerius monitor, 2023)

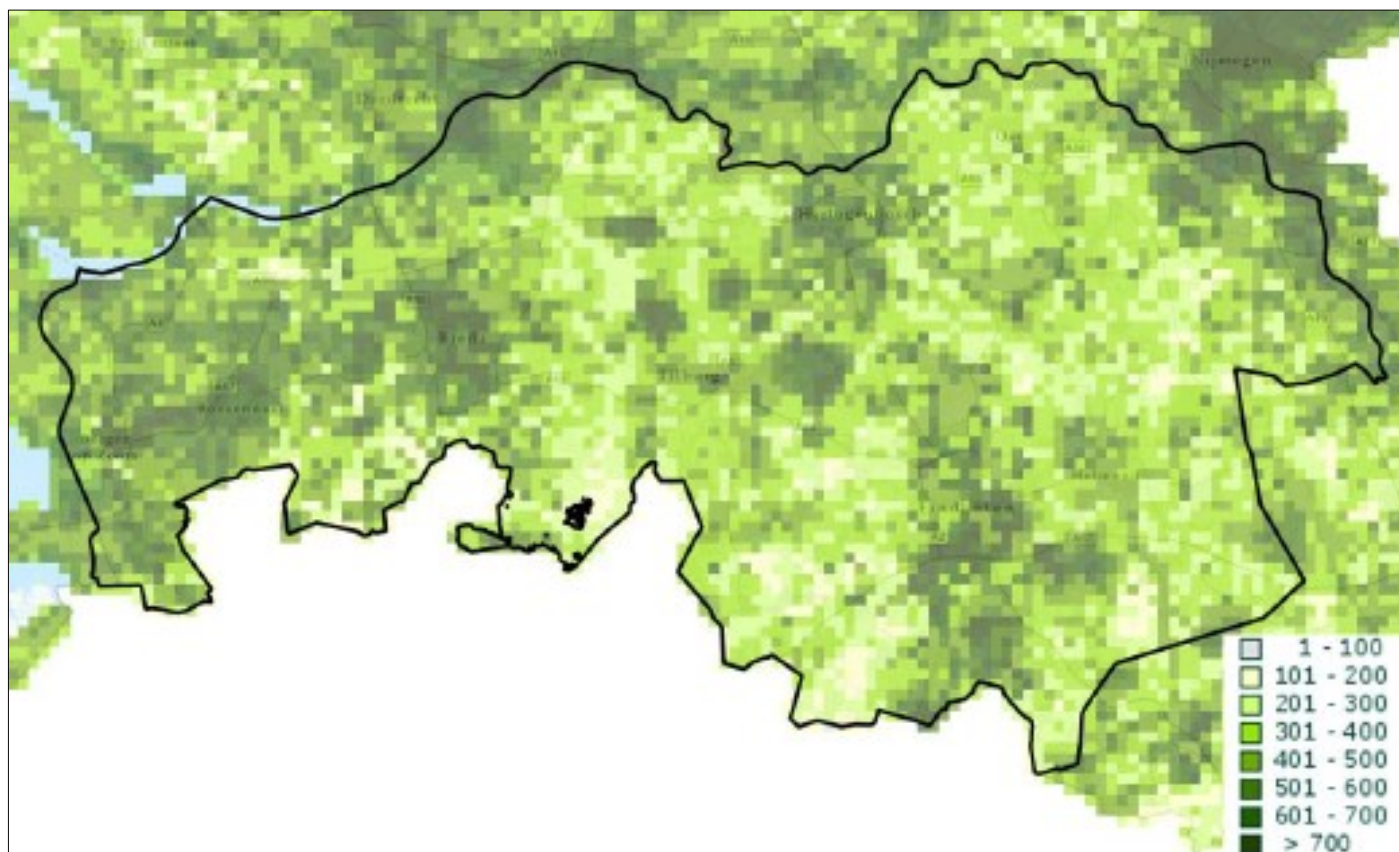
Ten aanzien van het NNB is het de vraag of het lukt om het volledige NNB gerealiseerd te hebben in 2030, met name doordat niet alle gronden in bezit zijn van de provincie. Het verwerven en inrichten van gronden is een proces dat jaren in beslag neemt. Het moet ook gedegen gebeuren, in afstemming met vele partijen. Volgens het beleidskader Natuur moet het NNB in 2027 ongeveer 129.000 ha omvatten. Hiervoor moet tot 2027 nog ruim 9.000 ha grond als natuur worden ingericht, waarvan circa 5.000 hectare nog moet worden verworven.

Flora en fauna (soorten)

Biodiversiteit gaat over de rijkdom van de natuur en de verscheidenheid aan dieren, planten, en habitats. Onder het aspect flora en fauna wordt hier met name gekeken naar plant- en diersoorten in Noord-Brabant. Daarbij worden

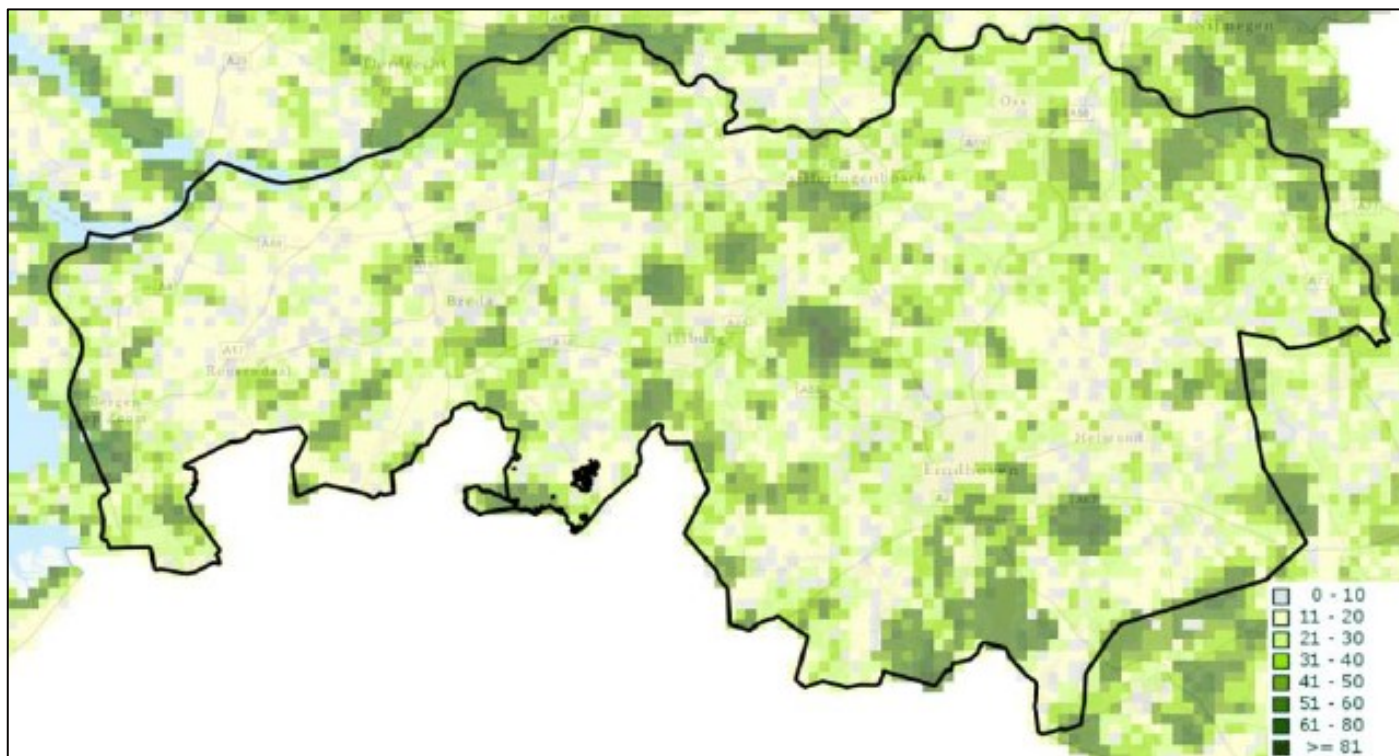
agrarische en stedelijke gebieden ook meegenomen. De verspreiding en omvang van soorten(populaties) is sterk afhankelijk van de staat van de omgeving, zoals abiotische factoren en ruimtegebruik.

Voor heel Nederland geldt dat de biodiversiteit onder druk staat en steeds verder afneemt. In de volgende figuren staan er twee kaarten met het aantal soorten en het aantal Rode Lijst soorten³⁷ binnen Noord-Brabant. Hotspots van Rode Lijst concentreren zich op specifieke locaties. Deze locaties omvatten zowel Natura-2000 gebieden als gebieden die onderdeel zijn van het Natuur Netwerk Brabant.



Figuur 5.30 Algemene biodiversiteit (Atlas Natuurlijk kapitaal, NDFF)

³⁷ Op de rode lijst staan de in hun voortbestaan bedreigde dier-, planten- en schimmelsoorten.



Figuur 5.31 Biodiversiteit Rode Lijst soorten (Atlas natuurlijk kapitaal, NDFF)

De huidige toestand van flora en fauna wordt voor 3 typen gebieden apart besproken:

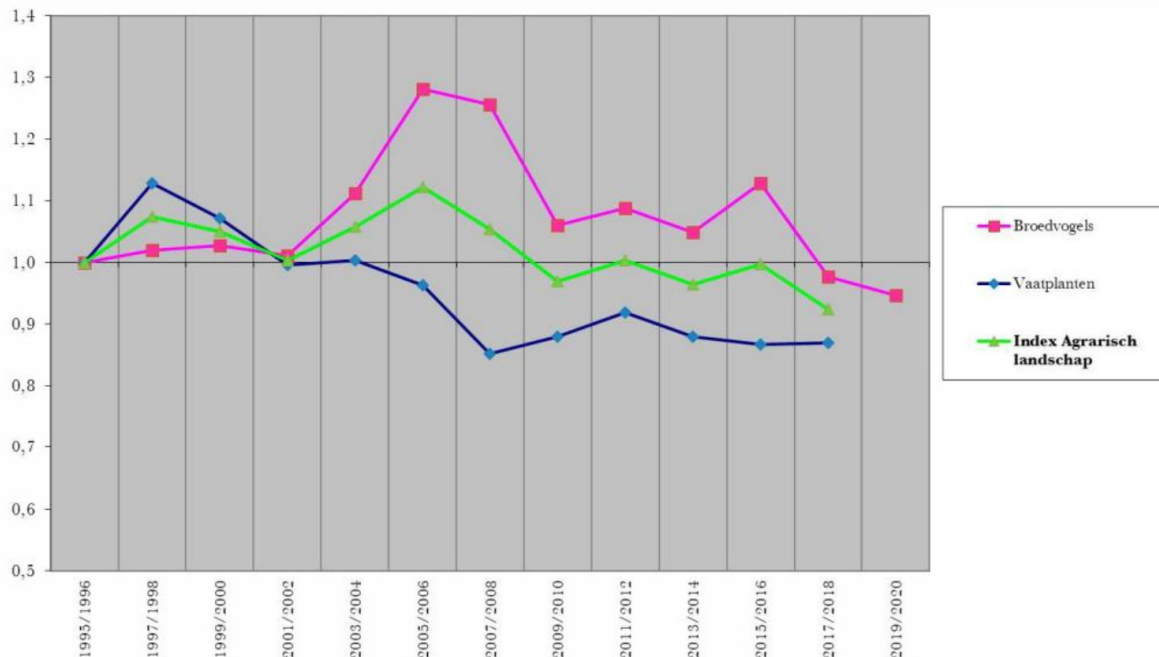
- Soorten in het boerenland;
- Soorten in het stedelijk gebied;
- Soorten in natuurgebieden;

Soorten in het boerenland

In Figuur 5.32 wordt de biodiversiteit in het agrarisch landschap getoond ten opzichte van het startjaar (1995/1996). Aangezien de biodiversiteitsafname beoordeeld wordt ten opzichte van het startjaar wordt de biodiversiteitsafname die daarvoor heeft plaatsgevonden niet meegenomen, terwijl deze aanzienlijk was. Ook ten opzichte van 1995 is echter de biodiversiteit op verschillende vlakken in het agrarisch gebied afgenomen.

De diversiteit én het aantal broedvogelsoorten toont een divers beeld. Sommige soorten zijn in aantal toegenomen, sommige soorten tonen een onzeker beeld en enkele soorten zijn afgenomen. Broedvogel soorten die broeden in rietranden langs sloten, struwelen, houtwallen en op boerenerven zijn over het algemeen toegenomen, terwijl broedvogels die leven in open weide- en akkergebieden sterk afnemen. Typische weidevogels zijn schaars tot zeldzaam; alleen in het noorden en westen van de provincie komen populaties van betekenis nog voor.

Ten opzichte van 1995 is de plantenbiodiversiteit over het algemeen gezien afgenomen in het agrarisch gebied. Het aantal soorten vaatplanten is sterk afgenomen. In 2018 is de monitoring gestopt, omdat er geen noemenswaardige kenmerkende soorten meer aanwezig waren in het agrarisch gebied. Plantensoorten die voorkomen op droge en vochtige hooilanden zijn afgenomen. Een uitzondering hierop vormt de groep waterplanten. Door een verbetering van de waterkwaliteit is het aantal planten gegroeid over het algemeen tot een stabiel niveau.



Figuur 5.32 Broedvogels, vaatplanten en algemene ontwikkeling Agrarisch gebied

Soorten in het stedelijk gebied

Met het Leefgebiedsplan Stad werkt de provincie Noord-Brabant samen met andere partijen aan de bescherming van bedreigde plant- en diersoorten in stedelijke gebieden. Er zijn 71 bedreigde soorten geselecteerd waarvoor maatregelen zijn opgesteld. Verschillende soorten flora en fauna maken gebruik van stedelijke gebieden, waaronder soorten die alleen in stedelijke omgevingen voorkomen, algemene soorten en soorten waarvan de optimale habitat buiten stedelijke gebieden ligt. Stedelijke gebieden bieden verschillende habitats voor deze soorten, zoals parken, plantsoenen, industriegebieden en muren. Hoewel de omstandigheden in stedelijke gebieden anders zijn dan in natuur- en agrarische gebieden, voelen sommige soorten zich er thuis. Echter, de omstandigheden zijn minder gunstig geworden, vooral voor stadsvogels, vanwege factoren zoals na-isolatie van huizen, afname van voedselbronnen en een verminderd aanbod van nectarplanten en waardplanten voor vlinders. Predatoren zoals vossen, dassen en steenmarters komen over het algemeen relatief vaak voor in stedelijke gebieden vanwege het jaarronde aanbod van voedselbronnen en het ontbreken van actieve vervolging.

Soorten in natuurgebieden

In de provincie Noord-Brabant zijn natuurgebieden gelegen met diverse habitattypen. In *de Toestand van de natuur in Brabant* wordt er onderscheid gemaakt in heiden, bossen, graslanden en moerassen. Sinds 1990 is de natuurwaarde van al deze gebieden in meer of mindere mate afgenomen, waarbij vooral de natuurkwaliteit in *heidegebieden* sterk is teruggelopen. Diverse soorten, zoals dagvlinders en reptielen, zijn sterk afgenomen. Deze soorten zijn sterk gebaat bij een divers milieu, en kunnen daardoor slecht tegen beheer- en herstelmaatregelen die worden uitgevoerd, zoals plaggen, maaien en begrazen van de gebieden. De maatregelen zijn echter nodig om de heide in stand te houden.

Vaatplanten laten een stabiele trend zien. Door herstelmaatregelen en minder zure neerslag sinds 1995 herstelden diverse plantensoorten in vochtige heide gebieden zich. Echter, in de zomer nemen de plantensoorten door droogte weer af. Herstel van vennen draagt sterk bij aan de toename van de natuurkwaliteit in heidegebieden.

Naar de toekomst toe zijn er verschillende factoren van belang voor de biodiversiteit van heidegebieden. De effectiviteit van beleid om de stikstofbelasting te verminderen, is een belangrijke bepalende factor voor de biodiversiteit in onder andere heidegebieden naar de toekomst toe. Daarnaast brengt klimaatverandering en de bijbehorende weersextremen (zoals meer droogte in zomers) een bedreiging met zich mee voor de natuurwaarden in heidegebieden.

In de *bossen* van Brabant zijn de trends voor planten en broedvogels relatief stabiel, maar enkele soorten hebben te maken met een achteruitgang. Dit betreft soorten zoals de matkop, nachtegaal of zwarte specht. Soortgroepen die

zich positief ontwikkelen zijn trekvogels en standvogels. Voor dagvlinders is er een neergaande trend waarneembaar tot ongeveer 2005. Hierna heeft de trend voor dagvlinders zich gestabiliseerd. Dagvlinders hebben zonnige open plekken met veel bloeiende kruiden in het bos nodig. Door verzuring zijn er weinig van deze plekken in de Brabantse bossen.

Moerassen laten een positieve tot stabiele trend zien voor vaatplanten. Broedvogels nemen daarentegen af. De moerasgebieden werden aangelegd in de jaren 90 voor waterberging bij rivieren en beken. Deze nieuwe natuur werd in de eerste jaren door verschillende soorten ontdekt. Na verloop van tijd groeide de moerassen echter dicht, waardoor diverse soorten voor open water en slikranden na een aanvankelijk toename afnamen.

Tussen 2003 en 2008 is een afname waarneembaar in de aanwezigheid van broedvogels in *half-natuurlijke graslanden*. Sinds 2013 neemt het aantal soorten broedvogels langzaam weer toe. Dagvlinders nemen in half-natuurlijke graslanden af, o.a. door de stikstofbelasting waardoor er een verandering in aanwezige planten soorten heeft plaatsgevonden.

Toekomstige ontwikkeling

Op provinciaal niveau zijn zes leefgebieden geïdentificeerd waar actie wordt ondernomen om de biodiversiteit te vergroten: beekdalen, zandgronden, stad en dorp, agrarisch landschap, rivieren en voormalige zeearmen, en de laagveenzoom. Voor deze leefgebieden zijn maatregelen opgenomen in leefgebiedsplannen. De provincie heeft een subsidieregeling voor natuur opgesteld waarbij subsidie kan worden aangevraagd voor projecten die bijdragen aan het herstel van prioritaire soorten die gevaar lopen te verdwijnen (Provincie-Noord Brabant, februari 2022).

De sterke bestuurlijke inzet op een oplossing voor de stikstof problematiek zorgt ervoor dat er naar de toekomst toe verwacht wordt dat de stikstofbelasting naar de toekomst toe in meer of mindere mate zal afnemen.

Herstelmaatregelen in natuurgebieden hebben bewezen om effect te hebben, maar vooralsnog hebben de bronmaatregelen (verzuring, verdroging, versnippering) en de herstelmaatregelen niet geleid tot een provincie brede verbetering van de natuurkwaliteit. Bij een langdurige aanpak van de maatregelen wordt verwacht dat de afname in natuurkwaliteit op den duur geremd en/of omgekeerd wordt.

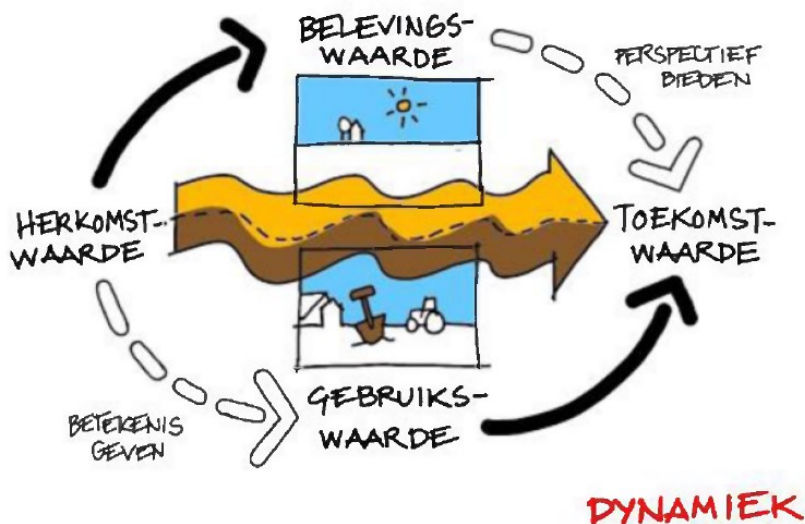
Beoordeling

In algemene zin gaat het niet goed met de kwaliteit van de natuur in Noord-Brabant. De helft van de Natura 2000-gebieden in Brabant verkeert in een ongunstige staat van instandhouding. Het aantal soorten in verschillende habitats van het NNB neemt sinds de start van de meetnetten in 1995 af. Deze trend is niet alleen in natuurgebieden te zien, maar ook in het agrarisch buitengebied en stedelijk gebied. Lokale herstelmaatregelen hebben een positief effect op de natuur, maar leiden nog niet tot omkering van de trends (Provincie Noord-Brabant, 2021).

De beoordeling houdt rekening met de gemiddeld genomen verwachte verbetering van de kwaliteit van de natuurgebieden in Noord-Brabant (waarbij niet alle doelstellingen zullen worden gehaald) en de verwachtingen over de verdere, maar wellicht minder snelle achteruitgang van de biodiversiteit buiten de natuurgebieden. De verwachting is dat de kwaliteitsverschillen tussen de natuurgebieden en de overige gebieden (voor een groot deel agrarisch) in de toekomst verder zullen toenemen. Dat is het gevolg van de inzet van het beleid op de natuurgebieden – waar overheden en terreinbeheerders actief (kunnen) zijn – en de minder grote en minder te sturen inzet buiten de natuurgebieden. Verder is de verwachting dat de kwaliteitsverbetering in Natura 2000-gebieden het grootst zullen zijn vanwege de sterkere sturing op de doelstellingen voor deze gebieden.

5.2.3 Ruimtelijke kwaliteit

De ruimtelijke kwaliteit van een plek of gebied wordt bepaald door een goed samenspel van de vier waarden die daarbij een rol spelen (zie Figuur 5.33).

KARAKTERISTIEK

Figuur 5.33 Het samenspel van de vier waarden van ruimtelijke kwaliteit (Provincie Noord-Brabant, 2022)

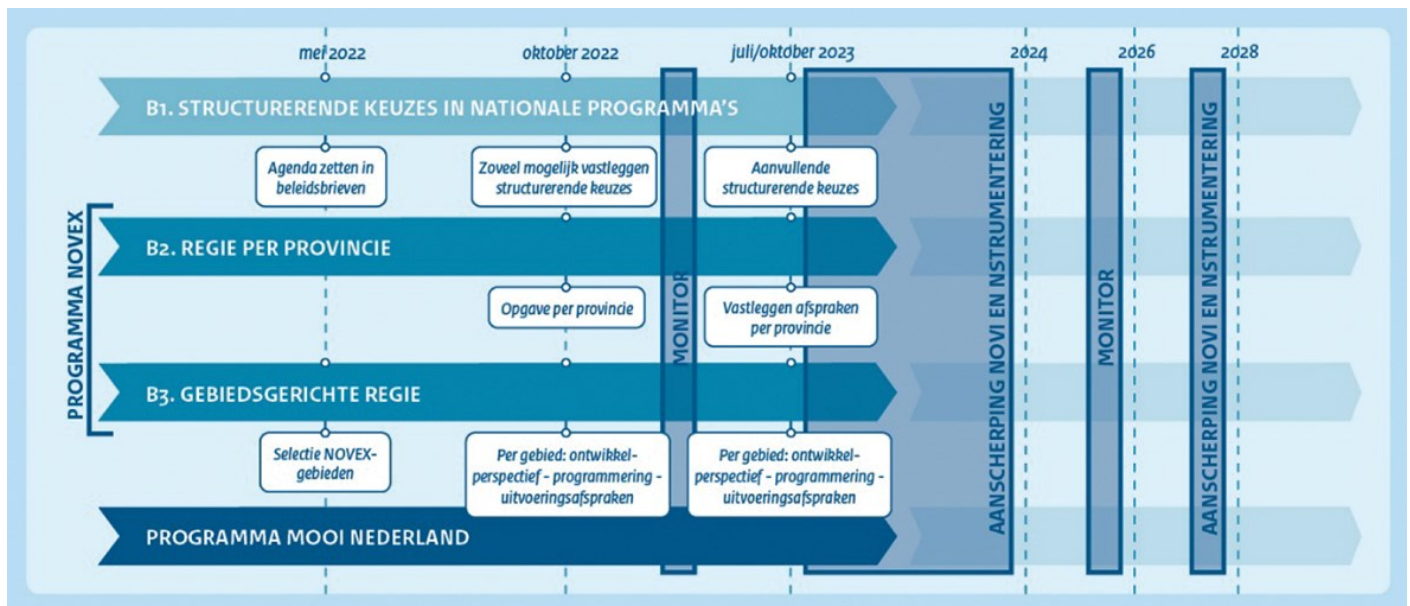
De ruimtelijke kwaliteit in Noord-Brabant is afhankelijk van nationaal beleid ten aanzien van de ruimtelijke kwaliteit en ruimtegebruik.

Grote opgaven in een beperkte ruimte

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) heeft in 2021 een rapport uitgebracht waarin zij opgaven op het gebied van de leefomgeving beschrijven, die ontstaan als gevolg van het grote aantal nieuwe woningen dat moet worden bijgebouwd, maatregelen die genomen moeten worden om de opwarming van de aarde te beperken (locaties vinden voor windmolens en zonnepanelen) en door klimaatverandering, de landbouw, woningbouw en bedrijvigheid. Door dit alles staat de draagkracht van de bodem, het water en de biodiversiteit onder grote druk. Het PBL schreef hier over dat het "de opgave is om in het leefomgevingsbeleid niet alleen nieuw ruimtegebruik in te passen, maar tegelijkertijd de omgevingskwaliteit te verbeteren. Dat vraagt om een nieuwe balans tussen de gebruikswaarde (economische benutting), belevingswaarde (perspectief van de burger) en toekomstwaarde (ecologische duurzaamheid) van de ruimte in Nederland (PBL, 2021)". Het vinden van deze balans is ook voor Noord-Brabant van belang.

Ruimtelijke ordeningsbrief - nationale regie in de ruimtelijke ordening

Het realiseren van samenhang in beleid op verschillende schaalniveaus in Nederland loopt via de programma's NOVEX en Mooi Nederland en de aanscherping van de NOVI. De nationale structurerende keuzes plus de programma's NOVEX en Mooi Nederland leiden tot de aanscherping van de NOVI. En dat voert vervolgens het nationale beleid. In dit nationale beleid zijn Stedelijk Brabant en de Peel gebieden waar aandacht voor is. Landelijke keuzes ten aanzien van 'Versterking landschappelijke identiteit via landschapselementen', multifunctioneel ruimtegebruik bij de opwek van energie op land, het toestaan van hyperscale datacenters en met name het realiseren van een groot aantal nieuwe woningen vraagt een zorgvuldige integrale ruimtelijke afweging. Met name de programma's "Erfgoeddeal" en "Gezonde en groene leefomgeving" spelen in op de ruimtelijke kwaliteit in Nederland (de Jonge, 2022) en daarmee ook op de ruimtelijke kwaliteit van Noord-Brabant.



Figuur 5.34 Samenhang en cyclisch proces tussen nationaal structurerende keuzes, programma's NOVEX en Mooi Nederland

Programma Mooi Nederland

In het programma Mooi Nederland wordt de regie op samenhang in ruimtelijke kwaliteit en identiteit geborgd doordat inhoudelijke samenhang van opgaven en ruimtelijke kwaliteit centraal staan. Hoewel er in het beleid al decennialang aandacht is voor ruimtelijke kwaliteit, verrommelt het landschap steeds meer, verdwijnt het contrast tussen stad en land en neemt het groen in de nabije leefomgeving af. Regie op ruimtelijke ordening betekent met elkaar sturen op samenhang en kwaliteit van ruimtegebruik in Nederland en Noord-Brabant.

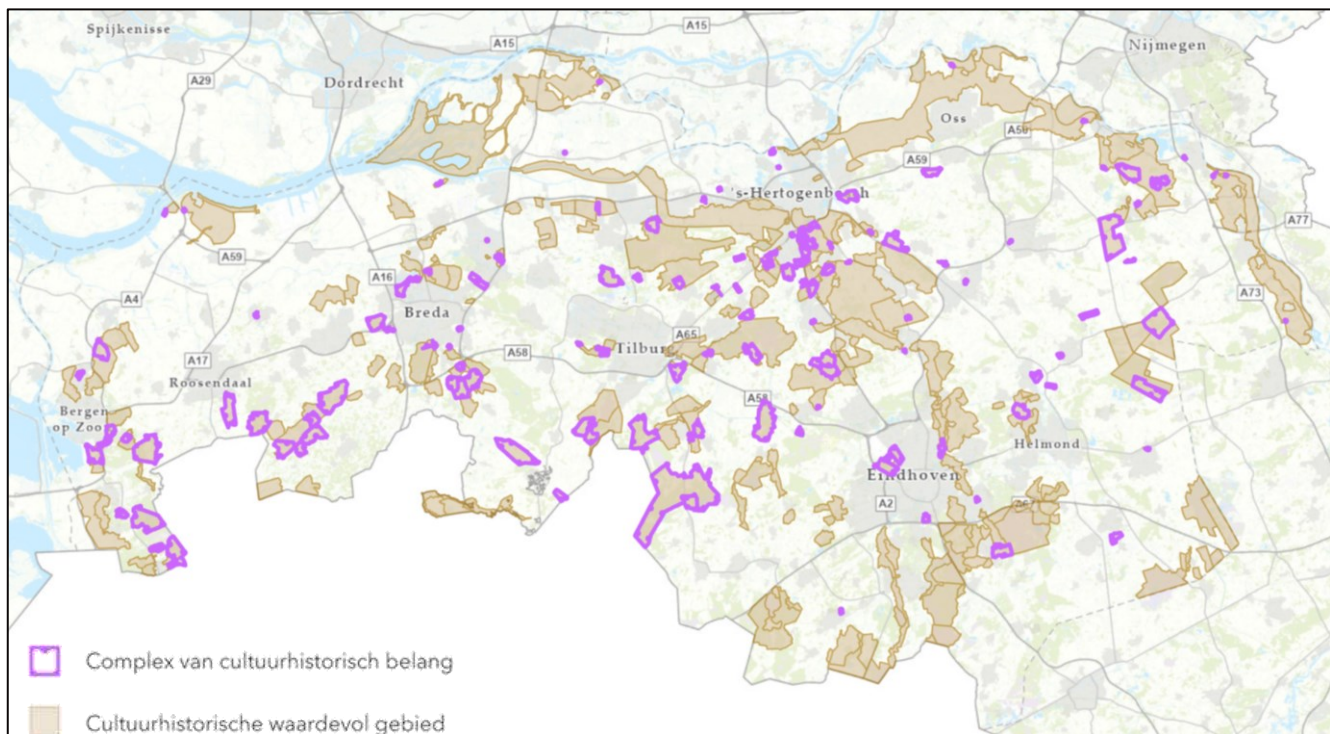
Herkomstwaarde

Bij herkomstwaarde gaat het om de verbondenheid, eigenheid en herkenbaarheid, cultuurhistorische verscheidenheid en leesbaarheid van de omgeving in tijd en ruimte. Dit is gelieerd aan hoe de ontstaansgeschiedenis is te lezen in het landschap en komt deels terug in de thema's bodem, ondergrond en natuur.

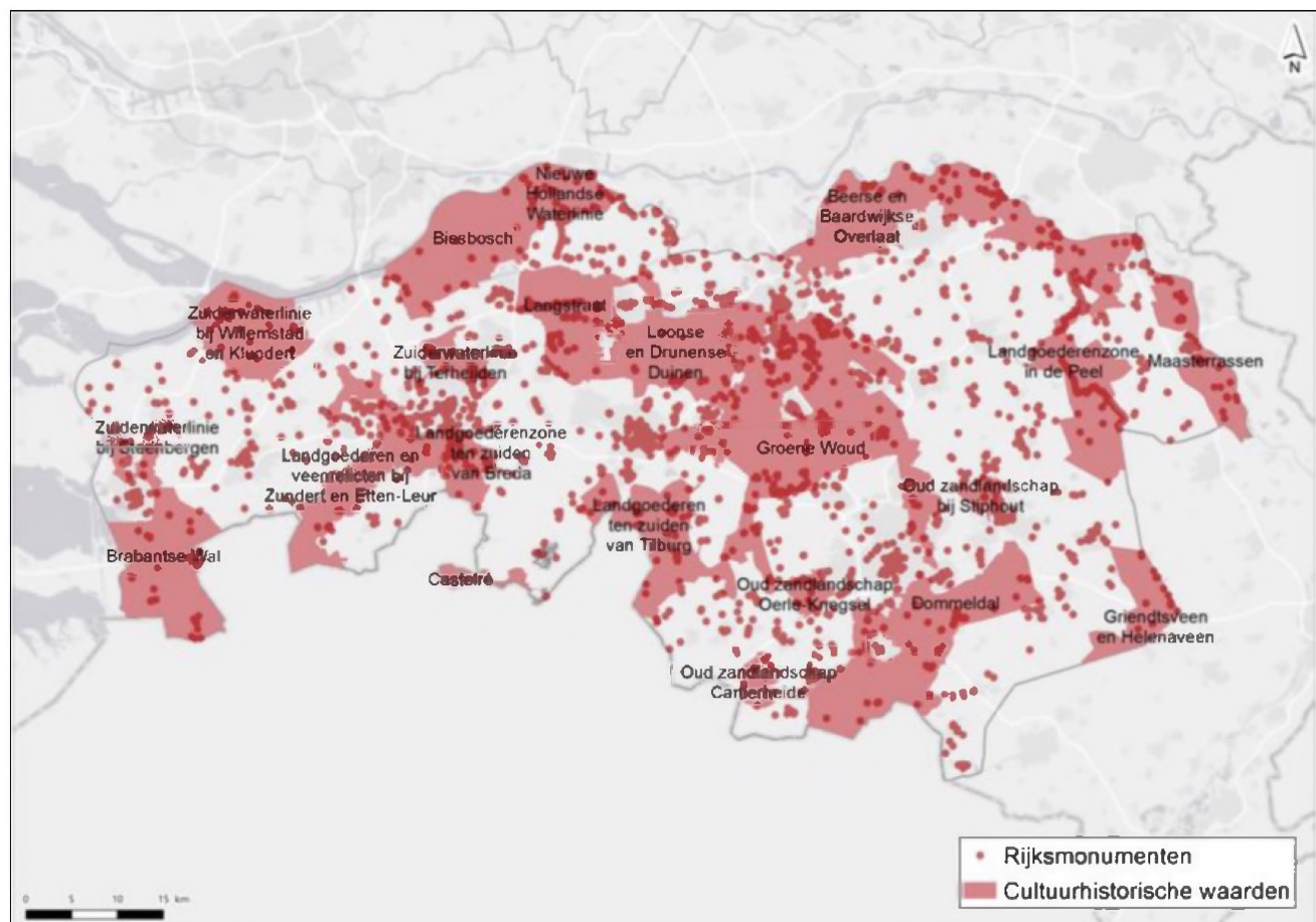
De provincie heeft in haar Cultuurhistorische Waardenkaart (CHW) (zie Figuur 5.35) zichtbaar gemaakt welke gebieden voor de provincie van essentieel cultureel historisch belang zijn (donkerbruin) en verankerd liggen in de omgevingsverordening. De lichtgele gebieden geven aan wat vanuit het rijk, op basis van de meest recente erfgoedinformatie met archeologische en bouwkundige monumenten, met archeologische verwachtingswaarden en met beschermde stads- en dorpsgezichten waardevolle gebieden zijn. Op de CHW is ook in beeld gebracht waar de vroegere ontginnings- en bewoningsgeschiedenis nog goed afleesbaar zijn. Figuur 5.36 bevat een aanvullende kaart met cultuurhistorische waarden in Brabant. Het betreft bijvoorbeeld een aantal landgoederen en de Werelderfgoed Hollandse Waterlinies en de Zuidwaterlinie. Daarnaast worden op de kaart de Rijksmonumenten weergegeven. Dan gaat het onder andere om molens, kerken en monumentale woningen en boerderijen.

Voor cultuurhistorische waarden geldt dat door wet- en regelgeving monumenten (van rijk, provincie of gemeente), stads- en dorpsgezichten en cultuurhistorisch waardevolle structuren in het landschap worden beschermd. De provincie heeft de bescherming van cultuurhistorische waarden geregeld in de Omgevingsverordening³⁸. Daarnaast kunnen bestemmingsplannen bescherming bieden.

³⁸ <https://noord-brabant.tercera-ro.nl/MapView/Default.aspx?id=NLIMRO9930TAMOvrNBrabant-va01>
planMER beleidskader milieu | 2022 103



Figuur 5.35 Cultuurhistorische Waardenkaart (CHW) herziening 2024 (Provincie Noord-Brabant, 2024)

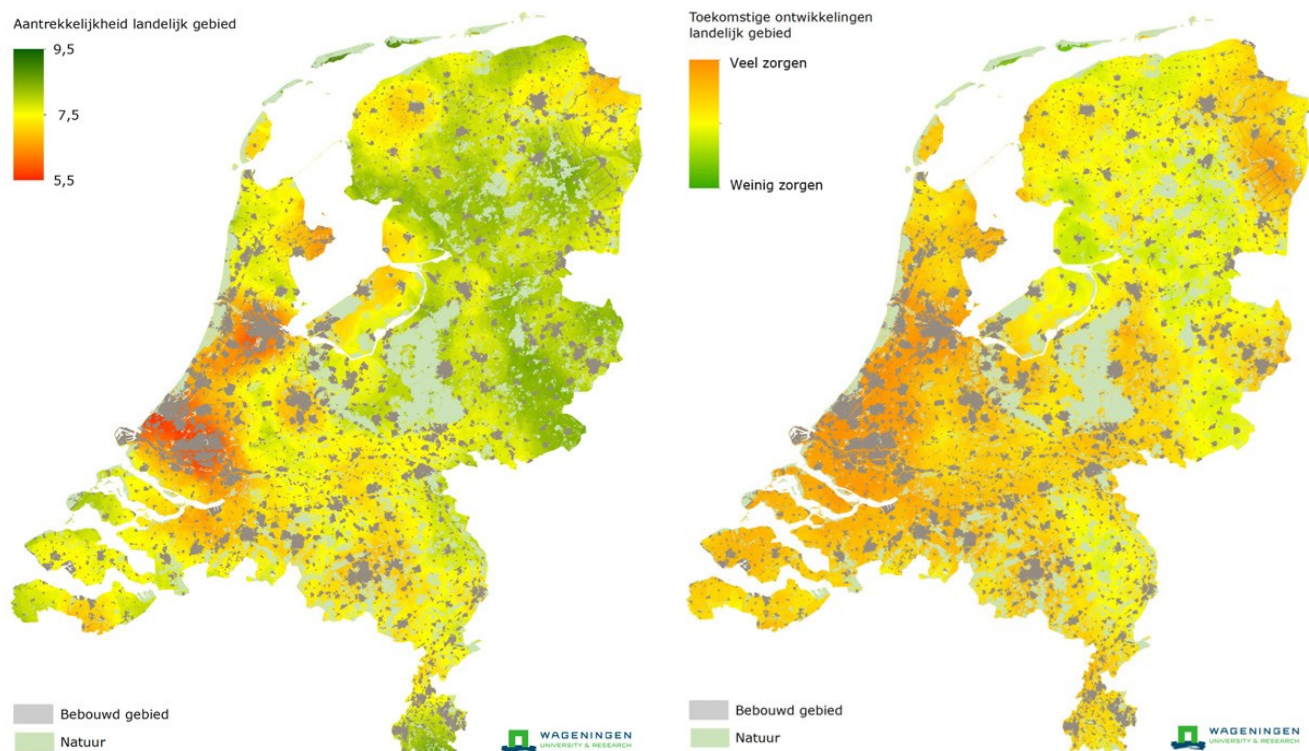


Figuur 5.36 Cultuurhistorische waarden in Brabant, bron: PlanMER Beleidskader Milieu (Provincie Noord-Brabant, 2022)

Gebruikswaarde

Bij de gebruikswaarde staat de bruikbaarheid van het landschap en de invloed van het gebruik en/of geschiktheid voor activiteiten/functions in het landschap centraal. Dit heeft te maken met het (economisch en in samenhang) functioneren van het gebied en komt deels terug in het thema natuur.

Het landgebruik in Brabant wordt intensiever en dat heeft invloed op de natuurkwaliteit en de aantrekkelijkheid van het landelijke gebied. Uit een studie uitgevoerd door de WUR (Buijs, Nieuwenhuizen, Langers, & Kramer, 2019) komt naar voren dat Brabant ten aanzien van aantrekkelijkheid van het landelijke gebied onder het landelijk gemiddelde ligt, met een cijfer van 7,3, maar zorgt ook dat men zich zorgen maakt over de ontwikkelingen in landelijke gebied rondom hun woonomgeving (Figuur 5.37). De aantrekkelijkheid van het landelijk gebied blijkt vooral in de directe nabijheid van grote steden onder het landelijke gemiddelde. Ook BrabantKennis (Hendriks, 2016) geeft aan dat de impact van zonnevelden, windmolens, logistieke centra en glastuinbouw op de aantrekkelijkheid van het landelijk gebied toeneemt en daarmee ook de spanning tussen het Brabants grondgebruik en de visuele druk op het landschap.



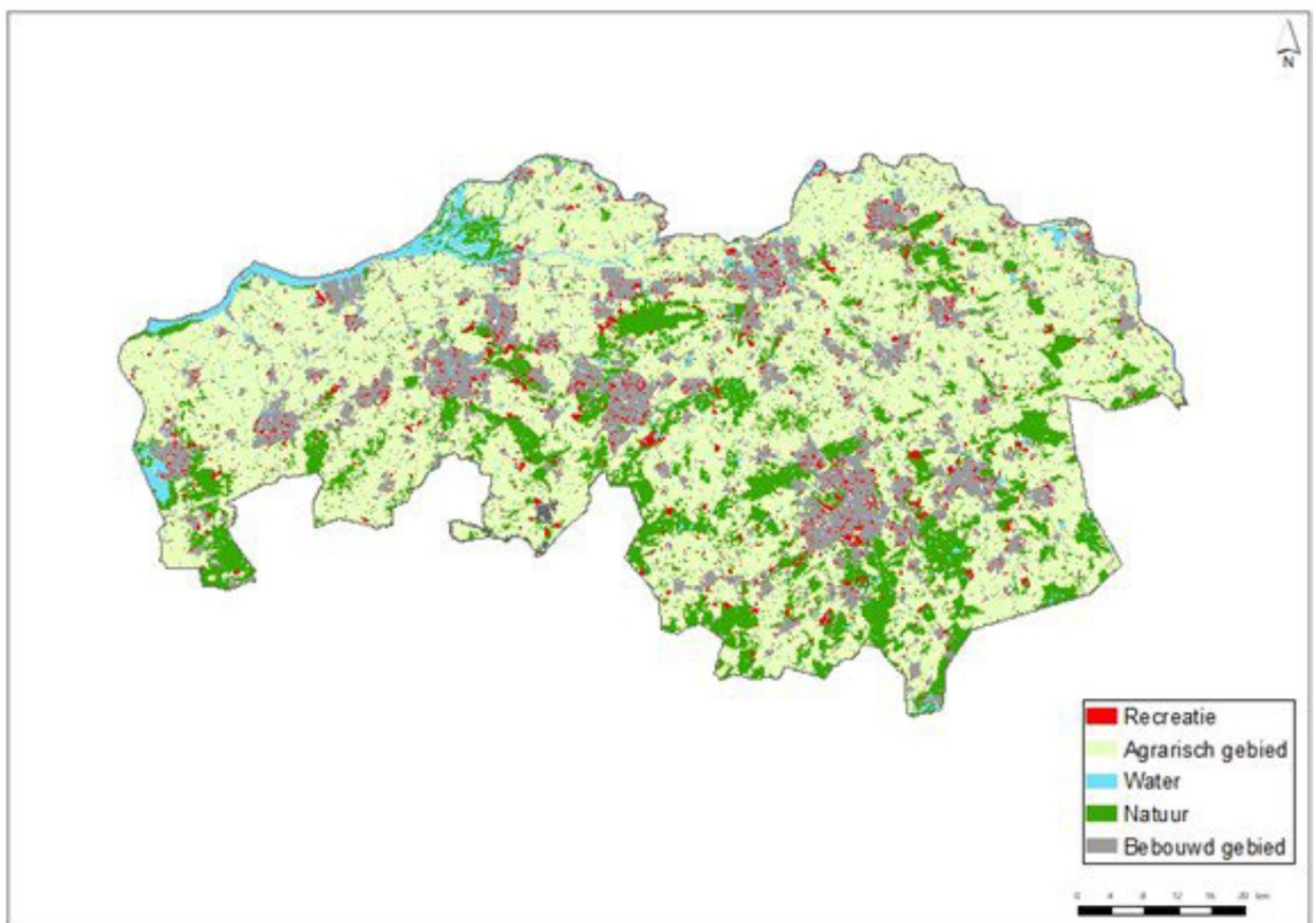
Figuur 5.37 Links: Gemiddelde aantrekkelijkheid van het landelijk gebied, gebaseerd op de vraag: “Hoe aantrekkelijk vindt u het landelijk gebied in uw woonomgeving?”, Rechts: Zorgen over toekomstige ontwikkelingen in het landelijke gebied, bron: Resultaten Nationale Landschapsonquête: onderzoek naar visies en waardering van de Nederlandse bevolking over het landelijk gebied in Nederland (Buijs, Nieuwenhuizen, Langers, & Kramer, 2019)

Natuur vervult in Nederland vaak meerdere functies. Het Planbureau voor de Leefomgeving noemt dat ook wel de functionele natuur. De ecosystemen hebben door de regulerende of productieve werking ook een maatschappelijke en economische waarde. Zo heeft de natuur rond de grote steden vaak een waterbergende functie, als compensatie voor de stad. Voor de Loonse en Drunense Duinen zijn bijvoorbeeld de landbouwfuncties afgestemd op de ecosystemen van het natuurgebied. Ook zijn er diverse waterplassen aangelegd die als waterberging voor Tilburg dienen en tegelijkertijd de verdroging van de Duinen tegengaan. Er ligt een opgave om ook de andere natuurgebieden beter in te richten en af te stemmen met de omgeving. Natuur vormt op die manier geen belemmering, maar biedt juist kansen voor nieuwe ontwikkelingen (Runia & Knornet, 2019).

Figuur 5.38 geeft het huidige landgebruik van Brabant op hoofdlijnen weer. Van de bijna 500.000 ha grond in Noord-Brabant is ongeveer 232.000 ha cultuurgrond (46 %) (Wageningen Economic Research, 2020). De landbouw is daarmee de grootste ruimtegebruiker in het Brabantse landelijk gebied en een belangrijke beheerder van het

landschap. Uit de cijfers van de databank van Brabant blijkt dat zowel het aantal bedrijven als de totale omvang van de landbouwgrond binnen de provincie afnemen. De daling in het aantal bedrijven is groter, waardoor er over de hele provincie gezien schaalvergroting optreedt. Het gebruik van de agrarische gronden is niet gericht op autarkie (het produceren van voedsel voor de eigen bevolking) maar is onderdeel van de economische functie van de landbouw. Daarin is de intensieve veehouderij een belangrijk onderdeel. Een trend, mede als gevolg van de stikstofproblematiek is het verdwijnen van melkveebedrijven, waarna resterende melkveebedrijven grootschaliger worden of grasland wordt omgezet in bouwland met een intensief grondgebruik, intensieve grondbewerking en toenemende behoefte aan kunstmest en bestrijdingsmiddelen (bijvoorbeeld voor aardappelen, asperges of sierteelt).

De landbouw staat onder druk van verstedelijking. Net als andere bedrijvigheid kenmerkt de agrarische sector zich door vernieuwing en transformatie. Gezien de historische en huidige impact van de agrarische sector op de natuur en het water en bodemsysteem, is een transitie naar een duurzame landbouw belangrijk.



Figuur 5.38 Landgebruik Brabant, bron: PlanMER beleidskader Wonen en Werken (Provincie Noord-Brabant, 2022)

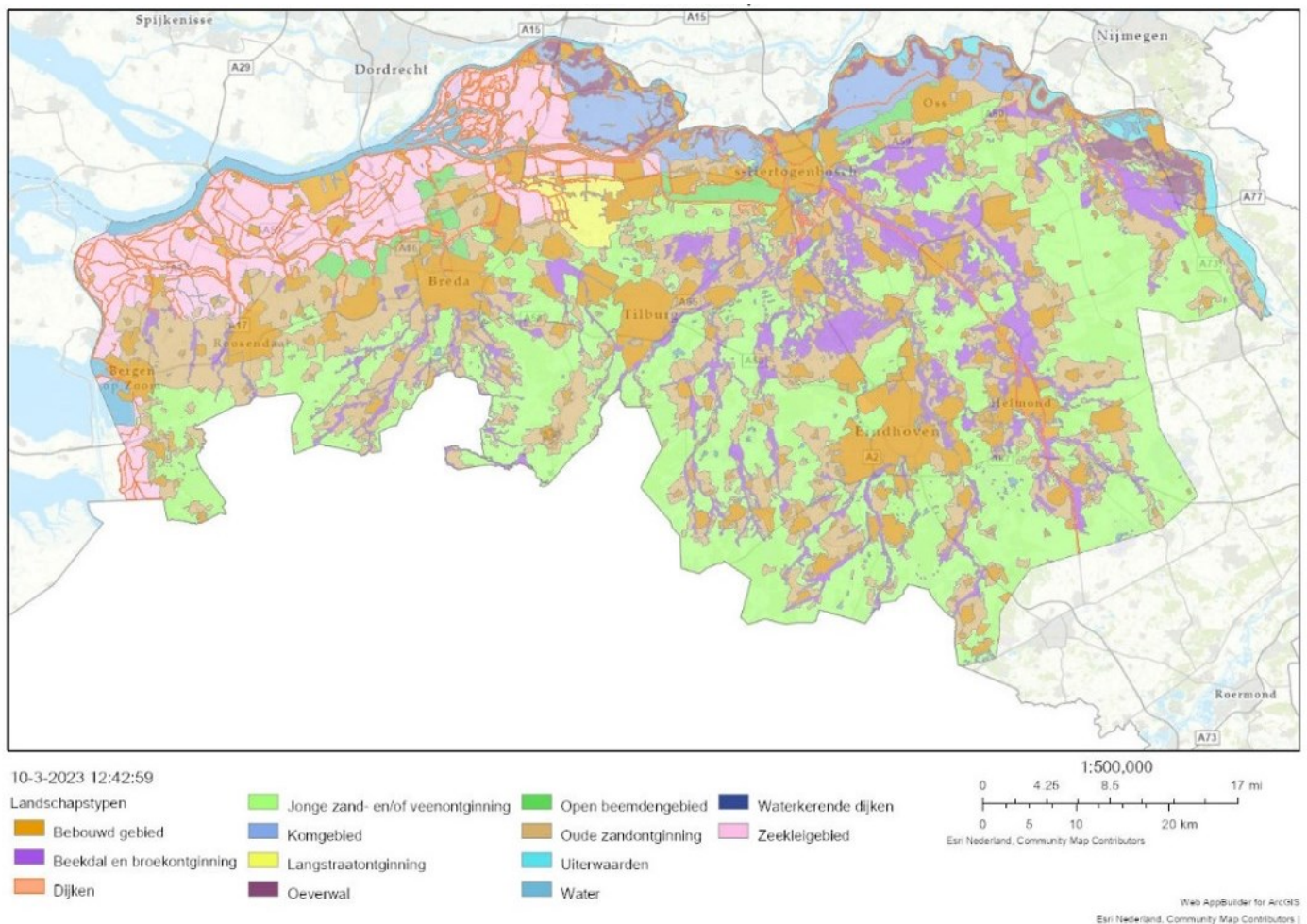
In Brabant ligt in de huidige situatie 143 km² recreatiegebied en 1.225 km² bebouwd gebied. Woningen liggen grotendeels binnen het bebouwd gebied, maar ook verspreid door het landelijk gebied. Het aantal woningen in Brabant is in 2020 circa 1,1 miljoen, tot 2030 moeten daar 120.000 woningen bijkomen. Dit om de verwachte groei van het aantal huishoudens op te kunnen vangen en bestaande woningtekorten terug te dringen. Naar verwachting blijft de omvang aan recreatiegebieden in de toekomst gelijk. Er zijn geen plannen voor uitbreiding bekend.

Belevingswaarde

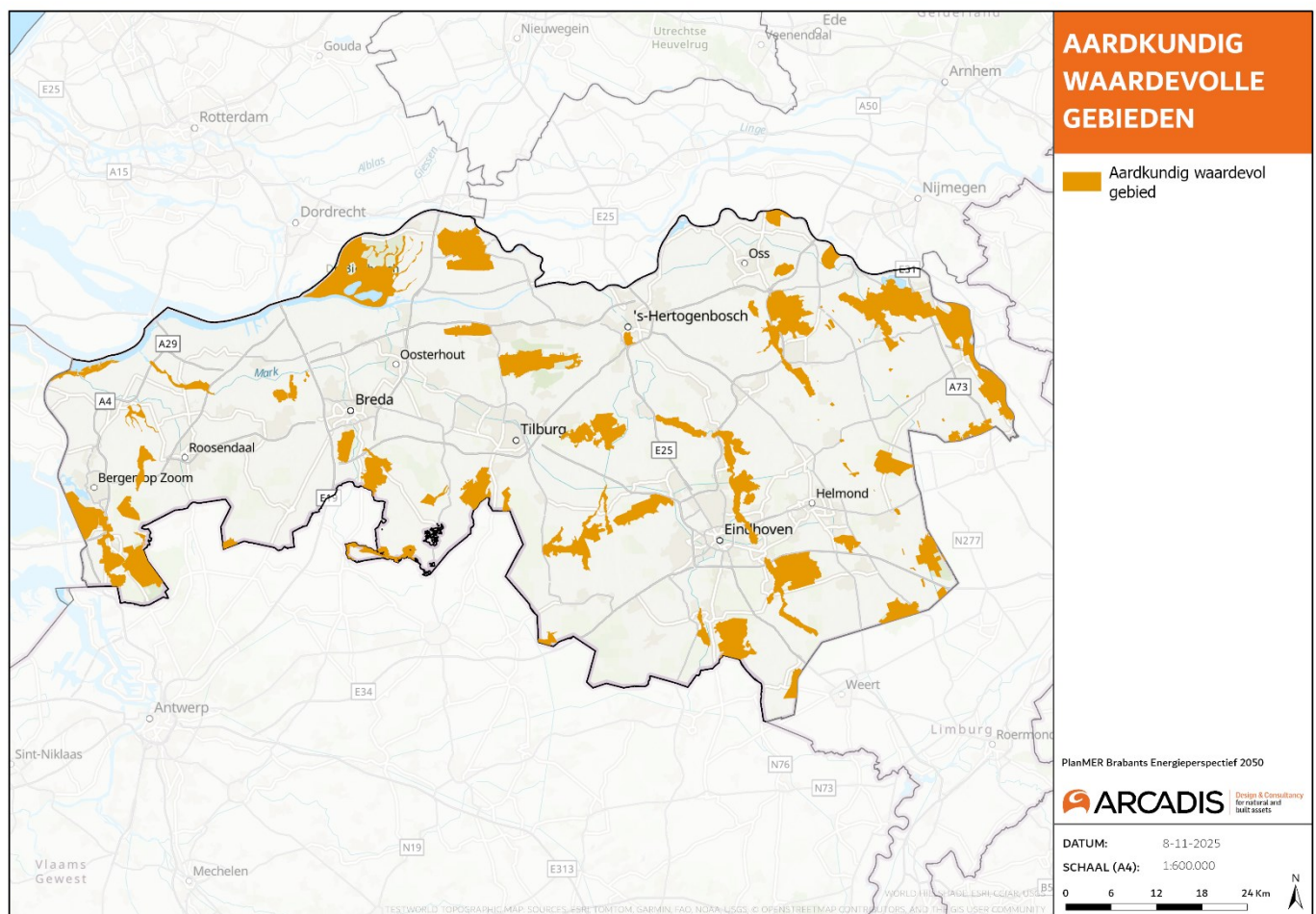
De belevingswaarde is de waarde die wordt toegekend aan dat wat men beleeft en wordt vertaald naar landschap en cultuurhistorie. Belevingswaarde van landschap heeft twee waarderingsaspecten:

1. Zichtbaarheid (herkenbaarheid, schoonheid), dat bestaat uit afwisseling, esthetische kwaliteit, zichtbaarheid van het landschap en de passendheid van elementen in het landschap (een bungalow op een historisch landgoed of een oude molen in een wijk met flats heeft geen overeenstemming met zijn omgeving). Dit bepaalt de beleefde kwaliteit; en,
2. Herinnerbaarheid (herinneringswaarde) door de verbondenheid met feitelijke historische gebeurtenis en ouderdom van het landschap of elementen in het landschap.

De herinnerbaarheid is vastgelegd en besproken in de CHW-kaart (zie herkomstwaarde). Zichtbaarheid in de huidige situatie uit zich door herkenbaarheid van de landschapstypen en aardkundige waarden. Figuur 5.39 geeft de verschillende landschapstypen in Brabant weer. In het rivierengebied is met name sprake van uiterwaarden en zeekleigebied. Op de hoge zandgronden liggen beekdalen en broekontginningen, jonge zand- en/of veenontginningen en open beemdengebieden. Figuur 5.40 geeft de aardkundig waardevolle gebieden weer. Aardkundige waarden zijn bijvoorbeeld meanders van rivieren en dekzandruggen. De aardkundig waardevolle gebieden komen voor een groot deel overeen met de natuurgebieden in Brabant.



Figuur 5.39 Landschapstypen Noord-Brabant, bron: Bijlage 1 Subsidieregeling stimuleringsregeling landschap Noord-Brabant (Provincie Noord-Brabant, 2023)



Figuur 5.40 Aardkundig waardevolle gebieden

Toekomstwaarde

De toekomstwaarde is afhankelijk van de mogelijkheden om aan te passen aan toekomstige ontwikkelingen. Anders gezegd: hoe een omgeving kan bijdragen aan een betekenisvolle toekomst. De huidige toekomstwaarde komt terug in verschillende beleidsthema's: bodem, water, natuur en gezondheid en wordt hier daarom niet apart behandeld.

Beoordeling

Een gebied heeft een hoge ruimtelijke kwaliteit als er rekening wordt gehouden met de historische karakteristieken (herkomstwaarde), een gebied doelmatig is en functionele samenhang biedt (gebruikswaarde), het als divers, mooi en uniek wordt beleefd (belevingswaarde) en het tevens goed aangepast kan worden aan toekomstige ontwikkelingen (toekomstwaarde).

Het Brabantse agrarisch cultuurlandschap vertegenwoordigt een hoge landschappelijke en cultuurhistorische waarde. De landbouwsector heeft van oudsher een belangrijke rol in de totstandkoming van het cultuurlandschap. De ontginning van het landschap, een agrarische activiteit, is een belangrijke cultuurhistorische waarde.

Het historisch landschap heeft in de afgelopen decennia een kwalitatieve achteruitgang doorgemaakt. Dit is voornamelijk verklaarbaar door de ingrijpende omvorming van het historisch landschap in voorgaande decennia. Onder invloed van schaalvergroting, ruilverkaveling en normalisatie heeft (voornamelijk in de vorige eeuw) in Brabant een grote kaalslag plaatsgevonden. Nieuwe bedreigingen voor het landschap doen zich ook voor: grootschalige energieopwekking in waardevolle historische cultuurlandschappen en 'verdozing' van het landschap (hiermee wordt veelal de bouw van grootschalige industriële en/of logistieke bedrijfshallen bedoeld).

Voor de landschappelijke waarde van het agrarische cultuurlandschap gelden als meest voorname bedreigingen:

- Het vrijkomen van (al dan niet monumentale) waardevolle agrarische bebouwing die kan verloederen³⁹;
- Het vrijkomen van overige agrarische bebouwing die een ontsierend effect hebben op het agrarisch cultuurlandschap;
- Verdere schaalvergroting van landbouwpercelen door schaalvergroting van boerenbedrijven en verdere terugval van de kwaliteit van het landschap.

Tegelijkertijd treden er ook gunstige ontwikkelingen op:

- Waterschappen en provincie werken aan herstel van genormaliseerde beken en nemen daar regelmatig historisch waterbeheer (bijvoorbeeld vloeiwijdensystemen in Zuidoost Brabant) in mee;
- De Provincie beschermt de hoogtepunten van het agrarisch cultuurlandschap (bijvoorbeeld de ontginning van Landgoed De Utrecht) in de Omgevingsverordening als “cultuurhistorisch waardevolle gebieden”.

Per saldo zal de kwaliteit van (de cultuurhistorische waarde van) het landschap de komende jaren onder druk blijven staan. Er liggen kansen voor behoud van de huidige landschaps- en erfgoed waarden, maar de grote (ruimtelijke) opgaven vormen ook een mogelijk risico voor het Brabantse landschap en erfgoed.

5.2.4 Gezonde en veilige leefomgeving

Gezondheid is één van de centrale thema's in de Brabantse omgevingsvisie. Dit thema wordt in brede en positieve zin benaderd; naast bescherming tegen schadelijke milieufactoren zoals geluid, luchtverontreiniging en geur, richt het zich ook op aspecten als zingeving, sociaal welzijn en het stimuleren van gezond gedrag. In relatie tot het energiesysteem zijn met name geluidhinder, luchtkwaliteit en slagschaduw relevant. Ten aanzien van een veilige leefomgeving gaat het in relatie tot het energiesysteem om externe veiligheid en luchtvaartveiligheid.

Geluid

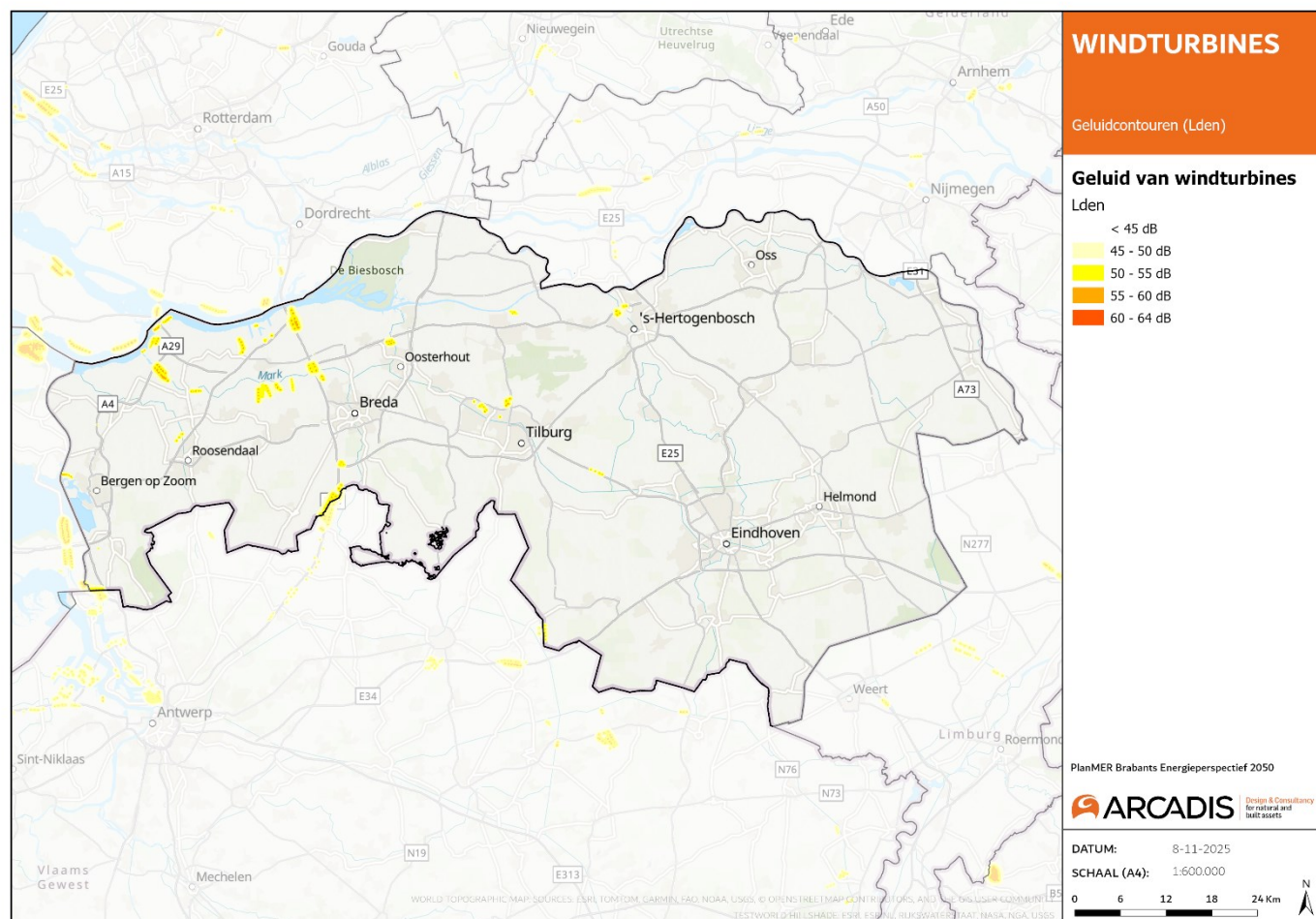
Geluidhinder verwijst naar het omgevingsgeluid dat mensen ervaren en als storend of negatief worden beleefd. Langdurige blootstelling aan harde geluiden kan leiden tot gezondheidsproblemen. Veelvoorkomende bronnen van hinderlijk omgevingsgeluid zijn weg-, rail- en vliegverkeer (Figuur 5.41). Deze bronnen kunnen niet alleen invloed hebben op de menselijke gezondheid, maar ook negatieve effecten hebben op de natuur.

In het kader van de energietransitie krijgt geluid een steeds belangrijkere rol binnen de ruimtelijke afwegingen. Nieuwe vormen van duurzame energieopwekking, zoals windturbines en grootschalige installaties voor energieopslag, brengen geluidsproductie met zich mee die invloed kan hebben op de leefomgeving. Figuur 5.42 geeft de geluidcontouren weer van windturbines in de provincie Noord-Brabant.

³⁹ Leegstand agrarisch vastgoed Noord-Brabant, WUR, 2016

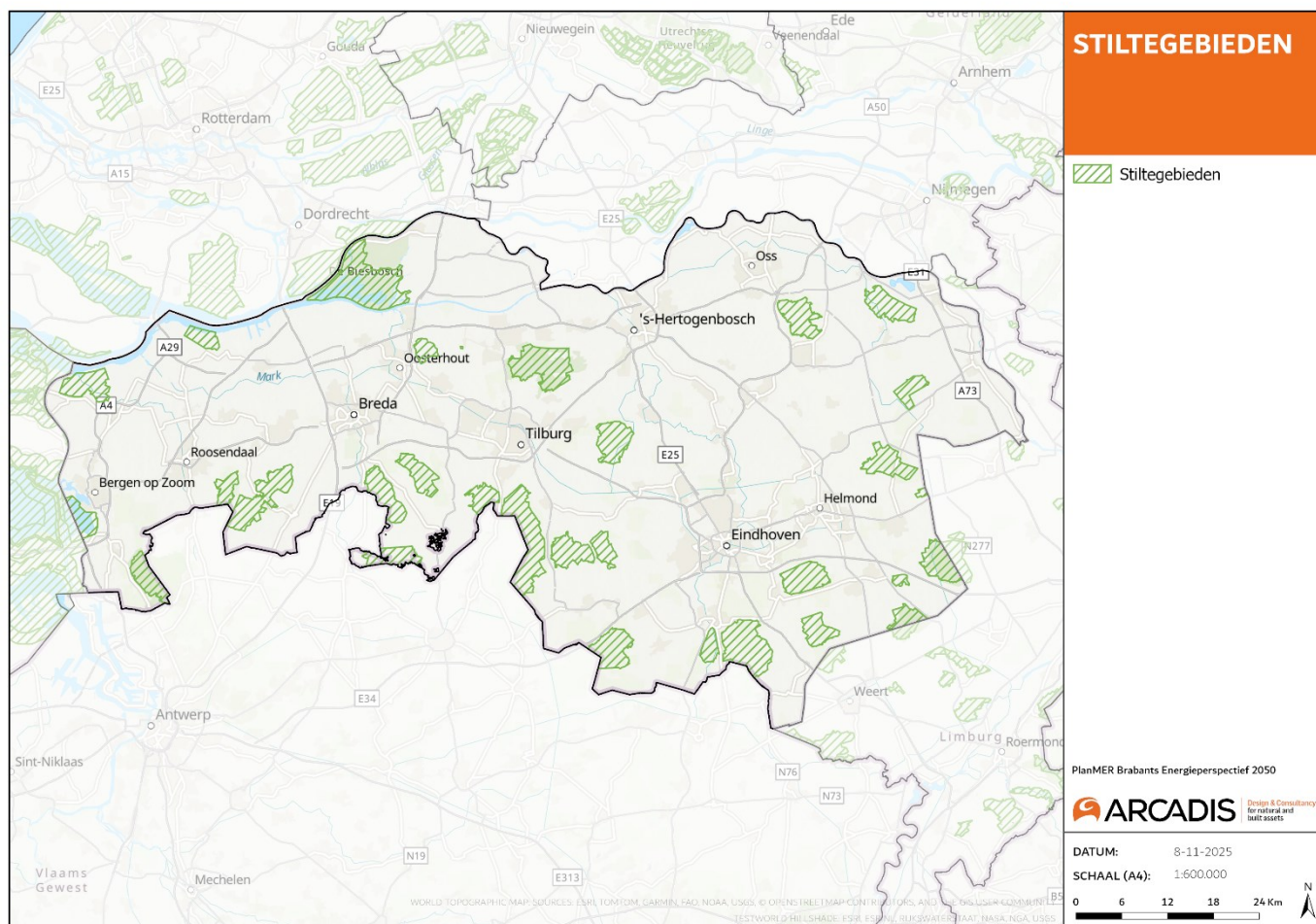


Figuur 5.41 Cumulatief geluid (Lcum) voor Noord-Brabant (Bron: Atlas Leefomgeving).



Figuur 5.42 Geluidcontouren (Lden) windturbines in de provincie Noord-Brabant

In Nederland zijn diverse stiltegebieden aangewezen – waarvan 31 zich bevinden in Noord-Brabant (Figuur 5.43). Dit zijn beschermde zones waar voornamelijk natuurlijke geluiden hoorbaar zijn. Het doel is om het gemiddelde geluidsniveau onder de 40 decibel te houden. Hoewel de geluidsnormen in deze stiltegebieden momenteel nog worden gehaald, neemt de druk toe door ruimtelijke ontwikkelingen – bijvoorbeeld door de plaatsing van windturbines waar de geproduceerde geluiden ook buiten de directe omgeving merkbaar kunnen zijn. Dit kan leiden tot verstoring van de beleving van rust en natuur, en in sommige gevallen tot gezondheidsklachten bij omwonenden.



Figuur 5.43 Stiltegebieden

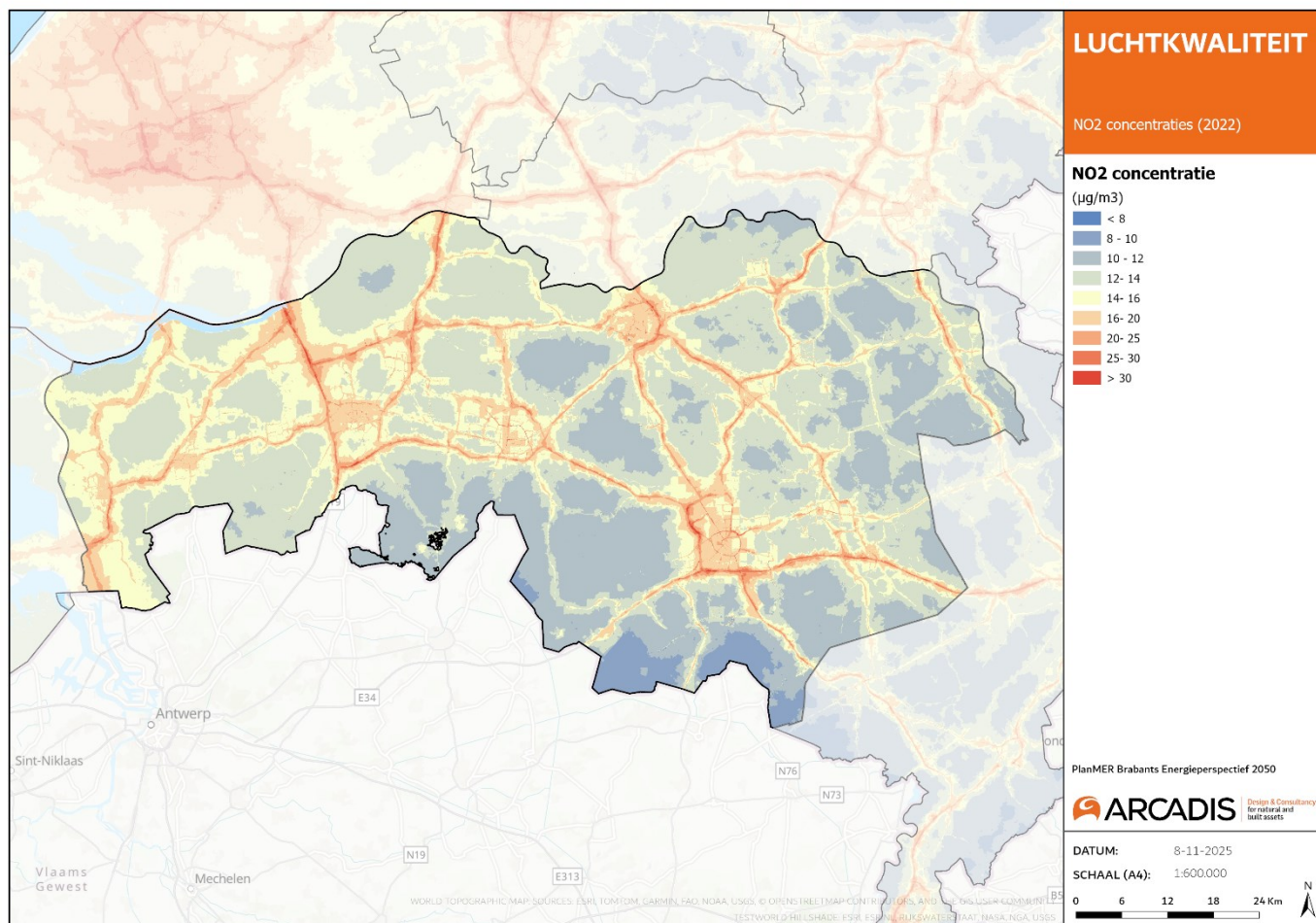
Vanuit het energieperspectief is het van belang om bij de realisatie van energie-infrastructuur rekening te houden met geluidsbelasting. Dit geldt niet alleen voor windenergie, maar ook voor andere installaties zoals warmtepompen, transformatorstations en energiehubs. Geluid kan ook op grote afstand van de bron verstorend werken op wilde diersoorten. Aangezien veel Natura 2000-gebieden in Nederland relatief klein zijn, kan geluid vanuit de randen de kwaliteit van deze gebieden aantasten voor gevoelige soorten.

Om geluidshinder in de leefomgeving te beperken, heeft de provincie Noord-Brabant het Actieplan Geluid opgesteld. Hoewel dit plan zich primair richt op verkeersgerelateerde bronnen, is het behoud van stiltegebieden ook relevant in het licht van de energietransitie. Bij de ontwikkeling van energie-infrastructuur, zoals windturbines en energiehubs, is het van belang om geluidsimpact mee te nemen in de ruimtelijke afwegingen, zodat rust en gezondheid in kwetsbare gebieden behouden blijven.

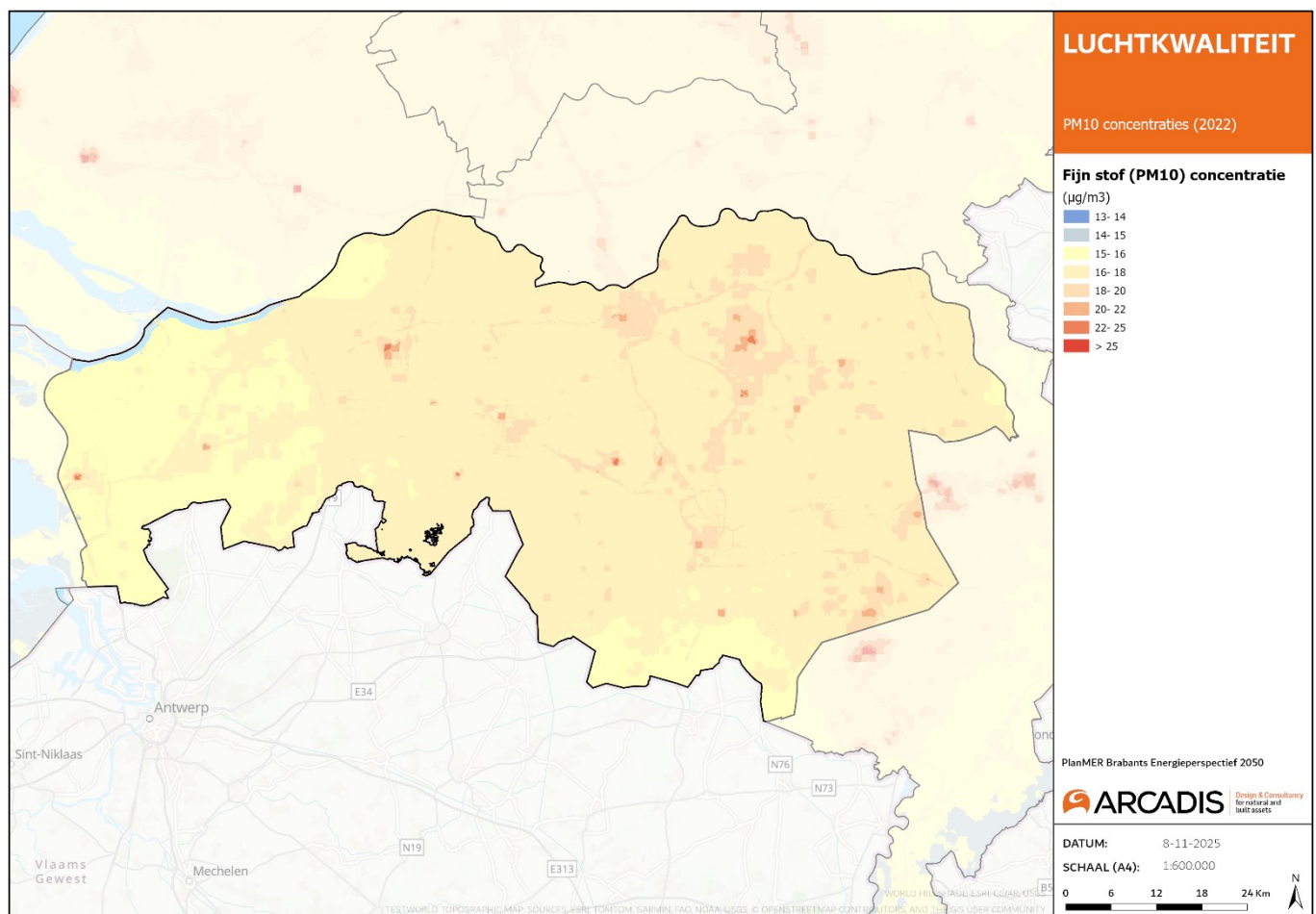
Luchtkwaliteit

Luchtverontreiniging betreft de aanwezigheid van schadelijke stoffen in de lucht, waarbij vooral gekeken wordt naar stoffen die door menselijk handelen extra in de atmosfeer terechtkomen. Belangrijke verontreinigende stoffen zijn fijnstof (PM10 en PM2.5) en stikstofdioxide (NO₂). Luchtverontreiniging heeft een aanzienlijke impact op de volksgezondheid. Volgens het RIVM (2018) is luchtverontreiniging, na roken en ongezonde voeding, de derde grootste

risicofactor voor de gezondheid van Nederlanders. Fijnstof verlaagt de gemiddelde levensverwachting met ongeveer tien maanden. De gezondheidsimpact verschilt per persoon; vooral mensen met astma of hart- en vaatziekten zijn extra kwetsbaar. Figuur 5.44 en Figuur 5.45 geven, op basis van de meest recente data van het RIVM, de concentraties stikstofdioxide en fijnstof (PM10) in 2022 weer.



Figuur 5.44 Concentraties NO₂ in 2022



Figuur 5.45 Concentraties PM10 in 2022

Luchtvervuiling is een grensoverschrijdend probleem. Ongeveer 40% van het gezondheidsverlies door luchtverontreiniging is toe te schrijven aan bronnen binnen Nederland, terwijl 36% afkomstig is uit het buitenland. Binnen Nederland is de landbouw verantwoordelijk voor circa 11% van het gezondheidsverlies door luchtvervuiling (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020). Deze cijfers zijn niet één-op-één toepasbaar op Noord-Brabant, omdat lokale factoren zoals ligging en infrastructuur de immissie beïnvloeden.

De energietransitie biedt kansen om de luchtkwaliteit structureel te verbeteren. Door de afbouw van fossiele brandstoffen en de inzet op duurzame energiebronnen zoals zon, wind en geothermie, nemen emissies van schadelijke stoffen zoals fijnstof en stikstofoxiden af. In Noord-Brabant is de uitstoot van PM10 momenteel voor ongeveer een derde afkomstig van industrie en een derde van landbouw, terwijl verkeer en vervoer de grootste bron is van stikstofdioxide. Dit laatste is duidelijk zichtbaar in Figuur 5.44. De emissies van deze stoffen zijn de afgelopen jaren gedaald, maar de WHO-normen worden nog niet gehaald.

Een belangrijke bron van secundair fijnstof is ammoniak (NH_3), dat in de lucht reageert met andere stoffen en zo fijnstof vormt dat zich over grote afstanden kan verspreiden. Hoewel de ammoniakuitstoot in Brabantse gemeenten de afgelopen decennia is afgenomen, blijft het een aandachtspunt in relatie tot luchtkwaliteit en gezondheid. Gezondheidseffecten van luchtvervuiling zijn duidelijk aantoonbaar. In gebieden met hogere concentraties fijnstof, zoals nabij industriële zones en verkeersaders, komen luchtwegaandoeningen zoals COPD en astma vaker voor. Noord-Brabant kent een bovengemiddeld aantal sterfgevallen door COPD.

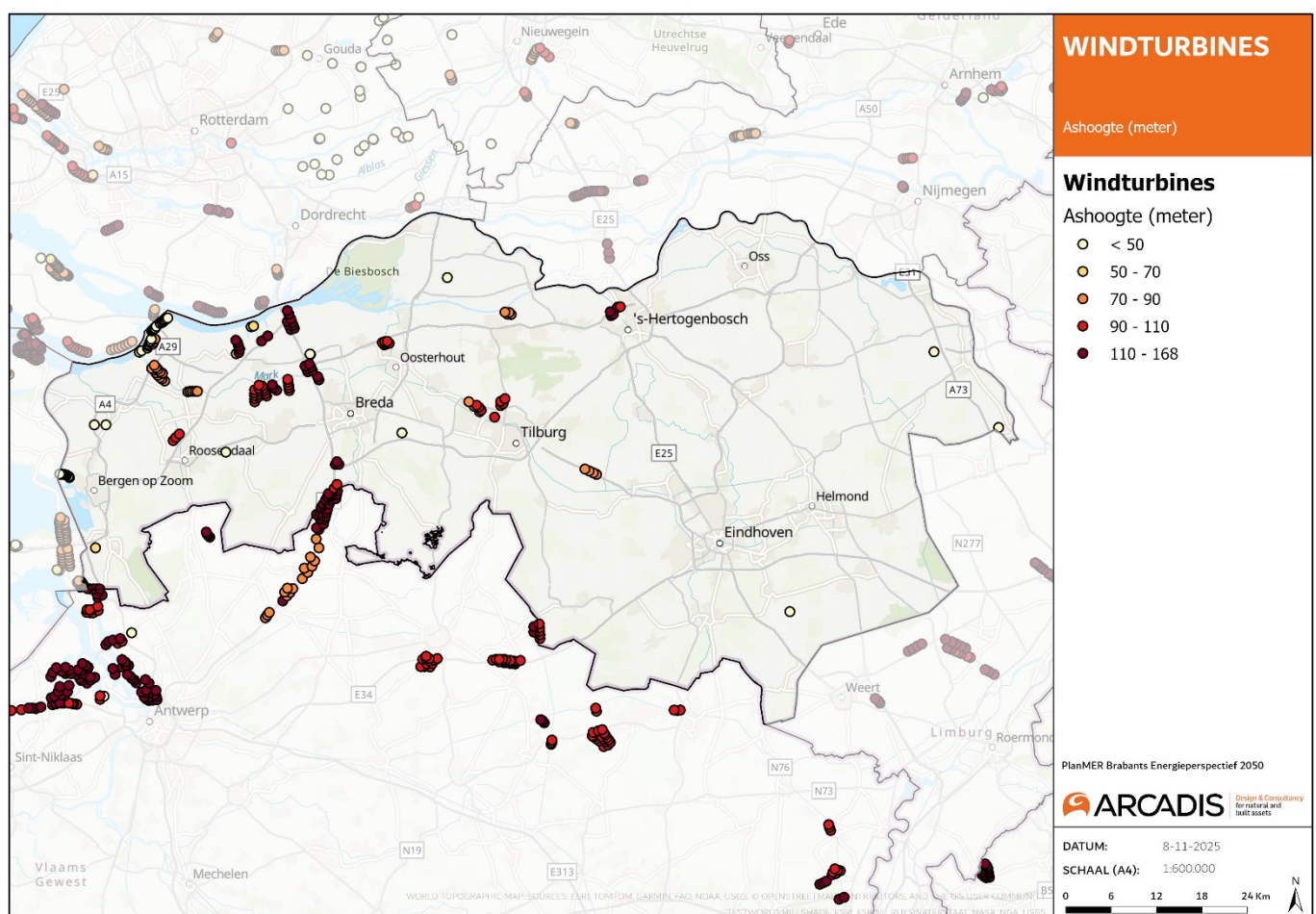
Gezien de gezondheidsimpact is het aanpakken van luchtverontreiniging van belang. De provincie zet hierop in via het Schone Lucht Akkoord, waar reeds verbeteringen zijn gerealiseerd. Door elektrificatie van mobiliteit, verduurzaming van industrie en het stimuleren van schone energieopwekking wordt de uitstoot van schadelijke stoffen

teruggedrongen. Deze maatregelen dragen niet alleen bij aan klimaatdoelen, maar ook aan een gezondere leefomgeving.

Slagschaduw

Inzet op de energietransitie leidt tot een toename van duurzame energiebronnen, waaronder windenergie. Hoewel windenergie een belangrijke bijdrage levert aan het reduceren van CO₂-uitstoot, kunnen windturbines ook effecten hebben op gezondheid. Een van deze effecten is slagschaduw: het bewegende schaduwpatroon dat ontstaat wanneer de zon achter de draaiende rotorbladen staat. Slagschaduw kan hinderlijk zijn voor omwonenden, vooral wanneer het regelmatig en langdurig voorkomt. Het kan leiden tot irritatie, concentratieverlies en in sommige gevallen zelfs stressklachten. Figuur 5.46 laat de windturbines in Noord-Brabant zien, inclusief de ashoogte. Hoe hoger deze ashoogte, hoe verder het effect van slagschaduw kan reiken.

Om de hinder door slagschaduw te beperken op locaties waar reeds windparken aanwezig zijn, gelden er in Nederland normen voor de maximale duur van slagschaduw op woningen. Windturbines worden vaak uitgerust met automatische stilstandvoorzieningen die de turbine tijdelijk uitschakelen wanneer de slagschaduw een vooraf bepaalde grens overschrijdt. Voor toekomstige locaties is het van belang dat een zorgvuldige ruimtelijke afweging wordt gemaakt, waarbij gezondheid en leefkwaliteit worden meegenomen.



Figuur 5.46 Aanwezige windturbines in de provincie Noord-Brabant, inclusief ashoogte in meter

Overige gezondheidseffecten

Overige gezondheidseffecten zijn vooral gerelateerd aan magneetvelden en stress. Sinds enkele jaren bestaat er discussie over de betekenis van onderzoek waarin een relatie wordt gevonden tussen het wonen nabij bovengrondse hoogspanningslijnen en het vóórkomen van leukemie bij kinderen, zie <https://www.rivm.nl/hoogspanningslijnen/gezondheidseffecten>. De Gezondheidsraad concludeert dat, alhoewel

verschillende onderzoeken een consistent statistisch verband laten zien, maar dat dit verband zwak is, er geen oorzakelijk verband is aangetoond tussen de hoogspanningslijnen en de ziektebeelden, en er geen plausibel biologisch mechanisme bekend is dat het verband kan verklaren. Bij de realisatie van nieuwe energie-infrastructuur wordt het voorzorgbeleid van de Rijksoverheid gehanteerd, waarbij geldt dat zo veel als redelijkerwijs mogelijk is, wordt voorkomen dat burgers (volwassen en kinderen) langdurig worden blootgesteld aan magnetevelden, die afkomstig zijn van de elektriciteits-infrastructuur.

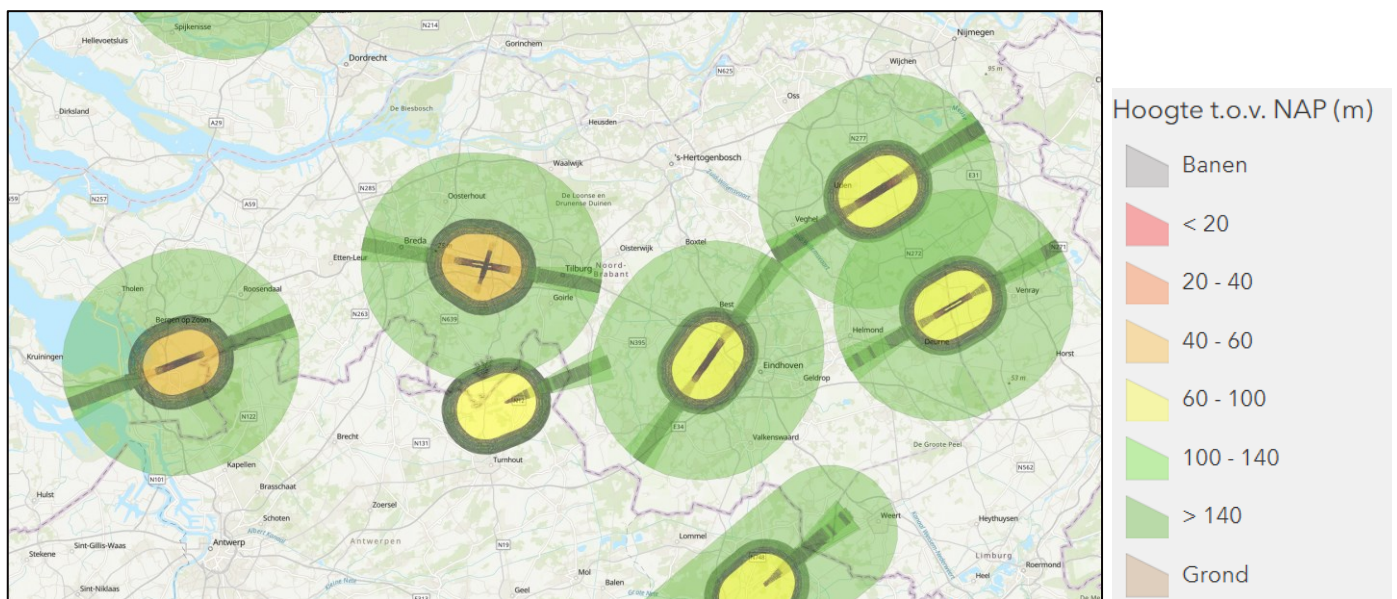
Stress als gevolg van energie-infrastructuur kan ontstaan doordat bewoners zich niet betrokken voelen bij ontwikkelingen en als de verdeling tussen lasten en lusten ongelijk is of als zodanig wordt ervaren. Voor nieuwe ontwikkelingen zoals windparken is het daarom van belang de omgeving te betrekken en de mogelijkheid te geven te participeren.

Luchtvaartveiligheid

In de provincie Noord-Brabant bevinden zich meerdere luchthavens en militaire bases, waaronder Eindhoven Airport, Vliegbasis Gilze-Rijen en Vliegbasis Volkel. Deze luchthavens vervullen een belangrijke rol voor het civiele- en militaire luchtverkeer, de regionale economie en de bereikbaarheid van de provincie.

Om de veiligheid van het luchtverkeer te waarborgen, gelden in en rondom deze luchthavens en onder de aanvliegroutes specifieke ruimtelijke beperkingen, met name voor hoogte. Deze hoogtebeperkingen zijn te vinden via <https://www.hoogtebeperkingen-luchtvaart.nl/>. De hoogtebeperkingen variëren afhankelijk van de afstand tot de luchthaven en de ligging ten opzichte van start- en landingsbanen (Figuur 5.47). In de praktijk betekent dit dat in delen van Noord-Brabant restricties gelden voor de maximale hoogte van gebouwen, windturbines, masten en andere objecten.

De energietransitie in Noord-Brabant brengt een groeiende behoefte met zich mee aan locaties voor duurzame energieopwekking, onder andere plaatsing van windturbines. De plaatsing van windturbines in de nabijheid van luchthavens en onder aanvliegroutes wordt echter beperkt door de genoemde hoogtebeperkingen en het risico op verstoring van het luchtverkeer. Windturbines kunnen, vanwege hun hoogte en draaiende rotorbladen, een obstakel vormen voor laagvliegend verkeer en de werking van radar- en navigatiesystemen beïnvloeden. Daardoor zijn geschikte locaties voor windenergie in Brabant mede afhankelijk van de ligging ten opzichte van het luchtvaartnetwerk.



Figuur 5.47 Hoogtebeperkingen Luchtvaart (Bron: Ministerie I&W).

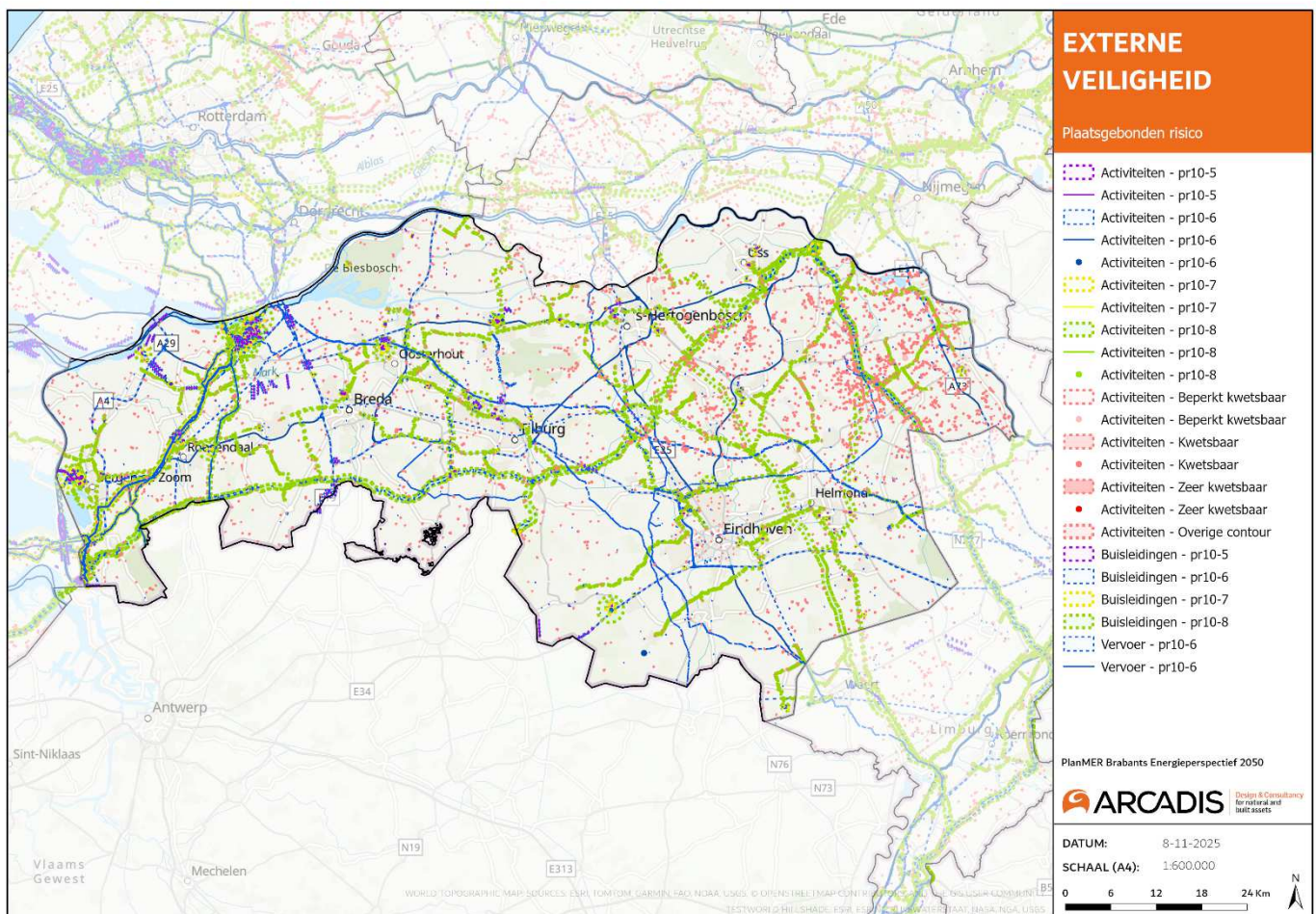
Externe veiligheid

De energietransitie in Noord-Brabant gaat gepaard met de ontwikkeling van nieuwe energiebronnen en infrastructuur. Dit brengt ook aandachtspunten met zich mee op het gebied van externe veiligheid: het beheersen van risico's voor mens en omgeving als gevolg van installaties, transporten en opslag van energiedragers.

De verschuiving naar duurzame energie leidt tot een andere verdeling van risicobronnen in het landschap. Voor Noord-Brabant zijn de volgende ontwikkelingen relevant:

- **Windenergie:** Windturbines kunnen veiligheidsrisico's met zich meebrengen, zoals afwaaiende onderdelen (bijvoorbeeld ijsvorming of bladfragmenten). Er gelden wettelijke afstandsnormen tot kwetsbare objecten.
- **Zonneparken:** De externe veiligheidsrisico's van zonnepanelen zijn beperkt. Wel is er aandacht voor brandveiligheid bij omvormers en bij grootschalige batterijopslag.
- **Waterstof en batterijopslag:** De inzet van waterstof en grootschalige batterijsystemen introduceert nieuwe veiligheidsaspecten, zoals brand- en explosierisico's. Dit vraagt om passende maatregelen op het gebied van locatiekeuze, ontwerp en monitoring.
- **Netconversie en aardgasafbouw:** De overgang van aardgas naar alternatieve energiedragers kan tijdelijke risico's met zich meebrengen, bijvoorbeeld bij ombouw van netten of aanpassingen aan bestaande installaties.

Bij de ruimtelijke inpassing van energieprojecten wordt rekening gehouden met de geldende wet- en regelgeving, waaronder het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi), buisleidingen (Bevb) en transport (Bevt). Nieuwe energie-infrastructuur wordt zoveel mogelijk buiten invloedsgebieden van kwetsbare objecten gerealiseerd. Bij clustering van energievoorzieningen, zoals energiehub's, wordt gekeken naar de mogelijke interactie tussen verschillende risicobronnen. Ook bij nieuwe hoogspanningsverbindingen en het transport van energiedragers wordt het groepsrisico en het plaatsgebonden risico beoordeeld. Voor toekomstige locaties geldt dat een ruimtelijke afweging wordt gemaakt waarin externe veiligheid wordt meegenomen, conform de geldende kaders. Daarbij is ook de ligging ten opzichte van bestaande risicobronnen van belang. Figuur 5.48 geeft aan de hand van het plaatsgebonden risico een overzicht van de bestaande risicobronnen binnen de provincie (activiteiten met gevaarlijke stoffen, buisleidingen en transport).



Figuur 5.48 Plaatsgebonden risico voor activiteiten met gevaarlijke stoffen, buisleidingen en transport (vervoer)

5.2.5 Economie

Natuurlijke hulpbronnen

Het huidige energiesysteem in Nederland, en in het bijzonder in Brabant, is sterk afhankelijk van natuurlijke hulpbronnen, met name door het gebruik van fossiele brandstoffen zoals aardgas, die als primaire grondstof essentieel zijn voor het opwekken van warmte en elektriciteit. Dit gaat gepaard met een aanzienlijke uitstoot van broeikasgassen. Ook bij de productie van onderdelen van het energiesysteem spelen natuurlijke hulpbronnen een grote rol. Windturbines bestaan uit materialen als staal, koper, aluminium en zeldzame metalen, waarvan de winning en verwerking veel energie en grondstoffen vergt. Zonnepanelen maken gebruik van silicium, glas en eveneens zeldzame metalen zoals indium en tellurium. Batterijen, die steeds belangrijker worden voor energieopslag, bevatten grondstoffen als lithium, kobalt en nikkel. Hoogspanningsleidingen en buisleidingen worden voornamelijk gemaakt van staal en koper, die goed recyclebaar zijn, maar waarvan de productie nog steeds afhankelijk is van primaire grondstoffen en energie-intensieve processen.

Naar verwachting zal het verbruik van natuurlijke hulpbronnen binnen het energiesysteem de komende jaren veranderen. Door de transitie naar een circulaire economie en strengere regelgeving komt er steeds meer aandacht voor hergebruik en recycling van materialen. Ook worden zonnepanelen, windturbines en batterijen steeds vaker ontworpen met het oog op eenvoudige demontage en hergebruik. Hoewel de afhankelijkheid van primaire grondstoffen voorlopig nog groot blijft, zal de druk op natuurlijke hulpbronnen naar verwachting afnemen door technologische vooruitgang, circulaire bedrijfsmodellen en groeiend bewustzijn bij producenten en afnemers. Dit vraagt echter om blijvende investeringen, samenwerking en innovatie om de volledige omslag naar een duurzaam en circulair energiesysteem te realiseren.

Circulariteit

Circulariteit draagt bij aan het verminderen van het gebruik van primaire grondstoffen en energie, onder meer door hergebruik van materialen en het benutten van reststromen voor energieopwekking. Dit leidt tot lagere emissies van broeikasgassen en een vermindering van de belasting op natuurlijke hulpbronnen en energie-infrastructuur. Daarnaast biedt het mogelijkheden voor economische vernieuwing en verduurzaming.

De circulariteit van het Nederlandse energiesysteem bevindt zich momenteel in een transitie, waarbij geleidelijk steeds meer een circulaire benadering centraal staat. In Noord-Brabant is deze ontwikkeling duidelijk zichtbaar binnen innovatieve clusters, maar het algemene beeld laat nog een gemengd resultaat zien. Veel traditionele onderdelen van het energiesysteem, zoals gascentrales, zijn historisch gezien weinig circulair: ze maken gebruik van primaire grondstoffen en het hergebruik van materialen is beperkt. Bij de productie van windturbines en zonnepanelen wordt steeds meer aandacht besteed aan recycling en hergebruik van componenten, maar volledige circulariteit is nog niet bereikt. Zo worden bijvoorbeeld de metalen uit windturbines en zonnepanelen steeds beter gerecycled, maar vormen kunststof bladen en bepaalde zeldzame metalen nog een uitdaging. Batterijen, essentieel voor energieopslag, kennen nu vaak een lineaire levenscyclus, maar initiatieven voor hergebruik en recycling nemen toe, zeker onder invloed van strengere regelgeving en technologische innovatie.

Hoogspanningsleidingen en buisleidingen scoren relatief goed op het gebied van circulariteit, omdat staal en koper goed recyclebaar zijn en bestaande infrastructuur regelmatig worden hergebruikt of aangepast. Toch is het productieproces van deze infrastructuur nog grotendeels afhankelijk van primaire grondstoffen en energie-intensieve processen. In Brabant wordt binnen innovatieve projecten, zoals in Brainport en het Agrofoodcluster, actief geëxperimenteerd met slimme energiesystemen en circulaire bedrijfsmodellen.

Naar verwachting zal de circulariteit van het energiesysteem in de komende jaren toenemen, mede door strengere wetgeving, technologische vooruitgang en een groeiend bewustzijn bij zowel producenten als afnemers. Dit betekent dat onderdelen als zonnepanelen, windturbines en batterijen steeds vaker zo ontworpen worden dat ze makkelijker te demonteren, te recyclen of te hergebruiken zijn. Brabant loopt hierin voorop, maar de volledige transitie naar een circulair energiesysteem vraagt om verdere investeringen, samenwerking en innovatie.

Economische vitaliteit

Sinds 2000 is het bruto binnenlands product (BBP) van Noord-Brabant toegenomen, met een versnelling tussen 2015 en 2019. Deze ontwikkeling verloopt grotendeels in lijn met de nationale trend. In 2010 droeg de provincie 14% bij aan het nationale BBP; in 2020 was dit gestegen naar circa 15%. Sectoren als hightech, logistiek en landbouw zijn

bepalend voor het energieverbruik in de provincie. De groei van deze sectoren vertaalt zich in een toenemende vraag naar energie, zowel voor productieprocessen als logistieke activiteiten.

Binnen de provincie zijn regionale verschillen in economische ontwikkeling zichtbaar. Zuidoost-Brabant presteerde tussen 2012 en 2018 bovengemiddeld, met een sterke groei van sectoren die relatief veel energie verbruiken, zoals hightech en industrie. West- en Midden-Brabant volgden de landelijke ontwikkeling, terwijl Noordoost-Brabant incidenteel een economische krimp kende. In alle regio's is de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de energie-infrastructuur een voorwaarde voor verdere economische ontwikkeling.

De energietransitie heeft gevolgen voor de arbeidsmarkt in Noord-Brabant. Er ontstaat een toename in de vraag naar technisch geschoold personeel voor de installatie en het onderhoud van duurzame energiesystemen, zoals zonnepanelen, warmtepompen en windturbines. Tegelijkertijd is sprake van krapte op de arbeidsmarkt, met name in de techniek en installatietechniek. De provincie ondersteunt om- en bijscholing via samenwerkingen met kennisinstellingen en het bedrijfsleven.

Beoordeling

Brabant is momenteel sterk afhankelijk van **natuurlijke hulpbronnen**, met name fossiele brandstoffen zoals aardgas, die essentieel zijn voor warmte- en elektriciteitsopwekking. Ook bij de productie van onderdelen van het energiesysteem – zoals windturbines, zonnepanelen en batterijen – worden veel primaire grondstoffen (staal, koper, zeldzame metalen, lithium, kobalt, nikkel) gebruikt. De winning en verwerking van deze materialen zijn energie-intensief en leggen druk op mondiale hulpbronnen. Hoewel de infrastructuur (zoals hoogspannings- en buisleidingen) goed recyclebaar is, blijft de productie ervan afhankelijk van primaire grondstoffen.

De verwachting is dat de afhankelijkheid van primaire natuurlijke hulpbronnen in het Brabantse energiesysteem de komende jaren zal afnemen, mede door de opkomst van circulaire bedrijfsmodellen, technologische innovatie en strengere regelgeving gericht op hergebruik en recycling.

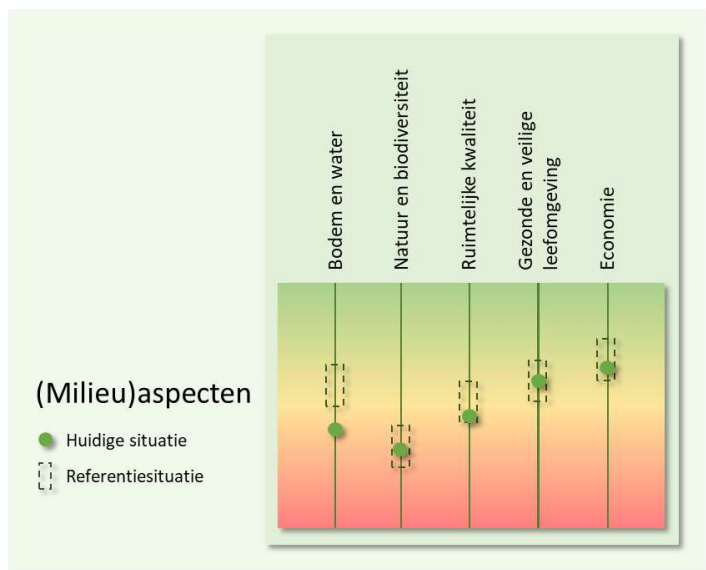
De **circulariteit** binnen het Brabantse energiesysteem ontwikkelt zich gestaag. Historisch gezien waren veel onderdelen van het energiesysteem, weinig circulair: hergebruik van materialen was beperkt en primaire grondstoffen domineerden het systeem. Inmiddels is er toenemende aandacht voor hergebruik en recycling, met name bij windturbines, zonnepanelen en batterijen. Toch blijven er uitdagingen, bijvoorbeeld bij het recyclen van kunststof bladen en het terugwinnen van bepaalde zeldzame metalen.

Op het gebied van circulariteit zet de positieve trend zich naar de toekomst toe door. De transitie naar een volledig circulair energiesysteem vraagt echter blijvende investeringen, samenwerking en innovatie.

Noord-Brabant heeft een **robuuste economische basis**, met een gestage groei van het BBP en een sterke positie in de hightech, logistieke en landbouwsectoren. Zuidoost-Brabant trekt hierin de kar, mede dankzij de concentratie van energie-intensieve industrieën. De beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de energie-infrastructuur zijn cruciaal voor verdere economische groei in alle regio's.

5.2.6 Beoordeling referentiesituatie (milieu)aspecten

Op basis van voorgaande beschrijvingen en beoordelingen is in Figuur 5.49 een beoordeling opgenomen van de huidige situatie en de referentiesituatie voor de verschillende onderzochte aspecten. Te zien is dat met name Natuur en biodiversiteit een knelpunt is en blijft. De overige aspecten scoren in de referentiesituatie redelijk tot goed.



Figuur 5.49 Beoordeling referentiesituatie (milieu)aspecten

6 Beoordeling doelbereik

In dit hoofdstuk zijn de verschillende alternatieven voor het Brabants Energieperspectief 2050 beoordeeld op hun doelbereik. In paragraaf 6.1 is beoordeeld welke invloed de alternatieven hebben op de hoofddoelstellingen van het Energieperspectief. Paragraaf 6.2 gaat in op de mate waarin de alternatieven invloed hebben op de neven-doelstellingen van het Energieperspectief.

6.1 Doelbereik hoofddoelstellingen

Zoals in paragraaf 4.3.1 aangegeven volgen de hoofddoelstellingen voor het Energieperspectief 2050 uit de Energieagenda 2019-2030:



- 2030: Ten minste 50% duurzame energie.
- 2050: 100% duurzame energie, grotendeels afkomstig uit Noord-Brabant en een reductie van 90% van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990.

In deze paragraaf is beoordeeld in hoeverre de systeemalternatieven en sturingsalternatieven bijdragen aan deze doelstellingen. Daarbij zijn de indicatoren betrokken die benoemd zijn in paragraaf 4.3.1. Omdat een belangrijk deel van het doelbereik wordt bepaald door de balans tussen de energievraag en het duurzaam opgewekte aanbod, start deze paragraaf met een analyse van vraag en aanbod in de verschillende systeemalternatieven. Deze analyse is overgenomen uit de studie die in 2023 is uitgevoerd naar het Brabantse energiesysteem (CE Delft, april 2023).

6.1.1 Energievraag en -aanbod systeemalternatieven

Omdat elk van de systeemalternatieven uitgaat van een ander toekomstscenario en andere invulling van het energiesysteem, verschilt de energievraag per scenario. Voor elk van de systeemalternatieven is daarom in Tabel 6.1 in beeld gebracht wat de energievraag per sector zal zijn in 2050. Voor de uitgangspunten bij het bepalen van deze energievraag wordt verwezen naar de systeemstudie voor het Brabantse energiesysteem (CE Delft, april 2023)

Tabel 6.1 Overzicht energievraag per sector in Noord-Brabant, in alle systeemalternatieven (Twh/jr), bron: CE Delft, 2023

	2020	2050 – Lokale kracht	2050 – De grote opgaven gebundeld	2050 – Op grote schaal denken
 Totaal⁴⁰	69,9	53,8	53,1	88,0
Elektriciteit	16,3	44,2	42,7	48,4
Waterstof/methaan ⁴¹	33,5	9,6	10,4	39,6
Warmte ⁴²	0,8 (6% woningen)	35% woningen	20% woningen	10% woningen
Benzine, diesel, biobrandstoffen	20,1	Onbekend ⁴³	Onbekend	Onbekend
 Gebouwde omgeving⁴⁴				
Elektriciteit	8,2	13,5	14,1	14,2
Waterstof/methaan	17,0	1,6	1,1	5,3
Warmte	0,8 (6% woningen)	35% woningen	20% woningen	10% woningen




⁴⁰ Dit is exclusief directe warmtelevering, aangezien de omvang daarvan niet bekend is.

⁴¹ Methaan kan zowel aardgas als groengas zijn. Op dit moment is dit vooral aardgas, in 2050 is het groengas.

⁴² De totale vraag naar warmte voor 2050 is niet bekend. Wel is bekend welk deel van de woningen aangesloten wordt op warmtenetten. Dat is hier aangegeven.

⁴³ In elk van de scenario's wordt een deel van de energievraag van mobiliteit ingevuld met biobrandstoffen. Op nationaal niveau zijn inschattingen gemaakt van de omvang van de energievraag naar biobrandstoffen, maar er zijn geen inschattingen op provinciaal niveau bekend.

⁴⁴ De energievraag van nieuwe bedrijventerreinen rekenen we mee bij de Gebouwde omgeving. In de praktijk zal een deel van de nieuwe bedrijventerreinen onder industrie of Mobiliteit (logistiek) vallen. Dit betekent dat de verhouding tussen de sectoren iets vertekend is. De totale energievraag klopt wel.

		2020	2050 – Lokale kracht	2050 – De grote opgaven gebundeld	2050 – Op grote schaal denken
	Mobiliteit				
	Elektriciteit	0,4	9,4	7,4	9,5
	Waterstof/methaan	0	0,5	2,7	3,6
	Benzine, diesel, biobrandstoffen	20,1	Onbekend	Onbekend	Onbekend
	Industrie				
	Elektriciteit	6,9	17,4	17,4	20,8
	Waterstof/methaan	11,0	6,7	6,7	30,7
	Warmte	0	0	0	0
	Land-/glastuinbouw				
	Elektriciteit	0,8	3,8	3,9	3,9
	Waterstof/methaan	5,3	0,8	0	0

Naast de energievraag is ook energieproductie voor alle systeemalternatieven bepaald, zie Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Overzicht energieproductie in alle scenario's, huidig (2021) en in 2050 (in TWh), bron: CE Delft, 2023

	2021	2050 – Lokale kracht	2050 – De grote opgaven gebundeld	2050 – Op grote schaal denken
Productie elektriciteit				
Kleinschalig zon op dak (< 15 kWp)	1,0	7	7	3
Grootschalig zon op dak (> 15 kWp)	1,4	3	1	1
Zon op veld	0,2	7	6	4
Wind op land	0,7	6	6	3
Aanlanding wind op zee	0	9	41	9
Elektriciteitscentrales	6	4	1	1
Productie waterstof				
Elektrolyzers	0	6	14	2
Productie groengas				
Groengas productie	1	2	2	10

De tabel laat zien dat de productie van zon en wind fors toeneemt richting 2050, voor elk alternatief. Bij het systeemalternatief 'Lokale Kracht' is de productie van hernieuwbare opwek op land het grootst, bijna 23 TWh. In het systeemalternatief 'Op grote schaal' denken is de productie van hernieuwbare opwek op land het kleinst met 10 TWh. In het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' landt de grootste hoeveelheid aan windenergie van zee aan in Noord-Brabant, ruim 40 TWh. Dat is bijna evenveel als de verwachte elektriciteitsvraag in Noord-Brabant in 2050. De productie van elektriciteitscentrales neemt af richting 2050, ook al neemt het opgesteld vermogen in elk alternatief toe. Dit komt doordat elektriciteitscentrales in 2050 een stuk minder draaiuren maken dan nu, doordat de elektriciteitsvraag een groot deel van het jaar ingevuld wordt met wind en zon.

Het verschilt per systeemalternatief welk deel van de energievraag binnen de provincie wordt geproduceerd en in hoeverre de provincie zelfvoorzienend is. In het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' wordt binnen de

provincie de meeste energie geproduceerd, maar dit komt door de grote hoeveelheid wind op zee: 64 TWh⁴⁵. Dit is meer dan de energievraag in de provincie in dat alternatief, waardoor de provincie dus netto exporteur is van energie⁴⁶. Vooral de elektriciteit van windparken op zee, die aanlandt in Moerdijk en Geertruidenberg, zal richting andere delen van Nederland (en mogelijk België en Duitsland) getransporteerd worden. In de praktijk zal ook import plaatsvinden in dit alternatief, aangezien er niet op elk moment in het jaar voldoende energie geproduceerd wordt om aan de energievraag binnen de provincie te voorzien.

In de systeemalternatieven 'Lokale kracht' en 'Op grote schaal denken' is Brabant netto-importeur van energie. In het scenario 'Lokale kracht' wordt ongeveer 70% van de energievraag ingevuld met energie die geproduceerd wordt binnen de provincie, in het systeemalternatief 'Op grote schaal' denken slechts 35%. Daarmee voldoet 'Op grote schaal denken' niet aan de provinciale doelstelling van meer dan 50% productie binnen de eigen provincie.

6.1.2 Systeemalternatieven

Systeemalternatief Lokale kracht

Het systeemalternatief 'Lokale kracht' zet in op een decentrale energietransitie, waarbij lokale en regionale overheden de regie voeren over de energievraag, -opwekking en -infrastructuur. 'Lokale kracht' biedt aanzienlijke kansen voor zowel het beperken van het energieverbruik als het reduceren van de CO₂-uitstoot. Door maatwerkoplossingen, afgestemd op lokale omstandigheden en behoeften, kunnen gemeenten en regio's efficiënter energie inzetten en optimaal gebruikmaken van beschikbare bronnen. Dit vergroot de betrokkenheid en bewustwording van inwoners en bedrijven, wat leidt tot energiebesparing en een mentaliteitsverandering richting zuiniger gebruik. De nadruk op lokaal opgewekte duurzame energie zorgt bovendien dat de afhankelijkheid van fossiele bronnen afneemt, waardoor structurele CO₂-reductie wordt gerealiseerd. De verwevenheid van energiebesparing en emissiereductie is groot: beide worden versterkt door lokaal maatwerk, participatie en innovatie.

Een belangrijke kanttekening bij dit alternatief is de huidige verdeling van bevoegdheden en actoren (ontwikkelaars en initiatiefnemers). Voor een groot deel van de bouwstenen voor het energiesysteem is de rol van de provincie als bevoegd gezag (dat wil zeggen de overheid die bevoegd is ruimtelijke plannen vast te stellen en vergunningen te verlenen) tamelijk beperkt. Veel bevoegdheden liggen op een hoger (rijks) of lager (gemeentelijk) niveau. Initiatieven voor het ontwikkelen, realiseren en exploiteren van de onderdelen van het energiesysteem liggen bij netbeheerders (elektriciteit, gas en waterstof) en marktpartijen (windenergie, zon op veld), zie het overzicht in Bijlage B.

Het alternatief 'Lokale kracht' vergroot het aandeel duurzaam opgewekte energie in Noord-Brabant, zowel in absolute zin als binnen de provinciegrenzen. Decentrale sturing maakt het mogelijk om in te spelen op lokale kansen voor zonne-energie, windenergie, geothermie en restwarmte. Dit stimuleert innovatie, versnelt de uitrol van projecten, bevordert eigenaarschap bij inwoners en bedrijven, en kan bijdragen aan een evenwichtiger verdeling van lasten en lusten. Het realiseren van duurzame opwekking binnen de provincie versterkt de leveringszekerheid, vermindert de importafhankelijkheid en zorgt dat de economische opbrengsten lokaal blijven. Door samenwerking tussen gemeenten, coöperaties en bedrijven wordt kennis gedeeld en ontstaan robuuste, flexibele energiesystemen die aansluiten bij de provinciale doelstellingen voor 2030 en 2050.

Bij dit systeemalternatief is het gezien de ambities noodzakelijk om in te zetten op alle mogelijkheden voor het beperken van de energievraag en het opwekken van duurzame energie. Dus niet alleen grootschalig en – gezien de productie – efficiënt, maar ook kleinschalig en voor lokaal gebruik (woning-, bedrijfs- en wijkniveau) om de belasting van de netwerken te beperken. Daarbij is ook de spreiding van energievormen belangrijk, dus niet alleen elektriciteit maar ook warmte en (eventueel) groen gas. Immers, de analyse van de vraag naar energie enerzijds en de ruimte die noodzakelijk is om de benodigde energie duurzaam op te wekken (zon, wind) of te winnen (aardwarmte) laat zien dat alle zeilen moeten worden bijgezet om de doelen te kunnen halen. Bij dit systeemalternatief liggen de lusten en lasten van het energiesysteem dicht bij burgers en bedrijven. Dat kan er aan bijdragen dat bewuster wordt omgegaan met energie, hetgeen er toe kan leiden dat het energiegebruik wordt beperkt. Immers, het gebruik van energie wordt

⁴⁵ Dit is inclusief de aanlanding van wind op zee. Deze energie wordt geproduceerd op de Noordzee, niet in de provincie zelf. De energie wordt echter in Brabant ingevoerd op het nationale elektriciteitsnet. Daarom wordt deze meegeteld als binnenlandse productie. De productie van waterstof met elektrolyzers telt niet mee. Hiervoor wordt namelijk de elektriciteit van windmolens en mogelijk zon gebruikt. Daarom zou dit leiden tot dubbeltellingen.

⁴⁶ Hierin is de totale energievraag van elektriciteit en gassen (waterstof, methaan) meegerekend. De energievraag van directe warmtelevering en biobrandstoffen zijn niet meegeteld aangezien de omvang van de energievraag van die dragers in de systeemalternatieven niet bekend is.

bepaald door de talloze keuzes die door individuen worden gemaakt: fiets of auto, isoleren of niet, kort of lang douchen, auto opladen als de zon schijnt, grote of kleine elektrische auto, et cetera.

De decentrale aanpak in het alternatief 'Lokale kracht' brengt echter ook risico's met zich mee. Lokale verschillen in kennis, middelen en capaciteit kunnen leiden tot ongelijkheid in voortgang en resultaten tussen gemeenten en regio's. Versnippering van initiatieven kan schaalvoordelen beperken en de efficiëntie van infrastructuurinvesteringen verminderen. Daarnaast bestaat het risico op ruimtelijke weerstand als lokale projecten het landschap ingrijpend veranderen, of als de verdeling van lasten en lusten als oneerlijk wordt ervaren. Dit is onder andere van belang omdat de omgevingseffecten in een groot gebied (dus ook bij 'de burens') kunnen worden ervaren. Coördinatie, kennisdeling en een gelijk speelveld zijn essentieel om deze risico's te mitigeren. De provincie speelt hierin bij dit alternatief een faciliterende en verbindende rol door ondersteuning, monitoring en het bevorderen van samenwerking.

Samengevat biedt het systeemalternatief 'Lokale kracht' substantiële potentie om de energiebesparings-, duurzaamheids- en klimaatdoelen van het Brabants Energieperspectief te realiseren, mits wordt ingezet op strakke coördinatie, kennisdeling, bewustwording en een eerlijke verdeling van middelen en opbrengsten. De samenhang tussen energiebesparing, duurzame opwekking en CO₂-reductie is sterk, maar het succes valt of staat met regionale samenwerking en provinciale regie. Aandacht voor risicobeheersing en een inclusieve aanpak zijn randvoorwaardelijk voor een evenwichtige en effectieve energietransitie in het systeemalternatief 'Lokale kracht'.

Systeemalternatief De grote opgaven gebundeld

Door centrale aansturing van de rijksoverheid en de bundeling van grootschalige projecten zoals windparken op zee en waterstofproductie, ontstaat er in het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' meer regie en efficiëntie in het energiesysteem. Dit leidt tot een betere afstemming tussen vraag en aanbod, waardoor energieverstopping beperkt kan worden. Tegelijkertijd wordt een groot aandeel duurzame energie opgewekt, waarmee Nederland – en in het verlengde Noord-Brabant – grotendeels zelfvoorzienend kan worden. Vooral industriële clusters zoals Moerdijk en Geertruidenberg profiteren van directe toegang tot duurzame energie, wat de transitie naar schonere productieprocessen versnelt en bijdraagt aan de beperking van het energieverbruik én de CO₂-uitstoot.

Ook bij dit systeemalternatief is de verdeling van bevoegdheden en rollen van belang. In de huidige situatie zijn voor grootschalige projecten (zoals hoogspanningsverbindingen en -stations, buisleidingen, etc.) rijk of gemeenten bevoegd gezag. Initiatiefnemers voor de transport infrastructuur zijn in hoofdzaak de landelijke en regionale netbeheerders.

De nadruk op grootschalige elektrificatie en waterstofproductie zorgt juist voor een stijging van het totale elektriciteitsverbruik, wat extra druk legt op het netwerk en de infrastructuur en leidt tot een groter ruimtebeslag voor netwerken (hoogspanningsverbindingen en -stations, buisleidingen, etc.). Bovendien bestaat het risico dat kleinere lokale initiatieven en energiebesparingsprojecten minder aandacht krijgen, waardoor kansen voor verdere beperking van het energieverbruik op wijk- of dorpsniveau verloren gaan. Ook kan hierdoor het draagvlak voor de energietransitie onder druk komen te staan, zeker als specifieke groepen of regio's zich onvoldoende betrokken voelen. Doordat bij dit systeemalternatief de focus komt te liggen op elektriciteit (met daarnaast waterstof) is het risico dat de inzet op warmte en het gebruik van duurzame warmtebronnen zoals aardwarmte achterblijft. Een risico bij dit alternatief is verder dat de lokale bewustwording van de noodzaak om energie te besparen afneemt: de prikkel om zuinig met energie om te gaan kan afnemen, waardoor het energiegebruik kan toenemen.

De focus op centrale, grootschalige projecten – vaak buiten de provincie, zoals windparken op zee – zorgt voor een stabiele toevoer van duurzame energie, maar het aandeel van lokaal binnen Noord-Brabant opgewekte duurzame energie blijft hierdoor relatief klein. Om dit te voorkomen is het van belang om naast landelijke regie te blijven investeren in lokale duurzame opwekking.

De grootschalige inzet op duurzame elektriciteit en waterstofproductie biedt aanzienlijke kansen voor een forse reductie van de CO₂-uitstoot. Door de bundeling van energieprojecten met andere nationale opgaven op specifieke locaties wordt efficiënt gebruikgemaakt van ruimte en infrastructuur, wat leidt tot synergievoordelen en snellere CO₂-reductie. De koppeling aan industriële clusters zorgt ervoor dat de impact op CO₂-reductie geconcentreerd wordt waar deze het meest nodig is, en biedt kansen voor integratie met andere maatschappelijke doelen zoals klimaatadaptatie en economische versterking.

Tegelijkertijd brengt de koppeling aan andere opgaven risico's met zich mee, zoals complexiteit in de besluitvorming, druk op de (ambtelijke en onderzoeks-) capaciteit bij de planvoorbereiding en procedures, mogelijke vertragingen en het ontstaan van nieuwe kwetsbaarheden in de energievoorziening (bijvoorbeeld door netcongestie).

Ook kan de ruimtelijke concentratie van projecten leiden tot lokale weerstand en een ongelijke verdeling van lasten en lusten, vooral als de kosten bij specifieke regio's of groepen terechtkomen en de baten elders landen. Blijvende aandacht voor een eerlijke verdeling, participatie van lokale gemeenschappen en investeringen in regionale initiatieven is daarom essentieel voor het succes van dit alternatief.

Systeemalternatief Op grote schaal denken

In het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' importeert Nederland veel duurzame energie (met name waterstof en groen gas), wat leidt tot een groei van de energie-intensieve industrie en een ruimtelijke concentratie van energie-infrastructuur rond de havengebieden. Dit biedt kansen voor het beperken van het energieverbruik per eenheid product en de CO₂-uitstoot, dankzij centrale regie, grootschalige investeringen in energiebesparing en -efficiëntie, en snelle uitrol van innovatieve technologieën. De grootschalige import van duurzame energie maakt een versnelling van de energietransitie mogelijk, waardoor huishoudens en bedrijven sneller kunnen overstappen op schone bronnen. Tegelijkertijd stimuleert internationale samenwerking strengere normen en efficiëntere technologieën, wat zowel het energieverbruik als de CO₂-uitstoot per productie-eenheid vermindert. Evenals bij het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' is de rol van de provincie als bevoegd gezag bij dit alternatief beperkt; er is een grote afhankelijkheid van keuzes en besluiten die op een hoger (rijks) niveau worden genomen.

De groei van energie-intensieve industrie als gevolg van de ruime beschikbaarheid van duurzame energie kan ertoe leiden dat het totale energieverbruik in Noord-Brabant juist toeneemt, waardoor de absolute CO₂-reductie deels wordt beperkt. De ruimtelijke concentratie van industrie en infrastructuur rondom de havens kan daarbij zorgen voor lokale milieudruk en maatschappelijke weerstand. Daarnaast bestaat het risico dat de focus op grootschalige import en industrie ten koste gaat van energiebesparing bij huishoudens en kleinere bedrijven, waardoor kansen voor additionele besparing en lokaal draagvlak voor de energietransitie minder worden benut. Door de focus op waterstof en elektriciteit is er ook een risico dat andere duurzame bronnen (zoals aardwarmte) minder worden benut.

Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' maakt het mogelijk om het aandeel duurzaam opgewekte energie ten opzichte van het totale verbruik snel te verhogen, vooral door grootschalige import van duurzame energiedragers. Hierdoor wordt de energietransitie versneld en ontstaat een robuuste infrastructuur die voorbereid is op toekomstige groei. De afhankelijkheid van internationale markten zorgt echter voor kwetsbaarheden in leveringszekerheid en prijsfluctuaties, wat de betaalbaarheid voor bedrijven en huishoudens onder druk kan zetten.

Doordat de focus vooral ligt op import, neemt het aandeel van binnen de provincie Noord-Brabant zelf opgewekte duurzame energie relatief af. Dit heeft gevolgen voor lokale betrokkenheid, werkgelegenheid en innovatie, en vergroot de afhankelijkheid van externe factoren zoals internationale markten en geopolitieke ontwikkelingen. Ook kan dit ertoe leiden dat de baten van lokale energieopwekking minder bij Brabantse bewoners en ondernemers terechtkomen. Zonder aanvullende inzet op lokale opwekking en participatie bestaat het risico dat het regionale energiesysteem en het maatschappelijk draagvlak verzwakken, met een vertraging van de (regionale en lokale) energietransitie tot gevolg.

Vergelijking systeemalternatieven

Wanneer de drie systeemalternatieven 'Lokale kracht', 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' worden vergeleken op de hoofddoelstellingen van het Brabants Energieperspectief, vallen duidelijke verschillen op in hun potentie, aanpak en impact.

'Lokale kracht' scoort sterk op het vergroten van het aandeel lokaal opgewekte duurzame energie binnen Noord-Brabant. Door decentrale regie en maatwerk kunnen gemeenten en regio's optimaal inspelen op lokale mogelijkheden voor zonne-energie, wind, geothermie en restwarmte. Dit alternatief bevordert eigenaarschap, innovatie en brede participatie, waardoor het draagvlak onder inwoners en bedrijven groeit en energiebesparing wordt gestimuleerd. Het systeem is goed in staat om de doelstellingen voor 2030 en 2050 te behalen, vooral omdat de duurzame energie grotendeels lokaal wordt opgewekt en de structurele CO₂-reductie door energiebesparing en emissievermindering hand in hand gaan. Wel zijn er risico's op ongelijke voortgang tussen gemeenten, versnippering en ruimtelijke weerstand, waardoor het succes afhankelijk is van sterke provinciale coördinatie en kennisdeling.

Het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' kent een centrale aansturing met focus op grootschalige projecten, zoals windparken op zee en waterstofproductie. Hierdoor ontstaat veel regie en efficiëntie in het energiesysteem, wat het mogelijk maakt om snel veel duurzame energie op te wekken en de CO₂-uitstoot fors te reduceren. Industriële clusters profiteren direct van deze aanpak, waardoor de transitie naar schone productieprocessen wordt versneld. Echter, het aandeel van binnen Noord-Brabant lokaal opgewekte duurzame energie blijft relatief klein, omdat veel opwekking buiten de provincie plaatsvindt. Dit alternatief scoort goed op de nationale doelstellingen voor duurzame energie en CO₂-reductie, maar minder sterk op het regionale aspect van lokale opwekking en participatie. Het risico bestaat dat kleinere, lokale initiatieven onderbelicht blijven en het maatschappelijk draagvlak lokaal onder druk komt te staan.

'Op grote schaal denken' richt zich op de import van duurzame energie, met een sterke groei van energie-intensieve industrie en concentratie van infrastructuur rond de havens. Dit versnelt de energietransitie en maakt het mogelijk om het aandeel duurzame energie ten opzichte van het totale verbruik snel te verhogen. De centrale regie en grootschalige investeringen zorgen voor snelle uitrol van innovatieve technologieën en energiebesparing per eenheid product. Toch neemt het absolute energieverbruik in Noord-Brabant toe, waardoor de totale CO₂-reductie deels wordt beperkt. De afhankelijkheid van internationale markten brengt kwetsbaarheden in leveringszekerheid en prijsstabiliteit met zich mee. Bovendien blijft het aandeel lokaal opgewekte duurzame energie relatief laag en komen de baten minder bij de Brabantse samenleving terecht. Dit alternatief scoort goed op het snel verhogen van het totale aandeel duurzame energie en het realiseren van CO₂-reductie, maar minder op het regionale aspect van lokale opwekking en maatschappelijke participatie.

Samenvattend biedt 'Lokale kracht' de meeste potentie om de hoofddoelstellingen te realiseren met een sterke focus op lokale opwekking en participatie, mits de risico's rond versnippering en ongelijkheid goed worden gemanaged. 'De grote opgaven gebundeld' scoort vooral op efficiëntie en snelle nationale resultaten, maar mist deels het regionale karakter en lokale draagvlak, en kan – doordat het op grotere afstand van de Brabanders staat – leiden tot een groter energiegebruik. 'Op grote schaal denken' versnelt de transitie door import, maar beperkt de regionale impact en brengt afhankelijkheden en risico's met zich mee die de lokale energietransitie kunnen vertragen. De keuze voor een alternatief hangt dus af van de gewenste balans tussen lokale betrokkenheid, regionale opbrengsten en nationale efficiëntie. Van belang is verder de notie dat elk gebruik van energie leidt tot de noodzaak energie op te wekken, waarbij elke manier van opwekken – ook de duurzame – leidt tot omgevingseffecten. Indachtig de 'trias energetica' (zie paragraaf 4.3.2.2) hebben alternatieven die leiden tot een kleiner gebruik van energie de voorkeur. Ook vanuit dit perspectief wordt het systeemalternatief 'Lokale kracht' als het meest positief beoordeeld. Om het gebruik van energie te beperken en het energiesysteem zo weinig mogelijk te belasten, is bewustwording en gedragsaanpassing bij alle Brabanders noodzakelijk.

6.1.3 Sturingsalternatieven

Sturingsalternatief Provincie faciliteert en stimuleert

In het sturingsalternatief 'Provincie faciliteert en stimuleert' ligt de nadruk op het ondersteunen van lokale initiatieven, het stimuleren van innovatie en gedragsverandering, en het bieden van kennis, financiële prikkels en het wegnemen van belemmeringen. Door een faciliterende en stimulerende rol te kiezen, ontstaat er veel ruimte voor ondernemerschap, maatwerk en innovatie. Lokale overheden, bedrijven, energiecoöperaties en inwoners worden aangemoedigd om zelf actie te ondernemen op het gebied van energiebesparing en duurzame energieopwekking. Hierdoor kunnen maatwerkoplossingen ontstaan die goed aansluiten bij de specifieke behoeften van verschillende regio's. Kennisdeling en samenwerking worden gestimuleerd, waardoor goede voorbeelden navolging kunnen krijgen en schaalvoordelen benut kunnen worden. Dit vergroot de kans dat zowel het energieverbruik daalt (dan wel minder sterk toeneemt), het aandeel duurzaam opgewekte energie stijgt (zowel in totaal als binnen de provinciegrenzen) en de CO₂-uitstoot afneemt. Door brede financiële participatie en het toegankelijker maken van de energietransitie, wordt het draagvlak vergroot en wordt duurzame gedragsverandering gestimuleerd.

Een risico bij dit sturingsalternatief is dat weinig invloed wordt uitgeoefend op marktpartijen die noodzakelijk zijn voor de energietransitie als initiatiefnemer voor (grotere) projecten, zoals windparken en transformatorstations. Daardoor kunnen ontwikkelingen uitblijven of te weinig lokaal draagvlak krijgen. Anderzijds kan het ontbreken van kaders op provinciaal niveau leiden tot ontwikkelingen die minder gewenst zijn gezien de milieueffecten, het ruimtebeslag en interferentie met andere ontwikkelingen.

Een vooral faciliterende en stimulerende rol brengt echter het risico met zich mee dat de voortgang sterk afhankelijk is van het initiatief, de middelen en de motivatie van lokale partijen. Niet alle gemeenten, sectoren of groepen beschikken over voldoende capaciteit, waardoor de ontwikkeling ongelijkmatig kan verlopen en sommige gebieden achterblijven. Zonder centrale coördinatie kan versnippering optreden, waardoor schaalvoordelen en collectieve

leerprocessen niet optimaal worden benut en projecten elkaar zelfs kunnen overlappen. Dit kan ertoe leiden dat de totale energiebesparing en de groei van het aandeel duurzaam opgewekte energie onvoldoende zijn om de provinciale doelstellingen te behalen, zeker als er geen duidelijke kaders of verplichtingen zijn. Ook de CO₂-reductie kan hierdoor achterblijven bij de ambitie, met name als lokale partijen tegen financiële, organisatorische of technische grenzen aanlopen. Daarnaast bestaat de kans op conflicten over ruimtegebruik of prioritering van projecten.

Dit sturingsalternatief sluit aan bij de huidige (beperkte) formele positie die de provincie heeft als bevoegd gezag voor de verschillende bouwstenen van het energiesysteem.

Sturingsalternatief Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)

Het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' biedt Noord-Brabant een samenhangende aanpak voor het realiseren van de hoofddoelstellingen van het Energieperspectief. Een actieve regierol van de provincie maakt het mogelijk om energiebesparende maatregelen breed uit te rollen en te coördineren over sectoren heen. Door stimulering en ondersteuning van innovatie worden bedrijven en huishoudens aangezet tot investeringen in efficiënte technologieën. Dergelijke maatregelen dragen direct bij aan zowel een lager energieverbruik als een vermindering van de CO₂-uitstoot, aangezien minder energieverbruik leidt tot minder fossiele energievraag.

Waar nodig en (juridisch) mogelijk kan de provincie door middel van regulering minimale normen afdwingen, waardoor ook achterblijvende partijen worden aangespoord om bij te dragen. Ten aanzien van de juridische mogelijkheden zijn er binnen de huidige wet- en regelgeving beperkingen aan de provinciale mogelijkheden tot reguleren. De mogelijkheden beperken zich tot de provinciale Omgevingsverordening en voor enkele bouwstenen van het energiesysteem de rol van bevoegd gezag (overgenomen van rijk of gemeenten). Gezien deze situatie zou kunnen worden gesteld dat bij dit sturingsalternatief ook behoort het (stimuleren van) overdragen van bevoegdheden naar de provincie c.q. de provinciale bestuurslaag.

De effectiviteit van dit sturingsalternatief hangt af van de mate van samenwerking met lokale actoren en de beschikbaarheid van expertise en middelen binnen de provincie. Een te dominante regierol kan echter tot bureaucratie en vertraging leiden, wat de voortgang in energiebesparing en CO₂-reductie kan belemmeren. Hierbij is ook van belang dat, hoe groter de rol van de provincie is, hoe meer (ambtelijke) capaciteit beschikbaar moet zijn om de rol goed en voortvarend in te vullen. Dit kan uiteindelijk een risico zijn.

Door het stellen van duidelijke kaders en het faciliteren van initiatieven kan de provincie gericht sturen op het vergroten van het aandeel duurzaam opgewekte energie, zowel op provinciaal als lokaal niveau. Stimulering van innovatie en participatie bevordert de ontwikkeling van lokale projecten, terwijl regulering versnippering voorkomt en schaalvoordelen mogelijk maakt. Waar lokale capaciteit of initiatief ontbreekt, kan provinciale regie uitkomst bieden. Tegelijkertijd vraagt deze aanpak om een zorgvuldige balans: te veel centrale sturing kan lokale betrokkenheid en maatwerk onder druk zetten, terwijl te weinig sturing leidt tot het risico van onvoldoende samenhang en voortgang. De provincie moet flexibel inspelen op lokale behoeften en ruimte bieden voor participatie, om het draagvlak en de effectiviteit van duurzame energieprojecten te vergroten.

Samenvattend is de kern van dit sturingsalternatief de integratie van regie, stimulering en regulering, waarbij dezelfde mechanismen bijdragen aan meerdere subdoelstellingen. Innovatie en participatie leiden tot energiebesparing, meer duurzame (lokale) opwek en CO₂-reductie. Tegelijkertijd zijn voldoende capaciteit, expertise en samenwerking tussen bestuurslagen een randvoorwaarde voor succes. Overmatige regie of regulering kan averechts werken door lokale initiatieven te remmen en administratieve lasten te verhogen. Een adaptieve rol van de provincie is daarom essentieel, waarbij maatwerk en collectieve doelen in balans zijn en de voortgang van de energietransitie wordt geborgd.

Sturingsalternatief Provincie reguleert

Het sturingsalternatief 'Provincie reguleert' houdt in dat de provincie Noord-Brabant door middel van heldere regelgeving, normen en handhaving actief stuurt op de realisatie van haar energie- en klimaatdoelstellingen. Bij dit sturingsalternatief is het noodzakelijk dat de provincie krachtige instrumenten heeft om het energieverbruik te beperken. De vraag is of de huidige regelgeving die mogelijkheid biedt. Door het stellen van duidelijke energieprestatienormen voor gebouwen, industrie en infrastructuur kan de provincie gericht sturen op het verlagen van het totale energieverbruik en daarmee ook de CO₂-uitstoot beperken. Regels en verplichtingen creëren een gelijk speelveld en voorkomen vrijblijvendheid, waardoor alle partijen worden aangespoord om te investeren in efficiëntere technologieën en energiebesparing. Dit vergroot de kans dat het energieverbruik daadwerkelijk afneemt.

Een regulerende aanpak van de provincie maakt het mogelijk om zowel het totale aandeel duurzaam opgewekte energie als het aandeel lokaal opgewekte energie binnen Brabant te vergroten. Door minimale percentages duurzaam opgewekte energie vast te leggen en deze te koppelen aan lokale opwekdoelstellingen, ontstaat duidelijkheid voor gemeenten, bedrijven en andere partijen. Dit kan versnelling geven aan de energietransitie en het risico op versnippering verkleinen, omdat iedereen aan dezelfde eisen moet voldoen. Tegelijkertijd kunnen centrale regels schaalvoordelen opleveren en collectieve oplossingen, zoals warmtenetten, stimuleren.

De combinatie van strenge normen voor energieverbruik en het stimuleren van duurzame opwekking draagt direct bij aan het terugdringen van de CO₂-uitstoot. Door gerichte kaders en handhaving kan de provincie de uitstoot van broeikasgassen versneld en gericht reduceren. Dit effect wordt versterkt als investeringen in infrastructuur, zoals collectieve warmtenetten, worden gefaciliteerd.

Een regulerende aanpak kent echter ook een aantal risico's. Een te rigide aanpak kan de investeringsbereidheid van bedrijven en burgers ondermijnen, vooral als maatregelen als kostbaar of ingrijpend worden ervaren. Ook kan te veel nadruk op centrale regulering lokale initiatieven en innovatie belemmeren, vooral als er onvoldoende ruimte is voor lokale wensen en omstandigheden. Dit kan leiden tot vertragingen door juridische procedures en bezwaren bij onvoldoende participatie of maatwerk. Daarom blijft het essentieel dat beleid flexibel genoeg is om in te spelen op lokale behoeften en dat creatieve initiatieven niet in de knel komen. Daarnaast moet de provincie voldoende capaciteit en handhavingskracht hebben om naleving en effectiviteit te waarborgen.

Vergelijking sturingsalternatieven

Wanneer de drie sturingsalternatieven worden vergeleken op hun bijdrage aan de hoofddoelstellingen van het energieperspectief, zijn duidelijke verschillen in effectiviteit, draagvlak en risicoprofiel zichtbaar. De hoofddoelstellingen vragen om een aanpak die zowel daadkrachtig als breed gedragen is.

Het alternatief waarin de provincie vooral faciliteert en stimuleert, biedt veel ruimte voor ondernemerschap, maatwerk en innovatie. Lokale initiatieven kunnen floreren, wat aansluit bij de diversiteit van behoeften in de regio. Echter, deze aanpak kent het risico dat de voortgang sterk afhankelijk blijft van lokale initiatieven, motivatie, middelen en kennis. Hierdoor bestaat de kans dat de energietransitie ongelijkmatig verloopt, sommige gebieden achterblijven en de provinciale doelstellingen niet worden gehaald. Met name het bereiken van 100% duurzame energie en een forse CO₂-reductie is onzeker als er geen centrale sturing of duidelijke verplichtingen zijn. Het draagvlak onder inwoners en bedrijven is doorgaans groot, maar de effectiviteit op provinciale schaal is beperkt door versnippering, en mogelijke overlap en onderlinge beïnvloeding en afhankelijkheden van initiatieven.

Het alternatief waarbij de provincie regisseert, stimuleert en reguleert waar nodig, vormt een middenweg. Dankzij actieve regie kan de provincie gerichte kaders stellen, innovatie stimuleren en waar nodig minimale normen afdwingen. Hierdoor wordt er zowel op lokaal als provinciaal niveau gestuurd op samenhang en voortgang. Dit vergroot de kans dat de doelstellingen voor duurzame energie en CO₂-reductie daadwerkelijk worden gerealiseerd, doordat ook achterblijvende partijen in beweging worden gezet. Tegelijkertijd blijft er ruimte voor lokale inbreng en maatwerk, waardoor het draagvlak behouden blijft. Een risico van deze aanpak is dat te veel centrale sturing kan leiden tot bureaucratie en vertraging, maar door flexibiliteit en samenwerking te waarborgen, kunnen deze negatieve effecten worden beperkt. In de praktijk zal dit alternatief het beste scoren op het combineren van effectiviteit, draagvlak en het benutten van innovatiekracht.

Het alternatief waarbij de provincie primair reguleert, biedt de meeste zekerheid op het behalen van de hoofddoelstellingen. Strenge regelgeving, normen en handhaving zorgen ervoor dat alle partijen worden verplicht om bij te dragen aan energiebesparing, duurzame opwekking en CO₂-reductie. Dit maakt het mogelijk om collectief en in hoog tempo richting de gestelde doelen te bewegen. Echter, deze aanpak kent ook aanzienlijke risico's: te veel nadruk op centrale regulering kan lokale initiatieven en innovatie belemmeren, en het draagvlak onder bedrijven en inwoners ondermijnen, zeker als maatregelen als ingrijpend of kostbaar worden ervaren. Daarnaast kan worden gesteld dat regulering leidt tot duidelijke kaders, maar dat de afhankelijkheid van initiatiefnemers zoals netbeheerders, ontwikkelaars en coöperaties blijft bestaan. (Te) strakke kaders kunnen leiden tot het achterwege blijven van initiatieven⁴⁷. Ook kunnen juridische procedures en bezwaren voor vertraging zorgen. Hoewel de effectiviteit in termen van doelbereik groot is, is het risico op weerstand en vertraging eveneens sterk aanwezig. Om de afhankelijkheid van

⁴⁷ Met als recent (30 oktober 2025) voorbeeld dat de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland geen aanvragen heeft ontvangen voor de bouw en exploitatie van een nieuw windpark op de Noordzee, op kavel Nederwiek I-A, zie <https://www.rvo.nl/nieuws/geen-aanvragen-voor-windpark>

de markt te verkleinen kan overwogen worden als provincie ook een rol te nemen als (mede)ontwikkelaar, bijvoorbeeld in de vorm van een provinciaal energiebedrijf of door het financieel ondersteunen van lokale initiatieven (coöperaties) bijvoorbeeld met een 'revolving fund'⁴⁸.

Samengevat scoort het alternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' het meest evenwichtig ten opzichte van de hoofddoelstellingen, doordat het de voordelen van centrale sturing en lokale betrokkenheid combineert. Volledig faciliteren en stimuleren biedt veel draagvlak en ruimte voor innovatie, maar is kwetsbaar in het behalen van de ambitieuze doelen. Volledig reguleren biedt de meeste zekerheid op doelbereik, maar brengt het risico op weerstand en verlies van lokale dynamiek met zich mee. Een adaptieve en integrale benadering vergroot de kans op een succesvolle energietransitie in Noord-Brabant.

6.1.4 Samenhang tussen systeem- en sturingsalternatieven

In deze paragraaf wordt ingegaan op de samenhang tussen de systeem- en sturingsalternatieven. Het verschil in invulling van de systeemalternatieven vraagt per systeemalternatief een andere rol van de provincie. Ook verschilt de mogelijkheid voor de provincie om sturingsmiddelen in te zetten per systeemalternatief. In de navolgende tabel is deze samenhang benoemd.

Tabel 6.3 Samenhang tussen systeem- en sturingsalternatieven

		Sturingsalternatieven (provincie)		
		Faciliteren en stimuleren	Regisseren, stimuleren en reguleren (waar nodig)	Reguleren
Systeemalternatieven	Lokale kracht	<ul style="list-style-type: none"> Inspanningen sterk gericht op eigen inwoners en gemeenten en regio's Ondersteunen lokale initiatieven en bewustwording essentieel voor doelbereik Inspanningen ook gericht op energiebesparing en individuele verantwoordelijkheid van de Brabanders (gedragsverandering) 	<ul style="list-style-type: none"> Bottom-up initiatieven zijn belangrijk, voor het doelbereik, maar kunnen ondersteuning nodig hebben van de provincie Provinciale (ruimtelijke en milieu) kaders kunnen bijdragen aan versnellen processen en procedures Provinciale kaders voor verdeling lusten en lasten kunnen bijdragen aan versnellen en groter draagvlak 	<ul style="list-style-type: none"> Kaders kunnen bijdragen aan het versnellen van procedures Kaders kunnen bijdragen aan oplossen lokale en regionale belangentegenstellingen Echter, beperkingen als gevolg van huidige wetgeving (wat kan de provincie wel/niet reguleren) Grotere rol van provincie (ook als mede-initiatiefnemer bij projecten) kan bijdragen aan versnelling en projecten uit lokale tegenstellingen halen
	De grote opgaven gebundeld	<ul style="list-style-type: none"> Inspanningen van provincie zijn meer gericht 'naar boven' (rijk, netbeheerders) dan naar lagere overheden (gemeenten, regio's) en de eigen burgers, doordat regie hier bij het Rijk ligt; daardoor beperkte sturing door provincie mogelijk Richting eigen inwoners, gemeenten en regio's zijn inspanningen provincie vooral gericht op energiebesparing en individuele verantwoordelijkheid van de Brabanders (gedragsverandering) 	<ul style="list-style-type: none"> Regie energietransitie ligt bij het Rijk waardoor provincie beperkt kan sturen Bijsturen van ontwikkelingen 'van boven' Richting eigen inwoners, gemeenten en regio's zijn inspanningen provincie vooral gericht op energiebesparing en individuele verantwoordelijkheid van de Brabanders (gedragsverandering) 	<ul style="list-style-type: none"> Regie energietransitie ligt bij het Rijk waardoor provincie beperkt kan sturen Kaders meegeven aan ontwikkelingen 'van boven' Beperkte mogelijkheid als gevolg van huidige wetgeving

⁴⁸ Bij een revolving fund worden financiële middelen beschikbaar gesteld in een zodanige vorm dat de middelen terugbetaald dienen te worden en er rente betaald moet worden over de middelen. Door de aflossing komen de middelen weer terug in het fonds en kunnen deze opnieuw en dus meerdere keren ('revolving') worden ingezet.

		Sturingsalternatieven (provincie)		
		Faciliteren en stimuleren	Regisseren, stimuleren en reguleren (waar nodig)	Reguleren
	Op grote schaal denken	<ul style="list-style-type: none"> Inspanningen van provincie zijn meer gericht 'naar boven' (EU, Rijk, netbeheerders) dan naar lagere overheden (gemeenten, regio's) en de eigen burgers, doordat regie hier bij EU / wereldmarkt ligt; daardoor beperkte sturing door provincie mogelijk Richting eigen inwoners, gemeenten en regio's zijn inspanningen provincie vooral gericht op energiebesparing en individuele verantwoordelijkheid van de Brabanders (gedragsverandering) 	<ul style="list-style-type: none"> Regie energietransitie ligt bij EU / wereldmarkt waardoor provincie beperkt kan sturen Bijsturen van ontwikkelingen 'van boven' Richting eigen inwoners, gemeenten en regio's zijn inspanningen provincie vooral gericht op energiebesparing en individuele verantwoordelijkheid van de Brabanders (gedragsverandering) 	<ul style="list-style-type: none"> Regie energietransitie ligt bij EU / wereldmarkt waardoor provincie beperkt kan sturen Kaders meegeven aan ontwikkelingen 'van boven' Richting eigen inwoners, gemeenten en regio's zijn inspanningen provincie vooral gericht op energiebesparing Beperkte mogelijkheid als gevolg van huidige wetgeving

Uit de voorgaande tabel blijkt dat de rol die van de provincie gevraagd wordt, verschilt per systeemalternatief. Bij 'Lokale kracht' zijn de inspanningen van de provincie voor een groot deel nodig binnen de eigen provincie en daarmee gericht op de eigen inwoners, gemeenten, belangengroepen e.d. In dit systeemalternatief is een duidelijke regierol van de provincie nodig om de doelstellingen te behalen. Dit biedt de provincie de mogelijkheid om het gehele pallet van sturingsmiddelen dat de provincie tot haar beschikking heeft, in te zetten om de doelstellingen te behalen.

Bij de twee andere systeemalternatieven ligt de regie voor de energietransitie op een hoger niveau (het Rijk of de EU) en is de rol van de provincie daarmee kleiner en meer 'naar boven' gericht (zoals lobbywerk bij het Rijk, de EU en netbeheerders). De provincie kan in deze systeemalternatieven vooral ontwikkelingen van boven bijsturen, in plaats van zelf regisseren. Bij systeemalternatief 'Op grote schaal denken' is de (fysieke en organisatorische) afstand tot het niveau waar besluiten worden genomen daarbij groter dan bij het systeemalternatief 'Grote opgaven gebundeld' (EU/wereldmarkt versus het rijk/grote bedrijven). Dat maakt het bij systeemalternatief 'Op grote schaal denken' lastiger om ontwikkelingen bij te sturen. Bij het sturingsalternatief 'Provincie faciliteert en stimuleert' zijn de mogelijkheden om bij te sturen het kleinst omdat de provincie geen regulerende maatregelen inzet om kaders aan ontwikkelingen mee te geven. Bij de andere sturingsalternatieven doet de provincie dat wel, waardoor meer bijsturing plaats kan vinden. Daarbij is het wel de vraag in hoeverre de huidige wetgeving dit mogelijk maakt.

6.2 Doelbereik nevendoelestellingen

Zoals in paragraaf 4.3.2 beschreven volgen de nevendoelestellingen uit de Brabantse waarden voor het energiesysteem zoals opgenomen in de notitie Bouwstenen voor het Brabants Energieperspectief:

- Betrouwbaar energiesysteem.
- Betaalbare energie.
- Omgevingsbewust energiesysteem.

De laatste nevendoelestelling is hier niet apart beoordeeld omdat deze volledig gedekt wordt door de beoordeling van de (milieu)effecten, zie hoofdstuk 7.

6.2.1 Betrouwbaar energiesysteem

6.2.1.1 Systeemalternatieven

Systeemalternatief Lokale kracht

'Lokale kracht' biedt duidelijke kansen voor zowel de beschikbaarheid als de voorspelbaarheid van energie. Doordat energie lokaal wordt opgewekt en opgeslagen, zijn regio's en Nederland als geheel minder afhankelijk van landelijke of internationale energiestromen. Dit verhoogt de zelfvoorzienendheid en maakt het systeem flexibeler. Lokale en regionale overheden kunnen snel inspelen op specifieke behoeften en knelpunten, waardoor investeringen in innovatieve oplossingen en het inspelen op lokale energiebehoeften versneld worden. De spreiding van initiatieven zorgt ervoor dat uitval op één locatie minder snel tot grote problemen leidt en draagt bij aan een veerkrachtiger energiesysteem.

Tegelijkertijd brengt de decentrale aanpak risico's met zich mee die zowel de beschikbaarheid als de voorspelbaarheid raken. Essentieel is dat het gehele energiesysteem zo is ingericht en opgebouwd dat fluctuaties in het aanbod van duurzame energie (uit wind, zon, aardwarmte, groen gas) per etmaal en in elk seizoen kan worden opgenomen. Dat impliceert dat opslag in het systeem wordt geïntegreerd en dat het netwerk voldoende capaciteit heeft. Verspreide initiatieven voor opwekking, zoals zonneparken en windmolens, kunnen het bestaande elektriciteitsnet echter lokaal zwaar belasten. Zonder goede afstemming, investeringen in netverzwaring en slimme sturing kunnen knelpunten ontstaan waarbij geproduceerde energie niet altijd getransporteerd of opgeslagen kan worden. Daarnaast vraagt een systeem met veel lokale bronnen om voldoende reservecapaciteit, zodat bij uitval van een lokale bron de energievoorziening niet in gevaar komt. Dit vereist extra investeringen in opslagtechnologieën en flexibel inzetbare back-upbronnen. De spreiding van energiedragers – dus niet alleen elektriciteit maar ook warmte, groen gas en waterstof – en (door de eindgebruikers) zuinig en verstandig omgaan met het gebruiken van energie, dragen bij aan de betrouwbaarheid van het energiesysteem.

De lokale organisatie van productie en opslag maakt Brabant en andere regio's minder afhankelijk van internationale energiemarkten en importstromen. Dit vergroot de veerkracht bij internationale conflicten, handelsbeperkingen of geopolitieke spanningen, aangezien de toegang tot energie grotendeels binnen de eigen regio gewaarborgd is. Lokale en regionale overheden kunnen snel en gericht inspelen op verstoringen, waardoor het risico op langdurige uitval afneemt. Echter, bij grootschalige regionale verstoringen, zoals extreme weersomstandigheden of technische storingen, kan het ontbreken van interregionale back-up leiden tot kwetsbaarheden. Het succes hangt af van de robuustheid en diversiteit van lokale initiatieven en samenwerking tussen partijen om piekbelasting en schaarste effectief te beheren. Door de focus op lokale opwek zijn de fluctuaties in aanbod (met name uit wind en zon) relatief groot.

De toename van decentrale installaties vraagt om forse investeringen in cybersecurity en netbeheer, vanwege de verhoogde complexiteit en het risico op digitale aanvallen. Lokale en regionale overheden moeten investeren in kennis, samenwerking en robuuste technische systemen om de betrouwbaarheid en veiligheid te waarborgen.

Samenvattend biedt 'Lokale kracht' perspectief op een betrouwbaar, veerkrachtig en voorspelbaar energiesysteem, mits er voldoende aandacht is voor het beperken van de energievraag (zowel in totaal als op piekmomenten), het voorkomen van netcongestie, het organiseren van reserve- en opslagcapaciteit en het waarborgen van veiligheid en samenwerking. De rol van lokale overheden is hierin cruciaal: zij moeten zorgen voor goede coördinatie, investeringen en participatie, zodat de voordelen van lokaal opgewekte energie maximaal benut worden en de risico's beheersbaar blijven.

Systeemalternatief De grote opgaven gebundeld

Het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' wordt gekenmerkt door centrale sturing vanuit de rijksoverheid en de realisatie van grootschalige projecten, met name windparken op zee en waterstofproductiefaciliteiten. Hierdoor ontstaat een robuust energiesysteem waarbij Nederland grotendeels zelfvoorzienend is, wat positief is voor de beschikbaarheid van energie onder normale omstandigheden. Grootschalige infrastructuur zorgt ervoor dat de toegang tot energie onder normale omstandigheden goed gewaarborgd is. De opwek van wind op zee is minder gevoelig voor fluctuaties in het windaanbod dan de opwek op land waardoor er bij dit systeemalternatief minder sprake is van dalen in het aanbod van windenergie.

De centrale aansturing en landelijke coördinatie maken het mogelijk om fluctuaties in aanbod en prijs te beperken. Door grootschalige productie en clustering van infrastructuur wordt het energiesysteem voorspelbaarder en stabiel. Dit verkleint de invloed van internationale marktschommelingen en draagt bij aan een betrouwbare energievoorziening voor zowel huishoudens als bedrijven.

Het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' biedt ook aanzienlijke kansen voor de betrouwbaarheid van het Brabantse energiesysteem in tijden van internationale conflicten en crises. Door de nationale coördinatie en schaalgrootte van projecten is Nederland beter in staat om verstoringen op te vangen en blijft de energievoorziening in Brabant in principe gewaarborgd. De zelfvoorzienendheid door hernieuwbare energie en waterstofproductie vermindert de kwetsbaarheid voor externe invloeden.

Hoewel het systeem dus sterke kansen biedt voor beschikbaarheid, voorspelbaarheid en betrouwbaarheid van het energiesysteem, zijn er ook duidelijke risico's die voortkomen uit de centrale aanpak. De concentratie van energieopwekking op enkele locaties vergroot het risico op netcongestie en technische storingen: uitval van een groot cluster of centrale voorziening kan directe gevolgen hebben voor grote delen van het land, waaronder Brabant. De sterke afhankelijkheid van centrale infrastructuur kan het systeem daarnaast kwetsbaar maken voor gerichte

aanvallen. De afhankelijkheid van een beperkt aantal grootschalige projecten betekent dat lokale flexibiliteit en veerkracht minder ontwikkeld zijn, waardoor herstel bij calamiteiten langer kan duren. Daarnaast kan centralisatie leiden tot minder lokale betrokkenheid, wat het maatschappelijk draagvlak onder druk zet. Om deze risico's te beheersen, zijn tijdige investeringen in netverzwaring, slimme aansturing, diversificatie van energiebronnen, maatschappelijke participatie en robuuste beveiligingsmaatregelen essentieel.

Systeemalternatief Op grote schaal denken

Dankzij sterke internationale samenwerking en grootschalige import van duurzame energie (zoals waterstof en groen gas) profiteert Nederland – en Brabant in het bijzonder – in het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' van een stabiele, ruime en diverse energievoorziening. De concentratie van energie-infrastructuur in havengebieden maakt het mogelijk importstromen efficiënt te verwerken en distribueren. Dit vergroot niet alleen de robuustheid van de energievoorziening, maar draagt ook bij aan de voorspelbaarheid van toegang tot energie en het beperken van prijsfluctuaties, mits internationale contracten en samenwerking op EU-niveau de markt ondersteunen. Schaalvoordelen en investeringen in innovatieve technologieën kunnen bovendien de energiekosten op termijn drukken voor zowel huishoudens als bedrijven.

De sterke afhankelijkheid van internationale markten en importstromen brengt echter ook risico's met zich mee, vooral tijdens geopolitieke spanningen, handelsbeperkingen of storingen in het buitenland. In zulke situaties kan de beschikbaarheid en voorspelbaarheid van energie voor Brabant en Nederland onder druk komen te staan. Lokale productie blijft in dit alternatief relatief beperkt, waardoor het energiesysteem kwetsbaar is bij verstoringen in internationale toeleveringsketens. Het waarborgen van voldoende reservecapaciteit, zoals opslagfaciliteiten en flexibele gascentrales, is essentieel om de impact van leveringsonderbrekingen te minimaliseren en ook in tijden van crisis aan de binnenlandse vraag te kunnen voldoen.

De ruimtelijke concentratie van energie-infrastructuur rond de havengebieden biedt efficiëntievoordelen, maar stelt ook eisen aan fysieke en digitale veiligheid. Cyberdreigingen en sabotage kunnen het energiesysteem ontwrichten, waardoor strenge beveiligingsmaatregelen en internationale samenwerking op het gebied van digitale veiligheid noodzakelijk zijn.

Samenvattend biedt 'Op grote schaal denken' aanzienlijke kansen voor een betrouwbare, voorspelbare en efficiënte energievoorziening onder normale omstandigheden, vooral door internationale samenwerking en grootschalige import. Echter, de afhankelijkheid van het buitenland maakt het systeem kwetsbaarder bij conflicten en crises. Beleidsmakers dienen daarom een balans te vinden tussen internationale inbedding en lokale weerbaarheid, waarbij investeringen in reservecapaciteit, veiligheid en lokale productie van groot belang zijn om Brabant en Nederland ook in tijden van crisis te verzekeren van een stabiele energielevering.

Vergelijking systeemalternatieven

Een vergelijking van de drie systeemalternatieven op het gebied van betrouwbaarheid van het energiesysteem, laat zien dat elk alternatief eigen sterktes en kwetsbaarheden kent. 'Lokale kracht' onderscheidt zich door een hoge mate van zelfvoorzienendheid en flexibiliteit. Doordat energie lokaal wordt opgewekt en – mits daarvoor voldoende capaciteit is - opgeslagen, zijn regio's minder afhankelijk van landelijke of internationale energiestromen. Bij dit systeemalternatief is daarnaast de spreiding over meerdere energiebronnen (minder focus op elektrisch) gunstig voor de betrouwbaarheid. Dit maakt het systeem veerkrachtig bij internationale verstoringen en stelt lokale overheden in staat snel in te spelen op knelpunten. Tegelijkertijd brengt deze decentrale aanpak risico's met zich mee, zoals lokale netcongestie, de noodzaak van voldoende opslag- en reservecapaciteit en een grotere complexiteit qua beheer en cybersecurity. Zonder goede coördinatie en investeringen kunnen deze risico's de betrouwbaarheid juist onder druk zetten.

Bij het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' zorgt centrale aansturing vanuit de rijksoverheid en de realisatie van grootschalige projecten voor een robuust en voorspelbaar energiesysteem. Door clustering en schaalvoordelen kunnen fluctuaties in aanbod en prijs worden beperkt, en is Nederland beter bestand tegen internationale crises. Toch schuilt het grootste risico in de afhankelijkheid van enkele grote infrastructuren: uitval of sabotage van een centrale voorziening kan direct grote delen van het land raken. Ook is de lokale flexibiliteit minder, waardoor het systeem trager kan reageren op regionale verstoringen. De betrouwbaarheid is onder normale omstandigheden hoog, maar bij calamiteiten juist kwetsbaar door de centralisatie.

Het derde systeemalternatief, 'Op grote schaal denken', bouwt sterk op internationale samenwerking en import van duurzame energie. Onder normale omstandigheden levert dit een stabiele en diverse energievoorziening op, waarbij schaalvoordelen en innovaties de betrouwbaarheid en voorspelbaarheid ondersteunen. Echter, de afhankelijkheid van

internationale markten maakt het systeem gevoelig voor geopolitieke spanningen, handelsbeperkingen of storingen in het buitenland. Bij internationale crises neemt de kwetsbaarheid toe, omdat lokale productie beperkt is en Brabant en Nederland daardoor minder snel kunnen inspelen op leveringsonderbrekingen.

Samenvattend scoort 'Lokale kracht' hoog op veerkracht en zelfredzaamheid, vooral in het omgaan met lokale of internationale verstoringen, mits de organisatie en samenwerking goed zijn geregeld en er voldoende opslag- en reservecapaciteit aanwezig is. 'De grote opgaven gebundeld' biedt een hoge betrouwbaarheid en voorspelbaarheid onder normale omstandigheden, maar is kwetsbaar bij uitval van centrale punten. 'Op grote schaal denken' presteert goed qua efficiëntie en voorspelbaarheid zolang internationale samenwerking stabiel blijft, maar kent verhoogde risico's bij externe crises. De keuze voor een alternatief hangt dus sterk af van de gewenste balans tussen lokale weerbaarheid, centrale robuustheid en internationale afhankelijkheid; elk systeem vraagt om gerichte investeringen en coördinatie om de betrouwbaarheid onder uiteenlopende omstandigheden te waarborgen.

6.2.1.2 Sturingsalternatieven

Sturingsalternatief Provincie faciliteert en stimuleert

Het sturingsalternatief 'Provincie faciliteert en stimuleert' richt zich op het ondersteunen van andere partijen tijdens de energietransitie en het stimuleren van gedragsverandering – bijvoorbeeld door het delen van kennis of het verstrekken van subsidies. Door een faciliterende en stimulerende rol te nemen, kan de provincie gericht investeren in slimme netwerken en innovatieve technologieën. Dit draagt bij aan het voorkomen van netcongestie en bevordert gezamenlijke investeringen in reservecapaciteit, zoals batterijopslag of flexibele gascentrales. Hierdoor wordt de beschikbaarheid van energie vergroot en kunnen fluctuaties beter worden opgevangen. Tegelijkertijd kan de provincie, door samenwerking tussen publieke en private partijen te versterken, sneller inspelen op prijsontwikkelingen en de stabiliteit van energieprijzen ondersteunen. Investerings in innovatieve technologieën, ondersteund door gerichte subsidies en beleidsmaatregelen, vergroten de betrouwbaarheid en voorspelbaarheid van het energiesysteem.

Omdat de provincie in dit alternatief vooral een ondersteunende en niet-sturende rol heeft, bestaat het risico dat investeringen in infrastructuur of reservecapaciteit achterblijven, zeker als marktpartijen onvoldoende initiatief nemen. Dit kan leiden tot knelpunten op het elektriciteitsnet en een verminderde leveringszekerheid. Ook kan de afhankelijkheid van weersafhankelijke bronnen het lastig maken om voldoende reservecapaciteit te garanderen. Daarnaast kan versnipperde sturing leiden tot minder grip op prijsvorming en investeringen in de fysieke en digitale veiligheid van het systeem. Hierdoor kunnen kwetsbaarheden ontstaan die de voorspelbaarheid en beschikbaarheid van energie onder druk zetten. Heldere afspraken en monitoring zijn daarom essentieel.

De faciliterende rol van de provincie stimuleert lokale energieproductie en samenwerking tussen gemeenten, bedrijven en energiecoöperaties. Dit vergroot de regionale energieonafhankelijkheid en maakt Brabant minder kwetsbaar bij internationale verstoringen of conflicten. Wanneer het aandeel lokaal opgewekte energie toeneemt, kan de provincie sneller schakelen bij verstoringen op de (internationale) energiemarkt. Toch blijft er een afhankelijkheid van landelijke en internationale infrastructuur, bijvoorbeeld voor elektriciteit, gas en waterstof. Als lokale initiatieven niet goed op elkaar zijn afgestemd of als investeringen in netwerken en opslag achterblijven, kunnen knelpunten ontstaan bij piekvraag of onverwachte uitval van leveranties, waardoor de betrouwbaarheid in tijden van crisis alsnog onder druk komt te staan.

Samenvattend biedt het sturingsalternatief 'Provincie faciliteert en stimuleert' kansen voor het versterken van de beschikbaarheid, voorspelbaarheid en betrouwbaarheid van het Brabantse energiesysteem, vooral door innovatie, samenwerking en stimulering van lokale initiatieven. Tegelijkertijd brengt het risico's met zich mee als marktpartijen en gemeenten/regio's onvoldoende initiatief tonen of als de regie versnipperd raakt, waardoor investeringen en samenhang in het systeem kunnen achterblijven. Door duidelijke afspraken, monitoring en gerichte stimulering kan de provincie deze risico's deels ondervangen, maar volledige waarborging van betrouwbaarheid blijft een aandachtspunt.

Sturingsalternatief Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)

Het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' biedt een samenhangende aanpak voor het realiseren van een betrouwbaar Brabants energiesysteem. Door een actieve regierol te nemen, kan de provincie gericht investeren in infrastructuur en innovaties, wat de beschikbaarheid en voorspelbaarheid van energie onder normale omstandigheden vergroot. Dit stelt de provincie in staat om knelpunten zoals netcongestie proactief aan te pakken, bijvoorbeeld via stimulering van lokale opslag, slimme netten en het waarborgen van voldoende reservecapaciteit. Hierdoor kan snel worden geschakeld naar alternatieven wanneer bepaalde energiebronnen uitvallen, wat het risico op grootschalige uitval beperkt.

De voorspelbaarheid van het energiesysteem wordt versterkt door een heldere koers en consistente besluitvorming. Marktpartijen weten waar ze aan toe zijn, waardoor investeringsrisico's afnemen en stabiliteit van energieprijzen wordt bevorderd. Door stimulering en regulering kan de provincie inspelen op maatschappelijke wensen, zoals het bevorderen van innovatieve technologieën en lokale energieopwekking, wat bijdraagt aan een eerlijke verdeling van lasten en lusten. Daarnaast kan de provincie de uitrol van digitale infrastructuur versnellen en duidelijke randvoorwaarden stellen op het gebied van cybersecurity, waarmee de fysieke en digitale veiligheid van het energiesysteem beter wordt geborgd.

In tijden van conflicten en crises biedt deze sturingsvariant het voordeel dat de provincie sneller kan inspelen op dreigende tekorten of verstoringen. Door te sturen op spreiding en diversificatie van energiebronnen binnen Brabant, bijvoorbeeld via zonne- en windenergie of lokale warmtenetten, wordt de afhankelijkheid van buitenlandse leveranciers verkleind. Dit versterkt de leveringszekerheid en maakt het energiesysteem veerkrachtiger tegen externe invloeden. Bij internationale spanningen kan de provincie bovendien vergunningstrajecten versnellen en lokale productie stimuleren, waardoor de toegang tot energie beter is gewaarborgd.

Tegelijkertijd zijn er ook risico's verbonden aan deze aanpak. Het succes hangt sterk af van de uitvoeringskracht, coördinatie en kennis van de provincie. Onvoldoende afstemming met landelijke netbeheerders of marktpartijen kan leiden tot vertragingen of suboptimale investeringen, wat netcongestie kan verergeren. Te veel regulering kan de flexibiliteit van het systeem beperken en innovatie remmen. Ook kan het waarborgen van voldoende reservecapaciteit kostbaar zijn, zeker als de energievraag sneller groeit dan verwacht. In crisissituaties is er het risico dat lokale productie niet tijdig kan opschalen, wat alsnog tot tekorten kan leiden.

Samenvattend zorgt het alternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' voor een robuust en betrouwbaar energiesysteem, mits de provincie flexibel inspeelt op ontwikkelingen en investeert in kennis, samenwerking en infrastructuur. Dit biedt kansen voor leveringszekerheid, voorspelbaarheid en betrouwbaarheid, zowel onder normale omstandigheden als tijdens conflicten en crises. De mate van succes is echter afhankelijk van de slagkracht van de provincie en haar vermogen om adequaat te anticiperen op veranderende omstandigheden.

Sturingsalternatief Provincie reguleert

Het sturingsalternatief 'Provincie reguleert' houdt in dat de provincie Noord-Brabant met haar instrumentarium, zoals de omgevingsverordening, actief stuurt op de ontwikkeling van het energiesysteem. Door centrale regie en het stellen van duidelijke kaders kan de provincie gericht sturen op ruimtelijke inpassing van energie-infrastructuur en het stimuleren van investeringen in (reserve)capaciteit. Dit vergemakkelijkt het tijdig signaleren en aanpakken van knelpunten, zoals netcongestie, en maakt het mogelijk om eisen te stellen aan de flexibiliteit van nieuwe projecten. Hierdoor neemt de beschikbaarheid van energie toe en wordt de toegang voorspelbaarder, doordat fluctuaties in prijs en aanbod kunnen worden beperkt en er heldere afspraken gelden voor marktpartijen.

Tegelijkertijd bestaat het risico dat stringente regelgeving innovatie en marktwerking afremt, waardoor private partijen voorzichtiger worden met investeringen in aanvullende of innovatieve oplossingen. Ook kan de administratieve last toenemen en de doorlooptijd van projecten verlengen, wat de snelheid van de energietransitie onder druk zet. Een te sterke focus op centrale sturing kan bovendien lokale initiatieven en decentrale oplossingen in de weg staan, terwijl deze juist van belang zijn voor piekbelasting en systeemrobuustheid.

Provinciale regulering biedt kansen om Brabant minder afhankelijk te maken van externe leveranciers en internationale energiemarkten, door inzet te richten op lokale productie en opslag. Dit vergroot de veerkracht van het systeem en stelt de provincie in staat om bij verstoringen snel te schakelen en prioriteit te geven aan vitale sectoren en huishoudens. Naarmate de zelfvoorzienendheid groeit, verbetert de toegang tot energie in tijden van internationale crises. Een belangrijk aandachtspunt is dat de provincie mogelijk niet altijd over voldoende middelen of expertise beschikt om grootschalige verstoringen zelfstandig te beheersen, zeker als de lokale productiecapaciteit nog in opbouw is. Ook hier geldt dat te weinig flexibiliteit en innovatie de betrouwbaarheid op langere termijn kunnen ondermijnen.

Om het Brabantse energiesysteem betrouwbaar én toekomstbestendig te maken, is het essentieel dat de provincie samenwerkt met marktpartijen en kennisinstellingen, blijft investeren in innovatie en administratieve lasten beperkt houdt. Heldere regels en toezicht vergroten de fysieke en digitale veiligheid, maar flexibiliteit en ruimte voor lokale initiatieven zijn noodzakelijk om adequaat te kunnen inspelen op onverwachte ontwikkelingen. Alleen reguleren is daarom niet voldoende.

Vergelijking sturingsalternatieven

Het alternatief waarbij de provincie vooral faciliteert en stimuleert, richt zich op het ondersteunen van partijen en het stimuleren van innovatie en samenwerking. Dit biedt kansen voor lokale energieproductie, samenwerking en flexibiliteit, wat de beschikbaarheid en voorspelbaarheid van energie kan vergroten. Het risico bestaat echter dat investeringen in infrastructuur en reservecapaciteit achterblijven als marktpartijen en gemeenten/regio's onvoldoende initiatief tonen. Ook kan versnipperde sturing leiden tot een minder stabiel systeem en beperkte grip op prijsvorming en veiligheid. Hierdoor is de betrouwbaarheid van het energiesysteem in dit scenario vooral afhankelijk van het initiatief van anderen en is het kwetsbaarder voor knelpunten en verstoringen.

Het alternatief waarbij de provincie een actieve regierol neemt – regisseren, stimuleren en reguleren waar nodig – biedt meer samenhang en sturing. De provincie kan gericht investeren, knelpunten proactief aanpakken en duidelijke randvoorwaarden stellen, waardoor de voorspelbaarheid, beschikbaarheid en leveringszekerheid toenemen. Door heldere koers en consistent beleid weten marktpartijen waar ze aan toe zijn, wat investeringsrisico's verlaagt en stabiliteit vergroot. Ook kan sneller worden gereageerd op crises en internationale verstoringen. Het succes van dit alternatief hangt sterk af van de uitvoeringskracht en coördinatie van de provincie; onvoldoende afstemming of te veel regulering kan juist weer tot vertragingen of een gebrek aan innovatie leiden. Al met al scoort dit alternatief het beste als het gaat om het realiseren van een robuust en betrouwbaar energiesysteem, mits de provincie flexibel en slagvaardig blijft.

Het alternatief 'Provincie reguleert' zet in op centrale sturing en duidelijke kaders via regelgeving. Dit maakt het mogelijk om gericht te sturen op ruimtelijke inpassing en investeringen, waardoor knelpunten sneller gesignaleerd en aangepakt kunnen worden. De voorspelbaarheid en toegang tot energie worden hierdoor versterkt, vooral bij internationale crises. Tegelijkertijd bestaat het gevaar dat strikte regels innovatie en marktwerking afremmen en de administratieve last verhogen. Lokale initiatieven kunnen hierdoor minder ruimte krijgen, wat de flexibiliteit en robuustheid van het systeem op termijn kan ondermijnen. De betrouwbaarheid van het systeem is in dit scenario sterk afhankelijk van de uitvoeringscapaciteit van de provincie en het vermogen om samen te werken met marktpartijen en kennisinstellingen.

Samenvattend scoort het alternatief 'regisseren, stimuleren en reguleren waar nodig' het hoogst op het realiseren van een betrouwbaar energiesysteem, omdat het een balans biedt tussen sturing, flexibiliteit en innovatie. Het puur faciliterende alternatief biedt kansen voor samenwerking en innovatie, maar is vooral afhankelijk van de daadkracht van externe partijen. Het sterk regulerende alternatief vergroot de voorspelbaarheid en kan snel reageren op verstoringen, maar loopt het risico innovatie en flexibiliteit te beperken. Een evenwichtige benadering, waarin de provincie zowel stuurt als ruimte biedt voor lokale initiatieven en innovatie, lijkt daarmee het meest kansrijk om een toekomstbestendig en betrouwbaar energiesysteem te realiseren.

6.2.2 Betaalbare energie

6.2.2.1 Systeemalternatieven

Systeemalternatief Lokale kracht

'Lokale kracht' biedt kansen om de maatschappelijke kosten van het energiesysteem te beperken doordat transportverliezen en grootschalige infrastructuurinvesteringen afnemen; energie wordt immers lokaal opgewekt en benut. Dit kan leiden tot lagere kosten op de lange termijn, mits lokale initiatieven goed gecoördineerd worden en bestaande infrastructuren slim worden benut. Ook kan brede participatie van lokale partijen innovatie en concurrentie stimuleren, wat op termijn efficiëntere en goedkopere oplossingen oplevert. Daarnaast wordt, vanwege de focus op lokale initiatieven, verwacht dat bij dit alternatief meer werk wordt gemaakt van het beperken van de totale energievraag en op het verminderen van het energiegebruik op piekmomenten.

Tegelijkertijd vraagt decentrale opwekking en opslag om aanzienlijke investeringen in lokale infrastructuur (waaronder opslag- en reservecapaciteit, kennis en organisatie. Door het ontbreken van schaalvoordelen en complexiteit in afstemming tussen initiatieven zijn de aanloopkosten vaak hoger, zeker in gebieden waar beschikbare bronnen of geschikte locaties schaars zijn. Dit kan in de beginfase resulteren in hogere maatschappelijke kosten en energielasten, zowel voor huishoudens als bedrijven. Op termijn kunnen de variabele lasten dankzij zelfvoorzienendheid en lokaal eigenaarschap beperkt blijven, als de initiële investeringen collectief gedragen worden en de efficiëntie van projecten hoog is.

De inzet op lokale opwek en opslag geeft mogelijkheden om de energieprijzen stabiel te houden, doordat lokale sturing en opslag meer grip geven op vraag en aanbod. Hierdoor kunnen prijsfluctuaties per dag, week of jaar worden

beperkt, mits er voldoende opslagcapaciteit en samenwerking tussen regio's is. In periodes van beperkte opwek of onverwachte piekvraag kan de prijs echter juist meer schommelen, tenzij flexibiliteit en onderlinge uitwisseling goed zijn georganiseerd. De mate waarin prijsfluctuaties beheersbaar blijven, hangt dus sterk samen met de effectiviteit van regionale samenwerking en de aanwezigheid van robuuste lokale infrastructuur.

'Lokale kracht' vergroot de kans op een eerlijke verdeling van de lasten en lusten van het energiesysteem. Door lokale regie ontstaat ruimte voor brede financiële participatie van inwoners en bedrijven, wat bijdraagt aan maatschappelijke betrokkenheid en acceptatie. De opbrengsten van energieopwekking kunnen binnen de regio blijven en direct aan de lokale economie ten goede komen. Tegelijk brengt deze aanpak het risico met zich mee dat bepaalde investeringen vooral toegankelijk zijn voor groepen met voldoende middelen, waardoor ongelijkheid kan ontstaan als niet actief wordt gestuurd op inclusiviteit en solidariteit.

Het is daarom essentieel dat beleid waarborgt dat investeringen met een groot maatschappelijk belang – zoals warmtenetten – eerlijk verdeeld en toegankelijk zijn voor alle inwoners, ongeacht hun financiële positie. Door nadruk te leggen op lokale aansturing en participatie, wordt de kans vergroot dat de samenleving als geheel profiteert van de energietransitie. Dit vraagt echter om zorgvuldig beleid dat uitsluiting voorkomt en de baten breed spreidt.

Samenvattend biedt het systeemalternatief 'Lokale kracht' duidelijke kansen voor het beperken van maatschappelijke kosten, het betaalbaar houden van energielasten, een stabiele energieprijis en een eerlijke verdeling van lasten en lusten, mits lokale overheden effectief samenwerken, kennis delen en inclusiviteit centraal stellen. De risico's liggen vooral bij de aanvangsinvesteringen, het ontbreken van schaalvoordelen en het gevaar op ongelijkheid tussen regio's en bevolkingsgroepen. Succesvol beleid vraagt om coördinatie, solidariteit en het collectief dragen van investeringen, zodat de energietransitie voor iedereen betaalbaar en eerlijk blijft.

Systeemalternatief De grote opgaven gebundeld

Het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' biedt, onder centrale regie van de rijksoverheid en met de bundeling van grootschalige projecten als windparken op zee en waterstofproductie, duidelijke kansen voor het realiseren van een betaalbaar en evenwichtig energiesysteem in Brabant. Door de focus op schaalgrootte en centrale aansturing ontstaan schaalvoordelen, wat kan leiden tot lagere investeringskosten per opgewekte eenheid energie en een efficiëntere inzet van infrastructuur. Dit draagt bij aan het beperken van de maatschappelijke kosten en maakt het mogelijk om de energielasten voor huishoudens en bedrijven op termijn stabiel en mogelijk lager te houden. De zelfvoorzienendheid binnen Nederland in dit alternatief, vermindert de afhankelijkheid van internationale marktprijzen, wat de prijsfluctuatie beperkt en voorspelbaarheid in de energielasten vergroot.

De afhankelijkheid van kapitaalintensieve, grootschalige projecten brengt echter het risico met zich mee dat budgetoverschrijdingen of vertragingen direct grote gevolgen hebben voor zowel de maatschappelijke kosten als de betaalbaarheid van energie. De concentratie van investeringen in specifieke gebieden, zoals het rivierengebied en industriële clusters als Moerdijk en Geertruidenberg, kan leiden tot regionale ongelijkheid in de verdeling van lasten en lusten. De baten, zoals werkgelegenheid en economische groei, kunnen breed gedeeld worden als participatie-instrumenten en coöperatieve modellen actief worden ingezet, maar er blijft een risico dat de directe lasten lokaal geconcentreerd zijn en bepaalde groepen minder profiteren van de opbrengsten.

Een belangrijk aandachtspunt is de eerlijke verdeling van lasten en lusten. Hoewel het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' mogelijkheden biedt voor brede financiële participatie door burgers en bedrijven, is het van belang dat beleid actief stimuleert dat deze voordelen daadwerkelijk toegankelijk zijn voor alle groepen en dat lokale lasten niet onevenredig zwaar drukken op specifieke gebieden of kwetsbare groepen. Ook moeten initiële investeringskosten niet leiden tot blijvend hogere vaste lasten voor huishoudens en bedrijven, zeker niet voor diegenen die minder makkelijk kunnen investeren in bijvoorbeeld elektrificatie of participatie in projecten.

Systeemalternatief Op grote schaal denken

Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' biedt aanzienlijke kansen én risico's op het gebied van betaalbare energie. Door de grootschalige import van duurzame energie – met name waterstof en groen gas – kan Nederland profiteren van schaalvoordelen en internationale concurrentie. Dit leidt tot potentieel lagere maatschappelijke kosten van het energiesysteem, lagere inkooprijzen en een grotere stabiliteit in het energieaanbod. Zowel huishoudens als bedrijven profiteren hiervan, zeker wanneer de internationale markt stabiel blijft en de leveringszekerheid gewaarborgd is. De concentratie van ruimtelijke impact rond havengebieden voorkomt bovendien grootschalige investeringen elders, wat extra kosten kan besparen.

Tegelijkertijd brengt deze strategie een sterke afhankelijkheid van internationale markten met zich mee. Nederland wordt kwetsbaar voor prijsschommelingen en geopolitieke ontwikkelingen. Bij verstoringen op de wereldmarkt, bijvoorbeeld door conflicten of handelsbeperkingen, kunnen zowel de maatschappelijke kosten als de energielasten voor bedrijven en huishoudens snel oplopen. Fluctuaties in de energieprijzen zijn hierdoor niet volledig te beheersen: in stabiele jaren zijn de schommelingen beperkt, maar in onrustige perioden kunnen ze fors toenemen. Dit raakt vooral energie-intensieve bedrijven, maar indirect ook huishoudens via hogere prijzen voor goederen en diensten.

De ruimtelijke concentratie van infrastructuur rond havengebieden heeft als voordeel dat de negatieve impact op andere regio's beperkt blijft. Echter, deze concentratie brengt ook lokale lasten met zich mee, zoals geluidsoverlast, ruimtebeslag en mogelijke waardedaling van vastgoed, die vooral op de schouders van bewoners en ondernemers in deze gebieden terechtkomen. Daarnaast bestaat het risico dat investeringen in infrastructuur en economische voordelen vooral bij de industrie en investeerders, terwijl de bredere samenleving minder profiteert. Dit kan gevoelens van ongelijkheid versterken, zeker als de baten van economische groei niet breed gedeeld worden.

Samenvattend voldoet het alternatief 'Op grote schaal denken' in potentie aan de doelstellingen van lage maatschappelijke kosten en betaalbare energielasten, mits de internationale markt stabiel blijft en Nederland tijdig investeert in infrastructuur en arbeidsmarkt. Het succes op het gebied van eerlijke verdeling van lasten en lusten hangt sterk af van aanvullende maatregelen, zoals compensatie, participatie en herverdeling van opbrengsten. Zonder deze maatregelen bestaat het risico dat de lasten onevenredig bij specifieke groepen en locaties terechtkomen, terwijl de voordelen vooral bij de industrie en investeerders liggen. Een gebalanceerde aanpak is cruciaal om te zorgen dat de maatschappelijke baten breed neerslaan en de lasten eerlijk worden verdeeld.

Vergelijking systeemalternatieven

'Lokale kracht' heeft als sterk punt dat het op termijn kan leiden tot lagere maatschappelijke kosten en energielasten, doordat energie lokaal wordt opgewekt en benut. Dit systeem biedt veel ruimte voor lokale participatie, innovatie en eigenaarschap, waardoor huishoudens en bedrijven direct kunnen profiteren van de opbrengsten. Echter, de aanvangsinvesteringen zijn vaak hoog en het ontbreken van schaalvoordelen kan in de beginfase juist voor hogere lasten zorgen. De betaalbaarheid hangt dus sterk af van hoe collectief en efficiënt lokale projecten worden opgezet. Ook is er een risico dat ongelijkheid ontstaat als niet iedereen kan meedoen, wat de betaalbaarheid voor kwetsbare groepen kan ondermijnen.

Het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' scoort goed op betaalbaarheid door het benutten van schaalvoordelen en centrale regie. Door grootschalige projecten en efficiënte inzet van infrastructuur kunnen de gemiddelde kosten per eenheid energie dalen en blijven de energielasten voor huishoudens en bedrijven stabiel. De afhankelijkheid van grote, kapitaalintensieve projecten brengt echter het risico van budgetoverschrijdingen en regionale ongelijkheid met zich mee. De betaalbaarheid wordt dus vooral gewaarborgd als participatie-instrumenten breed toegankelijk zijn en de lasten niet disproportioneel op bepaalde regio's of groepen drukken.

'Op grote schaal denken' biedt potentieel de laagste maatschappelijke kosten, vooral door internationale import van duurzame energie en bijbehorende schaalvoordelen. Dit kan zorgen voor lage inkoopprijzen en een stabiele energievoorziening, wat positief uitwerkt op de betaalbaarheid voor zowel huishoudens als bedrijven. Tegelijkertijd maakt deze strategie Nederland kwetsbaar voor internationale prijsschommelingen en geopolitieke ontwikkelingen. In stabiele tijden zijn de energielasten goed beheersbaar, maar in periode van mondiale onrust kunnen deze snel oplopen, vooral voor energie-intensieve bedrijven en indirect voor huishoudens. Zonder aanvullende maatregelen bestaat verder het gevaar dat de voordelen vooral bij industrie en investeerders terechtkomen, terwijl de bredere samenleving minder profiteert.

Samengevat biedt 'Lokale kracht' vooral op lange termijn voordelen voor betaalbaarheid, mits lokale samenwerking en inclusiviteit goed geregeld zijn. 'De grote opgaven gebundeld' scoort goed op stabiliteit en lagere kosten door schaalvoordelen, maar vereist aandacht voor eerlijke verdeling van kosten en baten. Per saldo zijn hier in vergelijking met 'Lokale kracht' grotere investeringen in het netwerk nodig. 'Op grote schaal denken' kan de laagste prijzen opleveren in gunstige marktomstandigheden, maar kent het grootste risico op prijsschommelingen en ongelijkheid. De keuze voor een alternatief hangt dus af van de balans tussen lokale betrokkenheid, centrale regie en internationale afhankelijkheid, en van het vermogen om solidariteit en inclusiviteit te waarborgen binnen het energiesysteem.

6.2.2.2 Sturingsalternatieven

Sturingsalternatief Provincie faciliteert en stimuleert

In dit alternatief kiest de provincie voor een actieve, maar niet dwingende rol: ze ondersteunt en stimuleert initiatieven van derden, onder meer via subsidies, kennisdeling en coördinatie. Hiermee worden innovatieve projecten en samenwerkingen versneld, wat kan leiden tot schaalvoordelen en efficiëntere oplossingen. Dit biedt kansen om de maatschappelijke kosten te verlagen, energielasten betaalbaar te houden en prijsfluctuaties te beperken, mits de provincie effectief inzet op collectieve oplossingen en brede participatie. Door bijvoorbeeld gezamenlijke inkoop of collectieve energieprojecten te faciliteren, profiteren meer bedrijven en huishoudens van lagere vaste lasten en een stabielere energieprijis. Ook kan brede financiële participatie worden gestimuleerd, waardoor investeringen en opbrengsten eerlijker verdeeld worden.

Tegelijkertijd zijn er duidelijke risico's die samenhangen met het karakter van dit sturingsalternatief. Het succes is sterk afhankelijk van de bereidheid en slagkracht van marktpartijen, gemeenten en burgers. Als de provinciale stimulansen te versnipperd of onvoldoende zijn, blijft brede participatie uit en kunnen investeringen achterblijven. Dit kan leiden tot suboptimale keuzes, hogere maatschappelijke kosten, grotere prijsfluctuaties en een ongelijkmatige verdeling van lasten en lusten. Vooral financieel sterke partijen zouden dan kunnen profiteren van stimuleringsmaatregelen, terwijl kwetsbare groepen of kleinere bedrijven achterblijven. Ook bestaat het risico dat niet iedere regio of gemeente evenveel profiteert, wat zorgt voor verschillen in energielasten en toegang tot duurzame energie.

Het beperken van prijsfluctuaties hangt in hoge mate samen met de mate van provinciale regie en de inzet op voorspelbare leveringscontracten, energieopslag en flexibiliteitsdiensten. Zonder duidelijke sturing en monitoring blijft het risico bestaan dat marktontwikkelingen en internationale prijscijpschommelingen doorwerken in de energielasten van Brabantse bedrijven en huishoudens.

Samenvattend biedt 'Provincie faciliteert en stimuleert' kansen om de maatschappelijke kosten, energielasten en prijsfluctuaties te beperken en de verdeling van lasten en lusten eerlijker te maken, maar het succes is afhankelijk van de effectiviteit van de provinciale stimulansen en de mate van samenwerking en participatie. Zonder aanvullende sturing en gerichte maatregelen bestaat het risico dat bepaalde groepen onvoldoende profiteren, de kosten hoger uitvallen dan gewenst en de verdeling van lasten en lusten niet optimaal is.

Sturingsalternatief Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)

In het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' neemt de provincie een meer centrale rol in bij de energietransitie. Ze stimuleert marktpartijen en maatschappelijke spelers om de transitie vorm te geven, en grijpt waar nodig regulerend in, bijvoorbeeld met behulp van de omgevingsverordening, wanneer stimulering alleen niet voldoende blijkt.

Deze aanpak biedt duidelijke kansen om de maatschappelijke kosten van het energiesysteem te beheersen en mogelijk te verlagen, doordat investeringen beter gecoördineerd worden, versnippering wordt tegengegaan en schaalvoordelen en synergie optimaal benut kunnen worden. Dit draagt bij aan zowel lagere maatschappelijke kosten als betaalbare energielasten voor huishoudens en bedrijven. Door inzet van stimuleringsmaatregelen, investeringen in infrastructuur en transparante prijsstelling kan de provincie invloed uitoefenen op de vaste en variabele energielasten en prijsfluctuaties beperken, bijvoorbeeld door het stimuleren van langlopende contracten en collectieve afspraken. Hierdoor wordt de kans vergroot dat energie betaalbaar blijft en prijsvolatiliteit wordt beperkt.

Daarnaast kan de provincie door haar regie een eerlijkere verdeling van de lasten en lusten van het energiesysteem realiseren. Investeringen met groot maatschappelijk belang, zoals warmtenetten, kunnen breed worden gedragen door de samenleving en financiële participatie van burgers en bedrijven kan worden bevorderd. Tegelijkertijd bestaat het risico dat investeringen met een beperkt maatschappelijk bereik toch op de gemeenschap worden afgewenteld, bijvoorbeeld via algemene subsidies. Om dit te voorkomen, is het van belang dat de provincie haar regulerende rol scherp en transparant inzet, met duidelijke voorwaarden om onevenredige lasten te voorkomen.

Een belangrijk aandachtspunt bij dit sturingsalternatief is dat te veel regulering en sturing kan leiden tot vertragingen, bureaucratie, hogere uitvoeringskosten en minder innovatieprikkels. Ook blijft de invloed van externe factoren, zoals internationale marktontwikkelingen, aanwezig, waardoor prijsfluctuaties nooit volledig kunnen worden uitgesloten. Het succes van dit alternatief hangt dus af van een flexibele, doelgerichte en transparante inzet van regie, stimulering en regulering, met blijvende monitoring en bijsturing waar nodig.

Samengevat biedt het alternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' aanzienlijke kansen om de maatschappelijke kosten te beperken, energielasten betaalbaar te houden, prijsfluctuaties te verminderen en de lasten en lusten eerlijk te verdelen. Voorwaarde is wel dat de provincie haar instrumenten effectief, flexibel en transparant inzet, met oog voor innovatie, marktwerking en een rechtvaardige verdeling van kosten en baten.

Sturingsalternatief Provincie reguleert

In het sturingsalternatief 'Provincie reguleert' zet de provincie actief regulerende instrumenten, zoals de omgevingsverordening, in om de energietransitie te sturen en in sommige gevallen af te dwingen. Door deze centrale aansturing kan de provincie schaalvoordelen realiseren bij investeringen in infrastructuur en energievoorziening, wat inefficiënties en dubbel werk voorkomt. Dit drukt de totale maatschappelijke kosten en maakt grootschalige, efficiënte investeringen mogelijk. Het vastleggen van duidelijke en eenduidige regels zorgt daarnaast voor meer zekerheid omtrent de randvoorwaarden van het energiesysteem, waardoor investeringen sneller en doelmatiger plaatsvinden. Dit draagt bij aan lagere vaste lasten op de lange termijn en beperkt prijsfluctuaties in de energieprijzen voor zowel huishoudens als bedrijven. Door het afdwingen van brede participatie en het gericht inzetten van publieke middelen, kan de provincie ervoor zorgen dat de baten van de energietransitie breed worden gedeeld en de lasten eerlijk verdeeld zijn. Hierdoor wordt voorkomen dat kosten onevenredig op specifieke groepen drukken en profiteren meer mensen van de opbrengsten.

Tegenover deze voordelen staan echter ook risico's die voortkomen uit dezelfde centrale sturing. Strikte regulering kan leiden tot bureaucratie en vertragingen, waardoor projecten langer duren en kosten oplopen. Ook kan een sterke focus op centrale regie innovatie en flexibiliteit in de markt beperken, waardoor alternatieve, mogelijk goedkopere oplossingen onvoldoende ruimte krijgen. Initiële investeringskosten kunnen hoger uitvallen en (deels) worden doorberekend aan eindgebruikers, vooral bij ambitieuze doelen en snelle implementatie. Hierdoor bestaat het risico op tijdelijke stijgingen van energielasten voor bedrijven en huishoudens. Daarnaast kan het voorkomen dat, ondanks de intentie van eerlijke verdeling, kwetsbare groepen alsnog relatief zwaar worden belast als er onvoldoende oog is voor verschillen in draagkracht of participatiemogelijkheden. Ook kan weerstand ontstaan bij partijen die zich beperkt voelen in hun autonomie.

Samenvattend biedt het alternatief 'Provincie reguleert' goede mogelijkheden om de maatschappelijke kosten te beperken, de energielasten betaalbaar en stabiel te houden, en te sturen op een eerlijke verdeling van lasten en lusten, mits de provincie effectief, transparant en met oog voor sociale verschillen regisseert. De mate van succes hangt sterk af van de uitvoeringskwaliteit en de balans tussen sturing en ruimte voor innovatie en lokale initiatieven.

Vergelijking sturingsalternatieven

Wanneer de verschillende sturingsalternatieven vergeleken worden op het gebied van betaalbare energie, valt direct op dat de mate van provinciale betrokkenheid en sturing een grote rol speelt in het realiseren van deze doelstelling. In het alternatief 'Provincie faciliteert en stimuleert' kiest de provincie voor een ondersteunende en aanjagende rol. Dit biedt kansen om energielasten betaalbaar te houden en prijsfluctuaties te beperken, vooral als collectieve oplossingen en brede participatie worden gestimuleerd. Echter, het succes hiervan is sterk afhankelijk van de bereidheid en slagkracht van marktpartijen, gemeenten en burgers. Bij onvoldoende of te versnipperde stimulansen kunnen de energielasten juist hoger uitvallen, blijven prijsfluctuaties bestaan en ontstaat het risico op een ongelijke verdeling van lasten en lusten. Vooral financieel sterke partijen lijken dan het meest te profiteren, terwijl kwetsbare groepen mogelijk achterblijven.

Het alternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' biedt meer zekerheid op het gebied van betaalbaarheid. Door zowel te regisseren als te stimuleren en waar nodig te reguleren, kan de provincie investeringen beter coördineren en versnippering tegengaan. Dit vergroot de kans op schaalvoordelen en synergie, waardoor maatschappelijke kosten en energielasten dalen en prijschommelingen worden beperkt. Ook is de kans groter dat de verdeling van lasten en lusten eerlijker verloopt. De keerzijde is dat te veel sturing kan leiden tot bureaucratie en hogere uitvoeringskosten, en dat innovatieprikkelers kunnen afnemen. Toch scoort dit alternatief op betaalbaarheid over het algemeen beter dan alleen faciliteren en stimuleren, mits de provincie flexibel en transparant opereert.

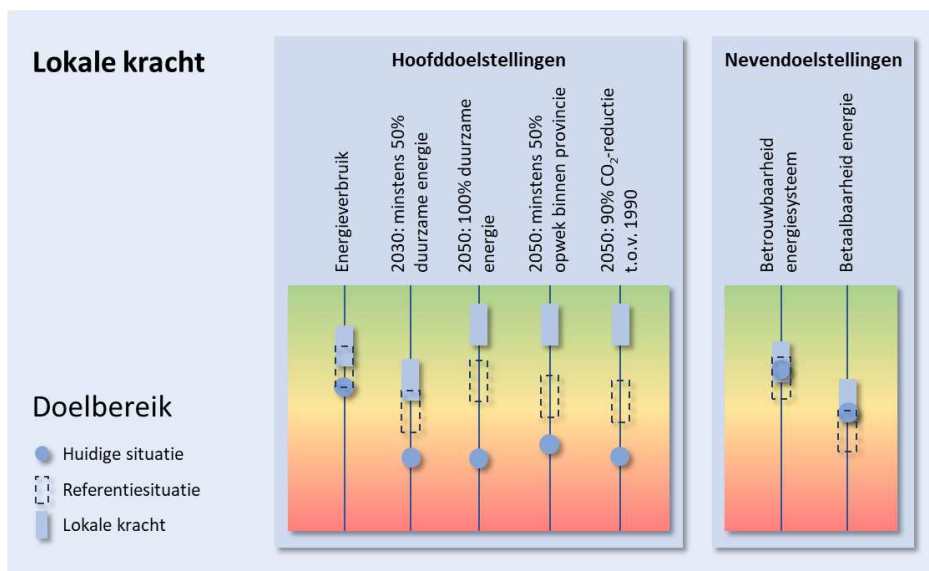
In het meest sturende alternatief, 'Provincie reguleert', neemt de provincie de regie door middel van harde regulering. Hierdoor kunnen schaalvoordelen en efficiëntie maximaal worden benut en kunnen investeringen doelmatiger plaatsvinden, wat bijdraagt aan lagere vaste lasten en meer stabiliteit in energieprijzen. De kans op een eerlijke verdeling van de lasten en lusten is groot, omdat brede participatie en het gebruik van publieke middelen kunnen worden afgedwongen. Tegelijkertijd bestaat het risico dat strikte regulering leidt tot bureaucratie, juridische procedures, minder innovatie en tijdelijke kostenstijgingen, vooral bij snelle implementatie van ambitieuze doelen. Ook kunnen kwetsbare groepen alsnog relatief zwaar worden belast als er onvoldoende oog is voor hun positie.

Samenvattend scoort 'Provincie reguleert' het sterkst op het realiseren van betaalbare energie en een eerlijke verdeling, maar het succes hangt af van de uitvoeringskwaliteit en sociale aandacht. 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' biedt een goede balans tussen betaalbaarheid, innovatie en eerlijke verdeling, mits voldoende flexibel en transparant gestuurd wordt. 'Provincie faciliteert en stimuleert' biedt kansen, maar laat het sterk afhangen van de markt en het initiatief van betrokken partijen, waardoor het risico op hogere kosten en ongelijkheid groter is dan bij de andere alternatieven.

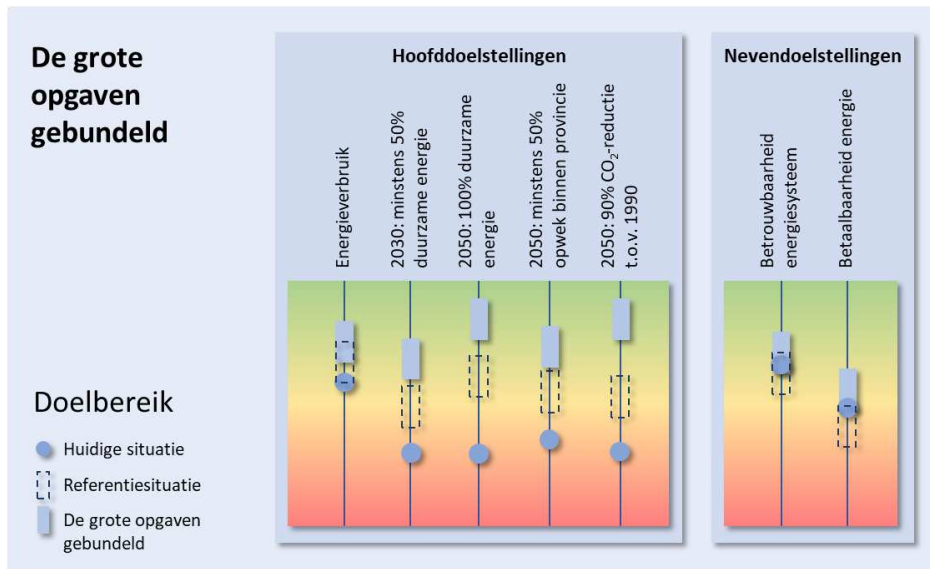
6.3 Beoordeling doelbereik alternatieven

6.3.1 Systeemalternatieven

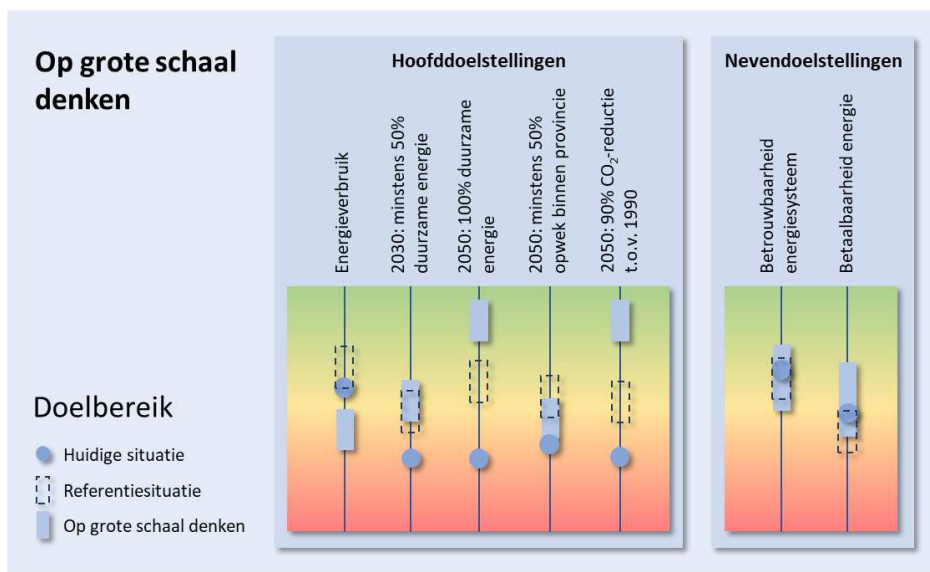
De navolgende figuren geven een visualisatie van het doelbereik van de systeemalternatieven. Te zien is dat de systeemalternatieven 'Lokale kracht' en 'De grote opgaven gebundeld' vergelijkbaar scoren en voor alle doelstellingen een stap in de goede richting laten zien. Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' scoort slecht op de doelstelling om in 2050 het grootste deel van de duurzame energie binnen de provincie zelf te produceren. Dit is logisch aangezien dit alternatief zich richt op import van duurzame energiedragers (met name waterstof, maar ook groen gas). Daarnaast laat dit alternatief een sterke toename van het totale energieverbruik zien. Dit komt vooral door de sterke toename van energie-intensieve industrie.



Figuur 6.1 Beoordeling doelbereik 'Lokale kracht'



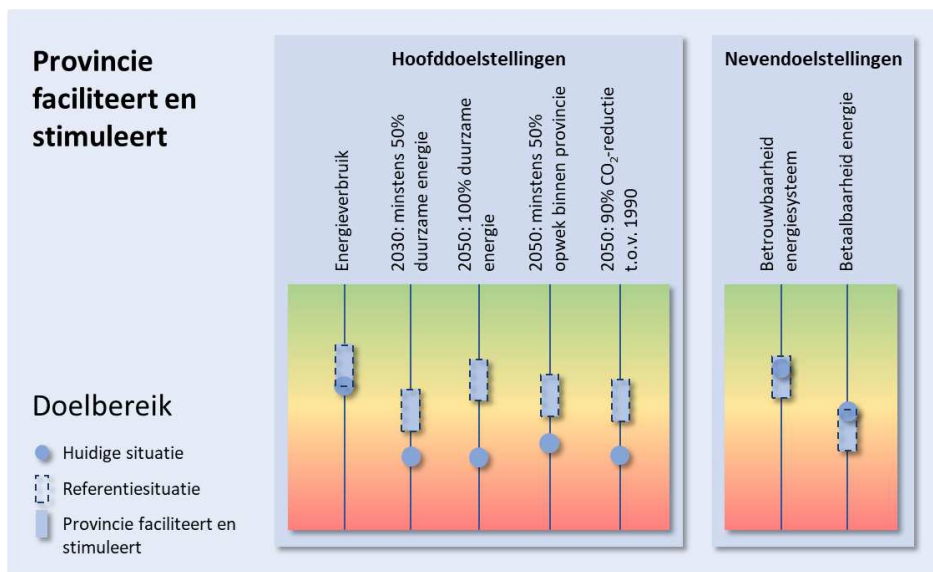
Figuur 6.2 Beoordeling doelbereik 'De grote opgaven gebundeld'



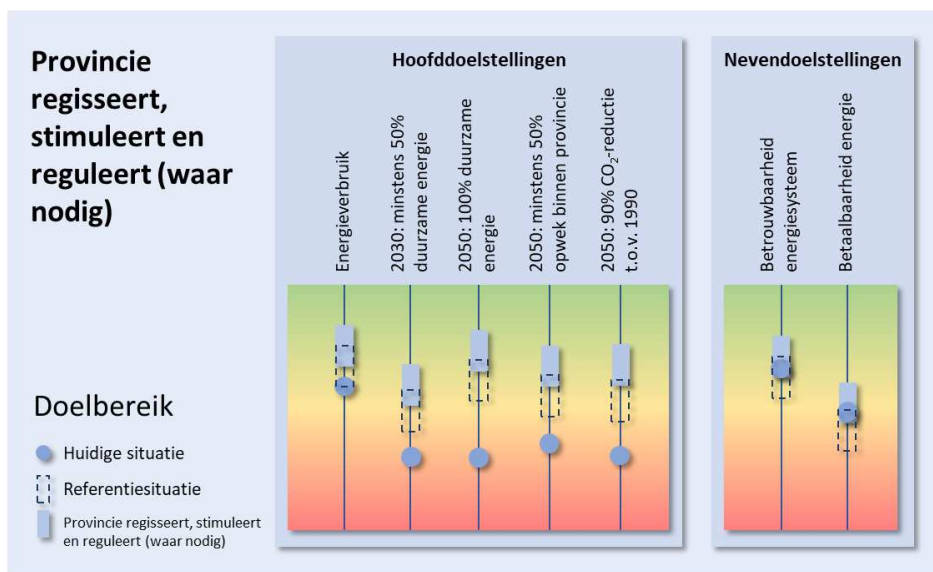
Figuur 6.3 Beoordeling doelbereik 'Op grote schaal denken'

6.3.2 Sturingsalternatieven

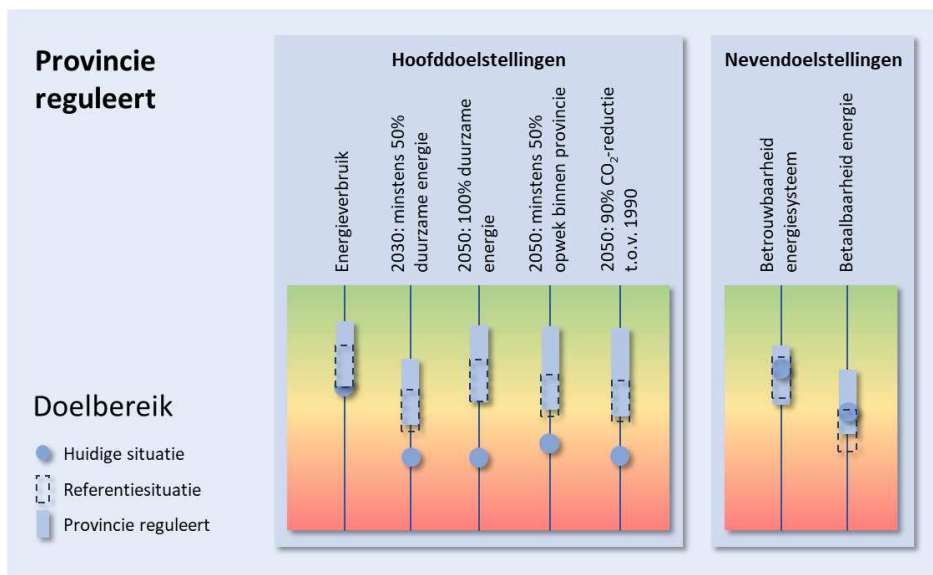
De navolgende figuren geven een visualisatie van het doelbereik van de sturingsalternatieven. Te zien is dat het sturingsalternatief 'Provincie stimuleert en faciliteert' geen invloed heeft op het doelbereik doordat dit alternatief ervan uitgaat dat de provincie doorgaat met het uitvoeren van het huidige beleid. Hiermee komen de doelen dan ook niet verder in zicht. Het sturingsalternatief 'Provincie reguleert' biedt in potentie de meeste kansen op het halen van de doelen, maar heeft daarbij een grotere onzekerheid, vanwege de mogelijke rem op innovatie en maatschappelijke weerstand. Het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' biedt daarmee de meeste zekerheid om de doelen binnen bereik te krijgen.



Figuur 6.4 Beoordeling doelbereik 'Provincie faciliteert en stimuleert'



Figuur 6.5 Beoordeling doelbereik 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'



Figuur 6.6 Beoordeling doelbereik 'Provincie reguleert'

7 Beoordeling (Milieu)effecten

In dit hoofdstuk zijn de milieueffecten van de alternatieven voor het Energieperspectief beschreven. De milieueffecten worden voornamelijk bepaald door de (ruimtelijke) invulling van het toekomstige energiesysteem. Dit betekent dat de systeemalternatieven bepalend zijn voor de milieueffecten. De sturingsalternatieven hebben alleen indirect invloed op de milieueffecten omdat ze geen ruimtelijke component bevatten. Wel kunnen ze het uiteindelijke eindbeeld van het energiesysteem beïnvloeden vanwege verschillen in effectiviteit om de energietransitie vorm te geven, maar in dit planMER is het voldoende om de milieueffecten van de systeemalternatieven te behandelen. Deze geven de bandbreedte van milieueffecten van het toekomstige energiesysteem in voldoende mate weer.

Gezien het hoge abstractieniveau van de systeemalternatieven, zijn de effecten globaal in de vorm van kansen en risico's beschreven. Er kunnen geen concrete ruimtelijke effecten worden bepaald. Bij de uitvoering van het Energieperspectief in concrete programma's en projecten, zullen de milieueffecten in meer detail in beeld moeten worden gebracht. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van de ingreep-effectrelaties voor de belangrijkste bouwstenen voor het energiesysteem, zoals opgenomen in 0. Hier is voor elk van deze onderdelen van het energiesysteem aangegeven welke milieueffecten op kunnen treden tijdens de aanleg, het gebruik en de ontmanteling ervan. Ook zijn milieueffecten benoemd die elders op kunnen treden, bijvoorbeeld bij de winning en productie van grondstoffen.

Ondanks dat er geen concrete ruimtelijke effecten van de systeemalternatieven kunnen worden bepaald, is op basis van de invulling ervan (zie paragraaf 3.2.2) wel een inschatting te geven van de kwantitatieve ruimtelijke impact die de verschillende systeemalternatieven hebben. Daarvoor is in dit planMER de ruimtelijke analyse overgenomen uit de studie die in 2023 is uitgevoerd naar het Brabantse energiesysteem (CE Delft, april 2023). Ook is een analyse overgenomen voor de bouwstenen van het energiesysteem die de grootste ruimtelijke impact hebben.

7.1 Ruimtelijke analyses

7.1.1 Ruimteclaim van de systeemalternatieven

Input voor de benodigde ruimte voor de verschillende systeemalternatieven vormen de analyses voor de te verwachten energievraag en het duurzaam opgewekte aanbod, zoals beschreven in paragraaf 6.1.1. Op basis van deze gegevens is in de studie naar het Brabantse energiesysteem (CE Delft, april 2023) de ruimteclaim per systeemalternatief bepaald. Deze is in dit planMER overgenomen.

De systeemalternatieven gaan uit van een verschillende inzet (MW) per bouwsteen (batterij, windturbine, etc.), zie Tabel 6.2. Om de ruimteclaim van de systeemalternatieven te kunnen vergelijken staat in Figuur 7.1 hoeveel bouwstenen er per alternatief bijkomen tussen 2030 en 2050. Dit staat dus naast de bouwstenen die al gerealiseerd zijn of nog tot 2030 ontwikkeld worden vanuit de RES'en. In de volgende pagina's staat per systeemalternatief een overzichtskaart waarop de regionale verspreiding van de nieuwe bouwstenen van het energiesysteem zichtbaar zijn (via de ruimtelijke principes zoals toegelicht in paragraaf 3.2.2). Daarnaast staat op gelijke schaal de totale ruimteclaim weergegeven voor de situatie nu, 2030 (uitgaande van realisatie RES'en) en 2050. Er zijn ook een aantal ruimteclaims die niet zichtbaar zijn op deze schaal (in stedelijk gebied bijvoorbeeld). Deze zijn toegelicht in de studie van CE Delft, maar zijn niet overgenomen in het planMER, vanwege het hogere abstractieniveau.

Bouwstenen – vergelijk varianten

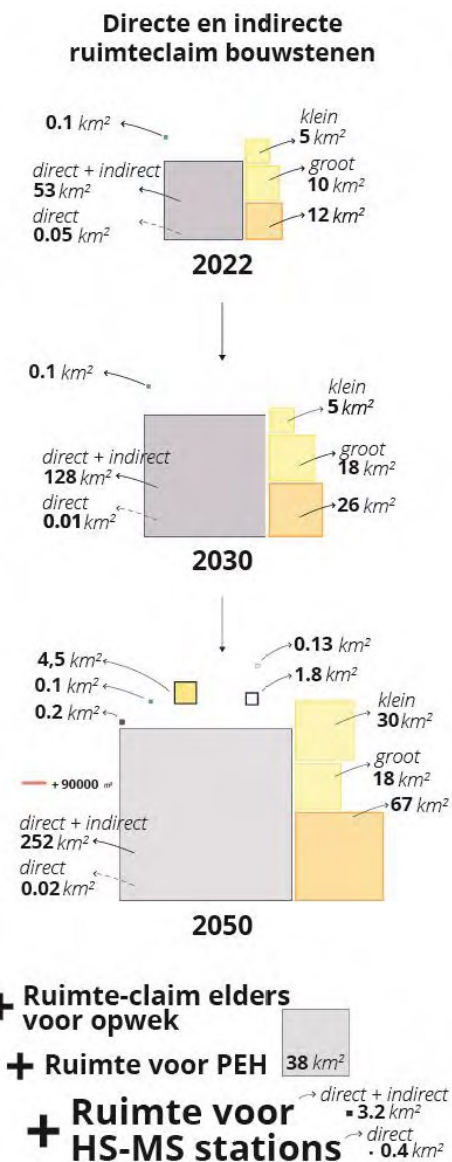
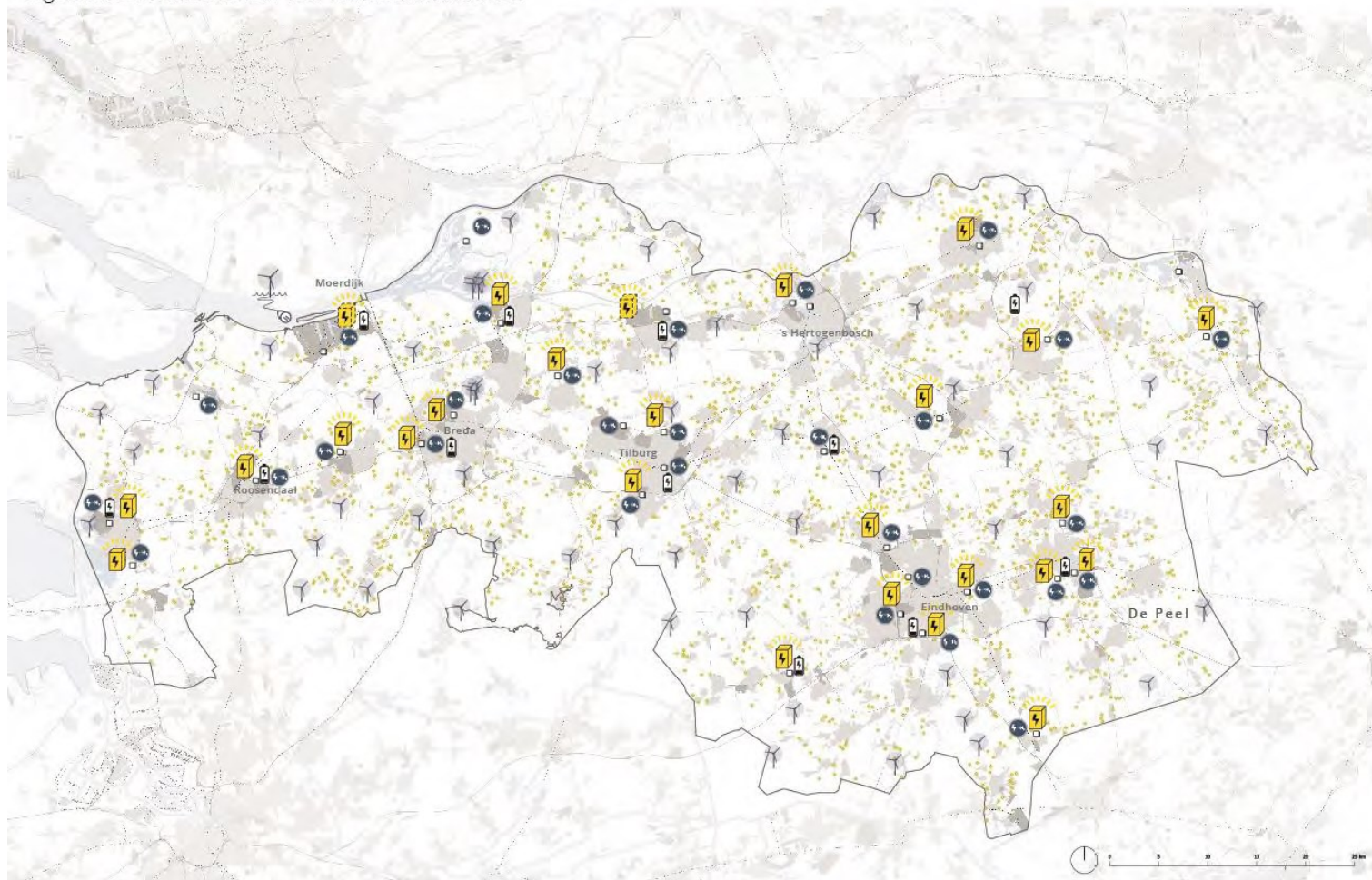
Wat wordt er toegevoegd NA 2030?

	S1 Lokale kracht <i>regionaal</i>	S2 De grote opgaven gebundeld <i>nationaal</i>	S3 Op de grote schaal denken <i>europes</i>
 Windturbine	1240 MW 222 turbines 125 km2 <i>direct en indirect</i>	1240 MW 222 turbines 125 km2 <i>direct en indirect</i>	<i>geen</i>
 Zon op dak	kleine daken 4940 MW 25,3 km2	kleine daken 3565 MW 18,3 km2	<i>geen</i>
	grote daken <i>geen</i>	grote daken <i>geen</i>	
 Batterij	5.785 MW 1,8 km2	6.380 MW 1,5 km2	3.280 MW 0,8 km2
 Zon op veld	4080 MW 41 km2	3145 MW 31 km2	830 MW 8 km2
 E-centrale	4277 MW 1,6 km2	1704 MW 0,4 km2	1738 MW 0,4 km2
 Elektrolyzers	3956 MW 0,2 km2	8755 MW 0,4 km2	1280 MW 0,06 km2
 Groen gas	<i>geen</i>	<i>geen</i>	0,17 km2 <i>voor haven</i>
 Aanlanding wind op zee	2000 MW 0,13 km2	9000 MW 0,6 km2	2000 MW 0,13 km2
Totaal	195 km2	177 km2	10 km2

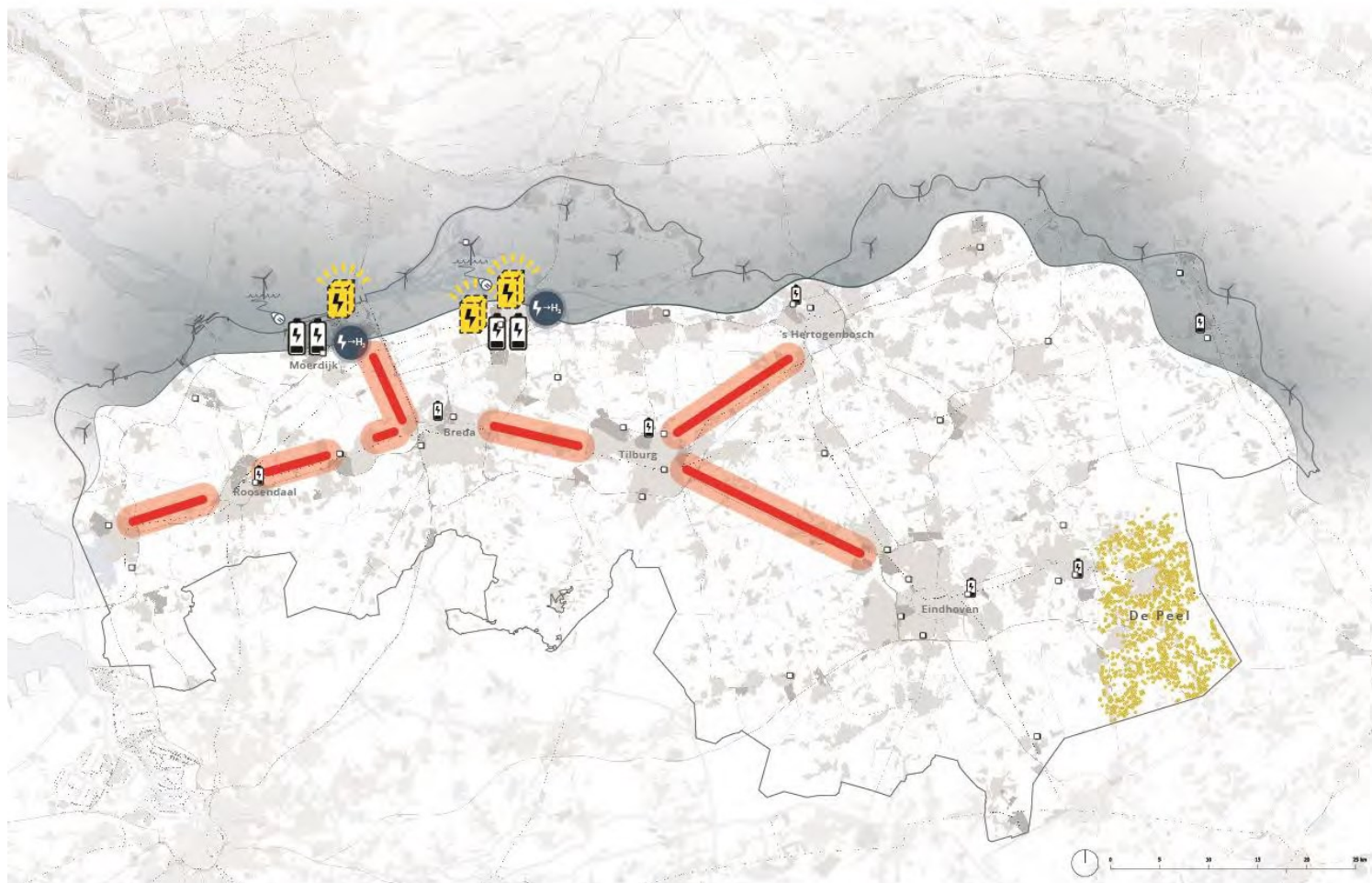
Figuur 7.1 Ruimtevrage per bouwsteen, per systeemalternatief voor de periode tussen 2030 en 2050, bron: CE Delft, 2023



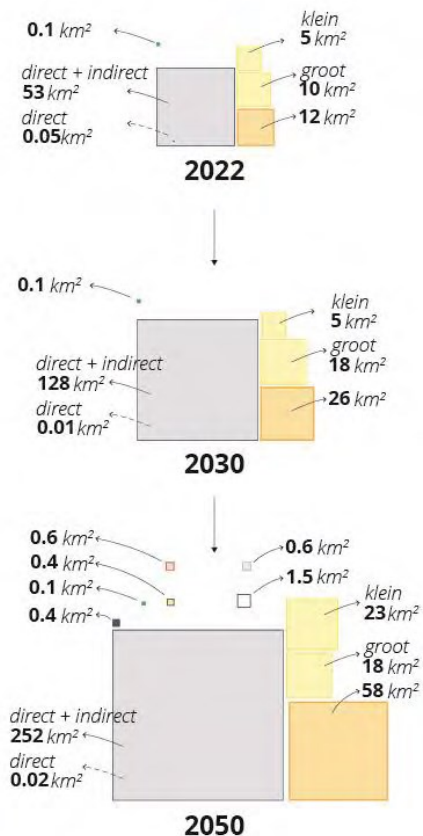
* Legenda voor zowel kaart als voor ruimteclaim inzichten



Figuur 7.2 Overzichtskaart van de bouwstenen tussen 2030-2050 voor systeemalternatief 'Lokale kracht'. Daarnaast ruimteclaim van energiesysteem 2022, 2030 (inclusief RES) en 2050. *Er is daarnaast een directe ruimteclaim van 0,40 ha voor het regionale netwerk nodig. Die is klein en dus lastig zichtbaar in het overzicht, bron: CE Delft, 2023



Directe en indirecte ruimteclaim bouwstenen

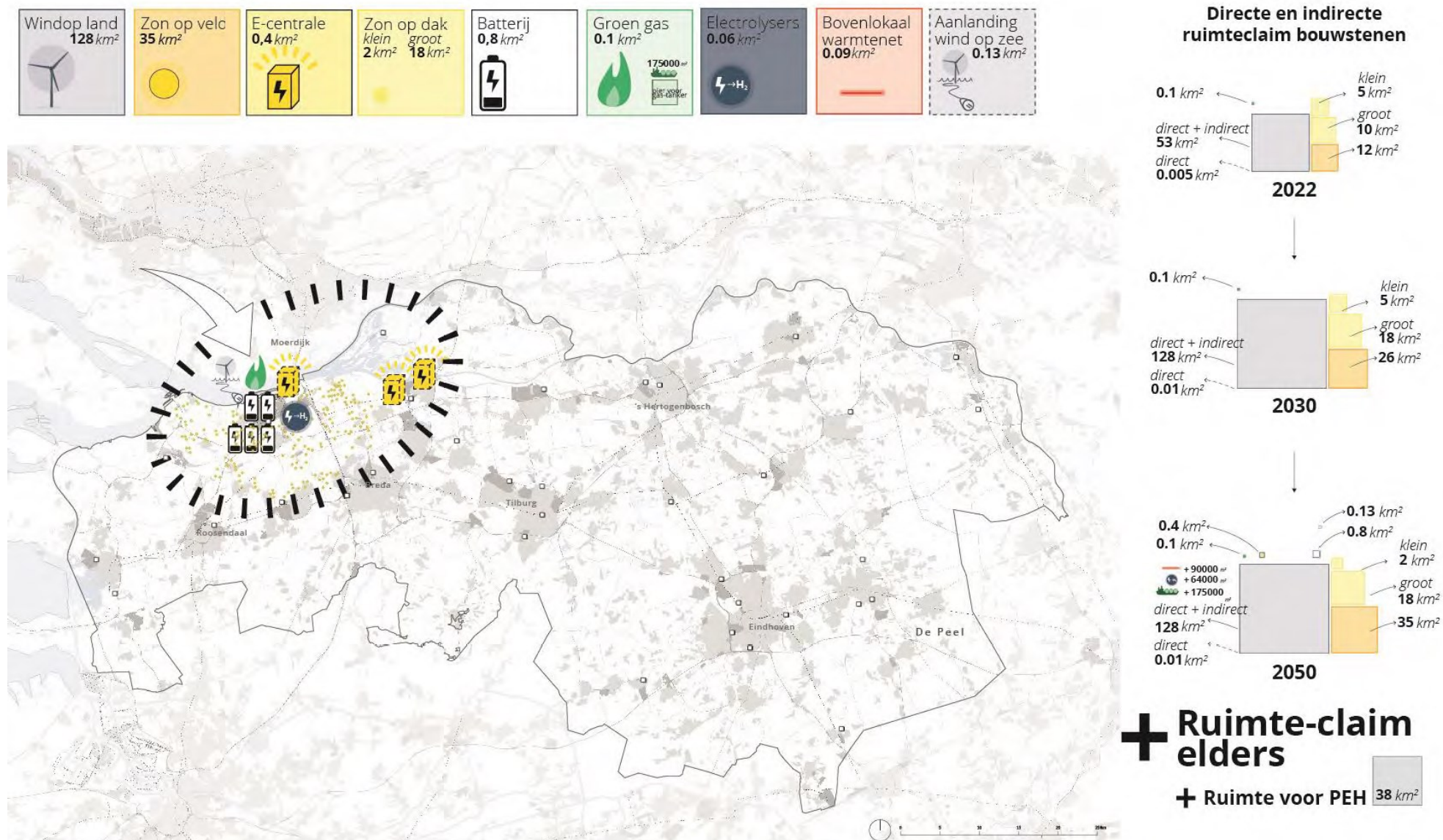


+ Ruimte-claim elders voor opwek

+ Ruimte voor PEH 38 km²

+ Ruimte voor HS-MS stations
direct: 0.16 km², indirect: 1.5 km²

Figuur 7.3 Overzichtskaart van de bouwstenen tussen 2030-2050 voor systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld'. Daarnaast ruimteclaim van energiesysteem 2022, 2030 (inclusief RES) en 2050. *Er is daarnaast een directe ruimteclaim van 16 ha voor het regionale netwerk nodig. Die is te klein om zichtbaar te zijn in het overzicht, bron: CE Delft, 2023



Figuur 7.4 Overzichtskaart van de bouwstenen tussen 2030-2050 systeemalternatief 'Op grote schaal denken'. Daarnaast ruimteclaim van energiesysteem 2022, 2030 (inclusief RES) en 2050, bron: CE Delft, 2023

Een vergelijking van de kaarten en ruimteclaims van de systeemalternatieven geeft de volgende inzichten:

- De ruimteclaim die nu al aanwezig is en die nog wordt toegevoegd tot 2030 door uitvoering van de RES'en is aanzienlijk in alle scenario's. De ruimteclaim binnen de provincie na 2030 is voor systeemalternatief 'Op grote schaal denken' beperkt. Dit komt doordat in dit alternatief veel energie wordt geïmporteerd, waardoor minder extra ruimte nodig is voor de opwek van energie. De beide andere systeemalternatieven laten tussen 2030 en 2050 nog een forse toename van de ruimteclaim van het energiesysteem zien.
- Met name de directe ruimteclaim van opwek is goed te zien. De andere installaties (zoals opslag of conversie) hebben een groter vermogen per oppervlak. Deze ruimteclaims kunnen lokaal veel impact hebben, maar zijn minder goed zichtbaar op schaal van de gehele provincie.
- Bij alle systeemalternatieven heeft wind op land de grootste ruimteclaim. Belangrijke kanttekening daarbij is dat dit vrijwel geheel gaat om indirect ruimtebeslag vanwege veiligheidsafstanden rond de windturbines. Hoewel stedelijke functies binnen dit ruimtebeslag niet mogelijk zijn, is een combinatie met andere functies zoals natuur en landbouw wel mogelijk. Op deze functies hebben windturbines daarmee juist een zeer beperkt ruimtebeslag. Ditzelfde geldt in mindere mate voor zon op veld, waar, afhankelijk van de opstelling, ook combinaties met bijvoorbeeld natuur, landbouw en/of waterberging mogelijk zijn.
- De totale ruimteclaim van het systeemalternatief 'Lokale kracht' is ongeveer gelijk aan het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' (10% groter). De verwachte ontwikkelingen zijn bij de laatste veel meer geclusterd, waardoor er tussen 2030-2050 op sommige plekken veel impact is (noordrand, de Peel en havengebied), terwijl er op andere plekken weinig extra ruimte nodig is.
- Het scenario 'Op de grote schaal denken' heeft de laagste hoeveelheid opwek, vanwege de grote import. De resterende ruimteclaims liggen voornamelijk rondom het haven-industriële cluster en de doorvoerlijnen naar het achterland en Duitsland/België.
- In het systeemalternatief 'Lokale kracht' worden er meer uitbreidingen op het regionale net verwacht dan in het scenario 'De grote opgaven gebundeld'. Spreiding vraagt dus om meer uitbreidingen van het net. Doordat de ruimteclaim hiervan relatief klein is (in vergelijking met bijvoorbeeld opwek) zorgt dit niet voor een groot verschil in de ruimteclaim. Een aandachtspunt is hierbij het extra aantal km hoogspanningslijnen dat nodig is, ook dat vraagt namelijk ruimte.
- De ruimteclaim van kabels en leidingen zijn sterk afhankelijk van de tracélengte. Zo is de ruimteclaim van een bovenregionaal warmtenet (retour en aanvoer) 2 tot 3 meter breed. Hoe langer het tracé is, hoe groter de ruimteclaim. Hetzelfde geldt voor de ruimte rondom hoogspanningskabels.
- Naast de ruimteclaims die getoond worden in de schema's landt er een deel van de opgave (en ruimteclaim) buiten de provincie. De omvang hiervan is sterk afhankelijk van de mate waarin Brabant haar eigen energie opwekt. Daarom is deze ruimteclaim het grootst bij het systeemalternatief 'Op grote schaal denken'. De locatie en exacte grootte van het ruimtebeslag buiten de provincie is nog onbekend.

7.1.2 Ruimte vraag bouwstenen met grootste ruimtelijke impact

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat met name de opwek van duurzame energie via wind op land en zon op veld een aanzienlijke ruimtelijke impact hebben. Ook de benodigde uitbreiding van het hoogspanningsnet en buisleidingennet heeft op provinciaal niveau een relevant ruimtelijk effect. Om deze reden zijn voor deze bouwstenen voor het energiesysteem aanvullende ruimtelijke analyses uitgevoerd, die inzicht geven in het directe en indirecte ruimtebeslag ervan en de te verwachten omgevingseffecten.

Bij alle (grotere) bouwstenen van het energiesysteem – zoals windparken, hoogspanningsverbindingen en buisleidingen – geldt dat voor het zoeken van locaties en tracés procedures (waaronder de mer-procedure) moeten worden doorlopen. In de praktijk leidt dat er over het algemeen toe dat wordt gezocht naar ruimte waar de betreffende bouwsteen met zo weinig mogelijk omgevingseffecten kan worden gerealiseerd. Zo is bij voorbeeld bij de voorbereiding van windparken uitgebreid onderzoek nodig naar de kans op hinder door geluid en slagschaduw.

Direct en indirect ruimtebeslag

In dit planMER is het directe en indirecte ruimtebeslag in beeld gebracht van de onderdelen van de energiesystemen (bouwstenen) die de grootste ruimtelijke impact hebben. Daarbij is onderscheid gemaakt in de volgende vormen van ruimtebeslag:

- **Direct ruimtebeslag:** de unieke, monofunctionele ruimte voor de betreffende bouwsteen; deze ruimte is exclusief in gebruik voor het betreffende onderdeel van het energiesysteem. Er zijn geen andere functies of gebruiken mogelijk, maar de ruimte kan wel (meer)waarde hebben voor andere functies. Als voorbeelden daarvan: een terrein in gebruik als hoogspanningsstation kan biotoop zijn voor flora en fauna; een veld met zonnepanelen kan ook een ecologische of (beperkte) agrarische functie hebben.

- **Indirect ruimtebeslag:** dit is ruimte buiten het directe ruimtebeslag waar beperkingen gelden voor andere functies. Het indirecte ruimtebeslag kan verschillende oorzaken hebben:
 - Ruimte die noodzakelijk is om de betreffende bouwsteen van het energiesysteem te vrijwaren van schade of calamiteiten (bijvoorbeeld: geen hoge bomen nabij bovengrondse hoogspanningsverbindingen)
 - Onderhoud: de betreffende bouwsteen moet bereikbaar zijn en blijven voor onderhoud en reparatie. Bijvoorbeeld: boven ondergrondse buisleidingen zijn geen functies toegestaan die de leiding onbereikbaar maken, maar andere functies zijn wel mogelijk, zoals landbouw of infrastructuur (bijvoorbeeld een berm van een weg); Dit is met name aan de orde bij onder- en bovengrondse (buis)leidingen en kabels. Voor deze zones worden door de netbeheerders zakelijk rechtsovereenkomsten (ZRO) gesloten met de grondeigenaren.
 - Veiligheid: bij een aantal bouwstenen van de energiesystemen is het noodzakelijk om gevoelige functies (kwetsbare bestemmingen) op enige afstand te houden. Dit speelt bijvoorbeeld bij ondergrondse buisleidingen voor aardgas en waterstof. In deze veiligheidszones zijn veel vormen van ruimtegebruik wel mogelijk, zoals landbouw, infrastructuur en extensieve recreatie.
 - Effecten: om omgevingseffecten van een bouwsteen tot een aanvaardbaar niveau te beperken kan afstand nodig zijn tot gevoelige bestemmingen. Dit is bijvoorbeeld bij windturbines aan de orde waarbij vooral geluid belemmerend is voor woon- en verblijfsfuncties. Bij bovengrondse hoogspanningsverbindingen zijn in dit kader de magneetveldzones relevant. Binnen deze effectengebieden zijn veel vormen van ruimtegebruik wel mogelijk zoals landbouw en infrastructuur.

Voor het indirecte ruimtebeslag kan dus verschillen per gebruiksfunctie, waarbij er op hoofdlijnen verschil kan worden gemaakt in indirect ruimtebeslag voor stedelijke functies (zoals wonen, verblijven, onderwijs, (gezondheids)zorg) en indirect ruimtebeslag voor alle functies (waaronder ook landbouw, natuur, extensieve recreatie). Voor de belangrijkste bouwstenen van het energiesysteem zijn daarom drie soorten ruimtebeslag gekwantificeerd:

- Direct ruimtebeslag.
- Indirect ruimtebeslag voor stedelijke functies.
- Indirect ruimtebeslag voor alle functies.

Windturbines

Ruimtebeslag

Het directe ruimtebeslag bij windturbines bestaat uit de ruimte die nodig is voor de fundering van de mast en een kraanopstelplaats. Daarnaast kan ruimte nodig zijn voor een toegangsweg en (op windparkniveau) een inkoopstation waar de opgewekte elektriciteit op het gewenste spanningsniveau wordt gebracht en in het net wordt gevoed. Het directe ruimtebeslag bedraagt **circa 0,2 ha per turbine**.

Het indirecte ruimtebeslag bedraagt:

- Ongeveer **5 ha per turbine** onder de 'overdraai' van de rotor⁴⁹; in dit gebied is agrarisch en ander extensief gebruik mogelijk;
- Ongeveer **50 tot 80 ha** met beperkingen voor stedelijke functies; de omvang van dit gebied wordt vooral bepaald door de afstand die nodig is om de geluidbelasting bij woonfuncties te beperken. Welke afstand nodig is, is afhankelijk van de geluidnorm (momenteel is er geen landelijk geldende norm, maar worden normen meegegeven bij de vergunningverlening), de geluidproductie van de windturbines en de opstelling van de turbines (bij meerdere turbines overlappen de geluidzones deels). Andere effecten – zoals slagschaduw en veiligheid – zijn minder maatgevend voor het indirecte ruimtebeslag voor stedelijke functies. Zowel voor geluid als slagschaduw zijn mitigerende maatregelen mogelijk, zoals een stilstandvoorziening. In bijzondere situaties kunnen ook andere factoren bepalend zijn voor de effectafstanden. Dat kan bijvoorbeeld aan de orde zijn bij gevoelige onderdelen van natuurgebieden (zoals rustgebieden voor vogels). De praktijk bij de ontwikkeling van windparken is dat locaties worden gezocht waar turbines kunnen worden geplaatst op voldoende afstand van gevoelige functies. Hierbij zijn – naast beschermde natuurgebieden – vooral woonfuncties maatgevend. Ruimte voor windparken is daardoor vooral aanwezig in open agrarische gebieden met weinig verspreide bebouwing.

Energieopbrengst

Bij windturbines wordt onderscheid gemaakt in het vermogen (dat is het aantal MW dat een turbine maximaal kan opleveren) en de elektriciteitsopbrengst (in MWh, per jaar): een turbine met een vermogen van 3 MW levert (bij voldoende windsnelheid) per uur 3 MWh.

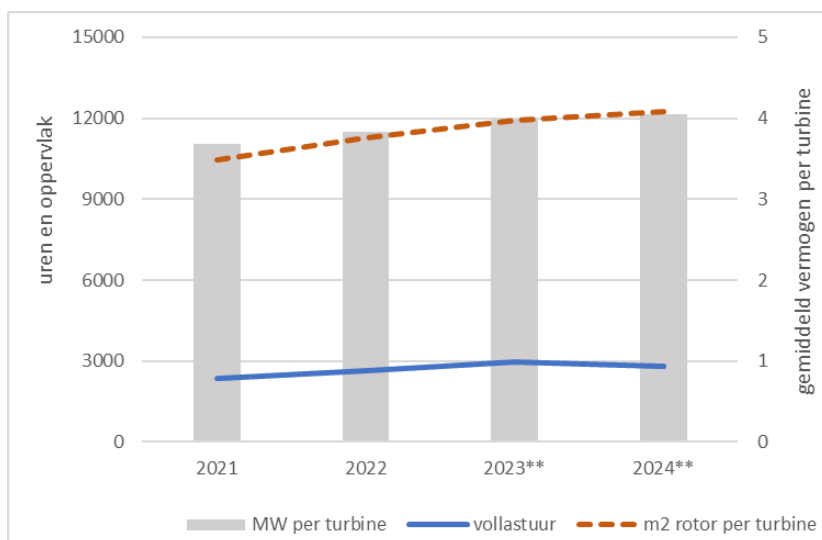
⁴⁹ Gebaseerd op <https://www.ruimtevoorenergie.nl/>: Tussen windturbines geldt een onderlinge afstand van zo'n vijf keer de rotordiameter in verband met interferentie. Daarmee beslaat een windpark van 10 molens van 5 MW zo'n 50 hectare.

De relatie tussen vermogen en opbrengst wordt doorgaans gelegd via het aantal vollasturen, dat is het aantal uren dat een turbine in de praktijk op vol vermogen draait. Mede bepalend voor het aantal vollasturen is de windsnelheid. Op grotere hoogte is de windsnelheid groter en constanter dan op lage hoogte. Het effect van windsnelheid op elektriciteitsproductie is kwadratisch (stromende lucht heeft als kinetische energie $0,5 \cdot m \cdot v^2$). Hogere turbines leveren daardoor (veel) meer op dan lage turbines. Voor Noord-Brabant zijn er verschillen tussen de gemiddelde windsnelheid: in het westen van de provincie, dicht bij zee, is die hoger dan in het oosten van de provincie.

Voor een prognose van de energieopbrengst van windturbines is een aantal trends en ontwikkelingen van belang:

- Er is een trend waarneembaar dat het vermogen (het aantal MW per turbine) van nieuwe modellen die door windturbineleveranciers geleverd kunnen worden toeneemt, en dat ontwikkelaars – dat wil zeggen de marktpartijen die windparken ontwikkelen, bouwen en exploiteren – bij nieuwe parken kiezen voor turbines met een groter vermogen;
- Daarnaast is er een trend dat het rotoroppervlak (het gebied dat door de turbinebladen wordt bestreken) groter wordt, zowel in absolute zin (langere wieken) als relatieve zin (groter rotoroppervlak met opgestelde MW). Dit draagt bij aan een toename van het aantal vollasturen doordat de turbines al bij lagere windsnelheden op vol vermogen produceren;
- As- en tiphoogte nemen toe; ook dit leidt tot een grotere elektriciteitsproductie.

Dit blijkt ook uit data van het CBS, opgenomen in Figuur 7.5 (<https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/71227ned>).



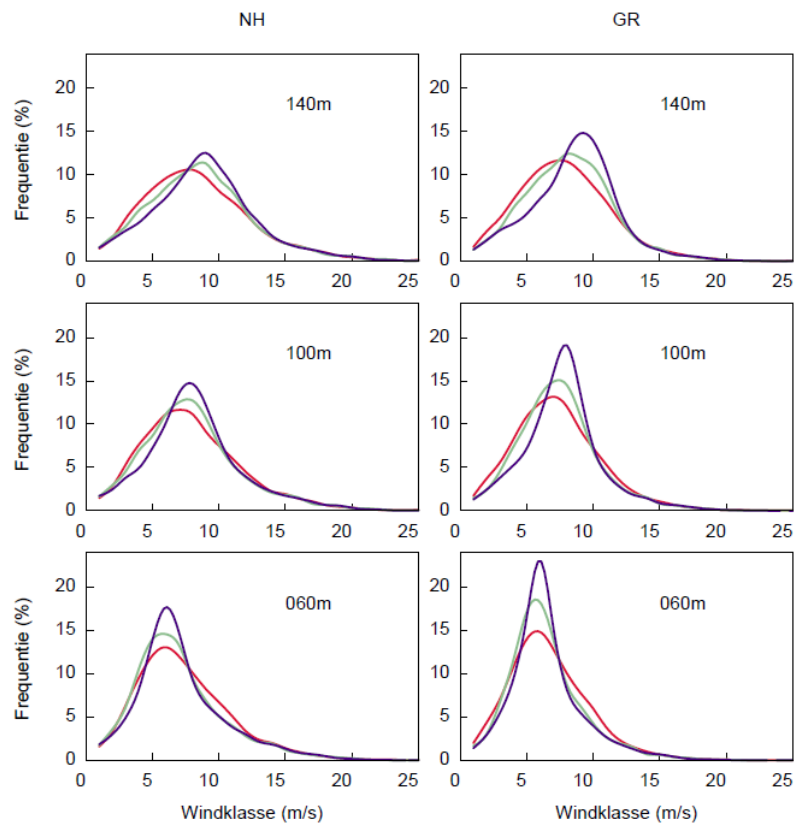
Figuur 7.5 Opgesteld vermogen, aantal vollasturen per jaar en rotoroppervlak; gemiddelden voor alle opgestelde turbines hoger dan 96 meter, bron gegevens: CBS, 2025

Op basis van de CBS-data en gezien de ontwikkelingen in de markt van de windturbineleveranciers kunnen de volgende aannames worden gedaan voor de prognose van de elektriciteitsproductie door windturbines:

- Vermogen per windturbine: 4 MW of meer.
- Aantal vollasturen: 2.760 uur per jaar.
- Elektriciteitsopbrengst per turbine per jaar: $4,5 \cdot 2.760 = 12.420 \text{ MWh}$ is ongeveer **42,8 TJ**.

Voor de prognose ten behoeve van het Energieperspectief kan als uitgangspunt worden gehanteerd dat, gezien de omvang van de opgave en de beschikbare ruimte, gestreefd zou moeten worden naar een zo efficiënt mogelijk gebruik van de ruimte. Voor wind impliceert dat meegaan met de trends van hogere en grotere windturbines met een grotere opbrengst. Dit laat onverlet dat kleine turbines met een ashoogte van 15 tot 20 meter kunnen bijdragen aan het dekken van de energievraag van bijvoorbeeld agrarische bedrijven.

Windturbines kunnen dag en nacht stroom leveren. Gegevens over windsnelheden (zoals die ook worden gebruikt in modellen die de geluidbelasting van windturbines berekenen) laten zien dat – gemiddeld gezien – gedurende elk deel van een etmaal windsnelheden voorkomen die voldoende zijn om windturbines te laten draaien (Figuur 7.6). De windsnelheden (en daarmee ook de elektriciteitsopbrengst) voor de nachtperiode is iets hoger dan voor de dagperiode. Gemiddeld zijn de windsnelheden in de zomermaanden wat lager dan in de rest van het jaar, zie Figuur 7.7.

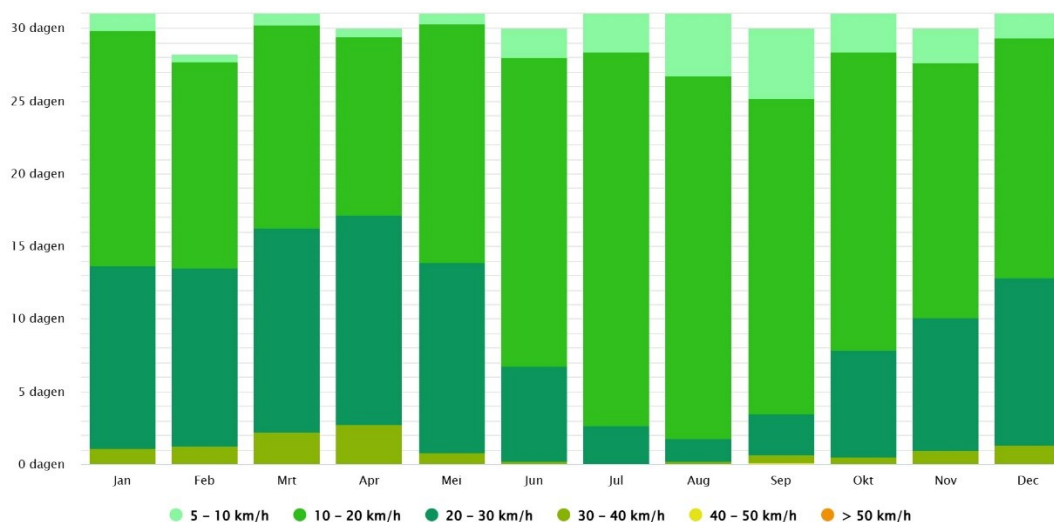


Windsnelheidsverdelingen op verschillende hoogtes, voor een locatie in Noord Holland (linker kolom) en een locatie in Groningen (rechter kolom). De verdelingen zijn geplott voor de dag (rood), avond (groen) en nacht (blauw) periode.

Figuur 7.6 Windsnelheidsverdelingen, bron: KNMI, 2018⁵⁰

Nederland

29.97°N, 93.99°W (5 m boven zeeniveau).
Model: ERA5T.



Figuur 7.7 Gemiddelde windsnelheden per maand; bron: www.meteoblue.com

⁵⁰ G.T. Geertsema, M.P. Scheele, H.W. van den Brink (2018) Windgegevens voor het berekenen van de geluidsbelasting door windturbines. Technisch rapport KNMI, TR-370

Op basis van het voorgaande kan de opbrengst per oppervlak per jaar worden geschat op:

- Direct ruimtebeslag: 215 TJ per ha⁵¹.
- Indirect ruimtebeslag:
 - 8,5 TJ per ha overdraai.
 - 0,6 TJ per ha geluidzone.

Omgevingseffecten

Voor windturbines spelen vooral de volgende omgevingseffecten:

- **Geluid:** op dit moment is hiervoor geen landelijke norm; de norm was 47 dB Lden en 41 dB Lnight. Deze geldt nog wel voor 1 of 2 losse turbines, maar niet meer voor een windpark van 3 of meer turbines. Zolang er nog geen nieuwe regels zijn, mogen provincies en gemeenten zelf regels opstellen in de vorm van een maatwerkbesluit. Bij zo'n maatwerkbesluit bepaalt het bevoegd gezag (bijvoorbeeld de gemeente of provincie) hoeveel geluid een windpark mag maken. Zij baseren dit dan op onderzoek naar de situatie op die locatie. Figuur 7.8 geeft een indicatie van de geluidbelasting op verschillende afstanden van een windturbine.



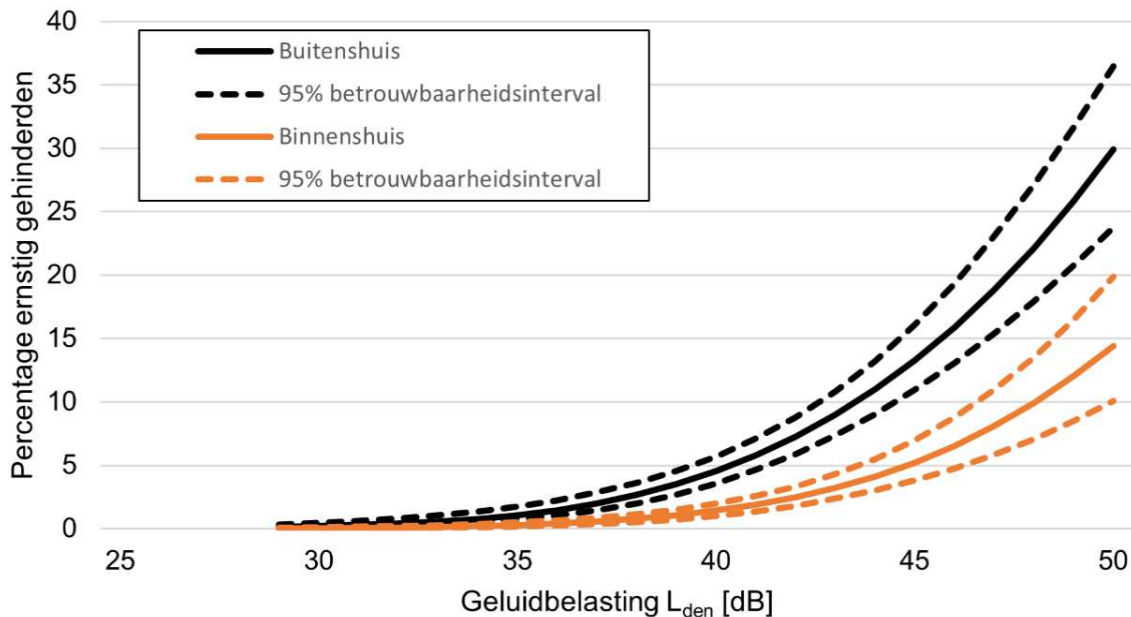
Deze figuur geeft een schematische weergave. In werkelijkheid kunnen de geluidsniveaus en afstanden per situatie verschillen en zal het geluidsniveau na 300 meter nog verder afnemen.

Figuur 7.8 Indicatie geluidbelasting windturbine, bron: RVO

- **Slagschaduw:** ook hiervoor bestaat momenteel geen landelijke norm. Beperken van de effecten is mogelijk door een stilstandvoorziening.
- **Landschap:** grote turbines zijn tot op grote afstand zichtbaar en beleefbaar. Moderne, grotere turbines hebben een lager (maximaal) toerental dan kleinere turbines, waardoor het beeld rustiger is. In de nachtperiode wordt de obstakelverlichting op de turbines door veel mensen als hinderlijk ervaren. Er zijn ontwikkelingen in regelgeving die het mogelijk maken de obstakelverlichting uit te zetten en alleen te laten branden als er een vliegtuig in de buurt is;
- **Natuur:** windturbines kunnen leiden tot slachtoffers onder vogels en vleermuizen die tegen de wieken vliegen. In belangrijke trekroutes kunnen turbines worden voorzien van een stilstandvoorziening. Naast dit effect kunnen turbines door vermindering van de openheid van het landschap invloed hebben op (weide)vogels: gebieden worden minder aantrekkelijk voor broeden, foerageren of rusten.

⁵¹ Kanttekening hierbij is dat windturbines in een parkopstelling niet direct naast elkaar kunnen worden geplaatst. Er is een onderlinge afstand van minstens vijf keer de rotordiameter nodig. Dit heeft echter geen invloed op het directe ruimtebeslag.

- **Gezondheid:** de relatie tussen windturbines en gezondheid is complex. Oorzakelijke relaties tussen de hoeveelheid windturbinegeluid en de gezondheid zijn wetenschappelijk niet aangetoond. De (ongezonde) stress die is gerelateerd aan de ontwikkeling van windparken en aanwezigheid van windturbines wordt ook veroorzaakt door andere factoren, zoals de betrokkenheid van omwonenden bij de planning en de verdeling van lusten en lasten. Op basis van onderzoek door TNO⁵² bestaat er een beeld van de relatie tussen de hinder die wordt ervaren als gevolg van windturbinegeluid (als percentage van de inwoners) en de geluidbelasting ter plaatse van woningen (de dosis-effectrelatie), zie Figuur 7.9. Deze laten zien dat hinderbeleving kleiner is als de geluidbelasting lager is.



Figuur 7.9 Dosis-effectrelatie zoals vastgesteld door TNO in 2008 voor het aantal (ernstig) gehinderden buitenshuis en binnenshuis als functie van de geluidbelasting vanwege windturbinegeluid buiten op de gevel uitgedrukt in L_{den} , inclusief de 95% betrouwbaarheidsintervallen (Janssen S., Vos, Eisses en Pedersen, 2011)

Zon op veld

Ruimtebeslag

Zonnepanelen hebben naast de ruimte die nodig is voor de panelen zelf (het directe ruimtebeslag) nagenoeg geen indirect ruimtebeslag. Zonnepanelen produceren immers geen geluid, slagschaduw of een extern risico. Wel is een zonneveld vaak afgesloten met een hekwerk. Ook kunnen er beperkingen gelden door het geluid dat omvormers produceren (30 meter rondom de omvormers).

Hoeveel vermogen kan worden opgesteld in een bepaalde ruimte hangt vooral af van de manier waarop de panelen worden geplaatst. Een zonneveld van 1 MW opgesteld vermogen heeft een ruimtebeslag van ongeveer 1 hectare, bron: www.ruimtevoorenergie.nl. Er is een (beperkte) trend van het efficiënter worden van zonnepanelen, dat wil zeggen een grotere energieopbrengst per opgesteld vermogen.

Energieopbrengst

De elektriciteitsopbrengst van zon op veld hangt af van de opstelling (oriëntatie, meer of minder intensief). Afhankelijk van de opstelling loopt de opbrengst uiteen van ongeveer 1,5 TJ per hectare per jaar voor een extensieve bifaciale verticale opstelling tot meer dan 5 TJ per jaar per hectare bij een intensieve oost-westopstelling. Bij de berekeningen voor het Energieperspectief is uitgegaan van 900 vollasturen, wat neerkomt op een opbrengst van ruim 3 TJ per hectare per jaar.

⁵² TNO heeft dosis-effectrelaties uitgedrukt in de beoordelingsmaat L_{den} afgeleid voor het percentage gehinderden en het percentage ernstig gehinderden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de buitenshuis en binnenshuis ervaren hinder. Op een schaal van 0-100 wordt een hinderscore van meer dan 50 aangemerkt als gehinderd en een hinderscore van meer dan 72 als ernstig gehinderd.

De schatting van de energieopbrengst is daarmee:

- Direct ruimtebeslag: **3 TJ per ha per jaar**.
- Minimaal indirect ruimtebeslag (hekwerk en geluidzone omvormers).

Zonnepanelen leveren alleen energie in de dagperiode, met een sterke fluctuatie gekoppeld aan de intensiteit van het zonlicht (bewolking). De opbrengsten in de zomerperiode zijn hoger en treden over een groter deel van het etmaal op dan in de winter. Bij deze prognose voor de opbrengst van zon op veld is uitgegaan van een intensieve, op maximale opbrengst gerichte opstelling. De consequentie van dergelijke opstellingen is dat het zonneveld tamelijk monofunctioneel is, dus zonder (meer)waarde voor natuur of extensief agrarische medegebruik (begrazing). Een nadere afweging naar de optimale opstelling – meer of minder intensief – is daarom wenselijk, vooral daar waar een zonneveld op agrarische grond wordt gepland. Bij een minder intensieve opstelling is er een kans dat het zonneveld nog enige waarde heeft voor natuur of landbouw.

Omgevingseffecten

De omgevingseffecten van zon op veld beperken zich tot:

- Sterke afname van de gebruikswaarde van de grond waarop de zonnepanelen staan; bij een minder intensieve opstelling kan een beperkt agrarisch gebruik of een natuurfunctie mogelijk zijn;
- Als het zonneveld op agrarische grond wordt gerealiseerd, wordt die grond niet langer beïnvloed door het agrarisch gebruik, zoals door grondbewerking, bemesting en het gebruik van chemische middelen. Dit kan een positief effect hebben op de kwaliteit en vitaliteit van de bodem en van de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit.
- Landschappelijke effecten: de zichtbaarheid van zonnepanelen en bij bepaalde opstellingen effecten door reflectie van zonlicht.

Vergelijking zon op veld en wind op land

Voor de opwek van 1 PJ is als direct ruimtebeslag nodig:

- Wind op land: 4,7 ha.
- Zonneveld: 330 ha.

Het hieraan gekoppelde indirecte ruimtebeslag voor stedelijke functies is nagenoeg nihil voor zon. Voor wind (geluidzone, wel bruikbaar voor landbouw en andere niet stedelijke functie) is dit, afhankelijk van onder andere de opstelling van de turbines, 1.100 tot 1.800 ha.

In de vergelijking tussen wind op land en zonnenvelden kan worden geconstateerd dat wind (per eenheid van direct ruimtebeslag) veel meer energie oplevert met ook opbrengsten in de avond- en nachtperiode en in de maanden dat er weinig zon is. Daartegenover staat dat windturbines een groter indirect ruimtebeslag en grotere omgevingseffecten hebben dan zonnenvelden. Voor zon (en in mindere mate wind) kan kleinschalige opwek (op daken, parkeerterreinen e.d.) een relevante bijdrage leveren aan het voldoen van de energievraag, zonder dat dit extra ruimtebeslag heeft.

Bovengrondse hoogspanningsverbindingen (wisselstroom)

De 'snelwegen' voor elektriciteit zijn de bovengrondse 380 kV hoogspanningsverbindingen van TenneT. Het is technisch en voor de stabiliteit van het hoogspanningsnet niet mogelijk grote delen van deze verbindingen ondergronds te leggen. Het Nederlandse 380kV net is gekoppeld aan de buitenlandse netten en in feite fungeert het systeem daarmee op bovennationale schaal. Bovengrondse hoogspanningsverbindingen bestaan uit drie circuits (drie fasen) en worden vanwege de leveringszekerheid dubbel uitgevoerd. De verbindingen bestaan uit de geleiders die met isolatoren aan de masten hangen en een (dunnere) bliksem-/nuldraad daarboven. De netten op een lager niveau (150kV en lager) zijn aan het 380 kV net gekoppeld bij hoogspanningsstations. Deze bestaan uit schakelvelden en transformatoren.

Ruimtebeslag

Het directe ruimtebeslag van bovengrondse hoogspanningsverbindingen bestaat uit de mastvoeten. Bij een veldlengte (de afstand tussen de masten) van ongeveer 400 meter en een ruimtebeslag van ongeveer $17 \times 17 = 289$ m² per mastvoet is het directe ruimtebeslag ongeveer **700 tot 750 m²** per kilometer hoogspanningsverbinding⁵³.

⁵³ Zie bijvoorbeeld bron: planMER Nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding Diemen-Ens, TenneT, 2024

Het indirecte ruimtebeslag bedraagt:

- In de ZRO-strook onder de geleiders is agrarisch grondgebruik, natuur e.d. mogelijk, maar mogen geen hoogopgaande bomen aanwezig zijn. De breedte van deze strook is ongeveer 70 meter; per kilometer hoogspanningsverbinding komt dat neer op **7 ha**.
- Ten aanzien van stedelijke functies is vooral de magneetveldzone bepalend. De breedte van deze zone is afhankelijk van diverse factoren, zoals de configuratie van de geleiders in de masten en het spanningsniveau. Voor een 380kV leiding geeft TenneT een breedte van ongeveer 130 meter aan; per kilometer verbinding is dat ongeveer **13 ha**.

Omgevingseffecten

Omgevingseffecten van bovengrondse hoogspanningsverbindingen treden op in de aanlegfase (vooral ter plaatse van de mastvoeten), maar de effecten in de gebruiksfase zijn maatgevend. In de gebruiksfase kunnen op hoofdlijnen de volgende omgevingseffecten optreden:

- Effect op de belevingswaarde van het landschap: de hoogspanningsverbindingen zijn duidelijk zichtbare 'nieuwe' elementen in het landschap. Hierbij zijn rust en regelmaat van belang: hoogspanningsverbindingen met een regelmatig patroon (vaste tussenafstanden, lange rechtstanden dus weinig knikken in de lijn) worden als minder storend ervaren;
- Draadslachtoffers: vogels (en vleermuizen) die slachtoffer kunnen worden van een aanvaring met de bliksemdraad. Het aantal draadslachtoffers kan worden beperkt door de bliksemdraad beter zichtbaar te maken, bijvoorbeeld door de zogeheten varkenskrullen of flappen;
- Rond de geleiders is een magneetveld aanwezig. De effecten daarvan worden gereduceerd door een slimme configuratie van de geleiders en door voldoende afstand te houden tot gevoelige bestemmingen. Deze afstand is bepaald op basis van het voorzorgbeleid in relatie tot de mogelijke gezondheidseffecten.
- In de ZRO-strook zijn er beperkingen aan de hoogte van de begroeiing. Dat kan in specifieke gebieden, zoals bossen, leiden tot een beperking van de natuur.
- Overige effecten, zoals het lichte 'knetteren' bij hoge luchtvochtigheid, zijn beperkt en (als de afstand tot gevoelige bestemmingen vanwege de magneetveldzone wordt aangehouden) verwaarloosbaar.

Buisleidingen (ondergronds)

Ondergrondse buisleidingen voor gassen en vloeistoffen zijn een efficiënte en milieuvriendelijke manier van transporteren van grote hoeveelheden energiedragers. Als de leidingen in de grond liggen zijn er geen relevante milieugevolgen. Wel treedt er ruimtebeslag op.

Ruimtebeslag

Het directe ruimtebeslag van ondergrondse buisleidingen is gering. Op het maaiveld zijn op specifieke plekken (kleine) voorzieningen nodig, bijvoorbeeld om de ondergronds gelegen koppelingen, afsluiters en dergelijke te kunnen bedienen, inspecteren en onderhouden.

Indirect ruimtebeslag: Ter plaatse van buisleidingen is op het maaiveld een ZRO-strook aanwezig vanwege veiligheid, beschermen van de leiding en het waarborgen van de bereikbaarheid van de leiding voor onderhoud en reparatie. In de ZRO-strook zijn functies zoals landbouw, natuur en recreatie en infrastructuur mogelijk, maar stedelijke functies zijn niet mogelijk. De breedte van de ZRO-strook verschilt per leiding. Rond leidingen kan daarnaast een veiligheidszone aanwezig zijn. Ook de breedte daarvan is afhankelijk van de leiding (diameter, druk, inhoud).

Omgevingseffecten

De omgevingseffecten van ondergrondse buisleidingen treden vooral op in de aanlegfase. In de gebruiksfase zijn er geen relevante effecten, afgezien van de beperkingen voor stedelijke functies binnen de ZRO-strook. Effecten in de aanlegfase zijn afhankelijk van de aanlegmethode (open ontgraving of gestuurde boring). Bij een open ontgraving wordt het bestaande bodemprofiel (met de daarin eventueel aanwezige archeologische waarden) verstoord en kunnen er effecten zijn op natuurwaarden ter plaatse van het tracé. Daarnaast kunnen er effecten zijn op grond- en oppervlaktewater, die echter (grotendeels) gemitigeerd kunnen worden, bijvoorbeeld door retourbemaling. De effecten van de aanleg voor de agrarische functie kunnen worden gemitigeerd door een zorgvuldige manier van aanleggen. Er is hiermee in Nederland veel ervaring opgedaan bij de aanleg van het aardgasnet. Bij aanleg via een gestuurde boring treden effecten op ter plaatse van de start- en eindkuip voor de boormachine en voor het klaarleggen van de in te persen buisleiding. Bij leidingen die met een gestuurde boring worden aangelegd kan de leiding relatief diep worden gelegd, waardoor effecten op bijvoorbeeld eventueel aanwezige archeologische waarden verder worden beperkt.

Buisleidingen en hoogspanningsverbindingen: onderlinge beïnvloeding

Om het ruimtebeslag van buisleidingen te beperken kan het wenselijk zijn de (grootschalige) leidingen te bundelen in leidingstraten. Het is daarbij wel noodzakelijk voldoende afstand tussen de leidingen te houden en rekening te houden met ongewenste effecten die kunnen optreden bij een lange parallelligging van hoogspanningsverbindingen en buisleidingen.

7.2 (Milieu)effecten systeemalternatieven

Aanvullend op de hiervoor opgenomen ruimtelijke analyses van de systeemalternatieven en de bouwstenen voor het energiesysteem met de grootste ruimtelijke impact, zijn in deze paragraaf de (milieu)effecten van de systeemalternatieven beschreven en beoordeeld. Daarbij is ingegaan op de aspecten uit het beoordelingskader dat in paragraaf 4.4 is toegelicht.

Uit de ruimtelijke analyses in paragraaf 7.1 blijkt dat de ruimtelijke impact van de systeemalternatieven op provinciaal niveau vooral wordt bepaald door de ruimtelijke verdeling van het toekomstige energiesysteem over de provincie en een aantal maatgevende bouwstenen binnen het energiesysteem. Systeemalternatief 'Lokale kracht' verspreid de verschillende onderdelen van het energiesysteem over de hele provincie, waardoor ook de (milieu)effecten verspreid op zullen treden. 'De grote opgaven gebundeld' concentreert de impact op een aantal plekken (industriële clusters, rivierengebied en De Peel) en bij 'Op grote schaal denken' concentreert alle impact zich rond de havengebieden en industriële clusters.

Bouwstenen die op provinciaal niveau bepalend zijn voor de omgevingseffecten zijn de grootschalige ontwikkelingen van nieuwe elementen in het landschap en de leefomgeving. Uit de ruimtelijke analyses blijkt dat met name de opwek van duurzame energie via wind op land en zon op veld, en de benodigde uitbreiding van het hoogspanningsnet en buisleidingennet op provinciaal niveau een relevant (ruimtelijk) effect heeft. Deze bouwstenen leiden met name tot effecten op Gezondheid (met name geluid), Ruimtelijke kwaliteit en Natuur. De focus in de effectbepaling van de systeemalternatieven ligt dan ook op deze maatgevende aspecten, die in paragraaf 7.2.1 zijn beschreven. De overige aspecten zijn behandeld in paragraaf 7.2.2.

7.2.1 Maatgevende aspecten

7.2.1.1 Geluid

Geluid maakt onderdeel uit van het thema Gezonde en veilige leefomgeving, maar is hier als maatgevend aspect apart behandeld. De overige aspecten die onder Gezonde en veilige leefomgeving vallen zijn te vinden in paragraaf 7.2.2.2. Het alternatief 'Lokale kracht' kenmerkt zich door een verspreide inzet van windturbines, zonnevelden en duurzame elektriciteitscentrales door de hele provincie. Door deze kleinschalige en gedecentraliseerde aanpak ontstaan er op veel verschillende locaties ruimtelijke veranderingen, waaronder de plaatsing van in totaal ruim 200 windturbines en meerdere opwekinstallaties nabij woonwijken en gebruikers. Dit brengt een verhoogd risico op geluidhinder met zich mee voor omwonenden, juist omdat de turbines en installaties dichter bij bebouwing en lokale gemeenschappen komen te staan. Aan de andere kant biedt de lokale sturing de kans om bij de inrichting rekening te houden met lokale wensen en maatwerkoplossingen voor geluidsbeperking toe te passen, bijvoorbeeld door het kiezen van locaties met minder geluidgevoelige bestemmingen. De verspreiding van batterijen en onderstations in het elektriciteitsnet (met name midden- en laagspanning) kan zorgen voor extra geluidbronnen op wijkniveau, waardoor lokaal geluidhinder kan worden ervaren. Ook hier wordt in de praktijk gekozen voor geluidbeperkende maatregelen en locaties die zo min mogelijk hinder opleveren.

In het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' worden grootschalige windparken, zonneparken en duurzame energiecentrales geconcentreerd op locaties met nationale opgaven, zoals het rivierengebied en de industriële clusters bij Moerdijk en Geertruidenberg. De clustering van windturbines in grote parken betekent dat de geluidhinder zich vooral concentreert in deze gebieden, waardoor de toename van geluid op de directe omgeving daar aanzienlijk kan zijn. Echter, doordat deze projecten vaak in minder dichtbevolkte gebieden of op industriegebieden plaatsvinden, blijft de hinder voor woongebieden naar verwachting relatief beperkt. Het realiseren van batterijen en onderstations bij deze clusters kan eveneens voor geluid zorgen, maar doordat deze infrastructuur zich vooral rond bestaande industriële locaties bevindt, is het risico op extra hinder voor omwonenden veel kleiner dan bij verspreide plaatsing.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' gaat uit van een sterke internationale oriëntatie, waarbij Nederland veel duurzame energie, vooral waterstof en groen gas, importeert. Hierdoor blijft de ruimtelijke impact beperkt tot de

industriële clusters van Moerdijk en Geertruidenberg. Er worden nauwelijks extra windturbines en de meeste nieuwe installaties (duurzame centrales, elektrolyzers, batterijen) komen terecht bij bestaande industriegebieden. Dit leidt ertoe dat het risico op geluidhinder voor de meeste inwoners van Brabant beperkt is, omdat de geluidsbronnen geconcentreerd zijn op locaties waar al sprake is van industriële activiteiten en waar de omgeving minder gevoelig is voor extra geluid. De toename van energie-intensieve industrie en importactiviteiten kan lokaal voor extra geluid zorgen, maar ook hiervoor geldt dat deze geconcentreerd zijn rond de bestaande industriële clusters, waardoor de extra geluidhinder beperkt zal zijn.

Vergelijking van de alternatieven

Vergelijkend heeft 'Lokale kracht' de meeste risico's op het gebied van geluidhinder, doordat de verspreide plaatsing van windturbines en installaties dicht bij woonwijken en gebruikers leidt tot veel meer potentiële bronnen van hinder in de leefomgeving. In de praktijk zal de geluidhinder worden beperkt door geluidbeperkende maatregelen en goede locatiekeuzes. 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' concentreren de geluidhinder grotendeels in specifieke gebieden (rond clusters), waardoor de impact op de meeste inwoners kleiner is. Daarnaast worden de geluidbronnen in deze gebieden geconcentreerd in gebieden die minder dichtbevolkt zijn ('De grote opgaven gebundeld') of rond bestaande industriële clusters (beide alternatieven) waardoor extra geluidhinder beperkt zal zijn. Al met al biedt 'Op grote schaal denken' de meeste kansen voor het voorkomen van geluidhinder door het toekomstige energiesysteem op provinciaal niveau, terwijl 'Lokale kracht' het grootste risico met zich meebrengt. Daarbij is het wel zo dat voor alle alternatieven geldt dat aan geldende normen voor geluid zal moeten worden voldaan, wat de geluidhinder verder beperkt.

7.2.1.2 Ruimtelijke kwaliteit

Herkomstwaarde

Herkomstwaarde betreft de verbondenheid met het landschap, de eigenheid, cultuurhistorische verscheidenheid en de leesbaarheid van de omgeving. De versnipperde aanleg van energievoorzieningen in het systeemalternatief 'Lokale kracht' kan leiden tot aantasting van karakteristieke landschappen, doordat op veel plekken nieuwe elementen worden toegevoegd. De mate van lokale regie biedt kansen voor behoud van eigenheid, maar vraagt om zorgvuldige ruimtelijke inpassing om negatieve effecten te beperken, met name bij de aanleg van grootschalige installaties als windturbines en zonnevelden.

In het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' zorgt de clustering van energie-infrastructuren in gebieden met een nationale opgave, zoals het rivierengebied en industriële clusters, ervoor dat een groot deel van Brabant ontzien wordt, waardoor de herkomstwaarde daar niet wijzigt. Ook binnen de gebieden waar nieuwe elementen worden toegevoegd kan de herkomstwaarde deels behouden blijven. Hier kan worden aangesloten bij bestaande grootschalige landschappelijke structuren, wat ruimtelijke synergie mogelijk maakt. Het risico bestaat echter dat door schaalvergroting en het samenkomen van nationale opgaven, de lokale identiteit onder druk komt te staan. De focus op grote projecten en centrale aansturing kan leiden tot een meer generiek landschap in de clusters, terwijl elders de herkomstwaarde grotendeels intact blijft.

In het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' concentreert de ruimtelijke impact zich in de haven- en industriële gebieden, waardoor de herkomstwaarde in de rest van Brabant nauwelijks wordt beïnvloed. Dit beperkt de aantasting van herkenbare lokale waarden buiten de clusters, maar kan juist in de gebieden met grootschalige import en infrastructuur leiden tot verlies van lokale karakteristieken. Dit risico is echter beperkt aangezien deze gebieden ook nu een grootschalig industrieel karakter hebben.

Gebruikswaarde

Gebruikswaarde draait om de bruikbaarheid en geschiktheid van het landschap voor functies als wonen, werken, landbouw en recreatie. Er is dan ook een groot raakvlak met het verwachte ruimtebeslag van het toekomstige energiesysteem, zie daarvoor de ruimtelijke analyses die in paragraaf 7.1 zijn opgenomen. Het grootste deel van het daar beschreven ruimtebeslag treedt op in het landelijk gebied door windturbines en zonnevelden. Bij windturbines is het directe ruimtebeslag op provinciale schaal echter te verwaarlozen, waardoor de impact op met name de landbouw veel kleiner is dan het indirecte ruimtebeslag doet vermoeden. Agrarisch gebruik is binnen dit indirecte ruimtebeslag namelijk gewoon mogelijk. De beperkingen (met name voor stedelijke functies) die gelden binnen de ZRO-stroken rond hoogspanningsverbindingen en buisleidingen, hebben ook een negatief effect op de gebruikswaarde. Ook hier geldt dat functies als landbouw, natuur (wel met hoogtebeperkingen onder een hoogspanningsverbinding) en recreatie wel mogelijk zijn.

De verspreide plaatsing van energievoorzieningen brengt in het systeemalternatief 'Lokale kracht' risico's met zich mee: conflicten met bestaande gebruiksfuncties en versnippering van het landschap kunnen optreden, wat met name invloed op stedelijke functies (binnen ZRO-stroken), landbouw (door zon op veld) en recreatie (door verandering belevingswaarde) kan hebben. De lokale, meer kleinschalige aanpak biedt wel kansen voor betere inpassing, lokale participatie en eigendom, waardoor acceptatie kan worden vergroot en koppelkansen met gebiedsontwikkelingen kunnen ontstaan.

In het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' worden energie-infrastructuren geclusterd binnen de industriële clusters en andere gebieden met nationale opgaven, zoals het rivierengebied. Hierdoor blijft de gebruikswaarde van het landschap buiten deze gebieden grotendeels intact. In de gebieden waar de energie-infrastructuur wordt geconcentreerd, bestaat echter het lokale risico op verdringing van bestaande functies, zoals landbouw of wonen. De effecten zijn op provinciale schaal echter beperkt. De bundeling binnen de bestaande industriële clusters zorgt voor een efficiënt ruimtegebruik, waarbij weinig extra ruimte nodig zal zijn. De windturbines in het rivierengebied zullen nauwelijks ruimtebeslag op gebruiksfuncties hebben wanneer deze goed worden ingepast (alleen direct ruimtebeslag).

De ruimtelijke impact blijft in het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' beperkt tot de industriële clusters, waardoor de gebruikswaarde voor wonen, werken, landbouw en recreatie in het grootste deel van Brabant behouden blijft. De grootschalige import en bijbehorende infrastructuur kunnen in de clusters echter leiden tot intensiever ruimtegebruik en mogelijke verdringing van bestaande functies⁵⁴. De impact is op provinciaal niveau echter beperkt.

Belevingswaarde

De invloed op belevingswaarde wordt bepaald door de zichtbaarheid van het energiesysteem in het landschap (met name windturbines en hoogspanningsverbindingen, en in mindere mate zonnevelden). Daarbij zorgt de obstakelverlichting op windturbines dat deze ook in de nacht zichtbaar zijn.

'Lokale kracht' leidt tot een toename van zichtbare energie-elementen verspreid over het landschap, wat het karakter van het Brabantse buitengebied kan veranderen. Dit kan de belevingswaarde lokaal versterken waar energievoorzieningen esthetisch zijn ingepast, maar brengt vooral risico's met zich mee: de toename van zichtbare installaties zoals met name windturbines, zonnevelden en hoogspanningsverbindingen kan het open landschap en het uitzicht verstoren, wat een rommelig beeld op kan leveren en de beleving negatief beïnvloedt. Ook kan interferentie tussen verschillende windparken optreden, dat wil zeggen de zichtbaarheid van meerdere windparken met elk een eigen karakteristiek (afmetingen van de turbines, draaisnelheid, opstelling). De noodzaak tot participatie en communicatie is groot om draagvlak te behouden. De lokale benadering biedt in dit alternatief kansen voor betrokkenheid en eigenaarschap; bewoners kunnen zich door (financiële) participatie verbonden voelen met de energietransitie door de zichtbaarheid van de installaties in het landschap.

Bij 'De grote opgaven gebundeld' worden de meest ingrijpende veranderingen geconcentreerd in bestaande grootschalige landschappen (zoals windturbines in het rivierengebied), waardoor de belevingswaarde elders minder wordt aangetast. Binnen de clusters kunnen grootschalige energieprojecten de belevingswaarde van het landschap verminderen. Daarbij is vooral de concentratie van zonnevelden in De Peel een belangrijk aandachtspunt. Buiten de clusters kunnen nieuwe hoogspanningsverbindingen het open landschap en het uitzicht verstoren.

'Op grote schaal denken' beperkt de zichtbaarheid van nieuwe energie-infrastructuur tot de industriële clusters, zodat de belevingswaarde van het merendeel van Brabant niet wijzigt. Daarentegen kan de grootschaligheid van de ontwikkelingen in de clustergebieden leiden tot een minder herkenbaar en meer industrieel landschap. Dit risico is echter beperkt aangezien deze gebieden ook nu een grootschalig industrieel karakter hebben. Wel wordt in dit alternatief de afstand tussen energieopwekking en het dagelijks leven van bewoners groter, wat het gevoel van betrokkenheid kan verminderen. Daarnaast kunnen ook hier nieuwe hoogspanningsverbindingen buiten de industriële clusters het open landschap en het uitzicht verstoren.

Toekomstwaarde

Toekomstwaarde omvat de aanpasbaarheid en de bijdrage aan een betekenisvolle, toekomstbestendige inrichting. Daarbij geldt met name bij windturbines en zonnevelden dat deze een tijdelijk karakter hebben (vergunningen worden verleend voor een bepaalde periode, bijvoorbeeld 25 jaar). Na afloop van de vergunde periode moeten de installaties

⁵⁴ Met als zeer recent (november 2025) voorbeeld het voornemen van de gemeente Moerdijk om het dorp Moerdijk op te heffen om plaats te maken voor de uitbreiding van de energie-infrastructuur in het nabijgelegen haven- en industriegebied.

weer worden verwijderd en is de ruimte in principe weer beschikbaar voor andere functies (of wordt opnieuw vergund). Van andere bouwstenen voor het energiesysteem (zoals hoogspanningsstations en -verbindingen) is de verwachting dat die veel langer aanwezig zullen zijn, met minder aanpasbaarheid tot gevolg.

‘Lokale kracht’ biedt een hoge mate van flexibiliteit en lokale regie, waardoor het systeem zich kan aanpassen aan veranderende behoeften en innovaties. De uitdaging is om versnippering te voorkomen en samenhang te waarborgen, zodat toekomstige aanpassingen efficiënt kunnen plaatsvinden.

‘De grote opgaven gebundeld’ biedt door clustering van infrastructuur en andere nationale opgaven, zoals waterveiligheid, natuurontwikkeling en landbouwtransitie, kansen voor integrale gebiedsontwikkeling en een efficiënte benutting van ruimte, wat de toekomstwaarde kan vergroten. De afhankelijkheid van grootschalige projecten en centrale aansturing kan echter de flexibiliteit beperken en het inspelen op lokale behoeften bemoeilijken.

‘Op grote schaal denken’ sluit aan op internationale ontwikkelingen en kan bijdragen aan een robuust energie- en transportsysteem. De sterke afhankelijkheid van importstromen maakt het systeem echter kwetsbaarder voor externe invloeden en vermindert de mogelijkheid tot lokale sturing en aanpassing. Wel blijft de toekomstwaarde van het landschap in een groot deel van Brabant intact vanwege de clustering rond de industriële clusters Moerdijk en Geertruidenberg.

Vergelijking van de alternatieven

In vergelijking laten de alternatieven zien dat ‘Lokale kracht’ de meeste kansen biedt voor het versterken van lokale identiteit, participatie en flexibiliteit, maar ook het grootste risico kent op versnippering en conflicten met bestaande functies en landschapswaarden. De grote opgaven gebundeld’ vindt een balans tussen behoud van ruimtelijke kwaliteit buiten de clusters en efficiënt ruimtegebruik binnen de clusters, maar kan lokaal leiden tot verlies van identiteit. ‘Op grote schaal denken’ minimaliseert de ruimtelijke impact voor het grootste deel van Brabant, maar concentreert de nadelen in de industriële zones en vermindert de lokale betrokkenheid bij, en invloed op het energiesysteem.

7.2.1.3 Natuur en biodiversiteit

Natura 2000

Instandhoudingsdoelstellingen

Het alternatief ‘Lokale kracht’ kenmerkt zich door een gedecentraliseerde uitrol van duurzame energie, met veel verspreide opwek- en opslaglocaties in de nabijheid van gebruikers. Dit leidt tot een grotere ruimtelijke spreiding van energie-infrastructuur, waardoor het risico op cumulatieve effecten op Natura 2000-gebieden toeneemt. De kans bestaat dat lokale initiatieven nabij of zelfs binnen de invloedssfeer van kwetsbare natuur worden gerealiseerd, wat een risico kan vormen voor het behalen van instandhoudingsdoelen. Tegelijkertijd biedt de lokale aansturing ook mogelijkheden om via gebiedsgericht maatwerk negatieve effecten te beperken en kansen te benutten voor natuur-inclusieve oplossingen.

Het systeemalternatief ‘De grote opgaven gebundeld’ bundelt grootschalige energieprojecten op locaties waar reeds nationale opgaven spelen, zoals industriële clusters en het rivierengebied. Hierdoor wordt de impact ruimtelijk geconcentreerd en kan gericht rekening worden gehouden met aanwezige Natura 2000-gebieden. Dit biedt kansen om natuurbescherming en energietransitie te integreren, bijvoorbeeld door natuurontwikkeling te koppelen aan zonneparken in De Peel. Het risico blijft echter bestaan dat grootschalige ingrepen in of nabij kwetsbare gebieden (zoals het rivierengebied) leiden tot verstoring van habitats en soorten, zeker als de benodigde ruimte voor energie overlapt met natuurdoelen.

In het systeemalternatief ‘Op grote schaal denken’ wordt het merendeel van de energie geïmporteerd en concentreert de ruimtelijke impact zich rond de grote industriële clusters en havengebieden. Hierdoor is de directe ruimtelijke druk op Natura 2000-gebieden elders in Brabant relatief beperkt. De kans op verstoring van instandhoudingsdoelen is hierdoor kleiner, mits de concentratie van nieuwe infrastructuur in de havengebieden zorgvuldig wordt afgestemd op aanwezige natuurwaarden. Het risico bestaat dat de intensieve clustering lokaal juist tot hoge druk leidt op die gebieden die zich nabij de clusters bevinden, zoals de Biesbosch en Hollands Diep.

Voor alle alternatieven geldt dat significant negatieve gevolgen op de instandhoudingsdoelstellingen dienen te worden voorkomen of (bij het ontbreken van alternatieven en de aanwezigheid van een groot maatschappelijk belang) gecompenseerd. Dit nuanceert de hiervoor beschreven risico's op negatieve effecten.

Abiotische condities

De verspreide plaatsing van windturbines, zonnepanelen, opslag en conversie-installaties in het systeemalternatief 'Lokale kracht' kan lokaal leiden tot veranderingen in waterhuishouding, bodemstructuur en luchtkwaliteit, met potentiële gevolgen voor abiotische condities in aangrenzende Natura 2000-gebieden. Door de grote hoeveelheid kleinschalige projecten is het risico op versnipperde effecten groter, maar biedt het ook de kans om per locatie passende mitigerende maatregelen te treffen. Lokaal maatwerk is essentieel om negatieve effecten op hydrologie en bodem te voorkomen.

De concentratie van energie-infrastructuur in bestaande industriële zones en het rivierengebied in systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' maakt het mogelijk om abiotische condities gericht te beschermen door integrale gebiedsplanung. Hierdoor kunnen negatieve effecten op waterhuishouding en bodemkwaliteit in aangrenzende Natura 2000-gebieden mogelijk effectiever worden voorkomen of gecompenseerd. Wel zijn de gevolgen van grootschalige ingrepen potentieel groter wanneer deze plaatsvinden in kwetsbare gebieden, zoals uiterwaarden of natte natuur, waar de abiotische randvoorwaarden vaak kritisch zijn.

Doordat de ruimtelijke impact in het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' grotendeels beperkt blijft tot haven- en industriële clusters, zijn de abiotische condities van Natura 2000-gebieden elders minder direct beïnvloed. De concentratie van nieuwe infrastructuur kan echter lokaal zorgen voor verhoogde druk op bodem, water en luchtkwaliteit, vooral in de nabijheid van clusters als Moerdijk. Grootschalige import en conversie van energiedragers kunnen bovendien leiden tot specifieke abiotische knelpunten, zoals waterverbruik of emissies, die door schaalgrootte extra aandacht vereisen. Ook hier bestaat dan ook het risico dat de intensieve clustering lokaal juist tot hoge druk leidt op die gebieden die zich nabij de clusters bevinden, zoals de Biesbosch en Hollands Diep.

Ook voor de abiotische condities geldt voor alle alternatieven dat eventuele negatieve effecten op Natura 2000-gebieden moeten worden voorkomen of gecompenseerd.

Stikstofdepositie

Alle alternatieven leiden tot een duurzaam energiesysteem dat minder stikstof uitstoot bij energieopwekking en industriële processen. De belangrijkste effecten treden daarmee op tijdens de bouw- en aanlegfases, niet tijdens de gebruiksfase. Het toepassen van emissiearme bouwmethoden biedt in alle alternatieven de grootste kans om effecten te voorkomen. Ook voor stikstofdepositie geldt dat eventuele negatieve effecten op Natura 2000-gebieden moeten worden voorkomen of gecompenseerd.

De verspreide realisatie van energieprojecten in het systeemalternatief 'Lokale kracht' kan tijdens de bouw en aanleg van de energie-infrastructuur leiden tot een toename van stikstofemissies op veel verschillende locaties. Dit vergroot het risico op extra stikstofdepositie in en rond Natura 2000-gebieden, zeker als projecten dicht bij gevoelige natuur worden gerealiseerd.

Door de clustering van activiteiten in het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' treden stikstofemissies minder verspreid op. Rond de clusters kan nog steeds sprake zijn van een toename van de stikstofdepositie als gevolg van de bouwactiviteiten.

In dit alternatief is de stikstofimpact op Natura 2000-gebieden in Brabant naar verwachting het kleinst, omdat de meeste nieuwe activiteiten zich concentreren in bestaande industriegebieden. Wel blijft lokaal rond de clusters het risico bestaan op een toename van de stikstofdepositie tijdens de bouw.

Vergelijking en conclusie

Samenvattend laat de analyse zien dat 'Op grote schaal denken' de minste directe ruimtelijke en ecologische druk legt op Natura 2000-gebieden in Brabant, doordat de meeste energie wordt geïmporteerd en de ruimtelijke impact zich daardoor concentreert rond de bestaande industrieclusters Moerdijk en Geertruidenberg. 'De grote opgaven gebundeld' biedt kansen voor integrale gebiedsontwikkeling en gerichte bescherming, maar kent risico's waar Natura 2000-gebieden zich bevinden binnen de invloedsfeer van grote clusters. 'Lokale kracht' biedt mogelijkheden voor lokaal maatwerk en natuur-inclusieve ontwikkeling, maar het grote aantal verspreide initiatieven vergroot het risico op versnipperde en moeilijk beheersbare effecten op instandhoudingsdoelen, abiotische condities en stikstofdepositie. Afhankelijk van de exacte locatie en uitvoering kan elk alternatief zowel kansen als risico's bieden, maar op basis van deze criteria lijkt 'Op grote schaal denken' de minste potentiële effecten op Natura 2000-gebieden te hebben, mits de lokale druk rond de industriële clusters adequaat wordt gemitigeerd. Voor alle alternatieven geldt overigens dat negatieve effecten op Natura 2000-gebieden moeten worden voorkomen of gecompenseerd.

Natuurnetwerk Brabant

Areaal

Het systeemalternatief 'Lokale kracht' kenmerkt zich door een verspreide uitrol van energievoorzieningen, zoals windturbines, zonnevelden, batterijen en electrolyzers, op veel verschillende locaties door de provincie. Hierdoor bestaat het risico dat het areaal van het NNB direct wordt aangetast door ruimtebeslag. Lokale afstemming biedt mogelijkheden om initiatieven juist te richten op gebieden buiten het NNB, maar de veelheid aan locaties vergroot wel de druk op het beschikbare natuurareaal.

In 'De grote opgaven gebundeld' worden energievoorzieningen geconcentreerd in grote clusters, vooral in het rivierengebied en industriële zones. Dit leidt tot beperkte risico's op directe aantasting van het NNB-areaal buiten deze clusters, maar binnen de clusters kan ruimtebeslag optreden. Tegelijkertijd biedt clustering kansen voor het behoud van grotere aaneengesloten natuurgebieden elders in de provincie.

De ruimtelijke impact van het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' concentreert zich rond haven- en industriële gebieden, waardoor het directe ruimtebeslag op het NNB-areaal over het algemeen beperkt blijft. Het risico bestaat echter dat bij uitbreiding van infrastructuur (zoals hoofdtransportnetten) alsnog delen van het NNB geraakt worden, afhankelijk van tracékeuzes en importstromen. Dit geldt overigens ook bij de andere alternatieven.

Kwaliteit natuurtypen

Verspreide plaatsing van windturbines, zonnevelden en batterijen kan in het systeemalternatief 'Lokale kracht' leiden tot verstoring van natuurtypen door geluids-, licht- en schaduweffecten, alsmede door vermindering van het areaal NNB. De kwaliteit van kwetsbare natuurtypen binnen het NNB kan hierdoor achteruitgaan, tenzij lokale afstemming en mitigerende maatregelen effectief worden toegepast.

Door clustering van energieopwekking en infrastructuur is de verstoring van natuurtypen in het NNB in het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' beperkt tot de gebieden waar deze clusters samenkomen met het NNB. In het rivierengebied (plaatsing windturbines) en De Peel (plaatsing zonnevelden) kunnen grote ingrepen plaatsvinden, wat negatieve effecten kan hebben op de kwaliteit van daar aanwezige natuurtypen. Buiten deze clusters blijft de kwaliteit van natuurtypen vermoedelijk beter behouden, zeker wanneer synergie wordt gezocht tussen natuurontwikkeling en energietransitie.

De kwaliteit van natuurtypen binnen het NNB wordt in het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' minder direct aangetast, omdat in dit alternatief het grootste deel van de energie-infrastructuur buiten het NNB wordt gerealiseerd op de industriële clusters Moerdijk en Geertruidenberg. De concentratie van activiteiten rond industriële clusters beperkt versturende effecten elders. Toch kunnen grootschalige importstromen en infrastructuuruitbreidingen indirect impact hebben, afhankelijk van de (tracé)keuzes voor netwerkuitbreidingen. Ook hier moet echter gezegd worden dat dit ook voor de andere alternatieven geldt.

Abiotische condities

Door de verspreide plaatsing van energievoorzieningen bestaat in het systeemalternatief 'Lokale kracht' het risico op lokale verstoring van abiotische condities, zoals bodem, waterhuishouding en microklimaat. Kansen liggen in het benutten van bestaande infrastructuur en het vermijden van gevoelige gebieden, maar de veelheid aan ingrepen vergroot het cumulatieve risico op aantasting van abiotische condities binnen het NNB.

Clustering van grootschalige energieprojecten kan in 'De grote opgaven gebundeld' leiden tot significante wijzigingen in abiotische condities op locatie, bijvoorbeeld door grootschalige grondwerkzaamheden tijdens de aanleg. In het rivierengebied kunnen bij de aanleg van windturbines waterhuishouding en bodemstructuren beïnvloed worden, wat risico's inhoudt voor de ecologische draagkracht van het NNB wanneer ingrepen plaatsvinden binnen het invloedsgebied van het NNB. Ditzelfde geldt voor de aanleg van grootschalige zonnevelden in De Peel. Buiten de genoemde clusters blijven abiotische condities naar verwachting grotendeels intact.

De abiotische condities van het NNB worden in het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' overwegend gespaard, doordat de meeste ingrepen plaatsvinden in industriële zones. Wel kunnen grootschalige infrastructuurprojecten, zoals het hoofdtransportnet, indirect gevolgen hebben voor hydrologie en bodemgesteldheid, afhankelijk van tracékeuzes en schaal van de uitbreiding (geldt voor alle alternatieven).

Realisatie van ecologische verbindingzones

De verspreide ruimtelijke impact van het systeemalternatief 'Lokale kracht' kan de realisatie van ecologische verbindingzones bemoeilijken, doordat versnippering en doorsnijding van natuurgebieden en corridors op lokaal niveau vaker voorkomen. Kansen liggen bij lokale participatie, waardoor ecologische verbindingen mogelijk beter afgestemd worden op bestaande (energie)initiatieven en landschapsstructuren, en sneller uitgevoerd kunnen worden als onderdeel van een bredere gebiedsontwikkeling.

Door clustering van energie-infrastructuur kan versnippering van ecologische verbindingzones in het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' worden beperkt tot de gebieden waar clusters samenvallen met geplande ecologische verbindingen. Elders in de provincie blijven verbindingzones vermoedelijk beter realiseerbaar. Bundeling van opgaven kan er echter ook voor zorgen dat ecologische verbindingzones sneller gerealiseerd worden doordat ze onderdeel worden van een integrale gebiedsontwikkeling.

Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' heeft de minste invloed op de realisatie van ecologische verbindingzones binnen het NNB, doordat de ruimtelijke impact zich concentreert in industriële zones. De kans op versnippering of doorsnijding van verbindingzones elders in Brabant is hierdoor klein.

Vergelijking van de alternatieven

Samenvattend zijn de effecten van de drie systeemalternatieven op het Natuurnetwerk Brabant sterk afhankelijk van de mate van ruimtelijke spreiding en clustering van energie-infrastructuur. Het alternatief 'Lokale kracht' kent het grootste risico op aantasting van het areaal, de kwaliteit van natuurtypen en abiotische condities binnen het NNB, vanwege de verspreide plaatsing van energievoorzieningen en de potentie tot versnippering. 'De grote opgaven gebundeld' beperkt de impact tot specifieke clusters, waardoor effecten elders beperkt zijn. 'Op grote schaal denken' heeft de minste effecten op het NNB, aangezien de ruimtelijke impact zich concentreert in industriële gebieden en het NNB grotendeels wordt ontzien. Voor alle alternatieven geldt dat gebiedsgerichte afstemming en integrale planning essentieel zijn om kansen voor behoud en versterking van het NNB te benutten en risico's zoveel mogelijk te beperken. De beschermingsregels rondom het NNB bieden hier voldoende zekerheid voor.

Natuur buiten beschermde gebieden

'Lokale kracht' zet in op een maximale spreiding van energieopwekking en -opslag door heel Brabant, met veel kleinschalige initiatieven en een sterke nadruk op lokale autarkie. Dit betekent dat windturbines, zonnepanelen, batterijen en andere energie-infrastructuur op veel verschillende plekken in het landschap verschijnen, ook in de nabijheid van waardevolle natuur buiten de beschermde gebieden. Enerzijds biedt dit kansen dat lokale initiatieven ruimte kunnen bieden voor natuurinclusief ontwerp en maatwerk, waarbij bijvoorbeeld biodiversiteit en landschapskwaliteit als uitgangspunten worden meegenomen bij energie ontwikkelingen. Lokale betrokkenheid kan leiden tot groene inpassing, behoud en herstel van natuurwaarden. Tegelijkertijd zijn er risico's: door de verspreide aanleg van windturbines en zonnepanelen neemt de druk op waardevolle natuur buiten de beschermde gebieden toe. Fragmentatie van leefgebieden, verstoring van flora en fauna en een toename van versnippering zijn reële bedreigingen, zeker als er onvoldoende regie is op natuurinclusieve inrichting. Ook de aanleg van infrastructuur voor opslag en conversie kan leiden tot extra druk op kwetsbare gebieden.

Bij 'De grote opgaven gebundeld' worden de meeste energieprojecten geconcentreerd op locaties waar meerdere nationale opgaven samenkomen, zoals de industriële clusters Moerdijk en Geertruidenberg en het rivierengebied. Het combineren van energie-infrastructuur met andere opgaven (zoals waterveiligheid en landbouwtransitie) biedt mogelijkheden voor integrale gebiedsontwikkeling, waar natuurherstel of -versterking een plek kan krijgen. Het risico bestaat echter dat op locaties waar bundeling plaatsvindt, de druk op natuurwaarden toeneemt. Vooral in het rivierengebied en rond de industriële clusters kunnen grootschalige ingrepen leiden tot verlies van natuurwaarden, verstoring van migratieroutes en aantasting van de ecologische samenhang. Buiten deze clusters blijft de druk echter relatief beperkt.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' concentreert de meeste energie-infrastructuur rond de havens en industriële clusters, met een relatief beperkte ruimtelijke impact elders in de provincie. Dit betekent dat het Brabantse landschap en de waardevolle natuur buiten de beschermde gebieden grotendeels ontzien worden. Het risico bestaat dat juist in deze geconcentreerde gebieden een zeer grote druk op de aanwezige natuurwaarden ontstaat, zeker als importinfrastructuur en energie-intensieve industrieën verder uitbreiden. Deze industriële gebieden hebben over het algemeen echter geen grote ecologische waarde, waardoor de impact beperkt is.

Vergelijking van de alternatieven

Wanneer de drie alternatieven met elkaar worden vergeleken op hun effecten op waardevolle natuur buiten de beschermde gebieden, is te zien dat 'Lokale kracht' het grootste risico vormt. Door de brede spreiding van energie-infrastructuur is de kans op versnippering, verstoring en aantasting van waardevolle natuur buiten beschermde gebieden het grootst. 'De grote opgaven gebundeld' scoort beter, omdat de ruimtelijke impact wordt geconcentreerd, waardoor buiten de clusters relatief weinig nieuwe druk op waardevolle natuur ontstaat. Toch lopen de gebieden waar gebundeld wordt (zoals het rivierengebied) wel een risico op verlies van natuurwaarden. 'Op grote schaal denken' biedt de meeste bescherming voor waardevolle natuur buiten de beschermde gebieden, doordat de ruimtelijke ingrepen grotendeels beperkt blijven tot de bestaande industriële clusters en havengebieden. Hier is het risico op negatieve effecten voor de natuur buiten beschermde gebieden het kleinst, mits de concentratie van activiteiten zorgvuldig wordt ingericht. Samenvattend kan worden gesteld dat 'Op grote schaal denken' het gunstigste scoort voor waardevolle natuur buiten beschermde gebieden, gevolgd door 'De grote opgaven gebundeld', terwijl 'Lokale kracht' het grootste risico met zich meebrengt voor deze natuurwaarden.

Flora en fauna

De verspreide plaatsing van windturbines, zonneparken, batterijen en electrolyzers op veel verschillende locaties brengen in het sturingsalternatief 'Lokale kracht' risico's met zich mee voor verstoring van leefgebieden en migratieroutes van dieren. De ruimtelijke verspreiding kan leiden tot versnippering van natuur, wat gevolgen kan hebben voor de soorten die in deze gebieden aanwezig zijn. De mate waarin deze risico's optreden hangt sterk af van de wijze waarop de lokale invulling en landschappelijke inpassing plaatsvinden. De kleinschalige en gedecentraliseerde aanpak betekent dat er meer ruimte is voor maatwerk, waardoor negatieve effecten op flora en fauna mogelijk beperkt kunnen worden. Daarbij zal altijd voldaan moet worden aan wet- en regelgeving voor bescherming van flora en fauna.

Het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' kenmerkt zich door grootschalige concentratie van energie-infrastructuur, zoals windparken, zonneparken, duurzame centrales en electrolyzers, op locaties die al een nationale opgave kennen, bijvoorbeeld in het rivierengebied en de industriële clusters. Door deze bundeling van ruimtelijke ontwikkelingen, kunnen grote delen van het landschap gespaard blijven, waardoor ook de impact op flora en fauna binnen Brabant beperkt kan blijven. Doordat in De Peel grote zonneparken gecombineerd worden met natuurontwikkeling en landbouwtransitie, kan hier plaatselijk zelfs een toename van biodiversiteit optreden, mits deze ontwikkelingen zorgvuldig worden ingericht. Echter, het risico bestaat dat de grootschalige aanleg en het gebruik van ruimte op deze locaties leidt tot verstoring van bestaande ecosystemen en het verlies van waardevolle habitats, zeker wanneer de inrichting niet optimaal wordt afgestemd op natuurwaarden. In de praktijk zal de impact beperkt zijn, mede doordat voldaan moet worden aan wet- en regelgeving voor bescherming van flora en fauna.

In het alternatief 'Op grote schaal denken' worden de meeste energie-infrastructuren geconcentreerd rond de havengebieden en industriële clusters. Dit biedt kansen om grote delen van het landelijke en agrarische gebied te ontzien en zo de bestaande flora en fauna daar te behouden. De ruimtelijke impact is kleiner en beperkt zich vooral tot de industriële clusters, waardoor het risico op versnippering van natuurgebieden elders in de provincie gering is. Tegelijkertijd brengt de grootschalige concentratie van energie-infrastructuur in de havengebieden en rond Moerdijk wel risico's met zich mee voor de lokale biodiversiteit: daar kunnen bestaande habitats onder druk komen te staan door grootschalige bouwwerkzaamheden, en transport en opslag van energie. Ook hier geldt dat voldaan moet worden aan wet- en regelgeving voor bescherming van flora en fauna. Import van biomassa en biogas kan indirect gevolgen hebben voor biodiversiteit in andere regio's of landen, afhankelijk van de wijze van productie. Ervan uitgaande dat het hier alleen om reststromen gaat, zal deze impact echter beperkt zijn.

Vergelijking van de alternatieven

Vergelijkend kan gesteld worden dat 'Op grote schaal denken' het meeste potentieel biedt om de soortenrijkdom in Brabant te behouden, doordat de ruimtelijke impact op het landschap en natuurgebieden relatief beperkt blijft en geconcentreerd is. 'De grote opgaven gebundeld' kan, mits goed ingericht en gecombineerd met natuurontwikkeling, lokaal kansen bieden voor versterking van biodiversiteit, maar het risico op verstoring blijft bestaan. 'Lokale kracht' kent het risico van versnippering en verstoring op veel verschillende plekken. Aan de andere kant biedt de meer kleinschalige aanpak de meeste kansen voor maatwerk en daarmee lokale versterking van biodiversiteit. De mate waarin de alternatieven bijdragen aan de soortenrijkdom hangt dus sterk af van de wijze van uitvoering en de zorgvuldigheid waarmee ruimtelijke en ecologische belangen worden geïntegreerd. Voor alle alternatieven geldt dat de impact beperkt wordt doordat voldaan moet worden aan wet- en regelgeving voor bescherming van flora en fauna.

7.2.2 Overige aspecten

In deze paragraaf is een korte samenvatting opgenomen van de (milieu)effecten van de systeemalternatieven op de overige (niet maatgevende) aspecten. Voor een uitgebreidere beoordeling per systeemalternatief voor deze aspecten en criteria wordt verwezen naar Bijlage C.

7.2.2.1 Bodem en water

Bodem

Het alternatief 'Lokale kracht' leidt tot een verspreide, maar kleinschalige impact op het bodemsysteem. De cumulatie van vele lokale ingrepen brengt risico's voor diffuse belasting van de bodem, maar biedt kansen voor lokale inpassing en maatwerk. 'De grote opgaven gebundeld' concentreert de impact op enkele grote locaties, waardoor het merendeel van het bodemsysteem wordt ontzien, maar de druk op de bodemkwaliteit in de clusters toeneemt. De koppeling met andere ruimtelijke opgaven biedt echter mogelijkheden voor synergie en bodembehoud. Het alternatief 'Op grote schaal denken' beperkt de ruimtelijke impact vrijwel geheel tot bestaande industriële gebieden, waardoor de bodemkwaliteit in het buitengebied grotendeels behouden blijft. Wel bestaat lokaal het risico op overbelasting door de intensivering van activiteiten. Per saldo scoort 'Op grote schaal denken' het gunstigst op behoud van bodemkwaliteit buiten de clusters, terwijl 'De grote opgaven gebundeld' kansen biedt voor het betrekken van de bodemfuncties in integrale gebiedsontwikkeling en 'Lokale kracht' afhankelijk is van de mate van lokale afstemming en zorgvuldige uitvoering.

Grond- en oppervlaktewater

'Lokale kracht' leidt tot een brede, maar versnipperde ruimtelijke impact op het watersysteem. Dit vergroot de complexiteit van monitoring en beheer, met name op het gebied van grond- en oppervlaktewaterkwaliteit. De kans op lokale incidenten is groter, maar door lokale betrokkenheid zijn maatwerkoplossingen mogelijk. 'De grote opgaven gebundeld' concentreert de effecten in een beperkt aantal gebieden, waardoor centrale monitoring en integrale waterbeheermaatregelen eenvoudiger zijn toe te passen. De risico's per locatie zijn groter, maar het schaalvoordeel biedt meer mogelijkheden om water- en energieopgaven te combineren. 'Op grote schaal denken' beperkt de ruimtelijke impact tot enkele industriële clusters, waardoor de meeste risico's op het watersysteem buiten deze gebieden gering zijn en gericht beheer binnen de clusters mogelijk is. De totale impact op het Brabantse watersysteem is bij dit alternatief het kleinst, mits binnen de clusters strenge milieueisen worden gehanteerd.

Samenvattend scoort 'Lokale kracht' het minst gunstig qua beheersbaarheid van de milieueffecten op het watersysteem door de sterke versnippering, terwijl 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' vooral lokaal grote, maar beter beheersbare effecten kunnen hebben. Het laatste alternatief biedt de meeste kansen voor gerichte bescherming van het watersysteem, mits de concentratie van risico's binnen de clusters adequaat wordt gemanaged.

Klimaatadaptatie

De drie systeemalternatieven verschillen wezenlijk in hun effecten op klimaatadaptatie. 'Lokale kracht' biedt vooral kansen voor lokale integratie van energie- en klimaatopgaven (zoals waterberging, maar kent het risico van versnipperde initiatieven en beperkte coördinatie, waardoor het adaptatiepotentieel niet altijd optimaal wordt benut. 'De grote opgaven gebundeld' maakt het mogelijk om grootschalige synergie te realiseren tussen energie-infrastructuur en waterbeheer, vooral in gebieden met nationale opgaven zoals het rivierengebied. 'Op grote schaal denken' minimaliseert de impact op het landelijke gebied en beperkt zo de druk op waterbergings- en droogteopgaven buiten de havenclusters, maar concentreert de kwetsbaarheid voor zeespiegelstijging en waterveiligheid juist in de meest risicovolle gebieden. De mate waarin kansen worden benut en risico's worden beheerst, hangt in alle gevallen af van de mate van integratie tussen energie- en klimaatadaptatiebeleid en de ruimtelijke afstemming in de uitvoering.

7.2.2.2 Gezonde en veilige leefomgeving

Naast de hieronder behandelde aspecten maakt Geluid ook onderdeel uit van het thema Gezonde en veilige leefomgeving. Geluid is als maatgevend aspect echter apart behandeld in paragraaf 7.2.1.1.

Luchtkwaliteit

De drie systeemalternatieven bieden verschillende benaderingen voor de energietransitie in Brabant, maar hebben een vergelijkbaar effect op de luchtkwaliteit. In alle alternatieven wordt de energieproductie met fossiele brandstof vervangen door duurzaam geproduceerde energie. Wanneer bij de aanleg van de energie-infrastructuur gebruik wordt gemaakt van traditionele aanlegmethoden (op basis van fossiele brandstoffen), kan tijdens de aanleg tijdelijk een

verslechtering van de luchtkwaliteit optreden. Bij 'Lokale kracht' is deze tijdelijke verslechtering beperkt vanwege de kleinschalige initiatieven en vindt deze verspreid over de hele provincie plaats. 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' concentreert de tijdelijke verslechtering in enkele gebieden. Doordat hier sprake is van meer grootschalige initiatieven kan de lokale verslechtering wel groter zijn dan bij 'Lokale kracht'. Effecten kunnen in alle alternatieven echter voorkomen worden door emissiearme technieken toe te passen tijdens de aanleg.

Slagschaduw

Wanneer de alternatieven met elkaar worden vergeleken op het gebied van hinder door slagschaduw, scoort 'Op grote schaal denken' het gunstigst, omdat er na realisatie van de Regionale Energie Strategieën geen extra windturbines op land bijkomen. 'De grote opgaven gebundeld' kent een matig risico: hoewel de hinder lokaal groot kan zijn door clustering van windturbines in het rivierengebied, blijft het totaal aantal getroffen omwonenden beperkt (dunbevolkt gebied) en zijn collectieve maatregelen mogelijk. 'Lokale kracht' brengt het grootste risico met zich mee, doordat de windturbines over veel locaties worden verspreid en daardoor meer mensen kans lopen op hinder, ondanks de mogelijkheden voor lokaal maatwerk en betrokkenheid. In termen van slagschaduwhinder is de concentratie van turbines, mits zorgvuldig gepland, gunstiger dan een brede spreiding, waarbij het alternatief zonder extra windturbines ('Op grote schaal denken') duidelijk de minste effecten door slagschaduw heeft.

Overige gezondheidseffecten (magneetvelden, stress)

Overige gezondheidseffecten van energie-infrastructuur zijn vooral gerelateerd aan magneetvelden en stress. Gezondheidseffecten als gevolg van de magneetvelden rond nieuwe energie-infrastructuur (hoogspanningsverbindingen, hoogspannings- en transformatorstations) worden zeer sterk geminimaliseerd door voldoende afstand te houden tussen de energie-infrastructuur en gevoelige bestemmingen. Deze afstand is gebaseerd op het voorzorgbeleid⁵⁵. Doordat bij alle nieuwe energie-infrastructuur rekening moet worden gehouden met de afstanden uit dit voorzorgbeleid, is er geen relevant verschil tussen de drie systeemalternatieven.

Stress als gevolg van energie-infrastructuur kan ontstaan doordat bewoners zich niet betrokken voelen bij ontwikkelingen en als de verdeling tussen lasten en lusten ongelijk is of als zodanig wordt ervaren. Voor nieuwe ontwikkelingen zoals windparken is het daarom van belang de omgeving te betrekken en de mogelijkheid te geven te participeren. Bij het systeemalternatief 'Lokale kracht' wordt het sterkst ingezet op lokale productie. Dat impliceert meer windparken en grotere kans op negatieve gezondheidseffecten, maar tevens de kans om lokale partijen te betrekken bij de ontwikkeling van windparken en mee te laten profiteren. Daardoor en door bewustwording kan stress worden beperkt. Bij de twee andere systeemalternatieven hebben de grote ingrepen (zoals de maatregelen bij industriële clusters, hoogspanningsverbindingen en -stations) een grotere mentale afstand tot de inwoners en zijn de mogelijkheden voor inwoners om te participeren en (financieel) voordeel te hebben van die ingrepen beperkt. Dit verhoogt het risico op stress als gevolg van zich niet betrokken voelen en/of een onevenredige verdeling tussen lasten en lusten. Wel zorgt de clustering in deze alternatieven ervoor dat minder mensen geraakt worden.

Externe veiligheid

De drie systeemalternatieven verschillen wezenlijk in hun effecten op externe veiligheid. 'Lokale kracht' kent een grote ruimtelijke spreiding van nieuwe risicobronnen, waardoor het plaatsgebonden risico op diverse locaties toeneemt en de kans op groepsrisico's lokaal bestaat, maar verspreid blijft. Dit alternatief vraagt om een fijnmazige en locatie-specifieke benadering van externe veiligheid. 'De grote opgaven gebundeld' concentreert risicobronnen in enkele grote clusters, waardoor het plaatsgebonden risico vooral in deze gebieden toeneemt en het groepsrisico significant wordt door de cumulatie van risicobronnen en mogelijke aanwezigheid van grotere groepen mensen. De bundeling biedt echter kansen voor integrale risicobeheersing. 'Op grote schaal denken' resulteert in een sterke ruimtelijke concentratie van risicobronnen rond de havengebieden, met name Moerdijk en Geertruidenberg, waardoor het plaatsgebonden en groepsrisico hier lokaal toeneemt, maar elders in de provincie gelijk blijft. Dit alternatief biedt mogelijkheden voor efficiënte veiligheidsmaatregelen door de ruimtelijke clustering, maar vereist intensieve monitoring en afstemming met bestaande risicobronnen. Samenvattend geldt dat spreiding ('Lokale kracht') leidt tot een gedifferentieerd risicoprofiel en maatwerk, terwijl clustering ('De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken') de externe veiligheid lokaal onder druk zet, maar kansen biedt voor gerichte risicobeheersing en monitoring.

Luchtvaartveiligheid

De drie systeemalternatieven – 'Lokale kracht', 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' – hebben elk een eigen ruimtelijke invulling van de energietransitie. Deze alternatieven hebben daardoor verschillende invloed op de luchtvaartveiligheid rondom civiele luchthavens (Eindhoven Airport, Breda International Airport, Kempen Airport)

⁵⁵ Zie <https://www.rivm.nl/hoogspanningslijnen/magneetvelden>

en de vier militaire luchthavens (Eindhoven, Gilze-Rijen, Volkel, Woensdrecht). Overigens geldt voor alle alternatieven dat voldaan moet worden aan normen en randvoorwaarden die de luchtvaartveiligheid moeten garanderen, zoals hoogtebeperkingen rond de luchthavens.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' scoort het gunstigst op luchtvaartveiligheid, doordat het de ruimtelijke impact van energie-infrastructuur sterk concentreert in gebieden die niet in de directe omgeving van de genoemde luchthavens liggen en zo risico's voor luchthavens minimaliseert. Ook worden in dit systeemalternatief (na uitvoering van de RES-en) geen extra windturbines op land geplaatst. 'De grote opgaven gebundeld' biedt door clustering en centrale regie eveneens kansen voor risicobeheersing, maar kan lokaal – afhankelijk van de ligging van clusters ten opzichte van luchthavens of radarlocaties – toch relevante risico's opleveren. 'Lokale kracht' kent juist de grootste risico's voor luchtvaartveiligheid, vanwege de brede verspreiding van windturbines en installaties over de provincie, waardoor het aantal potentiële conflicten met het luchtruim en radarlocaties toeneemt. Wel biedt de lokale afstemming in dit alternatief enige kans op maatwerk en mitigatie, maar het algehele risicoprofiel blijft hoger dan bij de andere alternatieven.

7.2.2.3 Economie

Natuurlijke hulpbronnen

Alle alternatieven leiden tot een vervanging van het gebruik van fossiele brandstoffen voor de energievoorziening door duurzame bronnen. 'Lokale kracht' biedt de grootste kans op lokale benutting en stimulering van hernieuwbare bronnen, maar brengt risico's van ruimtelijke versnippering en lokale druk op bijvoorbeeld landbouwgrond met zich mee. 'De grote opgaven gebundeld' realiseert de reductie van fossiel gebruik via centrale, grootschalige inzet van hernieuwbare energie, met het risico van lokale concentratie van effecten op de daar aanwezige hulpbronnen zoals landbouwgrond. 'Op grote schaal denken' minimaliseert de binnenlandse ruimtelijke impact en het gebruik van natuurlijke hulpbronnen in Nederland, maar vergroot de afhankelijkheid van de internationale markt en de onzekerheid over de herkomst en duurzaamheid van geïmporteerde energie. Elk alternatief kent dus zijn eigen kansen voor duurzame benutting van hulpbronnen en risico's op het gebied van milieu-impact.

Circulariteit

Bij circulariteit gaat het over het minimaliseren van afvalstromen en het maximaliseren van hergebruik van materialen, energie en grondstoffen, in dit geval binnen het energiesysteem. Vergelijkend kan worden gesteld dat 'Lokale kracht' vooral kansen biedt voor circulaire oplossingen op kleine schaal en lokaal niveau, maar riskeert versnippering en (mede daardoor) beperkte schaalvoordelen. 'De grote opgaven gebundeld' faciliteert circulaire processen op regionaal en nationaal niveau met efficiënte clustering, maar kan lokale circulaire initiatieven in de verdrukking brengen. 'Op grote schaal denken' benut de voordelen van industriële schaalgrootte en internationale samenwerking voor circulariteit, maar vergroot de afhankelijkheid van importstromen en kan leiden tot minder aandacht voor lokale afvalreductie en hergebruik. Op het gebied van circulariteit scoort 'De grote opgaven gebundeld' het hoogst op grootschalige efficiëntie, 'Lokale kracht' op lokale betrokkenheid en korte kringlopen, en 'Op grote schaal denken' op industriële innovatie, maar met grotere risico's voor lokale circulariteit. Ook hier kent dus elk alternatief zijn eigen kansen voor circulariteit.

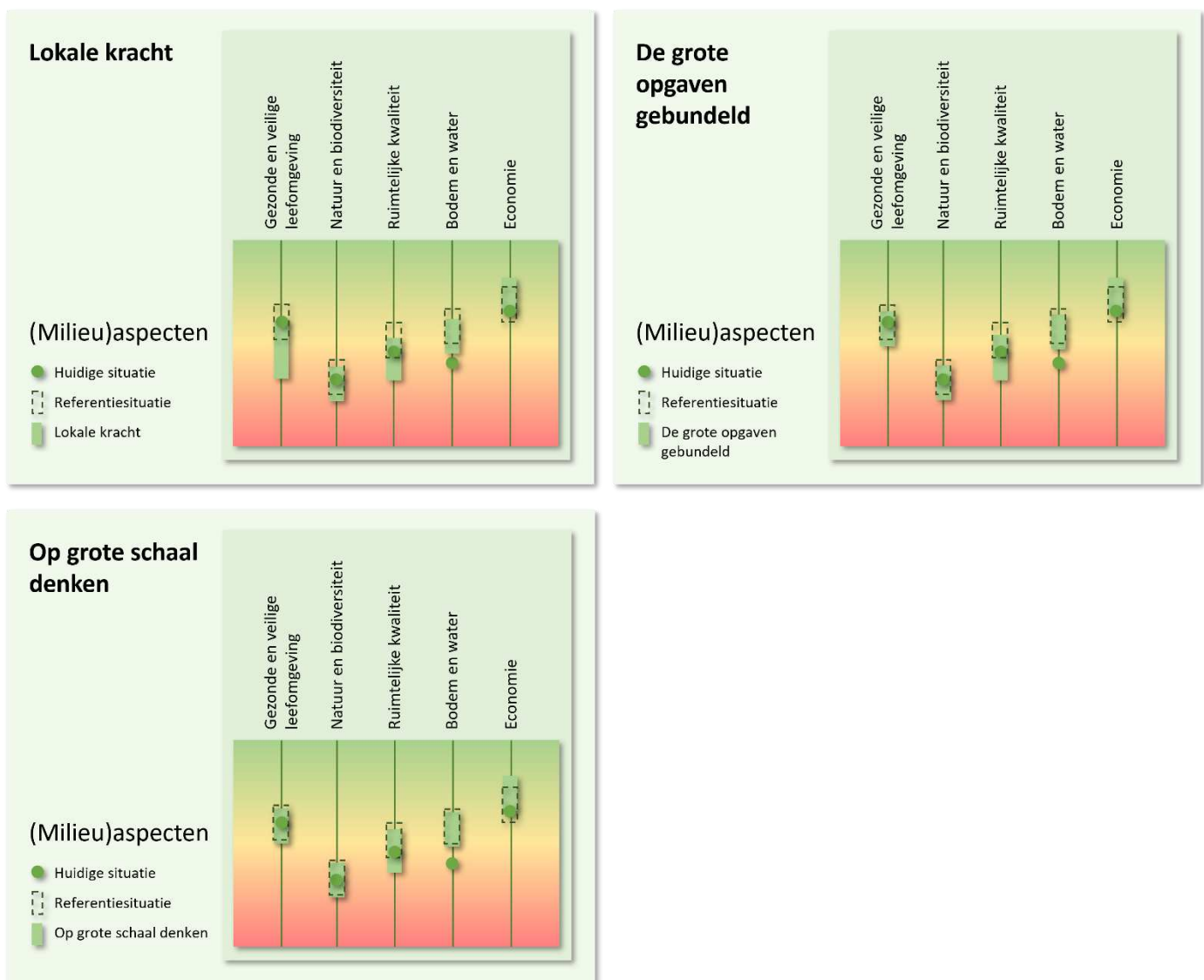
Economische vitaliteit

'Lokale kracht' biedt vooral kansen voor spreiding van economische vitaliteit en versterking van lokale economieën, maar met het risico van versnippering en daardoor ook hogere kosten. 'De grote opgaven gebundeld' scoort sterk op een nationale economische impuls en innovatie in specifieke regio's, maar minder op lokale spreiding en flexibiliteit. 'Op grote schaal denken' biedt vooral economische kansen voor de industriële clusters en havengebieden, met een sterke internationale oriëntatie, maar kan leiden tot regionale ongelijkheid en afhankelijkheid van externe (geopolitieke) factoren. Over het geheel genomen scoort 'De grote opgaven gebundeld' het hoogst op economische vitaliteit in de clusters, terwijl 'Lokale kracht' de meeste kansen biedt voor een brede regionale spreiding van economische activiteiten. 'Op grote schaal denken' is het meest gevoelig voor internationale risico's, maar kan lokaal sterk uitpakken voor de locaties waar de energie-infrastructuur en import wordt geconcentreerd.

7.2.3 Beoordeling (milieu)effecten systeemalternatieven

Figuur 7.10 geeft een visualisatie van de (milieu)effecten van de systeemalternatieven. Te zien is dat alle systeemalternatieven een (beperkt) risico op negatieve effecten hebben op de aspecten Gezonde en veilige leefomgeving, Natuur en biodiversiteit, Ruimtelijke kwaliteit, en Bodem en water. De effecten van 'Lokale kracht' zijn daarbij het grootst omdat er verspreid over de gehele provincie nieuwe energie-infrastructuur wordt aangelegd, met vooral effecten op Geluid en Ruimtelijke kwaliteit. De lokale benadering maakt het wel mogelijk om maatwerk te

leveren en zo effecten zoveel mogelijk te voorkomen. 'De grote opgaven gebundeld' concentreert de energietransitie rond de industriële clusters, het rivierengebied (realisatie windturbines) en De Peel (realisatie zonnepanelen). De rest van Brabant blijft grotendeels gevrijwaard van energie-infrastructuur. 'Op grote schaal denken' brengt de clustering nog verder terug naar de havengebieden en industriële clusters Moerdijk en Geertruidenberg. Hier blijft het overgrote deel van Brabant grotendeels vrij van nieuwe energie-infrastructuur. Alle alternatieven laten een verbetering zien op de economische criteria, vanwege kansen om circulariteit te verbeteren en minder afhankelijk te zijn van natuurlijke hulpbronnen. Ook kunnen lokale bedrijven in alle alternatieven profiteren van de energietransitie. Daarbij is het bij 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' wel van belang om ook de kleinere bedrijven te betrekken, omdat anders het risico bestaat dat alleen grote bedrijven profiteren.



Figuur 7.10 Beoordeling (milieu)effecten systeemalternatieven

7.3 Mitigatie en compensatie

In de voorgaande paragraaf zijn de effecten van de verschillende systeemalternatieven op verschillende (milieu)aspecten beschreven. In deze paragraaf zijn maatregelen benoemd om effecten te voorkomen, beperken of compenseren. Hieronder zijn per aspect de belangrijkste maatregelen samengevat. Omdat de maatregelen zich meer richten op de verschillende bouwstenen voor het energiesysteem, zijn ze (in meer of mindere mate) toepasbaar in alle alternatieven.

7.3.1 Bodem en water

Om effecten op het bodem- en watersysteem te voorkomen of beperken kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- Afstemmen van energieopwekking en -opslag op ruimtelijke plannen en bestaande functies zoals landbouw, natuur en infrastructuur om bodemverstoring en versnippering te beperken.
- Toepassen van bodembeschermende technieken en duurzame installaties om risico's op chemische belasting en verontreiniging van bodem en water te minimaliseren.
- Integreren van energie-infrastructuur met waterbergingsmaatregelen (bijvoorbeeld zonneparken in waterbergingsgebieden) om wateroverlast en kwetsbaarheid voor overstromingen te beperken.
- Behouden van natuurlijke infiltratie en waterkwaliteit door het beperken van verhard oppervlak, het aanleggen van waterbuffers en het toepassen van permeabele verharding.
- Snelle interventie en monitoring bij incidenten (zoals lekkages) door centrale regie of lokale betrokkenheid.
- Aanpakken van bestaande bodemverontreinigingen bij nieuwe ontwikkelingen.
- Rekening houden met bodemleven en ecologische corridors om versnippering van bodemhabitats te voorkomen en bodemvitaliteit te stimuleren.
- Op grootschalige locaties inzetten van geavanceerde technieken zoals containment en lekdetectiesystemen om bodemverontreiniging te voorkomen.

7.3.2 Natuur en biodiversiteit

Om effecten op natuur en biodiversiteit te voorkomen of beperken kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- Betrekken van lokale overheden, stakeholders en ecologische experts bij locatiekeuze en inrichting om gevoelige natuurgebieden te ontzien en projecten af te stemmen op lokale ecologische waarden.
- Natuurinclusief ontwerpen en bouwen, zoals aanleg van bloemrijke randen, faunapassages, beperken van licht- en geluidsverstoring, bouw buiten het broedseizoen en emissiearme uitvoeringstechnieken toepassen, om biodiversiteit te bevorderen en een toename van stikstofdepositie te voorkomen.
- Energievoorzieningen zoveel mogelijk situeren op bestaande bedrijventerreinen en infrastructuur om ruimtebeslag op natuur te voorkomen.
- Integreren van energieprojecten met natuurontwikkeling en andere maatschappelijke opgaven (waterveiligheid, landbouwtransitie) voor lokale versterking van natuurwaarden en compensatie van negatieve effecten.
- Bij grootschalige ontwikkelingen nabij kwetsbare natuurgebieden bufferzones en gerichte monitoring inzetten om lokale piekbelasting en verstoring te voorkomen.

7.3.3 Ruimtelijke kwaliteit

Om effecten op ruimtelijke kwaliteit te voorkomen of beperken kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- Zorgvuldige ruimtelijke inpassing van energievoorzieningen met aandacht voor landschapsstructuren en cultuurhistorische waarden, zodat negatieve effecten op herkomstwaarde en belevingswaarde worden beperkt.
- Lokale participatie en afstemming met gebiedsontwikkelingen om draagvlak te vergroten en versnippering te voorkomen.
- Flexibele, adaptieve planning en monitoring om efficiënt bij te sturen op negatieve effecten en daarmee toekomstbestendigheid te waarborgen.
- Maatwerk bij locatiekeuze, afgestemd op functies als landbouw, recreatie en natuur, om conflicten en versnippering van (de gebruikswaarde van) het landschap te voorkomen.
- Integrale gebiedsontwikkeling en koppeling van functies (energie, natuur, landbouw, waterveiligheid) voor efficiënt ruimtegebruik en versterking van de toekomstwaarde.
- Esthetische en herkenbare inpassing van energievoorzieningen, vooral in industriële clusters, om belevingswaarde en identiteit te verhogen.
- Zorgvuldige inrichting van clustergebieden om verlies aan lokale karakteristieken te beperken en lokale waarden te behouden.
- Communicatie en participatie met lokale stakeholders, ook in industriële gebieden, om belevingswaarde te bewaken en maatwerkoplossingen vorm te geven.

7.3.4 Gezonde en veilige leefomgeving

Om effecten op een gezonde en veilige leefomgeving te voorkomen of beperken kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- Verminderen van geluidhinder, slagschaduw, stress en veiligheidsrisico's bij de plaatsing van windturbines door maatwerk in locatiekeuze en toepassing van innovatieve technische oplossingen zoals stilstandvoorzieningen.
- Strikte naleving van luchtvaartveiligheidsnormen en afstemming met luchthavenbeheerders om risico's voor luchtvaartveiligheid te voorkomen.
- Hanteren van het voorzorgbeleid bij realisatie van energie-infrastructuur die magneetvelden kan veroorzaken.
- Maatwerkafspraken over externe veiligheid en risicobeheersing, zoals veiligheidsafstanden, extra monitoring en ruimtelijke ordening rond installaties.
- In het verlengde daarvan: centrale regie en integrale veiligheidsmaatregelen rond clusters, zoals gezamenlijke noodplannen en optimaliseren van afstanden tot kwetsbare objecten.
- Clustering van energieprojecten op industriële locaties en in minder dichtbevolkte gebieden om hinder voor woongebieden (met name door geluid) te beperken; collectieve maatregelen toepassen waar hinder lokaal geconcentreerd is.
- Beperken van tijdelijke emissies tijdens de aanlegfase door emissiebeperkende technieken.

7.3.5 Economie

Om effecten op de economie te voorkomen of beperken kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- Stimuleren van lokale samenwerking en kennisdeling tussen gemeenten, bedrijven en coöperaties om versnippering van initiatieven te voorkomen, efficiëntie te vergroten en schaalvoordelen te realiseren.
- Faciliteren van ruimtelijke inpassing en participatie van omwonenden bij energieprojecten om conflicten rond ruimtegebruik te beperken en het draagvlak te verhogen.
- Ondersteunen van lokale innovatie en ondernemerschap door subsidies en experimenteerruimte, wat de regionale economie en werkgelegenheid versterkt.
- Stimuleren van circulaire processen en restwarmtebenutting in industriële clusters.
- Betrekken van lokale partijen bij grootschalige projecten om economische groei regionaal te spreiden.
- Diversifiëren van internationale leveranciers van duurzame energiedragers om leveringszekerheid te verhogen en afhankelijkheid te beperken.

8 Voorkeursalternatief Brabants Energieperspectief 2050

8.1 Totstandkoming voorkeursalternatief

De uiteindelijke invulling van het Energieperspectief kan in het kader van dit planMER gezien worden als het voorkeursalternatief van de provincie om de doelstellingen te bereiken. Zoals in paragraaf 2.1.1 is aangegeven vormt het Energieperspectief een aanvulling (addendum) op het bestaande provinciale energiebeleid uit de Energieagenda 2019-2030. De hoofddoelstellingen die in de Energieagenda zijn opgenomen vormen dan ook het uitgangspunt voor het beleid in het Energieperspectief. Dit betekent dat in 2030 ten minste 50% van het energieverbruik duurzaam moet zijn opgewekt. In 2050 moet dit 100% zijn, grotendeels afkomstig uit Noord-Brabant zelf, waarbij een reductie van 90% van de CO₂-uitstoot moet worden gerealiseerd ten opzichte van 1990.

Zoals in paragraaf 2.4.1 is aangegeven is het beleid in het Energieperspectief gebaseerd op de drie Brabantse waarden voor het energiesysteem (Betrouwbaar, Betaalbaar en Omgevingsbewust) en een zestal leidende principes, die samen hebben geleid tot vier uitgangspunten voor het Energiesysteem, namelijk:

1. Het systeem is rechtvaardig;
2. Het systeem is ruimtelijk ingepast;
3. Het systeem is hybride;
4. Het systeem is flexibel.

Op basis van deze uitgangspunten zijn in het Energieperspectief bestuurlijke keuzes op hoofdlijnen gemaakt, die samen het in dit planMER beoordeelde voorkeursalternatief vormen. Dit voorkeursalternatief is in de volgende paragraaf toegelicht.

8.2 Toelichting voorkeursalternatief

In deze paragraaf is een toelichting opgenomen op de belangrijkste bestuurlijke keuzes uit het Energieperspectief. Daarbij wordt in paragraaf 8.2.1 en 8.2.2 ingegaan op keuzes voor het energiesysteem zelf (de in te zetten energiemix en bestuurlijke keuzes op hoofdlijnen over het energiesysteem). Paragraaf 8.2.3 gaat in op de veranderende rol van de provincie, als regisseur van de energietransitie.

8.2.1 Energievormen en -mix

Energiesysteem als één geheel bekijken

Het energiesysteem van de toekomst vraagt om een brede en samenhangende kijk op energie én op de ruimte waarin het systeem zich ontwikkelt. In een betrouwbaar energiesysteem is energie beschikbaar op het moment dat iemand erom vraagt. Maar die vraag is niet altijd hetzelfde: soms is er veel energie nodig, soms weinig. Ook verschilt de vraag per plek. Daarom moet het systeem flexibel zijn en kunnen omgaan met veranderingen op verschillende niveaus. Denk bijvoorbeeld aan een piek in stroomverbruik in een straat tijdens het koken, een groot evenement in een stad, of een koude winterdag in heel Brabant.

Tegelijk zijn niet alle energiebronnen even makkelijk te regelen. Een gascentrale kan vrij eenvoudig aan- of uitgezet worden. Maar duurzame bronnen zoals zon en wind zijn afhankelijk van het weer en het tijdstip. Die bronnen zijn dus niet zomaar aan te sturen. Daarom moeten alle energiebronnen samen zorgen voor een goede balans, zodat het systeem altijd genoeg energie kan leveren.

Omdat zowel de vraag als het aanbod van energie steeds verandert—per bron en in totaal—is het belangrijk om het energiesysteem als één geheel te bekijken. Alleen dan kan het goed ontworpen en beheerd worden.

Energiemix in 2050

Brabant heeft verschillende soorten energie nodig om aan haar toekomstige behoeften te voldoen. Denk bijvoorbeeld aan elektriciteit, waterstof, warmte en biogas. Dit worden energiedragers genoemd. Niet elke energiedrager is geschikt voor elke toepassing. Zo is elektriciteit handig voor huishoudens en lichte voertuigen, terwijl waterstof beter past bij zware industrie of transport. De provincie kiest daarom bewust welke energiedrager ze waar inzet. Figuur 8.1 geeft per sector aan wat de voorkeursvolgorde is voor de in te zetten energiedragers.

Gebouwde omgeving Warmte voor ruimteverwarming en tapwater	Industrie lage temperatuur Lage temperatuur productieprocessen	Industrie hoge temperatuur Hoge temperatuur productieprocessen	Mobiliteit Verduurzamen voertuigbrandstoffen	Landbouw Warmte glastuinbouw
Voorkeursvolgorde voor inzet van dragers				
1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas waar geen alternatieve beschikbaar zijn (zoals monumentale panden) 4. Géén gebruik van waterstof	1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas 4. Bij voorkeur géén gebruik van waterstof	1. Waterstof 2. Groen gas 3. Elektrificatie	1. Elektrificatie voor alle modaliteiten 2. Biobrandstoffen als transitie voor wegvervoer en scheepvaart, en lange termijn luchtvaart 3. Mogelijk waterstof voor zwaar wegtransport, voor scheepvaart en luchtvaart	1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas 4. Géén gebruik van waterstof

Figuur 8.1 Voorkeursvolgorde energiedragers per sector

Door deze voorkeursvolgorde te combineren met de verwachte energievraag in 2050 voor de verschillende sectoren, is in beeld gebracht hoeveel energie er per energiedrager nodig is. Dit wordt de energiemix genoemd: de combinatie van alle energiedragers en de verhouding daartussen. De verwachte energiemix in 2050 is weergegeven in Figuur 8.2. Hieronder wordt per energiedrager een toelichting gegeven hoe aan de verwachte vraag in 2050 wordt voldaan. In het Energieperspectief is voor elk van de energiedragers een kaartbeeld opgenomen dat een globaal beeld geeft van de ruimtelijke invulling van het energiesysteem voor de betreffende energiedrager, zie Figuur 8.3 voor elektriciteit, Figuur 8.4 voor warmte en Figuur 8.5 voor duurzame moleculen (waterstof en groen gas). Daarnaast is een overzichtskaart opgenomen voor het gehele energiesysteem zie Figuur 8.6.

Elektriciteit

In 2050 zal iets meer dan de helft van de energiemix in Brabant bestaan uit elektriciteit (zie Figuur 8.2), opgewekt via wind, zon en innovatieve technieken zoals kleine kernreactoren (SMR's, zie tekstkader). Niet alle elektriciteit wordt lokaal geproduceerd; een deel wordt geïmporteerd, bijvoorbeeld via aanlandingen wind op zee. De provincie zet echter wel in op meer lokale opwekking voor lokale economische voordelen en betrouwbaarheid.

Om het elektriciteitsnet stabiel te houden, investeert de provincie in zowel grote als kleine elektriciteitsopslag, zoals batterijen bij hoogspanningsstations en bedrijventerreinen. Daarnaast is een forse uitbreiding van de elektriciteitsinfrastructuur nodig, waarbij prioriteit wordt gegeven aan Powerport Moerdijk en de Metropoolregio Eindhoven. Goede samenwerking tussen overheden en netbeheerders is essentieel voor deze ontwikkelingen.

Small Modular Reactors (SMR's)

De provincie Noord-Brabant heeft door NRG PALLAS een ruimtelijk onderzoek uit laten voeren naar de potentie voor kernenergie en SMR's in het bijzonder, binnen de provincie Noord-Brabant. Het Internationaal Atoom Energie Agentschap van de Verenigde Naties (IAEA) definieert een SMR op basis van het elektrisch vermogen, namelijk een vermogen tot ongeveer 300 MW_e. In Nederland wordt een grens van 500 MW_e gehanteerd voor SMR's, omdat dit de grens is voor rijksgecoördineerde energieprojecten. De term modulair duidt op een aantal specifieke ontwerpaspecten voor SMR's. Zo kan een SMR bestaan uit modules die in een fabriek in serie geproduceerd worden, wat tot lagere bouwkosten kan leiden. Ook kunnen meerdere kleine reactoren worden aangestuurd vanuit een enkele regelzaal (multi-module). Daarnaast kunnen SMR's ook (flexibel) ingezet worden voor verschillende energiefuncties zoals elektriciteit en (proces-)warmte, waarmee diverse toepassingen mogelijk zijn (zoals waterstofproductie, warmtenetten en ontzilting).

Het ruimtelijk onderzoek naar SMR's laat zien dat kernenergie – en in het bijzonder SMR's – op termijn een relevante bijdrage kan leveren aan het Brabantse energiesysteem. SMR's bieden kansen voor leveringszekerheid, CO₂-reductie en lokale energievoorziening, met name in industrieclusters en bij grote energiegebruikers. Tegelijkertijd vraagt de ruimtelijke en maatschappelijke inpassing om een zorgvuldige en proactieve voorbereiding. In het energieperspectief geeft de provincie aan de komende jaren actief in te zetten op vervolgonderzoek: naar geschikte locaties, ruimtelijke randvoorwaarden, koelwaterbeschikbaarheid en maatschappelijke acceptatie. Daarbij sluit de provincie aan op de nationale SMR-visie, waarin het Rijk werkt aan kaders voor bevoegd gezag, ruimtelijk beleid en ondersteuning van regionale initiatieven. De provincie positioneert zichzelf als actieve partner in deze ontwikkeling, zodat ze tijdig kan sturen op ruimtelijke condities en maatschappelijke randvoorwaarden. In paragraaf 9.2.2 van dit planMER is een gevoeligheidsanalyse opgenomen voor een scenario waarin de provincie inzet op SMR's om in een deel van de energievraag te voorzien.

Warmte

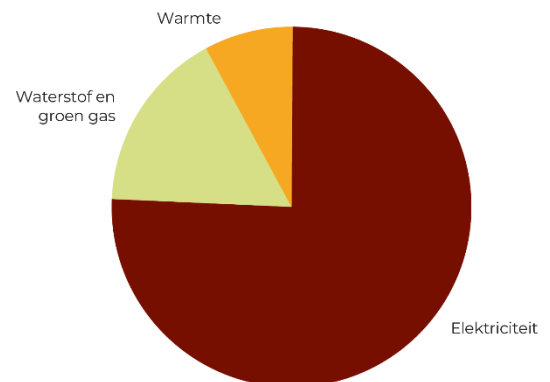
In 2050 vormt warmte een klein maar essentieel deel van de Brabantse energiemix, vooral voor woningen, glastuinbouw en industrie. Ongeveer 30% van de huizen zal dan op een collectief warmtenet zijn aangesloten. Door energiebesparing en efficiëntere processen daalt de totale warmtevraag iets, maar blijft warmte belangrijk voor de energietransitie.

De provincie heeft kansrijke locaties voor warmtenetten aangegeven, met in stedelijke gebieden vooral gebruik van industriële restwarmte en geothermie, en in kleinere dorpen lokale duurzame bronnen, zoals restwarmte, aardwarmte, warmte uit oppervlaktewater (aquathermie) en zonthermie.

Groen gas en waterstof (duurzame moleculen)

De provincie zet in op de aanleg van grootschalige infrastructuur voor de import, doorvoer en distributie van groene waterstof (de 'waterstofbackbone', waaronder de Delta Rhine Corridor). Productie van groene waterstof is opgestart en wordt geproduceerd met volledig duurzame bronnen.

Groen gas speelt in 2050 een beperkte rol in de energiemix en wordt op grote schaal geproduceerd op bedrijventerreinen en (kleinschalig) op locatie bij agrariërs. Vanwege de verwachte krimp van de veehouderij nemen de reststromen voor het produceren van groen gas af. Groen gas wordt daarom gezien als een waardevolle aanvulling in situaties waar andere duurzame opties lastig zijn, maar is niet onmisbaar pijler in het toekomstige energiesysteem.



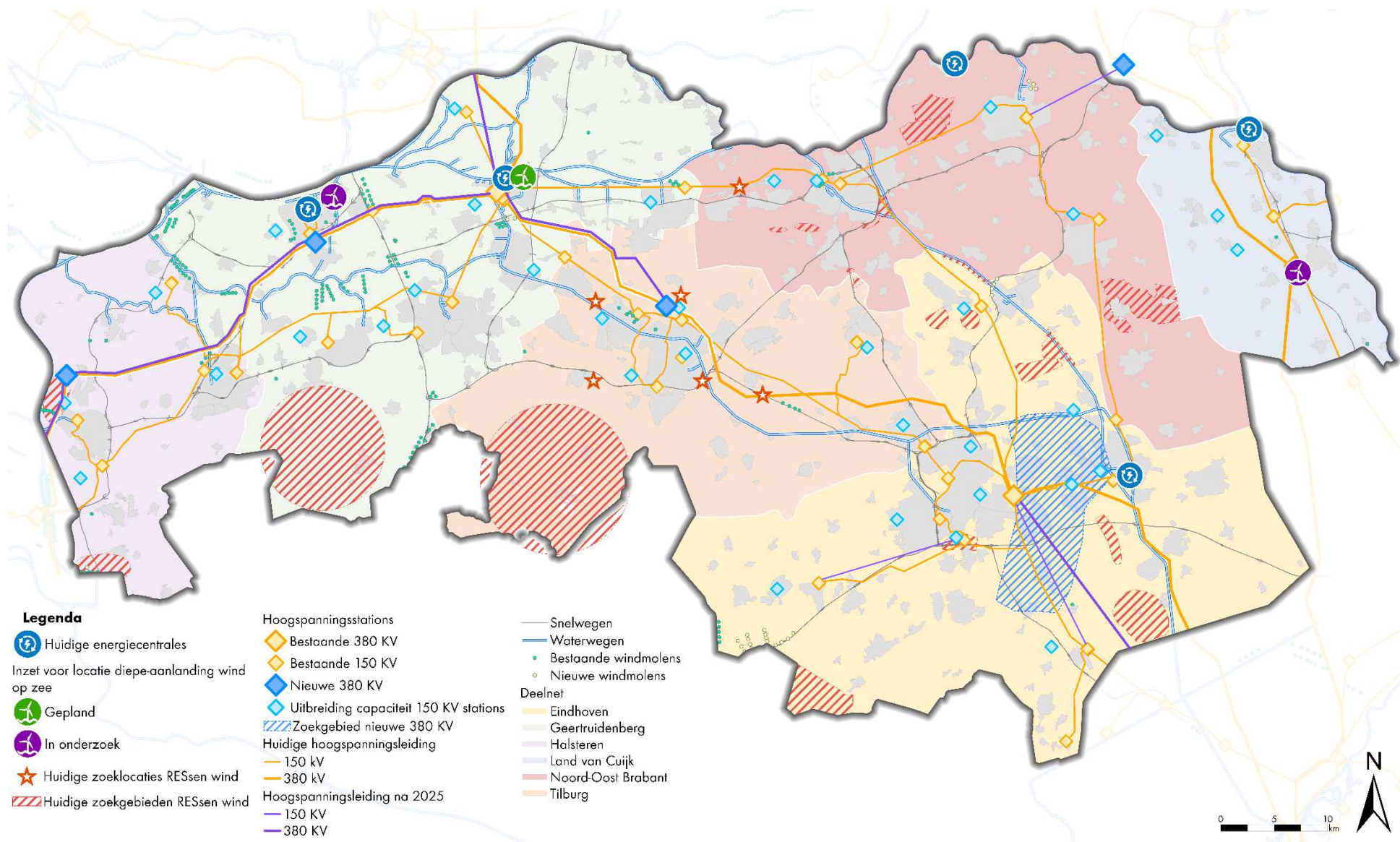
Figuur 8.2 Verwachte energiemix in 2050

8.2.2 Bestuurlijke keuzes op hoofdlijnen

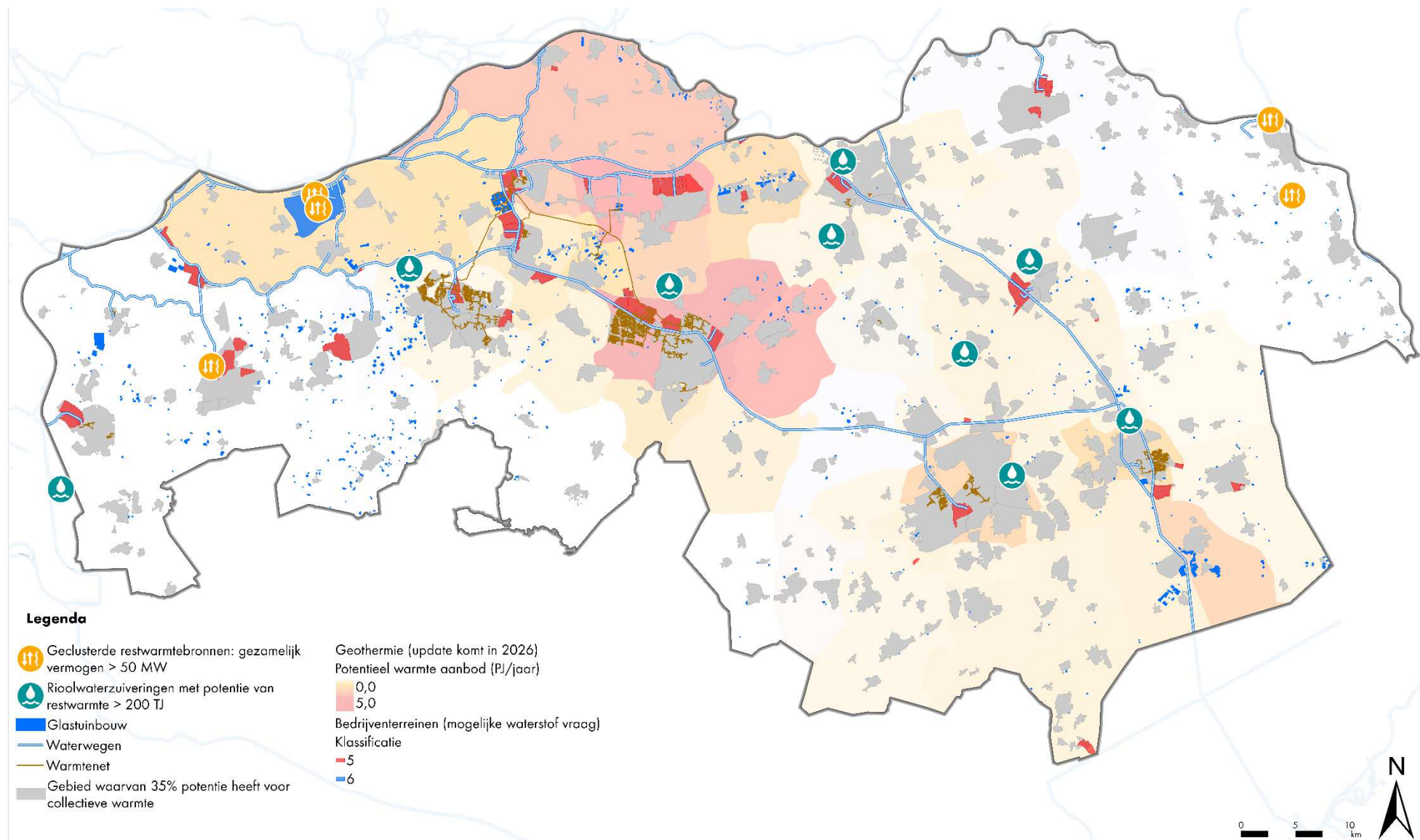
Om in 2050 te komen tot een energiesysteem dat voldoet aan de vier eerder genoemde uitgangspunten (rechtvaardig, ruimtelijk ingepast, hybride en flexibel) kent de provincie een aantal aandachtspunten. Zo mist op dit moment een **koppeling tussen de ruimtelijke opgaven voor energie en andere sectoren** waaronder wonen, werken, landbouw, natuur, bodem, water en defensie. Ook is **rechtvaardigheid onvoldoende geborgd** in beleid en uitvoering, waardoor niet iedereen mee kan doen of meeprofiteert van de energietransitie. Verder mist de provincie mogelijkheden voor **bestuurlijke doorzettingskracht**, doordat de provincie vaak geen formele rol heeft in de besluitvorming, zie ook Bijlage B. Ten slotte ontbreekt een **investeringsstrategie voor de lange termijn**.

Om deze aandachtspunten op te pakken moet de provincie haar rol als regisseur van de energietransitie actiever invullen, wat vraagt om concrete bestuurlijke keuzes. Het Energieperspectief benoemt hiervoor de volgende keuzes:

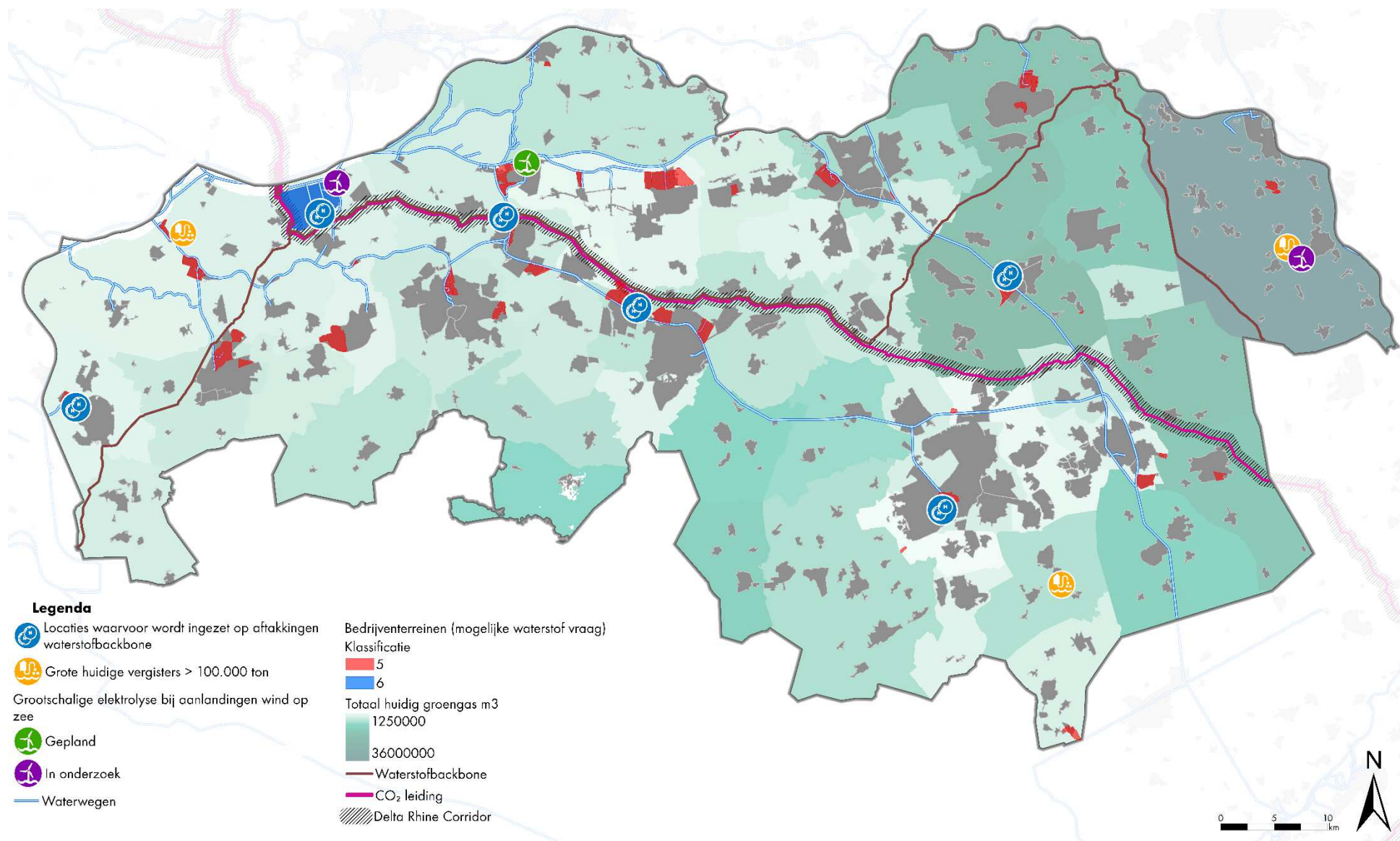
- **Energie als sturend principe in ruimtelijke ontwikkeling:** energie en ruimte zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden en moeten voortaan in samenhang worden geprogrammeerd.
- **Provinciale regie op collectieve warmtevoorziening:** de provincie neemt verantwoordelijkheid voor de inrichting en versnelling van warmtenetten.
- **Prioritering van netcapaciteit:** via pMIEK en energietoetsen wordt gestuurd op slimme benutting en uitbreiding van het elektriciteitsnet.
- **Inzet op regionale waterstofclusters:** de provincie faciliteert de ontwikkeling van infrastructuur en toepassingen.
- **Structurele verankering van energiebesparing:** besparing wordt een vast onderdeel van omgevingsbeleid en investeringsprogramma's.
- **Vorbereiding op kernenergie:** ruimtelijke en maatschappelijke afwegingen worden tijdig gestart.
- **Borging van participatie en rechtvaardigheid:** energiebeleid wordt sociaal inclusief en democratisch gelegitimeerd.
- **Ontwikkeling van een provinciale investeringsstrategie energie:** publieke en private middelen worden gericht en duurzaam ingezet.
- **Versterking van bestuurlijke regie:** via een Energyboard en gebiedsgerichte sturing wordt regie geborgd.



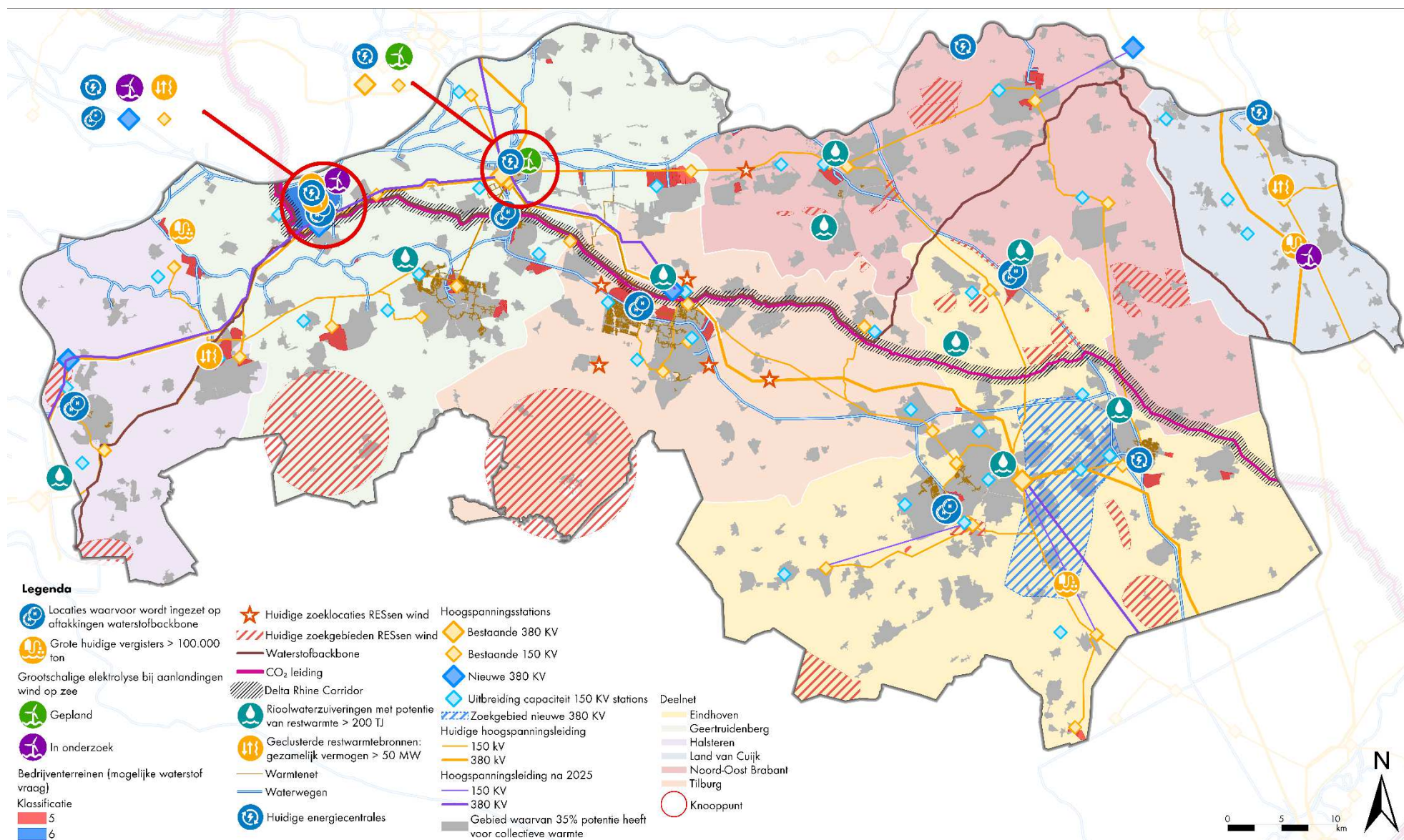
Figuur 8.3 Globaal ruimtelijk beeld voor de energiedrager elektriciteit



Figuur 8.4 Globaal ruimtelijk beeld voor de energiedrager warmte



Figuur 8.5 Globaal ruimtelijk beeld voor de energiedrager duurzame moleculen (waterstof en groen gas)



Figuur 8.6 Globaal ruimtelijk overzichtsbeeld van het energiesysteem van de toekomst

8.2.3 De provincie als regisseur van de energietransitie

Het energieperspectief beschrijft hoe de rol van de provincie Noord-Brabant in de energietransitie verandert en steeds meer richting regie en sturing beweegt. Waar de provincie voorheen vooral faciliteerde en partijen verbond, wordt nu een actieve regierol opgepakt. Dit betekent dat de provincie niet alleen richting geeft, maar ook strategische keuzes maakt, toetsingskaders ontwikkelt en financiële instrumenten inzet. De provincie bereidt zich voor op risicodragende deelname in publieke energievoorzieningen, zoals een regionaal warmtebedrijf, en gebruikt haar bevoegdheden om daadwerkelijk richting te geven aan het energiesysteem. Daarbij wordt niet langer naar losse projecten gekeken, maar worden integrale keuzes gemaakt waarbij energiedragers, infrastructuur en ruimtelijke gevolgen in samenhang worden afgewogen. De provincie stemt haar beleid af met andere maatschappelijke opgaven, zoals stikstof, water, wonen, mobiliteit, landbouw, defensie en economie, en erkent dat hiervoor meer structurele capaciteit en financiële middelen nodig zijn.

De provincie als schakel tussen nationaal en regionaal energiesysteem

Als schakel tussen het nationale en regionale energiesysteem verbindt de provincie landelijke kaders, zoals het Nationaal Plan Energiesysteem, het Programma Energiehoofdstructuur (PEH)⁵⁶ en NOVEX⁵⁷, met regionale en lokale energieopgaven. Via het Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (pMIEK) wordt deze verbinding concreet gemaakt en wordt de benodigde energie-infrastructuur geprogrammeerd. De provincie stuurt op samenhang tussen energie en ruimte, met ruimte voor gebiedsgerichte keuzes en flexibiliteit om bij te sturen op basis van nieuwe inzichten en ontwikkelingen.

Ruimtelijke sturing op energie-infrastructuur

Energie wordt verankerd in de omgevingsvisie en omgevingsverordening, en strategische clusters zoals Powerport Moerdijk en Brainport krijgen prioriteit in netcapaciteit en infrastructuur. Warmtenetten en de waterstofbackbone worden gebiedsgericht ontwikkeld, en de provincie zet haar rol als bevoegd gezag actief in bij ruimtelijke procedures rondom de aanleg en uitbreiding van energie-infrastructuur. Samenhang wordt gecreëerd met andere domeinen zoals water, bodem, landbouw, defensie en economie.

Partnerschap en samenwerking als fundament

Partnerschap en samenwerking vormen het fundament van de energietransitie in Brabant. Gemeenten, netbeheerders, bedrijven, maatschappelijke organisaties en inwoners zijn onmisbaar, en hun samenwerking wordt intensiever naarmate de provincie een meer sturende en uitvoerende rol pakt. Binnen kaders als de Interbestuurlijke Samenwerkingsagenda en NOVEX-gebieden wordt steeds duidelijker afgestemd welke taken, rollen en instrumenten bij het Rijk, de provincie, waterschappen en gemeenten horen. Netbeheerders worden aangespoord tot een proactieve houding. De provincie kiest bewust voor gerichte regie, waarbij bestuurlijk lef wordt getoond door knelpunten te benoemen, keuzes te maken en richting te geven, met respect voor de rol van RES-regio's en gemeenten. Het Brabantbrede Bestuurlijk Overleg Energie (BBOE) wordt het centrale platform voor afstemming, besluitvorming en uitvoering, waarmee bestuurlijke legitimiteit en versnelling van de energietransitie worden geborgd, met oog voor maatschappelijke meerwaarde.

8.3 Doelbereik en (milieu)effecten voorkeursalternatief

In deze paragraaf wordt ingegaan op het te verwachten doelbereik en de te verwachten (milieu)effecten van het voorkeursalternatief. Vanwege de gelijkenissen tussen het voorkeursalternatief en de eerder onderzochte systeem- en sturingsalternatieven, is geen compleet nieuwe beoordeling voor het voorkeursalternatief uitgevoerd. In paragraaf 8.3.1 is eerst een vergelijking opgenomen tussen de invulling van het voorkeursalternatief en de eerder onderzochte alternatieven. Vervolgens beschrijven de paragrafen 8.3.2 en 8.3.3 wat deze verschillen betekenen voor respectievelijk het doelbereik en de milieueffecten.

8.3.1 Vergelijking voorkeursalternatief en onderzochte alternatieven

Het voorkeursalternatief heeft de meeste gelijkenis met het systeemalternatief 'Lokale kracht' en het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'. Zoals in paragraaf 10.1 is aangegeven is deze combinatie

⁵⁶ <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/peh>

⁵⁷ <https://www.ruimtelijkeordening.nl/onderwerpen/novex>

ook het meest kansrijk om de doelstellingen voor de energietransitie te behalen. Het is dan ook logisch dat deze combinatie als basis is gekozen voor het Energieperspectief.

Overeenkomsten en verschillen voorkeursalternatief en systeemalternatief 'Lokale kracht'

Zowel het voorkeursalternatief als het systeemalternatief 'Lokale kracht' onderstrepen het belang van flexibiliteit in het energiesysteem, zodat vraag en aanbod op verschillende niveaus goed op elkaar kunnen worden afgestemd. Dit komt vooral doordat beide alternatieven focussen op lokale opwekking (zoals zon op dak, zon op veld, wind op land, en het gebruik van lokale warmtebronnen) en een decentrale energievoorziening, met een hoge mate van zelfvoorzienendheid. Energieopwekking, -opslag en -conversie vindt daarbij verspreid plaats over de gehele provincie. Het voorkeursalternatief richt zich, naast deze lokale initiatieven ook op clustering, bijvoorbeeld voor collectieve warmtenetten en realisatie van regionale waterstofclusters. Ook legt het voorkeursalternatief een duidelijke koppeling met andere beleidsvelden en opgaven binnen de provincie, bijvoorbeeld op het gebied van water, bodem, landbouw, defensie en economie. Ten slotte bereid het voorkeursalternatief zich voor op de mogelijke toepassing van SMR's in het energiesysteem.

Overeenkomsten en verschillen voorkeursalternatief en sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'

Qua sturing kan het voorkeursalternatief eigenlijk gezien worden als een nadere uitwerking van het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'. Op hoofdlijnen verschillen deze niet van elkaar, maar het voorkeursalternatief bevat wel een explicietere uitwerking van de actieve regierol die de provincie Noord-Brabant oppakt in de energietransitie. In het Voorkeursalternatief heeft de provincie een centrale rol als regisseur, stelt concrete bestuurlijke keuzes en ontwikkelt toetsingskaders en investeringsstrategieën. Daarnaast is in het voorkeursalternatief ook sturing op sociale inclusie, rechtvaardigheid en participatie opgenomen in het energiebeleid. Dit komt minder expliciet naar voren in het sturingsalternatief 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'.

8.3.2 Doelbereik voorkeursalternatief

Doelbereik voorkeursalternatief versus combinatie 'Lokale kracht' en 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'

De verschillen tussen het Voorkeursalternatief en de combinatie van 'Lokale kracht' en 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' hebben invloed op de mate waarin de hoofddoelstellingen en neven-doelstellingen van het Energieperspectief behaald kunnen worden. Hoewel beide sterk inzetten op lokale opwekking en decentrale energievoorziening, biedt het Voorkeursalternatief door zijn integrale, provinciale regierol en expliciete koppeling met andere ruimtelijke en maatschappelijke opgaven een aantal duidelijke voordelen voor het doelbereik.

Sturing op doelbereik en effectiviteit

Doordat de provincie in het Voorkeursalternatief een centrale regierol vervult, kunnen ruimtelijke, sociale en economische opgaven beter op elkaar worden afgestemd. Dit maakt het mogelijk om de opwekking, opslag en distributie van duurzame energie efficiënter te organiseren en te clusteren, waardoor negatieve effecten, zoals versnippering van het landschap door verspreide initiatieven, kunnen worden beperkt. Deze centrale sturing vergroot de kans dat de gestelde doelen voor duurzame energieopwekking daadwerkelijk gehaald worden, omdat de provincie zelf aan het stuur staat en knelpunten tijdig kan signaleren en bijsturen.

Betrouwbaarheid en flexibiliteit van het energiesysteem

Een belangrijk verschil is dat het Voorkeursalternatief energie als sturend principe in de ruimtelijke ontwikkeling positioneert en inzet op samenhang tussen energiedragers, infrastructuur en maatschappelijke opgaven. Hierdoor ontstaat een robuuster en flexibeler energiesysteem dat beter bestand is tegen fluctuaties in vraag en aanbod, en dat sneller kan inspelen op crises of conflicten. Ook de expliciete voorbereiding op kernenergie (SMR's) in het Voorkeursalternatief draagt bij aan leveringszekerheid en CO₂-reductie, wat de betrouwbaarheid van het systeem verder vergroot.

Betaalbaarheid en rechtvaardigheid

Het Voorkeursalternatief onderscheidt zich door expliciete aandacht voor participatie, sociale inclusie en een eerlijke verdeling van lusten en lasten. Door structureel te sturen op betaalbaarheid en brede financiële participatie, wordt de kans vergroot dat de energievoorziening voor alle huishoudens en bedrijven toegankelijk en betaalbaar blijft. Dit is essentieel om maatschappelijk draagvlak te behouden, investeringen eerlijk te verdelen en de energietransitie breed gedragen te krijgen.

Provinciale regie op warmte en waterstof

Door provinciale regie op de ontwikkeling van collectieve warmtenetten en waterstofinfrastructuur, zoals de waterstofbackbone en regionale productieclusters, kunnen schaalvoordelen worden benut en kunnen investeringen efficiënter en doelmatiger worden ingezet. Dit vergroot de kans dat de nevendoelstellingen, zoals betrouwbaarheid, voorspelbaarheid en betaalbaarheid van energie, worden gerealiseerd en dat de energietransitie ook op de langere termijn toekomstbestendig is.

Vergelijking van de alternatieven

Uit het voorgaande blijkt dat het Voorkeursalternatief de provincie meer mogelijkheden biedt om te sturen op het behalen van doelstellingen dan de combinatie van 'Lokale kracht' en 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)'. De integrale benadering, centrale regie en expliciete aandacht voor sociale en ruimtelijke inpassing vergroten de kans op een succesvolle, duurzame en breed gedragen energietransitie in Noord-Brabant.

Resterende risico's

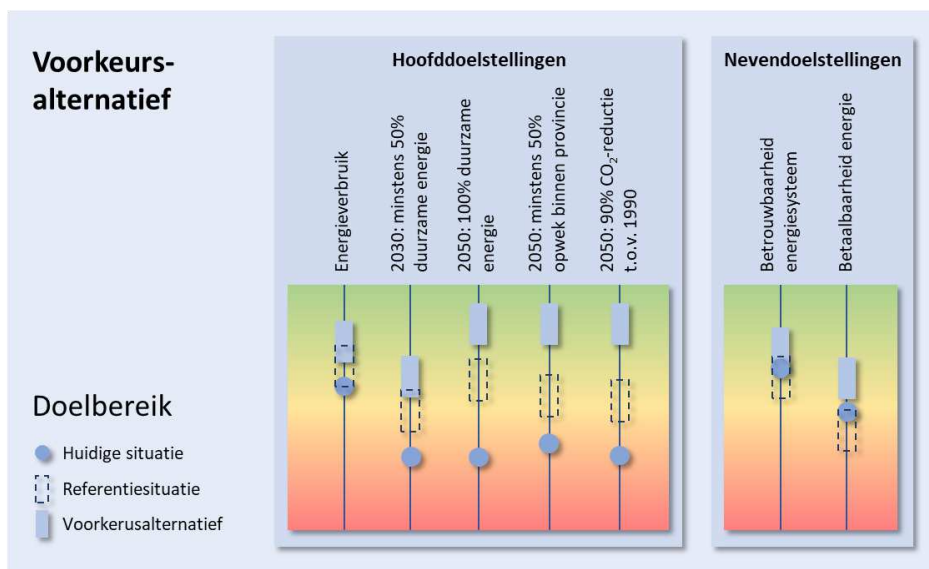
Ondanks dat het voorkeursalternatief een solide basis legt voor het realiseren van de hoofd- en nevendoelstellingen richting 2030 en 2050, blijven er wel enkele risico's bestaan. Deze risico's hebben voornamelijk te maken met de onzekerheden van toekomstige ontwikkelingen en de effectiviteit van het beleid. De resterende risico's ten aanzien van de doelstellingen zijn:

- **Hoofddoelstellingen:**
 - **50% duurzame energie in 2030:** De beleidskeuzes richten zich sterk op het versnellen van de uitrol van duurzame energiebronnen, met nadruk op lokale opwekking van elektriciteit via zon, wind en innovatieve technieken (zoals SMR's). De prioritering van netcapaciteit (via pMIEK en energietoetsen) en de provinciale regie op collectieve warmtevoorziening zijn kansrijke maatregelen om het tempo van verduurzaming te verhogen. Echter, de afhankelijkheid van ruimtelijke procedures en maatschappelijke inpassing (o.a. weerstand tegen windmolens en grootschalige zonneparken) vormt een aanzienlijk risico voor het tijdig behalen van de 50%-doelstelling. De focus op energiebesparing en efficiëntere processen biedt additionele kansen, maar is kwetsbaar bij onvoldoende participatie of vertraagde uitvoering op lokaal niveau.
 - **100% duurzame energie (grotendeels uit Noord-Brabant) in 2050:** De gekozen energiemix voor 2050 (elektriciteit, waterstof, warmte en groen gas) is breed en biedt flexibiliteit om op veranderende technologische en economische omstandigheden in te spelen. Het actief voorbereiden op kernenergie (SMR's), investeren in (groene) waterstof-infrastructuur en het stimuleren van lokale productie dragen bij aan het verhogen van de zelfvoorzieningsgraad. Risico's liggen in de onzekerheid over technologische doorbraken, beschikbaarheid van duurzame grondstoffen (vooral voor waterstof en groen gas), en de mate waarin import van energiedragers nodig blijft. Ook kan de ruimtelijke inpassing van infrastructuur (zoals de waterstofbackbone en warmtenetten) tot vertragingen leiden bij gebrekkige coördinatie of maatschappelijke weerstand.
 - **90% CO₂-reductie t.o.v. 1990 in 2050:** De combinatie van elektrificatie, waterstof, warmtenetten en energiebesparing biedt een robuust pad richting forse CO₂-reductie. De inzet op industriële clusters, restwarmtebenutting en de productie van groene waterstof zijn hierbij essentieel. De grootste risico's zijn vertraging in de verduurzaming van de industrie, beperkte beschikbaarheid van duurzame energiebronnen en eventuele tegenvallende technologische innovatie. Ook de afname van reststromen voor groen gas (door krimp van de veehouderij) kan het tempo van CO₂-reductie beïnvloeden, al zijn deze effecten deels op te vangen met alternatieven, bijvoorbeeld door andere biomassa te vergisten (bijvoorbeeld organisch afval uit de voedingsmiddelenindustrie, tuinafval, of slib uit waterzuiveringsinstallaties) of de inzet op waterstof te vergroten.
- **Nevendoelstellingen:**
 - **Betrouwbaar energiesysteem:** Het voorkeursalternatief zet in op flexibiliteit (o.a. opslag in batterijen, inzet van SMR's, waterstof) en diversificatie van energiedragers, wat de leveringszekerheid versterkt. De prioritering van strategische clusters (Powerport Moerdijk, Metropoolregio Eindhoven) borgt de betrouwbaarheid van het systeem voor kritieke sectoren. Resterende risico's zijn onder meer congestie op het elektriciteitsnet, afhankelijkheid van weersafhankelijke bronnen en het tempo van netverzwaring. De provinciale regie op netontwikkeling en de samenwerking met netbeheerders zijn cruciale succesfactoren voor een betrouwbaar energiesysteem.
 - **Betaalbare energie:** De mix van eigen opwekking, infrastructuurontwikkeling en energiebesparing in het voorkeursalternatief draagt bij aan het beperken van systeemkosten op de lange termijn. De inzet op collectieve warmtevoorzieningen en regionale waterstofclusters kan schaalvoordelen opleveren. Tegelijkertijd brengen investeringen in nieuwe infrastructuur en technologieën (zoals SMR's) hoge aanvangskosten met zich mee. Onzekerheden in landelijke financiering en fluctuaties in energieprijzen vormen additionele risico's voor de betaalbaarheid.

- **Omgevingsbewust energiesysteem:** Door energie als sturend principe in de ruimtelijke ontwikkeling te positioneren en te koppelen aan andere beleidsdomeinen (zoals water, bodem, landbouw, defensie en economie), wordt een integrale aanpak gestimuleerd. Dit creëert kansen voor synergie, maar brengt ook het risico van complexe afwegingen en vertragingen indien belangen botsen. Aanwijzing van strategische clusters en gebiedsgerichte ontwikkeling (zoals voor waterstof en warmte) bieden focus, mits deze ruimtelijk en maatschappelijk zorgvuldig worden ingepast.
- **Overkoepelende risico's:**
 - **Ruimtelijke invulling energiesysteem:** De ruimtelijke keuzes in het voorkeursalternatief, zoals de focus op lokale opwekking van elektriciteit via zon, wind en innovatieve technieken (zoals SMR's), de prioritering van netcapaciteit voor economische clusters en de gebiedsgerichte aanleg van warmtenetten en waterstofinfrastructuur, dragen direct bij aan het behalen van de hoofd- en neven doelstellingen. Door energie-infrastructuur te verankeren in de omgevingsvisie en -verordening wordt versnippering voorkomen en samenhang gecreëerd met andere ruimtelijke opgaven. Er blijven echter risico's op vertraging door lange procedures, maatschappelijke weerstand en beperkte beschikbaarheid van geschikte locaties. Een proactieve, integrale ruimtelijke programmering is essentieel om deze risico's te beperken.
 - **Sturingsinstrumenten provincie:** De provincie versterkt haar regierol door het ontwikkelen van toetsingskaders, het inzetten van financiële instrumenten (o.a. risicodragende deelname in publieke energievoorzieningen) en het opzetten van een Energyboard voor gebiedsgerichte sturing. Via het pMIEK worden investeringen in energie-infrastructuur programmatisch aangepakt. Deze instrumenten vergroten de slagkracht en coördinatie, mits ze gepaard gaan met voldoende capaciteit, bevoegdheden en structurele middelen. De effectiviteit hangt af van de samenwerking met gemeenten, netbeheerders en het Rijk, en van het vermogen om bestuurlijke knelpunten snel te signaleren en op te lossen.

Conclusie

De voorgaande beoordeling van het voorkeursalternatief toont aan dat Noord-Brabant met haar gekozen beleidsmaatregelen en sturingsinstrumenten een flinke stap zet richting het realiseren van de hoofd- en neven doelstellingen in 2030 en 2050, zie Figuur 8.7. De provincie zet in op versnelling van duurzame energie, flexibiliteit in de energiemix, robuuste CO₂-reductie en een integrale aanpak van ruimtelijke en maatschappelijke aspecten.



Figuur 8.7 Beoordeling doelbereik voorkeursalternatief

Desondanks zijn er enkele resterende risico's die het behalen van de doelstellingen kunnen vertragen of bemoeilijken. Vertraging door ruimtelijke procedures, maatschappelijke weerstand, technologische onzekerheden en de noodzaak tot intensieve samenwerking vormen de grootste uitdagingen. Ook de betaalbaarheid en leveringszekerheid van het energiesysteem blijven kwetsbaar door fluctuaties in prijzen en afhankelijkheid van innovatieve technieken.

Als de provincie haar regierol effectief invult, bestuurlijke knelpunten tijdig oplost en voldoende capaciteit en middelen mobiliseert, zijn de kansen om de gestelde doelen te halen groot. Echter, het succes hangt af van adaptief beleid,

maatschappelijke acceptatie en het vermogen om flexibel in te spelen op onvoorziene ontwikkelingen. Een integrale, programmatische aanpak en sterke samenwerking zijn daarmee onmisbaar voor het realiseren van een duurzaam, betrouwbaar, betaalbaar en omgevingsbewust energiesysteem in Noord-Brabant.

8.3.3 (Milieu)effecten voorkeursalternatief

De milieueffecten van het voorkeursalternatief zijn vergelijkbaar aan die van het systeemalternatief 'Lokale kracht' doordat beide focussen op lokale opwekking en een decentrale energievoorziening. Dit betekent dat er verspreid over de gehele provincie nieuwe energie-infrastructuur wordt aangelegd, met vooral effecten op Geluid en Ruimtelijke kwaliteit. De lokale benadering bemoeilijkt de provinciale regie op initiatieven als de realisatie van windturbines, maar maakt het ook mogelijk om maatwerk te leveren en zo effecten zoveel mogelijk te voorkomen. De in paragraaf 8.3.1 beschreven verschillen tussen het Voorkeursalternatief en de combinatie van 'Lokale kracht' en 'Provincie regisseert, stimuleert en reguleert (waar nodig)' hebben echter een positieve invloed op in paragraaf 7.2 beschreven milieueffecten van het systeemalternatief 'Lokale kracht'. Dit is hieronder toegelicht.

Ruimtelijke spreiding versus clustering

In beide alternatieven is de ruimtelijke impact groot, maar in 'Lokale kracht' zijn de effecten meer verspreid over de provincie, doordat veel kleine initiatieven worden gerealiseerd. Het voorkeursalternatief richt zich ook op lokale en regionale initiatieven, maar doet dit op een meer geclusterde manier, onder andere door de koppeling aan andere beleidsvelden en opgaven. Ten opzichte van systeemalternatief 'Lokale kracht' neemt daardoor de ruimtelijke versnippering af, waardoor de geconstateerde (milieu)effecten minder verspreid aanwezig zullen zijn.

Regie en integraliteit

Het Voorkeursalternatief biedt door de actieve regierol van de provincie meer mogelijkheden om bij concrete projecten op (milieu)effecten te sturen en ze te beperken, bijvoorbeeld door clustering van infrastructuur, slimme ruimtelijke inpassing en koppeling met andere opgaven (zoals natuurontwikkeling en waterbeheer). Dit kan leiden tot een efficiënter gebruik van de ruimte en minder negatieve milieueffecten op kwetsbare gebieden.

Betere afstemming en schaalvoordelen

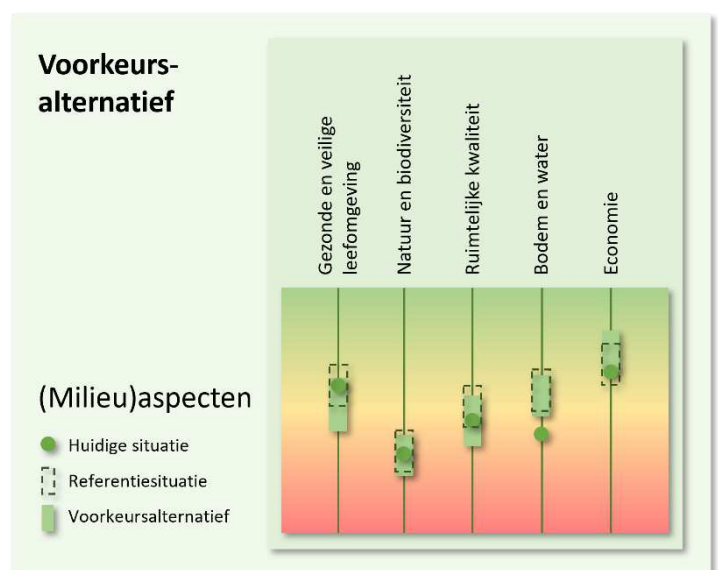
Door integrale afwegingen te maken, energie als sturend principe te hanteren en ontwikkelingen te clusteren (bijvoorbeeld voor waterstof), kunnen in het Voorkeursalternatief schaalvoordelen worden benut, waardoor bijvoorbeeld minder infrastructuur nodig is en milieueffecten per eenheid opgewekte energie kunnen verminderen.

Vorbereiding op kernenergie

De mogelijkheid tot inzet van SMR's in het Voorkeursalternatief kan op de langere termijn bijdragen aan CO₂-reductie en leveringszekerheid. Dit kan de milieueffecten van het energiesysteem verder beperken.

Conclusie

Het Voorkeursalternatief en 'Lokale kracht' lijken sterk op elkaar door hun focus op lokale opwekking en decentrale energievoorziening. De verschillen tussen het voorkeursalternatief en systeemalternatief 'Lokale kracht' maken het echter mogelijk om de (milieu)effecten van de energietransitie beter te sturen, te beperken en maatschappelijk te verankeren. Dit vergroot de kans op een succesvolle, duurzame en breed gedragen energietransitie in Noord-Brabant. Desondanks blijven de milieueffecten van het voorkeursalternatief vergelijkbaar aan die van het systeemalternatief 'Lokale kracht', zie Figuur 8.8. Wel zullen ze in mindere mate optreden. De in paragraaf 10.2 beschreven aanbevelingen vanuit de beoordeling van de milieueffecten van de systeemalternatieven blijven echter van kracht.



Figuur 8.8 Beoordeling (milieu)effecten voorkeursalternatief

9 Gevoeligheidsanalyses onzekere ontwikkelingen

Over de toekomst is nog veel onzeker. Dat geldt zeker voor de ontwikkeling van het energiesysteem van de toekomst. In dit hoofdstuk is een beschouwing opgenomen van een aantal onzekere ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op het toekomstige energiesysteem. In algemene zin is het zaak om de ontwikkelingen goed in de gaten te houden en daar adaptief op te reageren, zie ook paragraaf 11.2 Monitoring en evaluatie. De ontwikkelingen in deze paragraaf zijn opgedeeld in onzekerheid over de ontwikkeling van vraag en aanbod, en onzekerheden over specifieke innovatieve technieken.

9.1 Vraag en aanbod energie

9.1.1 Energiebesparing

De energievraag in Brabant is afhankelijk van tal van factoren, waaronder economische groei in de provincie, technologische ontwikkelingen, het aanbod van fossiele energie in de wereld, het gedrag van inwoners en bedrijven, en het effect van provinciaal beleid. Een belangrijke onzekerheid is de mate waarin energiebesparing daadwerkelijk wordt gerealiseerd. Deze onzekerheid komt voort uit het tempo waarin bestaande gebouwen en industrieën worden verduurzaamd, de snelheid van innovatie, de prijsontwikkeling van fossiele en duurzame energie, en het gedrag van eindgebruikers. Wanneer energiebesparing sneller of grootschaliger plaatsvindt dan in de basisraming is aangenomen, kan de totale energievraag aanzienlijk lager uitvallen dan verwacht.

Deze lagere energievraag heeft directe gevolgen voor de hoofdsysteemkeuzes die in het Energieperspectief 2050 zijn beschreven. Systemen en infrastructuur zijn immers ontworpen op basis van een bepaalde vraagprognose. Een structureel lagere energievraag kan betekenen dat geplande investeringen in grootschalige infrastructuur, zoals warmtenetten, elektrolysefaciliteiten of de waterstofbackbone, mogelijk te ruim bemeten zijn. Dit kan leiden tot overcapaciteit en hogere kosten per eenheid geleverde energie. Tegelijkertijd biedt het kansen om investeringen te faseren of te verkleinen, waardoor onnodige kosten worden voorkomen.

Voor het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 impliceert een lagere energievraag dat de transitie naar een duurzaam energiesysteem wellicht met minder ingrijpende aanpassingen kan plaatsvinden. De druk op het ontwikkelen van nieuwe bronnen en infrastructuur neemt af, waardoor het energiesysteem compacter en overzichtelijker kan worden ingericht. Ook kan een lagere vraag de afhankelijkheid van schaarse of kostbare bronnen, zoals groene waterstof of diepe geothermie, verminderen. Dit draagt bij aan een robuuster en weerbaarder systeem, waarin lokale bronnen en decentrale oplossingen mogelijk een grotere rol krijgen.

Wat betreft de milieueffecten heeft een lagere energievraag over het algemeen positieve gevolgen. Minder productie en transport van energie betekent minder uitstoot van broeikasgassen en andere schadelijke stoffen, minder ruimtebeslag voor infrastructuur en bronnen, en minder impact op natuur en landschap. Ook de behoefte aan grootschalige opslagfaciliteiten neemt af, wat het ruimtegebruik en de milieudruk verder kan verlichten. Het energiesysteem wordt hierdoor niet alleen duurzamer, maar ook beter inpasbaar in de omgeving.

9.1.2 Balans tussen vraag en aanbod van energie

Een belangrijke onzekerheid in het toekomstige energiesysteem is de mate waarin vraag en aanbod van energie op elk moment met elkaar in balans zijn. Deze onzekerheid komt voort uit meerdere factoren, zoals de variabiliteit van hernieuwbare energiebronnen (zon en wind), veranderend consumentengedrag, technologische ontwikkelingen in opslag en flexibiliteit, en bijvoorbeeld onverwacht strenge winters. Met name het fluctuerende karakter van duurzame bronnen zorgt ervoor dat het aanbod niet altijd synchroon loopt met de vraag, wat kan leiden tot periodes van zowel overschot als tekort. Onbalans kan binnen een specifieke tijd plaatsvinden: er is dan een piek in de vraag, die door het energiesysteem niet kan worden getransporteerd of opgewekt. Onbalans kan ook over seizoenen plaatsvinden: als er in de zomer onvoldoende energie kan worden opgeslagen of geïmporteerd, dan is het mogelijk dat er in de winter onvoldoende aanbod is.

Voor de hoofdsysteemkeuzes uit het Energieperspectief 2050 betekent deze onbalans dat er meer nadruk komt te liggen op flexibiliteitsopties binnen het systeem. Dit kan onder andere het opschalen van energieopslag, de inzet van vraagsturing en flexibiliteitsmarkten, of het realiseren van interconnecties met andere regio's omvatten. Daarnaast kan het nodig zijn om investeringen in infrastructuur aan te passen, bijvoorbeeld door warmtenetten en waterstofbackbone zo te ontwerpen dat ze pieken en dalen in vraag en aanbod kunnen opvangen, of door back-upcapaciteit in te bouwen.

voor momenten van schaarste. Het risico bestaat dat zonder voldoende flexibiliteit delen van de infrastructuur onderbenut raken of juist overbelast worden.

In het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 heeft een structurele onbalans tussen vraag en aanbod ingrijpende gevolgen. Een energiesysteem dat onvoldoende in staat is om fluctuaties op te vangen, wordt minder robuust en minder betrouwbaar. Dit kan de acceptatie van duurzame energiebronnen onder druk zetten, en mogelijk de transitie vertragen. Anderzijds stimuleert het zoeken naar oplossingen voor onbalans juist innovatie, bijvoorbeeld op het gebied van slimme netwerken, lokale opslag en decentrale opwekking. Zo kan onbalans uiteindelijk leiden tot een meer gediversifieerd en adaptief energiesysteem, mits tijdig wordt geanticipeerd op deze onzekerheid.

De milieueffecten van onbalans tussen vraag en aanbod zijn tweeledig. Enerzijds kan overproductie leiden tot verspilling van energie (curtailment), waarbij bijvoorbeeld windturbines stilgezet worden en potentieel duurzame energie verloren gaat. Dit heeft een negatieve impact op de efficiëntie en benutting van bronnen. Anderzijds kunnen bij tekorten fossiele back-upinstallaties vaker ingezet worden, met extra uitstoot van broeikasgassen en luchtvervuilende stoffen tot gevolg. Ook kan een grotere behoefte aan opslag en transport leiden tot meer ruimtegebruik en impact op natuur en landschap. Het zal nodig zijn om meer decentraal energie op te slaan, of om de transportcapaciteit verder te vergroten. Bij curtailment ontstaan er kansen voor de seizoensopslag van erg goedkope warmte overproductie in de zomer te benutten. Het optimaal balanceren van vraag en aanbod is daarmee niet alleen een technische, maar ook een omgevingsopgave binnen de energietransitie.

9.1.3 Import en export van energie

Import van energie

Een belangrijke onzekerheid in het toekomstige energiesysteem is de mate waarin energiedragers (zoals waterstof) geïmporteerd kunnen worden, als gevolg van geopolitieke spanningen. Deze onzekerheid komt voort uit internationale politieke ontwikkelingen, handelsconflicten en instabiliteit in landen die als belangrijke exporteurs van energie fungeren. Schommelingen in internationale betrekkingen kunnen ertoe leiden dat importstromen plotseling beperkt worden of zelfs geheel wegvallen, waardoor het energiesysteem in Brabant ontregeld wordt.

Voor de hoofdsysteemkeuzes uit het Energieperspectief 2050 betekent een verminderde import van energie dat er meer nadruk komt te liggen op het vergroten van de productiecapaciteit en op het beperken van de energievraag. Het kan noodzakelijk zijn om sneller in te zetten op eigen waterstofproductie via elektrolyse, het benutten van alternatieve duurzame bronnen zoals biogas en geothermie, en het stimuleren van energiebesparing en vraagsturing. Daarnaast zullen investeringen in infrastructuur aangepast moeten worden, bijvoorbeeld door de waterstofbackbone flexibeler te maken, zodat deze ook lokale productie kan faciliteren en minder afhankelijk wordt van internationale toevoer. Het risico bestaat dat delen van de infrastructuur onderbenut raken of dat er juist tekorten ontstaan bij piekvraag. Anderzijds zal een beperkte mogelijkheid voor import gevolgen hebben voor de economische ontwikkeling van de provincie: de provincie zal niet aantrekkelijk zijn voor energie-intensieve processen.

In het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 kan een structurele beperking van import leiden tot een grotere nadruk op zelfvoorzienendheid en regionale samenwerking. Het energiesysteem zal robuuster en flexibeler moeten worden om schokken in internationale leveringen op te vangen. Dit kan de transitie richting duurzame energie versnellen, omdat de afhankelijkheid van fossiele en geïmporteerde energiedragers afneemt. Tegelijkertijd bestaat het risico dat de energietransitie vertraagt als alternatieve bronnen niet snel genoeg opgeschaald kunnen worden of als kosten sterk oplopen door schaarste.

De milieueffecten van beperkte import zijn divers. Enerzijds kan het stimuleren van lokale productie leiden tot een hogere benutting van duurzame bronnen, wat positief is voor de reductie van broeikasgassen. Anderzijds kan er bij een tekort aan import een grotere druk ontstaan om bestaande fossiele installaties in te zetten, met negatieve gevolgen voor luchtkwaliteit en klimaat. Ook kunnen extra investeringen in opslag en transport nodig zijn, wat impact heeft op ruimtegebruik, natuur en landschap.

Export van energie

Een scenario waarin Nederland energie gaat exporteren en Brabant een cruciale rol krijgt als doorvoerregio voor elektriciteit en waterstof brengt nieuwe onzekerheden met zich mee. Deze onzekerheid hangt samen met internationale marktontwikkelingen, fluctuerende vraag vanuit buurlanden, veranderende Europese energiepolitiek en

technologische innovatie in grensoverschrijdende infrastructuur. Vooral de mate waarin Nederland structureel als exporteur kan optreden, en Brabant als logistiek knooppunt kan functioneren, wordt beïnvloed door externe factoren zoals investeringsbeslissingen, regelgeving en beleidskeuzes van buurlanden.

Voor de hoofdsysteemkeuzes uit het Energieperspectief 2050 betekent een exportgericht scenario dat het Brabantse energiesysteem flexibeler en schaalbaar moet worden ingericht. Het accent verschuift naar het versterken van transportcapaciteit, het optimaliseren van interconnecties met het buitenland en het vergroten van de betrouwbaarheid van doorvoerstromen. Dit kan leiden tot extra investeringen in netverzwaring, conversie- en opslagfaciliteiten, en het integreren van slimme sturingsmechanismen om pieken in export en doorvoer efficiënt te managen. Tegelijkertijd ontstaat het risico dat lokale energievoorziening onder druk komt te staan bij prioritering van internationale export: het is mogelijk dat hierdoor de netcongestie op het 380kV netwerk van TenneT toeneemt, waardoor ook het regionale transportnet onvoldoende kan verzwaren.

In het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 kan Brabant zich ontwikkelen tot een belangrijke schakel in het Europese energienetwerk. Dit biedt kansen voor economische groei en innovatie, maar vraagt om een robuuste, adaptieve infrastructuur die niet alleen gericht is op export, maar ook op lokale behoeften. Structurele export kan de transitie richting duurzame energie versnellen, doordat grootschalige productie van windenergie en waterstof efficiënter wordt benut. Tegelijkertijd bestaat het risico dat Brabant vooral een transportregio wordt, waardoor lokale meerwaarde en zeggenschap kunnen afnemen. Regionale samenwerking en afstemming zijn daarom essentieel om evenwicht te houden tussen internationale ambities en provinciale belangen.

De milieueffecten van een exportscenario zijn vooral zichtbaar in het transport van energie. Grootschalige doorvoer vraagt om uitbreiding van netwerken, aanleg van nieuwe leidingen en conversiestations, en intensief ruimtegebruik. Dit kan leiden tot aantasting van natuur, landschap en leefomgeving.

9.1.4 Mate van elektrificatie

Een scenario waarin de vraag naar elektriciteit sterker toeneemt dan vooraf ingeschat, bijvoorbeeld door een versnelde elektrificatie van zowel industrie als huishoudens, brengt belangrijke onzekerheden met zich mee. Deze onzekerheid vloeit voort uit factoren als technologische innovaties (zoals de snellere adoptie van elektrische voertuigen en warmtepompen), veranderend beleid, verscherpte klimaatdoelen en het tempo waarin industrieën overstappen van fossiele brandstoffen naar elektriciteit. Ook onverwachte economische groei of gedragsveranderingen bij consumenten kunnen leiden tot een hoger elektriciteitsverbruik dan voorzien.

Voor de hoofdsysteemkeuzes uit het Energieperspectief 2050 betekent een fors hogere elektriciteitsvraag dat het Brabantse energiesysteem sneller en grootschaliger moet worden uitgebreid en aangepast. De nadruk komt te liggen op het vergroten van de opwekkingscapaciteit met duurzame bronnen zoals wind en zon, het vergroten van netverzwaringen, en het realiseren van meer flexibiliteit via grootschalige opslag (zoals batterijen of waterstofproductie via elektrolyse). Daarnaast wordt het essentieel om vraagsturing en slimme netwerken in te zetten, zodat pieken in het verbruik beter kunnen worden opgevangen en het systeem veerkrachtig blijft.

In het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 leidt een sterk toenemende elektriciteitsvraag tot een transitie waarin Brabant zich ontwikkelt tot een regio met een zeer hoog aandeel duurzame elektriciteit en een uitgebreid, flexibel netwerksysteem. Dit biedt kansen voor economische groei, innovatie, en het aantrekken van nieuwe bedrijven die zich richten op elektrificatie en energietechnologie. Tegelijkertijd ontstaat het risico dat de infrastructuur achterloopt op de groeiende vraag, met mogelijke congestie, hogere kosten en vertragingen in de energietransitie. Regionale samenwerking wordt nog belangrijker om investeringen en netuitbreidingen ruimtelijk goed op elkaar af te stemmen.

De milieueffecten van een scenario met een hogere elektriciteitsvraag zijn veelzijdig. Enerzijds kan versnelling van duurzame opwekking de uitstoot van broeikasgassen verder reduceren en de afhankelijkheid van fossiele bronnen verkleinen. Anderzijds brengt de uitbreiding van netwerken, de aanleg van nieuwe energie-infrastructuur en de bouw van extra opslagfaciliteiten een groter beslag op ruimte, natuur en landschap met zich mee. Ook bestaat het risico dat bij een tekort aan duurzame opwekcapaciteit tijdelijk meer gebruik wordt gemaakt van fossiele centrales om aan de vraag te voldoen, wat negatieve gevolgen kan hebben voor luchtkwaliteit en klimaat. Het optimaal balanceren van groeiende vraag, duurzame opwek en ruimtelijke inpassing blijft daarmee een centrale uitdaging binnen de energietransitie.

9.2 Innovatieve technieken

9.2.1 CO₂-opslag

Een scenario waarin Brabant sterker inzet op de mogelijkheden om CO₂ af te vangen en op te slaan (CCS), brengt specifieke onzekerheden met zich mee. De grootste onzekerheid zit in de technische haalbaarheid en schaalbaarheid van CCS, de beschikbaarheid en veiligheid van opslaglocaties en de maatschappelijke acceptatie van dergelijke projecten. Daarnaast is het internationale en nationale beleid omtrent CO₂-afvang en -opslag nog volop in ontwikkeling, waardoor investeringszekerheid en langetermijnperspectief beperkt zijn. Ook zijn de kosten van CCS-technologieën relatief hoog en fluctuerend, afhankelijk van marktontwikkelingen, innovatietempo en regelgeving. Onzekerheid ontstaat dus uit technologische, economische, beleidsmatige en sociale factoren.

Voor de hoofdsysteemkeuzes uit het Energieperspectief 2050 betekent een sterke focus op CCS dat fossiele brandstoffen langer in het Brabantse energiesysteem blijven, maar zonder directe uitstoot van broeikasgassen. Dit kan ertoe leiden dat minder snel wordt overgeschakeld op volledig duurzame bronnen zoals wind, zon, geothermie of aquathermie, en dat bestaande infrastructuur voor aardgas en andere fossiele energiedragers langer wordt benut. Tegelijkertijd moet het energiesysteem flexibel blijven om toekomstige transitie naar volledig duurzame alternatieven mogelijk te maken, want zijn beperkt voorradig en het is de verwachting dat deze in de toekomst te kostbaar zullen zijn.

In het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 resulteert een versnelde inzet op CO₂-afvang en -opslag in een energiesysteem dat langer leunt op fossiele bronnen, maar waarbij de netto-uitstoot van broeikasgassen sterk wordt gereduceerd. Tegelijkertijd bestaat het risico dat de transitie naar een volledig duurzame energievoorziening vertraagt, waardoor Brabant minder snel koploper wordt in hernieuwbare energie. Het toekomstbeeld wordt dus gekenmerkt door een hybride systeem met zowel fossiele als duurzame componenten, waarbij de rol van CCS centraal staat om de reductiedoelen te behalen.

De milieueffecten van een scenario met sterke inzet op CO₂-afvang en -opslag zijn onzeker. Enerzijds worden emissies van broeikasgassen aanzienlijk verminderd, wat positief uitwerkt op het klimaat en de luchtkwaliteit. Anderzijds blijft het ruimtegebruik voor fossiele infrastructuur en CCS-installaties groot, en kunnen er risico's ontstaan rond de opslag van CO₂, zoals lekkages of aantasting van ondergrondse ecosystemen. De opslagfaciliteiten, het transport en de verwerking van CO₂ vragen om extra leidingen en conversiestations, wat impact heeft op landschap en natuur. Het gebruik van fossiele bronnen wordt weliswaar emissievrij gemaakt, maar het systeem blijft afhankelijk van winning, import en verwerking van fossiele brandstoffen.

9.2.2 Small Modular Reactors (SMR's)

Een scenario waarin Brabant inzet op Small Modular Reactors (SMR's) om in een deel van de energievraag te voorzien, brengt specifieke onzekerheden met zich mee. De grootste onzekerheid betreft de technologische volwassenheid en het tempo waarin SMR's commercieel inzetbaar zijn. SMR's bevinden zich nog grotendeels in de ontwikkelfase, waardoor zowel de operationele betrouwbaarheid als de uiteindelijke kosten en bouw tijden lastig zijn in te schatten. Daarnaast is er onzekerheid rond de maatschappelijke acceptatie, gezien het debat over kernenergie in Nederland, en de ruimtelijke inpassing van SMR's in een dichtbevolkte provincie als Brabant. Ook het beleidsmatige kader, zoals vergunningverlening, veiligheidsnormen en afvalverwerking, is nog volop in ontwikkeling. Tot slot zijn de economische randvoorwaarden, zoals de prijsstelling van alternatieve energiebronnen en de beschikbaarheid van investeringskapitaal, bepalend voor de haalbaarheid van SMR-projecten.

Voor de hoofdsysteemkeuzes uit het Energieperspectief 2050 betekent een sterke focus op SMR's dat het Brabantse energiesysteem voor een deel kan blijven leunen op stabiele, niet-weersafhankelijke opwekking. Dit kan de behoefte aan grootschalige opslag over de seizoenen heenenigszins beperken, omdat SMR's continue basislast kunnen leveren. Tegelijkertijd ontstaat een afhankelijkheid van een technologie waarvan grootschalige implementatie onzeker is, waardoor flexibiliteit in het systeem essentieel blijft. Investerings in infrastructuur moeten zodanig worden ingericht dat ze zowel SMR's als alternatieve duurzame bronnen kunnen faciliteren, mocht de uitrol van SMR's vertraging oplopen of tegenvallen. Ook de integratie met bestaande warmtenetten en het regionale elektriciteitsnet vraagt om slimme keuzes, zodat toekomstige aanpassingen mogelijk blijven.

In het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 resulteert de inzet op SMR's in een energiesysteem met een hybride karakter, waarin naast zon, wind en andere duurzame bronnen ook kernenergie een

substantiële rol speelt. Brabant kan zich daarmee profileren als een innovatieve regio die inzet op een breed palet aan CO₂-arme technologieën. Dit biedt kansen voor kennisontwikkeling, werkgelegenheid en het aantrekken van bedrijven die actief zijn in nucleaire technologie. Tegelijkertijd bestaat het risico dat de energietransitie vertraagt als de uitrol van SMR's langer duurt dan voorzien, of als maatschappelijke weerstand tot vertragingen leidt. Het toekomstbeeld blijft daardoor gekenmerkt door onzekerheid over de samenstelling van de energiemix en de snelheid van verduurzaming.

SMR's kunnen bijdragen aan een forse reductie van de uitstoot van broeikasgassen en luchtvervuilende stoffen, omdat ze elektriciteit opwekken zonder directe CO₂-emissies. Dit heeft een positief effect op klimaat en luchtkwaliteit. Aan de andere kant brengt kernenergie specifieke milieuvraagstukken met zich mee, zoals de omgang met radioactief afval, de risico's van straling bij incidenten en de invloed van koelwatervraag op oppervlaktewater. De ruimtelijke impact van SMR's is doorgaans kleiner dan die van grootschalige wind- of zonneparken, maar de locaties moeten zorgvuldig worden gekozen om natuur en landschap te ontzien. Ook de benodigde infrastructuur voor transport en opslag van kernbrandstoffen vereist aandacht voor veiligheid en ruimtelijke inpassing.

9.2.3 Geothermie

Het benutten van geothermie voor een deel van de warmtevraag in Brabant kent aanzienlijke onzekerheden. Hoewel het theoretisch potentieel van geothermie groot is, blijft de daadwerkelijke toepassing nog beperkt. De belangrijkste onzekerheden komen voort uit technologische en geologische factoren: het is lastig om vooraf exact te bepalen waar en hoe diep rendabele geothermische bronnen zich bevinden, en de boringen zijn kostbaar en beperkt in capaciteit. Innovatie kan hier zeker een rol spelen, bijvoorbeeld door verbeterde boortechnieken, betere monitoring en nieuwe toepassingen voor lage temperatuur geothermie. Toch blijft het afhankelijk van lokale ondergrondse omstandigheden en de snelheid waarmee innovaties daadwerkelijk tot grootschalige uitrol leiden.

Voor de hoofdsysteemkeuzes uit het Energieperspectief 2050 betekent deze onzekerheid dat geothermie weliswaar als kansrijke bron wordt gezien, maar dat het energiesysteem flexibel moet worden ingericht. Als geothermie minder oplevert dan gehoopt, moet er kunnen worden opgeschaald met alternatieve bronnen zoals restwarmte, aquathermie of zonthermie. Dit vraagt om infrastructuur die meerdere bronnen kan faciliteren en om investeringsbeslissingen die niet te veel leunen op één technologie. De onzekerheid rond geothermie onderstreept het belang van een robuust en adaptief energiesysteem, waarin risico's gespreid worden.

In het toekomstbeeld zoals geschetst in het Energieperspectief 2050 blijft geothermie een potentiële pijler van het hybride energiesysteem, maar met de kanttekening dat het aandeel in de warmtevraag afhankelijk is van de mate waarin technische en geologische barrières worden overwonnen. Innovatieve doorbraken kunnen het aandeel geothermie vergroten en Brabant positioneren als koploper in duurzame warmte, maar het risico bestaat dat de uitrol achterblijft, waardoor andere bronnen een groter deel van de warmtevraag moeten dekken. Het toekomstbeeld blijft daardoor gekenmerkt door flexibiliteit en het vermogen om snel te schakelen tussen verschillende technologieën.

Wat betreft milieueffecten biedt geothermie duidelijke voordelen door de beperkte uitstoot van broeikasgassen en luchtvervuilende stoffen. De ruimtelijke impact is doorgaans bescheiden, omdat installaties relatief compact zijn en weinig ruimte innemen. Wel vraagt de aanleg van geothermiebronnen om zorgvuldige monitoring van bodemdaling, seismische activiteit en grondwatervervuiling. Onzekerheid over de uitrol kan betekenen dat het energiesysteem voorlopig meer afhankelijk blijft van andere bronnen, met bijbehorende milieueffecten zoals ruimtebeslag voor zon- en windparken of emissies uit restwarmte en fossiele bronnen.

10 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn op basis van de belangrijkste conclusies uit het uitgevoerde onderzoek gebruikt om aanbevelingen te formuleren voor het energieperspectief en de verdere uitwerking en vertaling ervan naar uitvoeringsprogramma's en concrete projecten. Bij deze aanbevelingen zijn de uitgevoerde beoordelingen van de alternatieven en de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses betrokken. Het hoofdstuk eindigt met een eindconclusie.

10.1 Doelbereik systeemalternatieven en sturingsalternatieven

Noord-Brabant staat voor de opgave om uiterlijk in 2030 ten minste 50% en in 2050 100% duurzame energie te realiseren, met een reductie van 90% van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990. Daarnaast zijn betrouwbaarheid, betaalbaarheid en een eerlijke verdeling van lasten en lusten centrale neven doelstellingen. In deze paragraaf zijn de belangrijkste conclusies van de beoordeling voor doelbereik gebruikt om aanbevelingen te doen richting de uitvoering van het Energieperspectief. Daarbij wordt ingegaan op zowel de ruimtelijke invulling van het energiesysteem als de inzet van provinciale sturingsinstrumenten.

Analyse systeemalternatieven

- **Lokale kracht:** Dit alternatief zet in op een decentrale energietransitie, met maximale benutting van lokale bronnen, maatwerk en participatie. Het scoort sterk op lokale betrokkenheid, eigenaarschap en innovatie. De kans op doelbereik is groot, mits versnippering en ongelijkheid tussen regio's worden voorkomen. Dit alternatief vraagt om stevige provinciale regie op coördinatie, kennisdeling en inclusiviteit, en biedt goede perspectieven voor een betrouwbaar en betaalbaar systeem met een eerlijke verdeling van baten en lasten.
- **De grote opgaven gebundeld:** Door centrale aansturing en grootschalige projecten (zoals wind op zee, waterstofproductie) ontstaat efficiëntie, snelle CO₂-reductie en voorspelbaarheid. De regionale verankering is echter beperkt; lokaal opgewekte duurzame energie en participatie blijven achter. Risico's zijn onder meer lokale weerstand, ongelijke verdeling van lasten en minder maatschappelijke betrokkenheid.
- **Op grote schaal denken:** Dit alternatief richt zich op import van duurzame energie en ruimtelijke concentratie van infrastructuur. Het aandeel duurzame energie stijgt snel, maar de afhankelijkheid van internationale markten en beperkte lokale productie maken het systeem kwetsbaar voor externe invloeden. De regionale meerwaarde en betrokkenheid zijn relatief klein, wat gevolgen heeft voor draagvlak en innovatie.

Analyse sturingsalternatieven

- **Faciliteren en stimuleren:** Deze aanpak vergroot de ruimte voor lokale initiatieven, innovatie en maatwerk, maar brengt het risico met zich mee dat de voortgang en samenhang te veel afhankelijk zijn van het initiatief en de capaciteit van lokale partijen. Doelbereik is onzeker bij gebrek aan centrale coördinatie en sturing.
- **Regisseren, stimuleren en reguleren (waar nodig):** Dit alternatief biedt de beste balans tussen effectiviteit, draagvlak en innovatie. Door een actieve, flexibele regierol kan de provincie kaders stellen, innovatie stimuleren en waar nodig normen afdwingen. Dit vergroot de kans op doelbereik en een eerlijke verdeling van baten en lasten, mits de provincie investeert in kennis, capaciteit en samenwerking.
- **Reguleren:** Strikte regelgeving en handhaving bieden zekerheid op doelbereik en collectieve oplossingen, maar brengen het risico van weerstand, vertraging en verlies van lokale dynamiek en innovatie. Ook bestaat het gevaar dat kwetsbare groepen relatief zwaar worden belast als sociale aspecten onvoldoende worden meegenomen.

Rollen en bevoegdheden bij projecten binnen het energiesysteem

Een belangrijke kanttekening bij de mogelijkheden voor de provincie om een sterke regierol te pakken is de huidige verdeling van bevoegdheden en actoren (ontwikkelaars en initiatiefnemers) binnen het energiesysteem, zie Bijlage B. Voor een groot deel van de bouwstenen voor het energiesysteem is de rol van de provincie als bevoegd gezag (dat wil zeggen de overheid die bevoegd is ruimtelijke plannen vast te stellen en vergunningen te verlenen) tamelijk beperkt. Veel bevoegdheden liggen op een hoger (rijks) of lager (gemeentelijk) niveau. Initiatieven voor het ontwikkelen, realiseren en exploiteren van de onderdelen van het energiesysteem liggen bij netbeheerders (elektriciteit, gas en waterstof) en marktpartijen (windenergie, zon op veld).

Wel kan de provincie vaker de rol van coördinerend bevoegd gezag oppakken bij projecten met gemeente overstijgende belangen ook kan de provincie ruimtelijke keuzes met betrekking tot het energiesysteem vastleggen in de Omgevingsvisie en -verordening en daarbij niet alleen aangeven waar bepaalde ontwikkelingen niet zijn

toegestaan, maar ook waar juist wel en onder welke voorwaarden. Denk daarbij aan het ruimtelijk vastleggen van de zoekgebieden wind op land uit de RES-en. Ook zijn er verschillende ontwikkelingen die de provincie meer bevoegdheden gaat geven om te sturen op de (ruimtelijke) invulling van het energiesysteem. Zo gaat de Wet collectieve warmte het mogelijk maken voor de provincie om een warmtebedrijf op te richten en wordt de provincie mogelijk het bevoegde gezag voor de realisatie van SMR's van bepaalde vermogens. Uit het Energieperspectief blijkt dat de provincie deze kansen aan gaat pakken om een stevigere regierol te nemen, onder andere door de keuzes rond energie een plek te geven in de Omgevingsvisie en -verordening en door een warmtebedrijf op te richten.

Samenhang en optimale combinatie

De combinatie van het systeemalternatief 'Lokale kracht' en het sturingsalternatief 'Regisseren, stimuleren en reguleren (waar nodig)' komt als meest kansrijk naar voren. Deze combinatie benut de kracht van lokale betrokkenheid en innovatie, terwijl de provincie zorgt voor samenhang, kennisdeling en het borgen van inclusiviteit en gelijkheid. Zo ontstaat een robuust, veerkrachtig energiesysteem dat zowel de hoofddoelstellingen als de neven doelstellingen optimaal dient.

Aanbevelingen voor ruimtelijke invulling energiesysteem

- **Decentrale opwek en spreiding:** Stimuleer lokale en regionale productie van duurzame energie (zon, wind, geothermie, restwarmte) om zelfvoorzienendheid en veerkracht te vergroten. Focus daarbij zowel op de meer grootschalige ontwikkelingen, als de kleinschalige voor lokaal gebruik (woning-, bedrijfs- en wijkniveau). Zorg voor een evenwichtige spreiding van projecten om netcongestie te voorkomen en draagvlak te versterken.
- **Integrale ruimtelijke afstemming:** Koppel energie-infrastructuur aan andere ruimtelijke opgaven (woningbouw, natuur, economie, lijninfrastructuur) voor synergie en efficiënt ruimtegebruik. Ontwikkel regionale energiestrategieën in nauwe samenwerking met gemeenten, coöperaties en bedrijven.
- **Flexibiliteit en robuustheid:** Investeer in opslag, slimme netten en reservecapaciteit om fluctuaties in aanbod en vraag op te vangen. Maak ruimte voor innovatie en experimenteer met nieuwe technologieën (bijvoorbeeld wijkgerichte warmtenetten, lokale opslag).

Aanbevelingen voor sturingsinstrumenten

- **Actieve regie en coördinatie:** Neem als provincie een proactieve rol in het stellen van kaders, het faciliteren van samenwerking en het bewaken van samenhang tussen initiatieven. Richt een kennis- en ondersteuningspunt op voor lokale overheden en initiatieven.
- **Stimulering en participatie:** Zet financiële prikkels en subsidies gericht in om innovatie, lokale productie en brede participatie te bevorderen. Stimuleer collectieve projecten en zorg dat ook kwetsbare groepen kunnen participeren en profiteren.
- **Flexibel reguleren:** Pas waar nodig regulering toe om versnippering tegen te gaan, minimumdoelen te borgen en ongewenste effecten te voorkomen. Houd de regelgeving adaptief, zodat maatwerk en innovatie niet worden belemmerd.
- **Inclusiviteit en eerlijke verdeling:** Ontwikkel beleid dat investeringen en opbrengsten breed verdeelt, bijvoorbeeld door participatie-instrumenten en revolverende fondsen. Voorkom dat specifieke regio's of groepen onevenredig worden belast.

Borging van betrouwbaarheid en betaalbaarheid

- **Netverzwaring en slimme infrastructuur:** Investeer in het versterken en digitaliseren van het energienet, met aandacht voor cybersecurity en fysieke veiligheid.
- **Monitoring en adaptatie:** Implementeer een dynamisch monitoringsysteem om voortgang, knelpunten en prijsontwikkelingen tijdig te signaleren en beleid aan te passen.
- **Internationale samenwerking:** Blijf investeren in koppeling met nationale en internationale energie-infrastructuren om leveringszekerheid te waarborgen en prijsfluctuaties te beperken.
- **Bescherm kwetsbare groepen:** Zorg voor compensatie- en ondersteuningsmaatregelen voor huishoudens en bedrijven met beperkte draagkracht, zodat energie betaalbaar blijft voor iedereen.

10.2 (Milieu)effecten systeemalternatieven

In deze paragraaf zijn de belangrijkste conclusies van de beoordeling van de (milieu)effecten van de systeemalternatieven gebruikt om aanbevelingen te doen richting de uitvoering van het Energieperspectief. De aanbevelingen hebben tot doel om de (milieu)effecten van de energietransitie in Noord-Brabant zoveel mogelijk te

beperken. Dit draagt bij aan de derde nevendoelstelling, te weten een omgevingsbewust energiesysteem. De aanbevelingen zijn thematisch geordend en sluiten aan bij de belangrijkste milieuthema's die in de beoordeling van de (milieu)effecten aan bod zijn gekomen.

Voorkom versnippering en richt op bundeling waar mogelijk

- Beperk de ruimtelijke versnippering van energie-infrastructuur zoals windturbines, zonnevelden en grootschalige batterijen. Bundeling van energieprojecten op locaties met bestaande industriële activiteiten of in gebieden waar koppeling met andere opgaven mogelijk is, verkleint de druk op bodem, water, natuur en landschap elders in de provincie.
- Streef naar integrale gebiedsontwikkeling in deze clusters, waarbij energie, natuur, waterveiligheid en landbouwtransitie gezamenlijk worden opgepakt en ruimtelijke synergie ontstaat.

Kies voor maatwerk en lokale afstemming in kwetsbare gebieden

- In de vorige paragraaf is op basis van de beoordeling van doelbereik de aanbeveling opgenomen om lokale en regionale productie van duurzame energie te spreiden. Daarbij is het van belang om kwetsbare gebieden, zoals Natura 2000-gebieden, het Natuurnetwerk Brabant en gebieden met een hoge ruimtelijke kwaliteit, te ontzien. Maak gebruik van gebiedsgericht maatwerk, waarbij lokale kennis en participatie worden ingezet om negatieve milieueffecten te beperken en kansen voor natuur-inclusieve oplossingen en versterking van de ruimtelijke kwaliteit te benutten.
- Voer een strikte toetsing uit op locatiekeuzes in relatie tot natuurwaarden, abiotische condities en ruimtelijke kwaliteit, compenseer deze bij eventuele aantasting en stimuleer het toepassen van mitigerende maatregelen zoals emissiearme technieken en landschappelijke inpassing.

Integreer waterbeheer en klimaatadaptatie in energieprojecten

- Combineer energieprojecten met waterberging, droogtebestrijding en waterveiligheidsmaatregelen, met name in gebieden waar clustering plaatsvindt. Dit voorkomt extra druk op het watersysteem en benut kansen voor multifunctioneel ruimtegebruik.
- Besteed bij grootschalige projecten, vooral in het rivierengebied en bij haven- en industrieclusters, expliciet aandacht aan de mogelijke gevolgen van zeespiegelstijging en extreme neerslag, en koppel energie-infrastructuur aan robuuste waterveiligheidsmaatregelen.

Bescherm bodemkwaliteit en voorkom cumulatieve belasting

- Voer bij spreiding van energie-infrastructuur een zorgvuldige afstemming met bestaande ruimtelijke ontwikkelingen en bodemgebruik uit om cumulatieve bodemverdichting en chemische belasting te voorkomen.
- Neem (waar nodig) bij de aanleg en het gebruik van energievoorzieningen expliciet maatregelen op voor bodembescherming.

Houd rekening met leefomgeving, geluid en slagschaduw

- Beperk de plaatsing van windturbines en andere geluidsbronnen in de nabijheid van woonwijken en gevoelige bestemmingen. Kies bij voorkeur voor clustering in minder dichtbevolkte gebieden en op bedrijventerreinen, waar hinder voor bewoners beperkt blijft.
- Maak gebruik van participatie en lokaal maatwerk om hinder door geluid en slagschaduw te minimaliseren, bijvoorbeeld door optimale locatiekeuze, stilstandvoorzieningen en innovatieve technieken.

Bevorder circulaire en duurzame oplossingen

- Stimuleer het hergebruik van materialen, restwarmte en lokale afvalstromen, vooral in lokale en regionale initiatieven. Zet in op circulaire ketens en samenwerking tussen bedrijven, overheden en kennisinstellingen.
- Maak gebruik van schaalvoordelen in clusters voor hoogwaardige recycling, restwarmtebenutting en integratie van energie- en materiaalstromen, maar verlies de kansen voor lokale circulariteit niet uit het oog.

Borg externe en luchtvaartveiligheid

- Voorkom de plaatsing van windturbines en hoge energie-installaties binnen de invloedsgebieden van luchthavens en militaire radarlocaties. Zet in op bundeling van hoge objecten buiten deze zones en op tijdige afstemming met luchtvaartautoriteiten.
- Houd bij clustering van risicovolle energie-infrastructuur (zoals elektrolyzers en batterijen) rekening met het groepsrisico en integreer veiligheidsmaatregelen in ruimtelijke plannen, met speciale aandacht voor kwetsbare objecten in de omgeving.

Waarborg economische vitaliteit en lokale betrokkenheid

- Faciliteer en stimuleer lokale participatie, eigenaarschap en werkgelegenheid bij energieprojecten, zodat de economische voordelen breed worden gedeeld en draagvlak ontstaat voor de energietransitie.
- Maak gebruik van de economische kracht van industriële clusters voor innovatie en grootschalige investeringen, maar voorkom dat de rest van de provincie achterblijft door ook lokale initiatieven en spreiding van activiteiten te ondersteunen.

10.3 Gevoeligheidsanalyses

De gevoeligheidsanalyses uit hoofdstuk 9 laten zien dat de toekomst van het Brabantse energiesysteem met verschillende onzekerheden gepaard gaat. Om de hoofddoelstellingen én nevendoelelstellingen van het Energieperspectief 2050 te realiseren, is adaptief, robuust en sociaal rechtvaardig beleid nodig. Hieronder volgen op basis van de gevoeligheidsanalyses enkele aanbevelingen voor het Energieperspectief. Deels overlappen de aanbevelingen met aanbevelingen die voortvloeien uit de beoordeling van doelbereik en (milieu)effecten, met name voor wat betreft het uitvoeren van een adaptief beleid, gebaseerd op monitoring en het inzetten op lokale, decentrale productie van energie. Daarmee onderschrijven de onzekerheden rondom de toekomstige ontwikkeling van het energiesysteem de noodzaak van deze eerdere aanbevelingen.

Algemene beleidsaanbevelingen: adaptief en risicospreidend beleid

- **Voer een adaptief beleid:** Ontwikkel een beleidskader dat ruimte biedt om bij te sturen op basis van monitoring, nieuwe inzichten en veranderende omstandigheden. Stel heldere adaptatiemomenten vast en werk met flexibele uitvoeringsagenda's.
- **Risicospreiding:** Zet in op een hybride energiesysteem met meerdere technologieën en bronnen, zodat afhankelijkheid van één ontwikkeling of techniek wordt voorkomen.
- **Regionale samenwerking:** Versterk de afstemming met gemeenten, provincies, buurlanden en netbeheerders om grensoverschrijdende uitdagingen zoals import, export en netcongestie gezamenlijk op te pakken.

Ruimtelijke invulling energiesysteem: flexibele en modulaire infrastructuur

- **Ontwerp flexibele infrastructuur:** Reserveer ruimte voor uitbreiding en aanpassing van energie-infrastructuur (zoals netten, opslag en conversiestations) en voorkom lock-in door modulaire ontwerpen.
- **Spreiding van bronnen:** Stimuleer een ruimtelijk gespreide mix van opwek (zoals zon, wind, geothermie, restwarmte) en opslag om kwetsbaarheid voor lokale verstoringen te beperken en de ruimtelijke impact te verdelen.
- **Ruimtelijke reserveringen:** Leg tijdig reserveringen vast voor toekomstige infrastructuur en houd rekening met verschillende scenario's voor elektrificatie, import/export en innovatieve technieken.

Sturingsinstrumenten: monitoring, participatie en samenwerking

- **Versterk monitoring en scenario-ontwikkeling:** Implementeer een robuust monitoringsysteem voor energievraag, opwek, netbelasting en technologische ontwikkelingen. Werk met meerdere scenario's en stresstests om tijdig te kunnen anticiperen op afwijkingen.
- **Stimuleringsregelingen en innovatiebeleid:** Ontwikkel flexibele subsidies en leningen gericht op energiebesparing, decentrale opwek, opslag en innovatieve technieken. Stimuleer pilots en proeftuinen voor CCS (tijdelijk), SMR's en geothermie.
- **Financiële en maatschappelijke participatie:** Zet in op eerlijke verdeling van lusten en lasten door financiële participatie van inwoners en bedrijven in energieprojecten. Maak gebruik van participatiebeleid om draagvlak en mede-eigenaarschap te vergroten.
- **Samenwerking met gemeenten en regio's:** Faciliteer de regionale energiestrategieën en werk samen aan ruimtelijke inpassing, netplanning en het delen van innovaties en investeringsrisico's.

Specifieke aanbevelingen per onzekerheid

- **Energiebesparing:**
 - Schaal stimuleringsprogramma's voor isolatie en verduurzaming van gebouwen en industrie op, met aandacht voor maatwerk bij verschillende doelgroepen.
 - Integreer energiebesparing als randvoorwaarde bij ruimtelijke plannen en vergunningverlening.
 - Stel monitoring in om het effect van besparingsmaatregelen te volgen en beleid bij te sturen waar nodig.
- **Balans vraag en aanbod:**
 - Investeer in flexibiliteitsopties zoals grootschalige en decentrale opslag, vraagsturing en flexibiliteitsmarkten.
 - Stimuleer slimme netwerken en digitale sturing om pieken en dalen in opwek en verbruik op te vangen.
 - Reserveer ruimte voor extra opslagfaciliteiten en back-upvermogen, met aandacht voor ruimtelijke inpassing.

- **Import en export:**
 - Zorg voor een infrastructuur die flexibel kan schakelen tussen import, export en lokale productie van energiedragers zoals waterstof.
 - Werk samen met buurlanden en netbeheerders aan grensoverschrijdende netwerken en afspraken over capaciteit en leveringszekerheid.
 - Anticipeer op mogelijke scenario's van beperkte import door tijdig in te zetten op zelfvoorzienendheid en regionale productie.
- **Elektrificatie:**
 - Versnel de uitrol van duurzame opwek (zon, wind) en investeer in netverzwaring en slimme netten.
 - Stimuleer innovatie in opslag en vraagsturing om congestie te voorkomen.
 - Stimuleer gemeenten om rekening te houden met ruimtelijke consequenties van elektrificatie bij het opstellen van omgevingsplannen.
- **CO₂-afvang en opslag (CCS):**
 - Faciliteer pilots en demonstratieprojecten, maar voorkom lock-in op fossiele infrastructuur door CCS als tijdelijke oplossing te positioneren.
 - Stel strikte ruimtelijke en milieueisen aan CCS-projecten en leg monitoringsverplichtingen op.
 - Stimuleer innovatie gericht op het versnellen van de transitie naar volledig duurzame alternatieven.
- **Small Modular Reactors (SMR's):**
 - Blijf inzetten op kennisontwikkeling en scenario-analyses rond SMR's, maar voorkom afhankelijkheid van deze technologie in de ruimtelijke reserveringen.
 - Waarborg maatschappelijke participatie en transparantie bij mogelijke locatiekeuzes en vergunningprocedures.
 - Ontwikkel ruimtelijke kaders die aansluiten bij de eisen van zowel SMR's als alternatieve duurzame bronnen. Zorg dat deze kaders zo worden opgesteld dat ze verschillende duurzame energieopties ondersteunen, zodat er voldoende speelruimte blijft om in te spelen op nieuwe technologische ontwikkelingen en veranderende maatschappelijke voorkeuren.
- **Geothermie:**
 - Stimuleer innovatie en onderzoek naar diepere en efficiëntere geothermie, met pilots in kansrijke gebieden.
 - Neem geothermie op als optie in regionale warmteplannen, maar zorg voor flexibiliteit richting alternatieven bij tegenvallende resultaten.
 - Stel eisen aan monitoring van bodemdaling, seismische activiteit en grondwaterkwaliteit bij geothermieprojecten.

10.4 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde beoordelingen (doelbereik, milieueffecten en gevoeligheidsanalyses) en de daaruit volgende aanbevelingen, zijn hieronder de belangrijkste conclusies van dit planMER samengevat.

Conclusie doelbereik: lokaal georiënteerde aanpak met sterke provinciale regie

Om de energietransitie in Noord-Brabant succesvol, betrouwbaar en betaalbaar te maken, verdient een lokaal georiënteerde aanpak met sterke provinciale regie, stimulering en waar nodig regulering de voorkeur. Door in te zetten op decentrale opwekking, integrale ruimtelijke afstemming, actieve participatie en een flexibele inzet van sturingsinstrumenten, kan de provincie zowel de klimaatdoelstellingen als de maatschappelijke randvoorwaarden realiseren. Essentieel is een inclusieve benadering, waarbij de lasten en lusten eerlijk verdeeld worden en draagvlak breed wordt geborgd. Alleen door samenwerking, flexibiliteit en gerichte sturing kan Noord-Brabant de energietransitie tijdig en succesvol realiseren.

Conclusie milieueffecten: zorg voor integrale, gebiedsgerichte afstemming

Om de milieueffecten van de energietransitie zo veel mogelijk te beperken, is het essentieel dat de provincie Noord-Brabant inzet op integrale en gebiedsgerichte afstemming tussen energie, natuur, bodem, water, landschap, veiligheid, landbouw, defensie en economie. Door clustering te combineren met lokaal maatwerk en participatie, ontstaat ruimte voor synergie, innovatie en duurzame ontwikkeling. Daarbij is het van belang om scherp te sturen op locatiekeuze, monitoring van milieueffecten en het flexibel kunnen inspelen op nieuwe inzichten en technologische ontwikkelingen.

Conclusie gevoeligheidsanalyses: oproep tot adaptief en robuust beleid

De gevoeligheidsanalyses tonen aan dat onzekerheden onvermijdelijk zijn in de Brabantse energietransitie. Door te kiezen voor een adaptief, risicosprekend en ruimtelijk flexibel beleid, vergroot de provincie haar slagkracht om zowel de hoofddoelstellingen als de nevendoelestellingen te realiseren. Het is essentieel om de ruimtelijke inrichting en

beleidsinstrumenten zo in te richten dat ze kunnen meebewegen met nieuwe inzichten, technologische ontwikkelingen en maatschappelijke wensen. Daarmee wordt de Brabantse energietransitie niet alleen duurzamer en robuuster, maar ook eerlijker en beter inpasbaar in de leefomgeving.

11 Leemten in kennis en evaluatie

11.1 Leemten in kennis

Deze paragraaf beschrijft de leemten in kennis die zijn geconstateerd tijdens het uitgevoerde onderzoek en de invloed die deze kennisleemten hebben op de besluitvorming over het Brabants Energieperspectief 2050. Deze leemten maken dat de effecten en het doelbereik in dit planMER vooral als kansen en risico's worden gepresenteerd, en dat monitoring en bijsturing essentieel zijn voor het succes van het Energieperspectief. Daarnaast zijn in dit planMER zowel de milieueffecten als het doelbereik visueel gepresenteerd, waarbij een mate van onzekerheid is meegenomen in de visualisaties.

De hieronder genoemde leemten in kennis kunnen de besluitvorming vertragen, onzeker maken of tot suboptimale keuzes leiden. Oplossingen liggen vooral in monitoring, adaptief beleid, participatie, aanvullende studies bij de vervolguutwerking en het flexibel inrichten van processen en infrastructuur.

Abstractieniveau Energieperspectief

In algemene zin kan gesteld worden dat het abstractieniveau van plannen en programma's zoals het Brabants Energieperspectief 2050 maatwerk noodzakelijk maakt bij het bepalen van het doelbereik en de effecten. Concrete effecten zijn moeilijk in te schatten, net als de inschatting of de gestelde doelen behaald worden. Daarom is het van belang om bij het vervolg (uitwerking in uitvoeringsprogramma's en projecten) zowel het doelbereik als de (milieu)effecten te monitoren. Zo is eventuele bijsturing tijdig mogelijk, en is de kans groter dat doelen behaald worden en (milieu)effecten beperkt worden.

Gedrag en keuzes van actoren

Een leemte in kennis die raakt aan het voorgaande punt is dat de provincie bij de energietransitie in grote mate afhankelijk is van het gedrag en keuzes van anderen. Het is vooraf lastig te voorspellen hoe individuele burgers, bedrijven, gemeenten en andere actoren zullen reageren op beleidsmaatregelen. En vervolgens hoe de afwegingen die deze actoren maken kunnen worden beïnvloed in de voor het realiseren van de doelstellingen wenselijke richting. De mate van energiebesparing, participatie en investeringsbereidheid is daarmee onzeker. Dit kan leiden tot onderschatting of overschatting van het effect van beleidsmaatregelen, wat het lastig maakt om te bepalen of doelen haalbaar zijn en welke instrumenten effectief zijn. Ook deze kennisleemte vraagt om monitoring van de effectiviteit van maatregelen, zodat (indien nodig) tijdig kan worden bijgestuurd. Goede participatie kan helpen om draagvlak en inzicht in gedrag te vergroten. Door flexibele beleidsinstrumenten te ontwikkelen kan vervolgens ingespeeld worden op verschillende gedragsuitkomsten.

Technologische ontwikkelingen en innovatie

De snelheid en richting van technologische innovatie (bijvoorbeeld in opslag, conversie, geothermie, SMR's, CCS) zijn onzeker. Het is onzeker in hoeverre nieuwe technieken daadwerkelijk grootschalig kunnen worden toegepast binnen de tijdshorizon van het Energieperspectief. Dit maakt het lastig om te kiezen voor bepaalde oplossingsrichtingen of investeringen en kan gevolgen hebben voor de haalbaarheid en effectiviteit van bepaalde beleidsmaatregelen. Ook kan deze onzekerheid leiden tot suboptimale keuzes of het missen van kansen. Houd daarom rekening met verschillende technologische scenario's en pas het beleid aan op basis van technologische ontwikkelingen. Stimuleer innovatie door ruimte te bieden voor pilots en experimenteerregelingen en werk samen met kennisinstellingen en marktpartijen om up-to-date te blijven over technologische trends.

Ruimtelijke inpassing en milieueffecten

Omdat het Energieperspectief geen concrete ruimtelijke keuzes bevat, zijn de milieueffecten van toekomstige projecten niet exact te bepalen. De effecten zijn afhankelijk van de uiteindelijke locatie, omvang en uitwerking van projecten. Verder is het lastig om de cumulatieve effecten van verspreide, kleinschalige initiatieven versus grootschalige clustering te voorspellen, bijvoorbeeld op bodem, water, natuur en landschap. Het ontbreken van concrete locatiekeuzes maakt het moeilijk om milieueffecten precies te beoordelen. Dit kan leiden tot weerstand bij de uitvoering of tot juridische onzekerheid. Ook dit vraagt om monitoring bij de verdere uitwerking van het Energieperspectief. Stel daarnaast ook een planMER op voor de vastlegging van de ruimtelijke keuzes over het energiesysteem in de (wijziging van de) Omgevingsvisie. Zo kunnen de ruimtelijke (milieu)effecten van deze locatiekeuzes in meer detail worden onderzocht. Uiteindelijk zullen voor de uitvoering van mer-plichtige projecten ook projectMER-en opgesteld moeten worden. Zo wordt geborgd dat de (milieu)effecten van ruimtelijke keuzes en projecten die voortvloeien uit het Energieperspectief, goed worden meegenomen in de besluitvorming.

Vraag en aanbod van energie

Er is onzekerheid over de mate waarin vraag en aanbod van energie in de toekomst in balans zullen zijn, mede door variabiliteit van duurzame bronnen en veranderend gedrag. Ook de mate van afhankelijkheid van import (waterstof, elektriciteit) en de geopolitieke risico's zijn moeilijk te voorspellen. Ook is onzeker of Nederland/Brabant een exportregio wordt en wat dat betekent voor infrastructuur en milieueffecten. Onzekerheid over de balans tussen vraag en aanbod, en over import/export, kan leiden tot onder- of overinvestering in infrastructuur en tot risico's voor leveringszekerheid. Houdt rekening met deze onzekerheid door energie-infrastructuur modulair en schaalbaar te ontwerpen. Werk daarnaast samen met andere regio's en landen om afhankelijkheden te verkleinen en leveringszekerheid te vergroten.

Maatschappelijk draagvlak

De mate van maatschappelijk draagvlak voor bepaalde keuzes (zoals windenergie, SMR's, CCS) is onzeker en kan sterk fluctueren, wat invloed kan hebben op de uitvoerbaarheid van het beleid. Gebrek aan draagvlak kan leiden tot vertragingen, bezwaarprocedures of zelfs het mislukken van projecten. Betrek belanghebbenden dan ook vanaf het begin bij de planvorming. Communiceer helder over doelen, keuzes en onzekerheden, en stimuleer mede-eigenaarschap en financiële participatie van burgers en bedrijven.

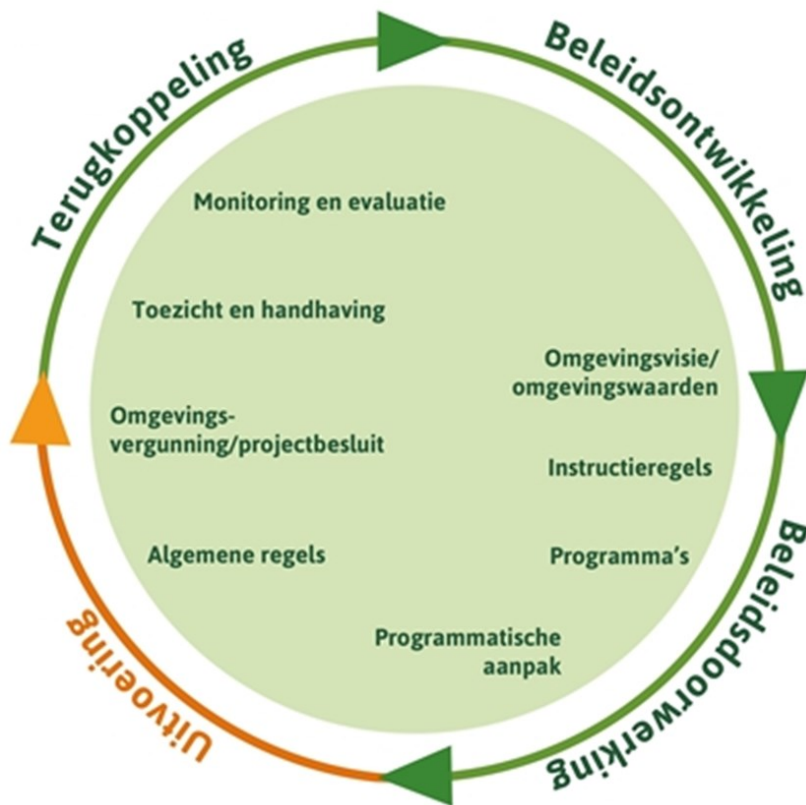
11.2 Monitoring en evaluatie

Een milieueffectrapport is bedoeld om inzicht te krijgen in de daadwerkelijk optredende effecten (en in het doelbereik) van plannen en projecten. Bij flexibele plannen (zoals het Brabants Energieperspectief 2050), onzekere effecten en leemten in kennis kan dat alleen door inzet van monitoring en evaluatie. In deze paragraaf is een beschrijving opgenomen hoe de provincie de (milieu)effecten en het doelbereik gaat monitoren.

Effecten van de maatregelen uit het Brabants Energieperspectief 2050 kunnen zowel positiever als minder positief uitpakken, afhankelijk van de uitwerking van specifieke maatregelen en de effectiviteit van het in te zetten instrumentarium. Via een gerichte en samenhangende monitoring en evaluatie moet de provincie voortdurend inschatten welk aanvullend beleid nodig is om de (gecumuleerde) effecten acceptabel te houden en de beoogde doelen voor het energiesysteem te halen. Dit mede in relatie tot doelstellingen vanuit andere beleidsvelden. Het monitoringsprogramma moet dit helder maken en is zo een bron voor bijsturing. Vragen die de monitoring moet beantwoorden, zijn:

- Worden de doelen gehaald?
- Ontwikkelen trends zich binnen de verwachte bandbreedte?
- Welke belangrijke ontwikkelingen hebben plaatsgevonden sinds de vorige evaluatie?
- Passen de (gecumuleerde) effecten binnen acceptabel geachte grenzen?
- Is aanvullend beleid nodig om (gecumuleerde) gevolgen acceptabel te houden?
- Moeten ambities en/of doelen bijgesteld worden?
- Moeten extra maatregelen worden ingezet om de doelen te behalen?
- Voldoen de (provinciaal) gestelde kaders nog, zijn ze te ruim of juist te knellend?

Daarnaast ondersteunen monitoring en evaluatie het correct doorlopen van de beleidscyclus (zie Figuur 11.1).



Figuur 11.1 Beleidscyclus, bron: <https://iplo.nl/regelgeving/omgevingswet/beleidscyclus/>

Bepalen van parameters voor monitoring

Bij het bepalen van de benodigde parameters voor monitoring zal altijd eerst bekeken worden of er al bestaande parameters zijn die via al functionerende informatiesystemen beschikbaar zijn. Voor het monitoren van de voortgang van de energietransitie zijn al voldoende instrumenten beschikbaar. Op <https://klimaatmonitor.databank.nl/> zijn voor heel Nederland bijvoorbeeld al veel te monitoren parameters opgenomen, zoals het energieverbruik, het aandeel hernieuwbare energie en de CO₂-uitstoot. De gegevens zijn ook per provincie beschikbaar. Daarnaast heeft de provincie Noord-Brabant een eigen [Energemonitor](#) waarmee de voortgang van de Energieagenda 2019-2030 wordt gemonitord. Deze monitor geeft bijvoorbeeld inzicht in de gemiddelde energiequote (indicator voor betaalbaarheid energie) en de wachtlijsten voor transportcapaciteit (afname en teruglevering, indicator voor beschikbaarheid energie). Daarbij kan onderzocht worden of het meerwaarde heeft om eventuele aanvullende indicatoren op te nemen op basis van de (sub)indicatoren die in dit planMER zijn meegenomen bij de beoordeling van doelbereik. Zie paragraaf 4.3 voor een overzicht van deze indicatoren.

Producten voor monitoring

De verschillende producten die de provincie Noord-Brabant voor monitoring tot haar beschikking heeft zijn:

1. Klimaatmonitor <https://klimaatmonitor.databank.nl/>;
2. Provinciale [Energemonitor](#) Energieagenda 2019-2030;
3. Voortgangsrapportages Uitvoeringsagenda Energie 2024-2027;
4. Rapportage van gegevens via de website www.brabantinzicht.nl.

Bijlage A Ingreep-effectrelaties bouwstenen energiesysteem

In deze bijlage is per energiedrager een overzicht opgenomen van de mogelijke effecten die kunnen optreden als gevolg van de verschillende bouwstenen voor het huidige en toekomstige energiesysteem (zie Tabel 3.1 voor een overzicht van de bouwstenen). De bouwstenen zijn opgedeeld in energiebronnen, productie, opslag en transport. Bij de effecten is onderscheid gemaakte tussen effecten die optreden als gevolg van de aanleg, het gebruik en de afbraak van de betreffende bouwsteen. Ook is aangegeven of elders effecten op kunnen treden, bijvoorbeeld als gevolg van de winning van delfstoffen. Deze lijst is niet bedoeld als een uitputtende lijst, maar geeft de belangrijkste aspecten aan waar rekening mee moet worden gehouden in de effectbepaling van projecten. Voor elk project zal moeten worden onderzocht of deze effecten aan de orde zijn en of er andere effecten op kunnen treden.

Elektriciteit

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
Energiebronnen				
Wind op land (solitair en in parken)	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten, zoals heien en het transport van materialen, kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines en transportvoertuigen kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), maar ook kan leiden tot verzilting of zetting.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">Geluidsoverlast: Windturbines kunnen geluid produceren dat hoorbaar is voor nabijgelegen bewoners.Slagschaduw: De draaiende wieken van een windturbine kunnen slagschaduw veroorzaken, wat hinderlijk kan zijn voor mensen die in de buurt wonen.Visuele impact: Windturbines kunnen het landschap visueel veranderen en invloed hebben op de esthetische waarde van het gebied.Impact op vogels en vleermuizen: Windturbines kunnen een risico vormen voor vogels en vleermuizen die in de buurt vliegen, wat kan leiden tot sterfte door botsingen.Elektromagnetische interferentie: Windturbines kunnen elektromagnetische interferentie veroorzaken, wat invloed kan hebben op communicatie- en navigatiesystemen (militaire en civiele radarposten).Slijtage/microplastics: Door slijtage van windturbines kunnen microplastics in de omgeving neerkomen. Onderzoek laat zien dat dit echter om zeer kleine hoeveelheden gaat, waardoor het nauwelijks bijdraagt aan de totale uitstoot van microplastics.Veiligheid: In uitzonderlijke gevallen kunnen bladen afbreken of windturbines omvallen. Daarnaast kan in de winter ijs ophopen op de bladen. Wanneer dit loskomt kan dit enkele tientallen meters ver vliegen. Om risico's te beperken gelden regels voor afstanden tot huizen, wegen en andere infrastructuur.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en onderhoudsinfrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Afvalbeheer: Het demonteren van de windturbine genereert afval, waaronder metalen, composietmaterialen en elektronica, die op een milieuvriendelijke manier moeten worden afgevoerd.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten en transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Waterverontreiniging: Sloopectiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Veiligheid: Het verwijderen van grote structuren zoals windturbines kan veiligheidsrisico's met zich meebrengen voor de arbeiders en de omgeving.	<p>De productie van windturbines kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: De winning van grondstoffen zoals staal, koper en zeldzame aardmetalen kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: Het productieproces van windturbines kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen als fijnstof, afhankelijk van de energiebron die wordt gebruikt.Afvalproductie: Tijdens de productie van windturbines kan afval ontstaan, waaronder snijresten van composietmaterialen en metalen, die op een milieuvriendelijke manier moeten worden afgevoerd.
Zonnepark op land	<ul style="list-style-type: none">Idem als Wind op land	<ul style="list-style-type: none">Visuele impact: Zonneparken kunnen het landschap visueel veranderen en invloed hebben op de esthetische waarde van het gebied.Impact op biodiversiteit: Het gebruik van grote oppervlakten voor zonneparken kan leiden tot verlies van leefgebied voor planten en dieren.Impact op gebruiksfuncties: Het gebruik van grote oppervlakten voor zonneparken kan leiden tot minder ruimte voor landbouw of andere gebruiksfuncties.Waterbeheer: Zonnepanelen kunnen de waterafvoer beïnvloeden, wat kan leiden tot veranderingen in de lokale waterhuishouding.Impact op bodemleven: Grondgebonden zonneparken dekken grote stukken bodem af, waardoor licht wordt weggehouden en de bodem lokaal droger wordt. Hierdoor nemen de vegetatiegroei en het ontstaan van organische stof af, waardoor er minder voedsel beschikbaar komt voor het bodemleven.Microklimaatverandering: Grote zonneparken kunnen het lokale microklimaat beïnvloeden door veranderingen in temperatuur en luchtvochtigheid.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en onderhoudsinfrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Afvalbeheer: Het demonteren van de zonnepanelen genereert afval, waaronder metalen, glas en elektronica, die op een milieuvriendelijke manier moeten worden afgevoerd.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten en transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Waterverontreiniging: Sloopectiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.	<p>De productie van zonnepanelen kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: De winning van grondstoffen zoals silicium, zilver en aluminium kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: Het productieproces van zonnepanelen kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen als fijnstof, afhankelijk van de energiebron die wordt gebruikt.Afvalproductie: Tijdens de productie van zonnepanelen kan afval ontstaan, wat op een milieuvriendelijke manier moet worden afgevoerd.
Zon op dak	<ul style="list-style-type: none">Geen noemenswaardige milieueffecten	<ul style="list-style-type: none">Geen noemenswaardige milieueffecten	<ul style="list-style-type: none">Afvalbeheer: Het demonteren van de zonnepanelen genereert afval, waaronder metalen, glas en elektronica, die op een milieuvriendelijke manier moeten worden afgevoerd.	Idem als zonnepark op land
Productie				
Gasvormige duurzame moleculen centrale (waterstof)	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.	<ul style="list-style-type: none">Waterverbruik en -temperatuur: Gasgestookte energiecentrales gebruiken water voor koeling. Dit kan leiden tot waterstress in gebieden waar water schaars is, en de lozing van warm water kan de temperatuur van lokale waterlichamen verhogen, wat schadelijk kan zijn voor aquatische ecosystemen.Geluidsoverlast: Het gebruik van zware machines en turbines in gasgestookte energiecentrales kan	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Afvalbeheer: Het demonteren van de centrale genereert afval, waaronder metalen, isolatiematerialen en elektronica, die op een milieuvriendelijke manier moeten worden afgevoerd.	<p>Milieueffecten van het produceren van duurzame gasvormige moleculen (waterstof) zijn behandeld onder vloeistoffen en gassen.</p>

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
	<ul style="list-style-type: none">• Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten, zoals heien en het transport van materialen, kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.• Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines en transportvoertuigen kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.• Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.• Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), maar ook kan leiden tot verzilting of zetting.• Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<p>geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.</p> <ul style="list-style-type: none">• Impact op lokale fauna: De exploitatie van een energiecentrale kan verstoring veroorzaken voor de lokale fauna, waaronder verstoring van habitats en migratiepatronen. Onder andere door de eerder genoemde verhoging van de watertemperatuur en door de inname van koelwater.• Visuele impact: grootschalige centrales kunnen het landschap visueel veranderen en invloed hebben op de esthetische waarde van het gebied.• Externe veiligheid en lekkage: Onvoorziene storingen, lekkages van koelvloeistoffen of brandstof, of brand kunnen leiden tot lokale vervuiling of veiligheidsrisico's.	<ul style="list-style-type: none">• Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.• Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.• Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten en transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.• Veiligheid: Het verwijderen van grote structuren zoals schoorstenen en koeltorens kan veiligheidsrisico's met zich meebrengen voor de arbeiders en de omgeving.	
Aardgascentrale	Idem als gasvormige duurzame moleculen centrale	Idem als gasvormige duurzame moleculen centrale. Daarnaast: <ul style="list-style-type: none">• Luchtvervuiling: Gasgestookte energiecentrales stoten verschillende verontreinigende stoffen uit, zoals stikstofoxiden (NOx), koolstofdioxide (CO2) en fijnstof. Deze stoffen kunnen bijdragen aan luchtvervuiling en gezondheidsproblemen veroorzaken bij mensen die in de buurt wonen.• Broeikasgasemissies: Hoewel aardgas schoner is dan steenkool of olie, produceert het nog steeds aanzienlijke hoeveelheden CO₂, een belangrijk broeikasgas dat bijdraagt aan klimaatverandering.	Idem als gasvormige duurzame moleculen centrale	Milieueffecten van het winnen van aardgas zijn behandeld onder vloeistoffen en gassen.
Vaste duurzame moleculen centrale	Idem als gasvormige duurzame moleculen centrale	<ul style="list-style-type: none">• Luchtvervuiling: Biomassa elektriciteitscentrales stoten verschillende verontreinigende stoffen uit, zoals stikstofoxiden (NOx), koolstofdioxide (CO₂) en fijnstof. Bij onvolledige verbranding kunnen ook koolmonoxide (CO) en Vluchtige Organische Stoffen (VOS) vrijkomen. Al deze stoffen kunnen bijdragen aan luchtvervuiling en gezondheidsproblemen veroorzaken bij mensen die in de buurt wonen.• Broeikasgasemissies: Hoewel biomassa als hernieuwbare energiebron wordt beschouwd, produceert het nog steeds aanzienlijke hoeveelheden CO₂. Dit is een belangrijk broeikasgas dat bijdraagt aan klimaatverandering. Daarbij is het wel zo dat de CO₂ die wordt uitgestoten eerder is opgenomen door de biomassa die als brandstof wordt gebruikt. Transport van biomassa kan wel bijdragen aan extra uitstoot, afhankelijk van het vervoermiddel.• Geurhinder: Opslag en verbranding van biomassa kunnen geurhinder veroorzaken, vooral bij natte of rottende biomassa.• Afvalstoffen: Asresten moeten worden afgevoerd en kunnen zware metalen bevatten. Daarnaast kunnen filterresiduen (stoffen uit rookgasreiniging) als gevaarlijk afval worden geclassificeerd.• Veiligheid: Opslag van droge biomassa brengt risico's met zich mee, vooral bij stofvorming (risico op brand of explosie).• Waterverbruik en -temperatuur: Biomassa elektriciteitscentrales gebruiken water voor koeling. Dit kan leiden tot waterstress in gebieden waar water schaars is, en de lozing van warm water kan de temperatuur van lokale waterlichamen verhogen, wat schadelijk kan zijn voor aquatische ecosystemen.• Geluidsoverlast: Het gebruik van zware machines en turbines in biomassa elektriciteitscentrales kan geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.• Visuele impact: grootschalige centrales kunnen het landschap visueel veranderen en invloed hebben op de esthetische waarde van het gebied.• Impact op lokale fauna: De exploitatie van een energiecentrale kan verstoring veroorzaken voor de lokale fauna, waaronder verstoring van habitats en migratiepatronen. Onder andere door de eerdergenoemde verhoging van de watertemperatuur en door de inname van koelwater.	Idem als gasvormige duurzame moleculen centrale	<p>Afhankelijk van het type biomassa kunnen elders milieueffecten optreden. Met name bij de teelt van energiegewassen die een hoge energieopbrengst hebben en speciaal voor elektriciteitsproductie worden geteeld. Overige bronnen van biomassa bestaan voornamelijk uit afval, zoals houtsnippers, zaagsel, landbouwafval zoals stro en maïsstengels, organisch afval zoals voedselresten, dierlijke mest en slib van waterzuiveringsinstallaties, en restproducten uit de industrie zoals papierpulp. Milieueffecten treden hier voornamelijk op door transport van de biomassa naar de centrales.</p> <p>Milieueffecten als gevolg van de teelt van energiegewassen kunnen zijn:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bodemkwaliteit: De intensieve teelt van energiegewassen kan leiden tot uitputting van de bodem, verlies van organisch materiaal en verminderde bodemvruchtbaarheid.• Watergebruik: Energiegewassen kunnen aanzienlijke hoeveelheden water vereisen, wat kan leiden tot waterstress in gebieden waar water schaars is.• Gebruik van bestrijdingsmiddelen: De teelt van energiegewassen kan leiden tot een verhoogd gebruik van pesticiden en herbiciden, wat kan resulteren in water- en bodemverontreiniging.• Verlies van biodiversiteit: Het omzetten van natuurlijke habitats of landbouwgrond naar de teelt van energiegewassen kan leiden tot verlies van biodiversiteit en verstoring van ecosystemen.

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
Kerncentrale (SMR)	Idem als gasvormige duurzame moleculen centrale. Daarnaast: <ul style="list-style-type: none">Verstoring waterlichamen en oevers: Aanleg van koelwaterinlaten/-uitlaten kan leiden tot verstoring van waterlichamen, oevers en habitats.	<ul style="list-style-type: none">Externe veiligheid: Er bestaat kans op stralingsemissie en explosiegevaar bij ernstige incidenten zoals koelvloeistofverlies, waterstofvorming of sabotage. Hoewel het modulaire ontwerp gericht is op passieve veiligheid en risicobeperking, blijven risicocontouren van toepassing vanwege de aanwezigheid van nucleaire en brandbare materialen, en de noodzaak tot bescherming tegen externe invloeden zoals blikseminslag of technische storingen. De veiligheidscontouren hebben invloed op welke functies in de omgeving zijn toegestaan.Ruimtegebruik: Een SMR neemt afhankelijk van het ontwerp en de inpassing zo'n 0,35 tot 17,5 hectare in⁵⁸.Afval: SMR's produceren radioactief afval. Er gelden strikte regels in Nederland voor het verwerken van dit afval. Verder kan regelmatig onderhoud aan de centrales ook afval genereren.Visuele impact: Kerncentrales zijn duidelijk zichtbaar, onder andere door de koeltorens. Dit kan het landschap en de esthetische of cultuurhistorische waarde van het gebied aantasten.Water: Water kan gebruikt worden bij doorstroomkoeling of natte koeltorens om de installaties te koelen. Dit maakt aanspraak op lokale watervoorraden. Het lozen van koelwater kan leiden tot opwarming van waterlichamen en ecologische verstoring.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de fundering, leidingen en andere infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en oude chemicaliën in de bodem terechtkomen.Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen. Ook komt radioactief afval vrij. Dit moet zorgvuldig worden verwerkt om negatieve milieueffecten tegen te gaan.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten en transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Tijdsduur: voor SMR's geldt een relatief lange ontmantelingsperiode, waardoor hinder in de omgeving door geluidsoverlast en extra verkeersbewegingen voor een langere tijd kunnen aanhouden.	De productie en onderhoud van SMR's kan elders leiden tot milieueffecten door: <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen zoals uranium voor de reactie, maar ook voor bouwmaterialen van de reactor kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, erosie en landschapsaantasting.Energieverbruik: Het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Warmte kracht koppeling (WKK)	Idem als gasvormige duurzame moleculen centrale	<ul style="list-style-type: none">Luchtvervuiling: Stookinstallaties van WKK (meestal op aardgas, soms op biogas, diesel of waterstof) stoten tijdens bedrijf CO₂, NO_x, fijnstof en soms zwaveloxiden uit.Geluid en trillingen: De installaties (motoren, turbines, generatoren) veroorzaken continu geluid en mogelijk trillingen, wat hinder kan opleveren voor de omgeving.Externe veiligheid en lekkage: Onvoorziene storingen, lekkages van koelvloeistoffen of brandstof, of brand kunnen leiden tot lokale vervuiling of veiligheidsrisico's.Afvalproductie: Tijdens onderhoud komen afvalstoffen vrij, zoals olie, filters, pakkingen en kleine hoeveelheden gevaarlijk afval.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de fundering, leidingen en andere infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en oude chemicaliën in de bodem terechtkomen.Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten en transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	De productie en onderhoud van Warmte kracht koppeling kan elders leiden tot milieueffecten door: <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen voor roestvrij staal en titanium kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsaantasting.Energieverbruik: WKK installaties kunnen fossiele brandstoffen gebruiken. Deze worden vaak elders geproduceerd en kunnen daar lokaal een negatief effect op het milieu hebben. Ook het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Opslag				
Batterij	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten, zoals heien en het transport van materialen, kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines en transportvoertuigen kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), maar ook kan leiden tot verzilting of zetting.	<ul style="list-style-type: none">Visuele impact: grootschalige batterijopslag kan het landschap visueel veranderen en invloed hebben op de esthetische waarde van het gebied.Geluidshinder: koelinstallaties en omvormers veroorzaken continu of piekgeluid.Warmteafgifte: grootschalige batterijopslag geeft warmte af, wat de lokale temperatuur kan verhogen. Dit kan impact hebben op bodemleven en biodiversiteit.Risico op lekkages: defecte batterijen kunnen elektrolyten of zware metalen lekken, wat bodem- en waterverontreiniging kan veroorzaken.Veiligheid: bij batterijen kan thermische runaway optreden. Dat is een oververhittingsproces waarbij een chemische reactie in de batterij zichzelf versterkt, met kans op brand. Brand of kortsluiting kunnen giftige dampen en deeltjes vrijmaken wat zorgt voor luchtverontreiniging.Elektromagnetische velden: elektrische componenten van batterijopslag genereren elektromagnetische	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Bodemverontreiniging: onjuiste verwijdering van batterijen leidt tot verontreiniging van bodem en grondwater.Beperkte recyclinginfrastructuur: gebrek aan gespecialiseerde faciliteiten zorgt voor extra milieubelasting door export of verbranding van batterijen.Afval: afgedankte batterijen en onderdelen zijn vaak moeilijk te recyclen. Bij afbraak kunnen zware metalen en elektrolyten vrijkomen. Gebrek aan gespecialiseerde faciliteiten zorgt voor extra milieubelasting door export of verbranding van batterijen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.	De productie en onderhoud van batterijen kan elders leiden tot milieueffecten door: <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: De winning van grondstoffen zoals lithium, kobalt en nikkel kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: Het productieproces van batterijen kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.

⁵⁸ Ministerie Klimaat en Groene Groei (2025). Kennismodule SMR's 2025

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
	<ul style="list-style-type: none">Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<p>velden. De batterijen worden echter zo ontworpen dat dit effect doorgaans al gemitigeerd wordt.</p> <ul style="list-style-type: none">Waterverbruik en -temperatuur: sommige installaties gebruiken water voor koeling. Dit kan leiden tot waterstress in gebieden waar water schaars is, en de lozing van warm water kan de temperatuur van lokale waterlichamen verhogen, wat schadelijk kan zijn voor aquatische ecosystemen.	<ul style="list-style-type: none">Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Veiligheid: Het verwijderen van batterijen kan veiligheidsrisico's met zich meebrengen voor de arbeiders en de omgeving door blootstelling aan gevaarlijke stoffen.Geluidsoverlast: afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	
Transport				
Hoogspanningsleiding (bovengronds, 380kV en 150 kV)	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen voor masten en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Bouwwerkzaamheden en gebruik van zware machines kan het opwaaien van stof en uitstoot van schadelijke stoffen veroorzaken zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), verzilting of zetting.Verkeersveiligheid: Transport van materialen en personeel zorgt voor extra verkeersbewegingen en mogelijke verstoring van de omgeving. Bouwverkeer op smalle wegen of gedeelde fietsroutes verhoogt het risico op ongevallen.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">Visuele impact: bovengrondse hoogspanningslijnen met bijbehorende masten kunnen het landschap visueel veranderen en invloed hebben op de esthetische waarde van het gebied.Magnetische en elektrische velden: hoogspanningslijnen genereren elektromagnetische velden, wat zorgen oproept over gezondheid van mens en dier. Lichamelijke effecten treden pas op bij veldsterktes die hoger liggen dan de blootstellingslimieten. Dergelijke hoge veldsterktes komen niet voor op publiek toegankelijke plaatsen bij het elektriciteitsnetwerk, zoals hoogspanningslijnen en transformatorstations.⁵⁹Geluidshinder: bij vochtig weer kunnen leidingen zoemen en storend geluid produceren.Beperking landgebruik: de veiligheidszone onder lijnen beperkt mogelijkheden voor met name stedelijke functies.Risico op vogelsterfte: vogels kunnen tegen de lijnen vliegen, wat leidt tot verwondingen of sterfte.Brandgevaar: lijnen en masten kunnen bij blikseminslag of storing brand veroorzaken in droge perioden.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverontreiniging: verwijderen van funderingen kan bodem en grondwater verontreinigen door morsen van olie of andere stoffen.Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.Afval: Het demonteren van de masten en lijnen genereert afval, deels metaal en beton. Dit moet op een milieuvriendelijke manier moeten worden afgevoerd.Geluidsoverlast: afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Veiligheid: Het verwijderen van grote structuren zoals masten kan veiligheidsrisico's met zich meebrengen voor de arbeiders en de omgeving.	<p>De productie en onderhoud van hoogspanningsleidingen en masten kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van masten, lijnen en onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Hoogspanningsleiding (ondergronds, tot 150kV)	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Graafwerkzaamheden en aanleg van sleuven voor kabels verstoren bodemstructuur, vegetatie en bodemleven. Verder kunnen drainagepatronen wijzigen en is er kans op zetting door eventuele bemaling in de aanlegfase.Archeologie: graafwerkzaamheden en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Bouwwerkzaamheden en gebruik van zware machines kan het opwaaien van stof en uitstoot van schadelijke stoffen veroorzaken zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Graafwerkzaamheden en bemaling ten behoeve van de aanleg van kabels kunnen drainagepatronen wijzigen en tijdelijk de grondwaterstand verlagen langs het kabeltracé. Dit kan (lokaal) effecten hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), verzilting of zetting.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">Beperking landgebruik: Boven het tracé gelden beperkingen voor bebouwing, diepe wortels of zware beplanting.Verwarming van bodem: Geleiding van stroom veroorzaakt lokale opwarming van de bodem, wat bodemleven kan beïnvloeden.Magnetische en elektrische velden: Ook ondergronds worden elektromagnetische velden opgewekt. Dit kan zorgen oproepen met betrekking tot gezondheid. Lichamelijke effecten treden pas op bij veldsterktes die hoger liggen dan de blootstellingslimieten. Dergelijke hoge veldsterktes komen niet voor op publiek toegankelijke plaatsen bij het elektriciteitsnetwerk.Waterhuishouding: Kabelsleuven kunnen lokale grondwaterstromen en afwatering beïnvloeden.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de kabels en infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.Afval: Afbraak van oude kabels en bijbehorende infrastructuur genereert afval.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Verkeershinder bij sloop: Het eventueel openbreken van wegen of paden om kabels te verwijderen kan tijdelijk verkeersproblemen geven.Risico op schade aan andere kabels/leidingen: Bij het verwijderen kunnen andere ondergrondse infrastructuren beschadigd raken.	<p>De productie en onderhoud van kabels kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan elders leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van kabels en andere onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Onderstation 380kV	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot	<ul style="list-style-type: none">Geluidbelasting: Transformatoren, koelsystemen en schakelaars produceren continu geluid. Dit kan hinder veroorzaken voor omwonenden en fauna, afhankelijk van afstand en geluidsreductiemaatregelen.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de fundering en andere infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.	<p>De productie en onderhoud kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsverandering.

⁵⁹ [Elektromagnetische velden en gezondheid](#)

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
	<p>aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.</p> <ul style="list-style-type: none">Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten, zoals heien en het transport van materialen, kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines en transportvoertuigen kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), maar ook kan leiden tot verzilting of zetting.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">Warmteafgifte: Elektrische installaties geven warmte af, wat lokaal het microklimaat beïnvloedt en indirect effect kan hebben op bodemleven.Magnetische en elektrische velden: hoogspanningslijnen genereren elektromagnetische velden, wat zorgen oproept over gezondheid van mens en dier Veldsterktes blijven onder de wettelijke blootstellingslimieten op publiek toegankelijke plaatsen.Ruimtebeslag: Directe ruimtebeslag door het onderstation varieert tussen de 10 en 25 hectare, afhankelijk of het een gecombineerd 380/150kV station is. Dit beperkt alternatieve functies (landbouw, natuur, recreatie, bedrijvigheid) op de locatie en kan leiden tot verlies van ecosysteemdiensten.Ecologische verstoring: Licht, geluid en trilling kunnen gedrag en voortplanting van dieren beïnvloeden, vooral in Natura 2000- en NNN-gebieden.Visuele impact: Een onderstation kan de beleving en esthetiek van de omgeving beïnvloeden. Ook kan het historische geografische patronen en cultuurhistorische waarden verstoren.Externe veiligheid: Er is er kans op brand door technische storingen of blikseminslag, waardoor risicocontouren van toepassing zijn.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en oude chemicaliën in de bodem terechtkomen.Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	<ul style="list-style-type: none">Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Onderstation 150kV	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleinere schaal door minder benodigde ruimte en materialen.	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleinere schaal door minder benodigde ruimte en materialen.	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleinere schaal door minder benodigde ruimte en materialen.	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleinere schaal door minder benodigde ruimte en materialen.
Onderstation 20/10kV	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleine schaal door relatief weinig benodigde ruimte en materialen.	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleine schaal door relatief weinig benodigde ruimte en materialen.	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleine schaal door relatief weinig benodigde ruimte en materialen.	<ul style="list-style-type: none">Idem als onderstation 380kV, maar op kleine schaal door relatief weinig benodigde ruimte en materialen.

Warmte

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
Energiebronnen				
Geothermie (HT)	<ul style="list-style-type: none">Risico's voor grondwater: Doorboring van watervoerende lagen kan risico's opleveren voor (drink)waterkwaliteit, vooral in dynamische zones of bufferzones. Bij een normale bedrijfsvoering is het uitgesloten dat geothermieprojecten effect hebben op de drinkwaterkwaliteit.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Bodemverstoring: Grondverzet, graafwerkzaamheden funderingswerk en egalisatie verstoren bodemstructuur en biodiversiteit.Luchtvervuiling: Bouwwerkzaamheden en gebruik van zware machines kan het opwaaien van stof en uitstoot van schadelijke stoffen veroorzaken zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Graafwerkzaamheden en bemaling ten behoeve van de aanleg kunnen drainagepatronen wijzigen en tijdelijk de grondwaterstand verlagen. Daarnaast kan doorgraven van slecht doorlatende lagen grondwaterstroming en -kwaliteit beïnvloeden, met tijdelijke of permanente effecten op omgeving. Dit kan (lokaal) effecten hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), zetting en verzilting.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.	<ul style="list-style-type: none">Overmatige extractie: In principe wordt bij geothermie geen water gewonnen, alleen de warmte uit het water. Het afgekoelde water wordt teruggepompt. Echter overmatige extractie kan reservoirs na verloop van tijd uitputten, wat leidt tot een afname van de productiviteit en in sommige gevallen tot mogelijke bodemdaling of instabiliteit van het land.Risico van geïnduceerde seismiteit: De injectie of extractie van vloeistoffen tijdens geothermische activiteiten brengt risico op seismische activiteit, zoals aardbevingen. Dit risico wordt vooralsnog op zeer klein ingeschat⁶⁰.Watergebruik: Geothermische installaties hebben water nodig voor stoomproductie en koeling, wat kan concurreren met ander watergebruik zoals landbouw, industrie of gemeentelijke watervoorziening.Risico op lekkages: Er is risico op bodemverontreiniging of (drink)waterverontreiniging als gevolg van lekkage van formatiewater en boorvloeistoffen⁶¹.Geluidbelasting: De installatie produceert geluid tijdens werking, wat hinder kan veroorzaken bij naastgelegen gevoelige objecten en ecosystemen.Visuele impact: Een geothermie installatie kan de beleving en esthetiek van de omgeving beïnvloeden. Ook kan het historische geografische patronen en cultuurhistorische waarden verstoren.Externe veiligheid: Geothermie brengt veiligheidsrisico's als explosiegevaar of ongecontroleerde uitstroom van water aan het oppervlak (blow out of spuiters) wanneer de boorvloeistof onvoldoende tegendruk geeft. Er gelden daarom veiligheidszones van gemiddeld 150 meter⁶².	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de fundering, leidingen, boorputten en andere infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en oude chemicaliën in de bodem terechtkomen.Afval: Afbraak van installaties, leidingen en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	<p>De productie en onderhoud van geothermie installaties kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsverandering.Energieverbruik: het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.

⁶⁰ [Nationaal programma lokale warmtetransitie \(2025\). Handreiking aardwarmte.](#)
⁶¹ [Nederlands instituut publieke veiligheid \(2024\). Kennisbundel Geothermie.](#)
⁶² [Gemeente Utrecht, Bosch & van Rijn \(2024\). PlanMER ten behoeve van Beleidsnota Schone Energie in Utrecht \(2024\).](#)

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
Geothermie (LT)	Vergelijkbaar met Geothermie HT, maar op kleinere schaal door minder benodigde ruimte, installaties en materialen. Ook wordt er minder diep geboord waardoor seismische risico's kleiner zijn. De veiligheidszones zijn ook kleiner.	Vergelijkbaar met Geothermie HT, maar op kleinere schaal door minder benodigde ruimte, energie, installaties, koelwater en materialen. Ook wordt er minder diep geboord waardoor seismische risico's kleiner zijn. De veiligheidszones zijn ook kleiner.	Vergelijkbaar met Geothermie HT, maar op kleinere schaal door minder benodigde ruimte, materialen, installaties en boordiepte.	Vergelijkbaar met Geothermie HT, maar op kleinere schaal door minder benodigde materialen.
Aquathermie	<ul style="list-style-type: none">• Verstoring van waterbodem en oevers: Bij aanleg van inlaat- en uitlaatconstructies kunnen waterbodems en oevers worden verstoord, wat invloed heeft op lokale flora en fauna.• Aanlegghinder: Aanleg van leidingen, pompen en warmtewisselaars kan leiden tot tijdelijke hinder voor scheepvaart, recreatie en ecologische waarden.• Luchtvervuiling: Bouwwerkzaamheden en gebruik van zware machines kan het opwaaien van stof en uitstoot van schadelijke stoffen veroorzaken zoals stikstofoxiden en fijnstof.• Archeologie: Het graven van funderingen en leidingen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.• Waterveiligheid: Leidingen kunnen bestaande waterkeringen doorkruisen, wat risico's met zich meebrengt voor waterveiligheid en vereist specifieke technische maatregelen⁶³.• Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.• Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">• Thermische effecten: Lozing van het koude water uit aquathermie-installaties op oppervlaktewater kan de lokale watertemperatuur veranderen, en veroorzaakt onnatuurlijke waterstroming. Dit kan effect hebben op aquatische ecosystemen⁶³.• Risico op lekkages: Er kunnen lekkages in de aquathermie-installaties en reinigingsinstallaties voorkomen van werkvloeistoffen en bijvoorbeeld corrosie aan metalen onderdelen. Deze lekkages kunnen oppervlaktewater vervuilen.• Verstoring ecologie: Inname van oppervlaktewater kan leiden tot het verwijderen van plankton, planten en kleine organismen, wat invloed heeft op voedselketens.	<ul style="list-style-type: none">• Bodemverstoring: Het verwijderen van de fundering, leidingen en andere infrastructuur kan leiden tot (water)bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.• Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en oude chemicaliën in de bodem terechtkomen.• Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen.• Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.• Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.• Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten en transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	De productie en onderhoud van aquathermie installaties kan elders leiden tot milieueffecten door: <ul style="list-style-type: none">• Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen voor roestvrij staal en titanium kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsaantasting.• Energieverbruik: het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.• Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Warmte-koude opslag	<ul style="list-style-type: none">• Bodemverstoring: Graafwerkzaamheden en het aanleggen van leidingen en bronnen kunnen de bodemstructuur verstoren en lokaal biodiversiteit verminderen. Bemaling tijdens de aanleg kan tijdelijk leiden tot verlaging van de grondwaterstand en lokale zetting.• Risico's voor grondwater: Het boren van bronnen voor WKO-systemen kan risico's opleveren voor de kwaliteit van het grondwater, met name als er door watervoerende lagen geboord wordt.• Geluidsoverlast: Boren, graafwerkzaamheden en het plaatsen van installaties veroorzaakt tijdelijke geluidsoverlast voor de omgeving.• Luchtvervuiling: Tijdens de aanlegfase zorgt het gebruik van machines en transportvoertuigen voor uitstoot van stikstofoxiden, fijnstof en het opwaaien van stof.• Waterverontreiniging: Tijdens graaf- en boorwerkzaamheden kunnen sedimenten en verontreinigende stoffen in nabijgelegen watergangen terechtkomen.• Grondwaterstand en -kwaliteit: Graafwerkzaamheden, bemaling en het doorboren van verschillende bodemlagen kunnen de grondwaterstroming en -stand tijdelijk beïnvloeden. Dit heeft mogelijk gevolgen voor de kwaliteit van het grondwater en voor vegetatie in de directe omgeving. Ook kan bemaling leiden tot zetting en verzilting.• Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.• Archeologie: Bij het graven voor leidingen, bronnen of installaties kan schade ontstaan aan (onbekende) archeologische waarden in de ondergrond.	<ul style="list-style-type: none">• Risico op lekkages: Er is risico op bodemverontreiniging of (drink)waterverontreiniging als gevolg van lekkage van bijvoorbeeld circulatie- of koelvloeistoffen in een gesloten WKO-systeem.• Geluidbelasting: De installatie produceert geluid tijdens werking, wat hinder kan veroorzaken bij naastgelegen gevoelige objecten en ecosystemen.• Visuele impact: Een geothermie installatie kan de beleving en esthetiek van de omgeving beïnvloeden. Ook kan het historische geografische patronen en cultuurhistorische waarden verstoren.• Externe veiligheid: Een WKO vraagt om ruimte in de ondergrond en kan niet zomaar gecombineerd worden met andere functies zoals drinkwaterproductie of een andere WKO⁶⁴. Er gelden veiligheidscontouren en restrictieklassen van functies.• Risico bij open systemen: In open systemen voor WKO kan vermenging van grondwaterlagen voorkomen. Door wisseling in de grondwaterstromen kan verzakking optreden. Daarnaast kan een WKO ook een bestaande grondwaterverontreiniging verder verspreiden⁶⁵.• Thermische verontreiniging: Door het injecteren van warmer of kouder water in de bodem kan lokaal een thermisch regime ontstaan dat de microbiële samenstelling en bodemecologie beïnvloedt. Hiervan zijn de gevolgen nog onvoldoende bekend.	Idem als aquathermie	Idem als aquathermie
<ul style="list-style-type: none">• Productie				
Warmte kracht koppeling (WKK)	<ul style="list-style-type: none">• Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.• Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot	<ul style="list-style-type: none">• Luchtvervuiling: Stookinstallaties van WKK (meestal op aardgas, soms op biogas, diesel of waterstof) stoten tijdens bedrijf CO₂, NO_x, fijnstof en soms zwaveloxiden uit.	<ul style="list-style-type: none">• Bodemverstoring: Het verwijderen van de fundering, leidingen en andere infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem.	De productie en onderhoud van Warmte kracht koppeling kan elders leiden tot milieueffecten door: <ul style="list-style-type: none">• Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen voor roestvrij staal en titanium kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsaantasting.

⁶³ [Deltares \(2022\). Ontwerphandreiking Aquathermie-TEO. WarmingUp](#)
⁶⁴ [Informatiepunt leefomgeving. Bodemambities voor warmte-koudeopslag in de bodem.](#)
⁶⁵ [Informatiepunt leefomgeving. Factsheet warmte en koude opslag.](#)

Aanleg		Gebruik	Afbraak	Elders
		<ul style="list-style-type: none">Geluid en trillingen: De installaties (motoren, turbines, generatoren) veroorzaken continu geluid en mogelijk trillingen, wat hinder kan opleveren voor de omgeving.Externe veiligheid en lekkage: Onvoorziene storingen, lekkages van koelvloeistoffen of brandstof, of brand kunnen leiden tot lokale vervuiling of veiligheidsrisico's.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en oude chemicaliën in de bodem terechtkomen.Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten en transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	<ul style="list-style-type: none">Energieverbruik: WKK installaties kunnen fossiele brandstoffen gebruiken. Deze worden vaak elders geproduceerd en kunnen daar lokaal een negatief effect op het milieu hebben. Ook het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Transport				
Warmteleiding	<ul style="list-style-type: none">Bodemkwaliteit: Door graafwerkzaamheden kan de bodemkwaliteit worden beïnvloed doordat verontreinigde grondlagen worden verstoord of gesaneerd, wat leidt tot een verandering in de chemische samenstelling van de bodem.Beschermde soorten: Open ontgravingen door leefgebieden van beschermde flora en fauna kunnen leiden tot verstoring of verlies van deze leefgebieden, met negatieve gevolgen voor biodiversiteit.Natuurlijke landschapselementen: De aanleg van leidingen kan bosschages, houtwallen en waterlopen doorkruisen of aantasten, waardoor ecologische verbindingen en landschappelijke waarden verloren gaan.Cultuurhistorische waarden: Graafwerkzaamheden in de nabijheid van monumentale panden, historische dijken of wegenpatronen kunnen leiden tot aantasting van deze cultuurhistorische structuren.Bodemverstoring: Graafwerkzaamheden voor ondergrondse leidingen verstoren bodemstructuur, vegetatie en bodemleven. Verder kunnen drainagepatronen wijzigen en is er kans op zetting door eventuele bemaling in de aanlegfase.Archeologie: graafwerkzaamheden en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Bouwwerkzaamheden en gebruik van zware machines kan het opwaaien van stof en uitstoot van schadelijke stoffen veroorzaken zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Graafwerkzaamheden en bemaling ten behoeve van de aanleg van leidingen kunnen drainagepatronen wijzigen en tijdelijk de grondwaterstand verlagen langs het tracé. Dit kan (lokaal) effecten hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), zetting en verzilting. Effect op lokale grondwaterstromen en afwatering kan permanent zijn.	<ul style="list-style-type: none">Beperking landgebruik: Boven het tracé gelden beperkingen voor bebouwing, diepe wortels of zware beplanting.Onderhoud: Bij lekkage of onderhoud kan het nodig zijn (deel van) de leiding op te graven, wat verstorend werkt. Incidenteel onderhoud kan tijdelijk voor verkeershinder en verstoringen zorgen.Risico op lekkages: Lekkage van warmteleidingen kan leiden tot opwarming van omliggende grond en aantasting van grondwaterkwaliteit (bij bijvoorbeeld toegevoegde antifreeze).Thermische effecten: Langdurige lekkage of onvoldoende isolatie kan lokaal de bodemtemperatuur verhogen, wat effect kan hebben op bodemecologie.Visuele impact: bovengrondse delen (zoals schakelkasten en pompstations) kunnen visueel het landschap beïnvloeden.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de leidingen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem. Herstel van beschadigde vegetatie en ecosystemen kan jaren duren.Afval: Afbraak van leidingen genereert afval.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Geluidsoverlast: afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Verkeershinder bij sloop: Opbreken van wegen of paden voor het verwijderen van leidingen kan tijdelijk verkeersproblemen geven.Risico op schade aan andere kabels/leidingen: Bij het verwijderen kunnen andere ondergrondse infrastructuren beschadigd raken.	<p>De productie en onderhoud van leidingen kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan elders leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van leidingen en andere onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.

Vloeistoffen en gassen

Aanleg		Gebruik	Afbraak	Elders
Energiebronnen				
Vergisting (groen gas)	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.	<ul style="list-style-type: none">Externe veiligheid: Er bestaat een risico op incidenten, zoals brand, explosies door gasvorming of lekkages, die schadelijk kunnen zijn voor mens en milieu.Geurhinder: Opslag, verwerking van biomassa en digestaat kunnen geur veroorzaken voor omwonenden en fauna.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en bodemleven. Daarnaast kan bodemverdichting optreden door het gebruik van zware machines.Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en chemicaliën in de bodem terechtkomen.	<p>De productie en onderhoud kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen voor de bouw van een installatie kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie, grootschalig watergebruik en landschapsverandering.

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
	<ul style="list-style-type: none">Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten, zoals heien en het transport van materialen, kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines en transportvoertuigen kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), maar ook kan leiden tot verzilting of zetting.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">Geluidshinder: Pompen, mixers, gasmotoren en transport veroorzaken continu of piekgeluid. Dit kan overlast veroorzaken voor omwonenden en fauna.Luchtverontreiniging: Tijdens het vergistingsproces kunnen methaan, ammoniak en andere gassen vrijkomen, waardoor de luchtkwaliteit in de omgeving kan verslechteren.Waterverontreiniging: Afvalwater of percolaat kan bij lekkage of onzorgvuldige afvoer oppervlaktewater of grondwater verontreinigen.Bodemverontreiniging: Lekkages van digestaat of chemicaliën kunnen de bodem aantasten.Ecologie: Geluid en geur kunnen gedrag en aanwezigheid van dieren in de omgeving beïnvloeden.Visuele hinder: Installatie en bijbehorende infrastructuur kunnen als storend worden ervaren in het landschap.	<ul style="list-style-type: none">Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	<ul style="list-style-type: none">Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Aardgaswinning	Idem als vergisting	<ul style="list-style-type: none">Bodemdaling: Bij de winning van aardgas kunnen aardbevingen, bodemdaling en verzakkingen optreden, wat gevolgen heeft voor gebouwen, infrastructuur en het landschap.Luchtverontreiniging: Tijdens het productieproces kunnen kleine hoeveelheden aardgas, methaan en andere broeikasgassen vrijkomen, wat bijdraagt aan klimaatverandering. Flare-installaties of incidenten kunnen leiden tot luchtverontreiniging door verbranding van gas.Geluidsoverlast: De installaties en compressorstations produceren continu of periodiek geluid, wat tot geluidshinder kan leiden voor omwonenden.Bodem- en waterverontreiniging: Lekkages van aardgas of andere schadelijke stoffen kunnen leiden tot bodem- en waterverontreiniging in de omgeving van de installaties.Visuele hinder: De installaties zijn vaak zichtbaar in het landschap en kunnen de esthetische ervaring aantasten.	Idem als vergisting	Idem als vergisting
Productie				
Electrolyser (waterstof)	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten, zoals heien en het transport van materialen, kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines en transportvoertuigen kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), maar ook kan leiden tot verzilting of zetting.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">Visuele impact: Elektrolyzers kunnen het landschap visueel verstoren, vooral in open of waardevolle gebieden.Warmteafgifte: Tijdens het gebruik van de elektrolyser kan er sprake zijn van warmteafgifte, waardoor de lokale omgevingstemperatuur licht kan stijgen.Bodem- en waterverontreiniging: Bij de zuivering van water voor elektrolyse wordt een deel als afvalwater water geloosd. Afhankelijk van de ontvangende bron kan dit negatieve milieueffecten veroorzaken. Verder kunnen lekkages van elektrolyt (zoals kaliumhydroxide of natriumhydroxide bij alkaline-elektrolyzers) zorgen voor bodem- en waterverontreiniging. Het spoelen en reinigen van de elektrolyser kan leiden tot afvalwater met chemische verontreinigingen.Watergebruik: Voor elektrolyse is (gezuiverd) water benodigd. Voor 1 kg waterstof is ongeveer tussen de 9-11 liter water nodig. Daarnaast kan voor koeling ook water gebruikt worden^{66,67}.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en bodemleven. Daarnaast kan bodemverdichting optreden door het gebruik van zware machines.Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en chemicaliën in de bodem terechtkomen.Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval, waaronder metaal, beton en mogelijk gevaarlijke stoffen. Dit kan leiden tot milieuvervuiling indien het niet op milieuvriendelijke manier wordt verwerkt.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	<p>De productie en onderhoud kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: De productie van elektrolyzers vereist het winnen en verwerken van metalen zoals staal, koper, nikkel en in sommige gevallen edelmetalen, wat kan leiden tot uitputting van natuurlijke hulpbronnen, milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, erosie, grootschalig watergebruik en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Transport				
Waterstofleiding	<ul style="list-style-type: none">Bodemkwaliteit: Door graafwerkzaamheden kan de bodemkwaliteit worden beïnvloed doordat verontreinigde grondlagen worden verstoord of gesaneerd, wat leidt tot een verandering in de chemische samenstelling van de bodem.Beschermde soorten: Open ontgravingen door leefgebieden van beschermde flora en fauna kunnen	<ul style="list-style-type: none">Externe veiligheid: Tijdens het transport van waterstof onder hoge druk kunnen incidenten optreden. De risicocontouren nemen daarom toe.Beperking landgebruik: Boven het tracé gelden beperkingen voor bebouwing, diepe wortels of zware beplanting.Onderhoud: Bij lekkage of onderhoud kan het nodig zijn (deel van) de leiding op te graven, wat verstorend	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de leidingen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en biodiversiteit. Zware machines bij afbraak kunnen ook zorgen voor verdichting van de bodem. Herstel van beschadigde vegetatie en ecosystemen kan jaren duren.Afval: Afbraak van leidingen genereert afval.	<p>De productie en onderhoud kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: de winning van grondstoffen kan leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan elders leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van

⁶⁶ [Evides Industriewater \(2025\). Hoeveel water is er nodig voor de waterstofproductie.](#)

⁶⁷ [Hydrogen Europe \(2020\). Hydrogen production & water consumption.](#)

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
	<p>leiden tot verstoring of verlies van deze leefgebieden, met negatieve gevolgen voor biodiversiteit.</p> <ul style="list-style-type: none">Natuurlijke landschapselementen: De aanleg van leidingen kan bosschages, houtwallen en waterlopen doorkruisen of aantasten, waardoor ecologische verbindingen en landschappelijke waarden verloren gaan.Cultuurhistorische waarden: Graafwerkzaamheden in de nabijheid van monumentale panden, historische dijken of wegenpatronen kunnen leiden tot aantasting van deze cultuurhistorische structuren.Bodemverstoring: Graafwerkzaamheden voor ondergrondse leidingen verstoren bodemstructuur, vegetatie en bodemleven. Verder kunnen drainagepatronen wijzigen en is er kans op zetting door eventuele bemaling in de aanlegfase.Archeologie: graafwerkzaamheden en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Bouwwerkzaamheden en gebruik van zware machines kan het opwaaien van stof en uitstoot van schadelijke stoffen veroorzaken zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Graafwerkzaamheden en bemaling ten behoeve van de aanleg van leidingen kunnen drainagepatronen wijzigen en tijdelijk de grondwaterstand verlagen langs het tracé. Dit kan (lokaal) effecten hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw). Effect op lokale grondwaterstromen en afwatering kan permanent zijn. <ul style="list-style-type: none">	<p>werkt. Incidenteel onderhoud kan tijdelijk voor verkeershinder en verstoringen zorgen.</p>	<ul style="list-style-type: none">Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Geluidsoverlast: afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Verkeershinder bij sloop: Opbreken van wegen of paden voor het verwijderen van leidingen kan tijdelijk verkeersproblemen geven.Risico op schade aan andere kabels/leidingen: Bij het verwijderen kunnen andere ondergrondse infrastructures beschadigd raken.	<p>materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.</p> <ul style="list-style-type: none">Transportemissies: aanvoer van leidingen en andere onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Aardgasleiding	Idem als waterstofleiding.	Idem als waterstofleiding.	Idem als waterstofleiding.	Idem als waterstofleiding.
Groen gasleiding	Idem als waterstofleiding.	Idem als waterstofleiding.	Idem als waterstofleiding.	Idem als waterstofleiding.
Aardgasontvangstation	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie.Archeologie: Het graven van funderingen en het aanleggen van toegangswegen kan leiden tot aantasting van eventueel aanwezige archeologische waarden.Geluidsoverlast: Bouwactiviteiten, zoals heien en het transport van materialen, kunnen geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines en transportvoertuigen kan leiden tot uitstoot van schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Bouwactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Grondwater: Bij eventuele benodigde bemaling voor het graven van funderingen wordt grondwater onttrokken, wat (lokaal) effecten kan hebben op vegetatie (natuur en/of landbouw), maar ook kan leiden tot verzilting of zetting.Ecologie: Tijdens de aanleg kan verlies en/of verstoring van ecologische structuren en mogelijke leefgebieden voor soorten optreden.	<ul style="list-style-type: none">Externe veiligheid: Er bestaat een risico op incidenten, zoals brand, explosies door lekkages, die schadelijk kunnen zijn voor mens en milieu.Geluidshinder: Het ontvangstation kan continue of incidentele geluiden produceren.Luchtverontreiniging: Mogelijke lekkages van gassen kunnen de luchtkwaliteit in de omgeving verslechteren.Visuele hinder: Een ontvangstation kan als storend element worden ervaren in het landschap.	<ul style="list-style-type: none">Bodemverstoring: Het verwijderen van de funderingen en infrastructuur kan leiden tot bodemverstoring en verlies van vegetatie en bodemleven. Daarnaast kan bodemverdichting optreden door het gebruik van zware machines.Bodemverontreiniging: Bij sloop kunnen reststoffen en chemicaliën in de bodem terechtkomen.Afval: Afbraak van installaties en funderingen genereert afval met mogelijk gevaarlijke stoffen. Dit kan leiden tot milieuvervuiling indien het niet op milieuvriendelijke manier wordt verwerkt.Luchtvervuiling: Het gebruik van zware machines voor de demontage en transport kan leiden tot uitstoot van stof en schadelijke stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof.Waterverontreiniging: Sloopactiviteiten kunnen leiden tot afvoer van sedimenten en verontreinigende stoffen naar nabijgelegen waterlichamen.Geluidsoverlast: Afbraakactiviteiten als gevolg van bijvoorbeeld transport kunnen tijdelijk geluidsoverlast veroorzaken voor nabijgelegen bewoners.	<p>De productie en onderhoud kan elders leiden tot milieueffecten door:</p> <ul style="list-style-type: none">Grondstoffenwinning: De productie van ontvangstations vereist het winnen en verwerken van grondstoffen. Dit kan elders leiden tot milieuvervuiling, verlies van biodiversiteit, waterschaarste, erosie, grootschalig watergebruik en landschapsverandering.Energieverbruik en luchtvervuiling: het productieproces kan leiden tot uitstoot van broeikasgassen en schadelijke stoffen. Productie van materialen vraagt vaak veel energie, meestal afkomstig uit fossiele bronnen.Transportemissies: aanvoer van onderdelen veroorzaakt ook emissies in andere regio's en/of landen.
Groen-gasontvangstation	<ul style="list-style-type: none">Idem als aardgasontvangstation.	<ul style="list-style-type: none">Idem als aardgasontvangstation.	<ul style="list-style-type: none">Idem als aardgasontvangstation.	<ul style="list-style-type: none">Idem als aardgasontvangstation.
Waterstofontvangstation	<ul style="list-style-type: none">Vergelijkbaar met aardgasontvangstation. Echter materialen kunnen verschillen (bijv. speciale leidingen en afdichtingen voor waterstof).	<p>Vergelijkbaar met aardgasontvangstation. Enkele verschillen zijn echter:</p> <ul style="list-style-type: none">Externe veiligheid: Minder kans op methaanlekage dan bij aardgasontvangstation. Wel is waterstof vluchtiger en ontbrandt sneller dan aardgas waardoor mogelijk hogere eisen aan detectie, ventilatie en explosiebeveiliging gesteld zijn. Waterstofontvangstations vereisen daarnaast mogelijk extra veiligheidszones vanwege explosiegevaar.	<ul style="list-style-type: none">Vergelijkbaar met aardgasontvangstation. Echter Waterstofinstallaties kunnen meer gespecialiseerde componenten bevatten die moeilijker te recycleren zijn.	<ul style="list-style-type: none">Idem als aardgasontvangstation.

	Aanleg	Gebruik	Afbraak	Elders
		<ul style="list-style-type: none">Energieverbruik: Waterstofstations kunnen meer energie verbruiken voor compressie of koeling (afhankelijk van de vorm: gasvormig of vloeibaar).Geluid: Compressoren voor waterstof kunnen meer geluid produceren dan bij aardgas, afhankelijk van drukniveaus.		

Bijlage B Bevoegdheden en rollen bij bouwstenen energiesysteem

In deze bijlage is per energiedrager voor elke bouwsteen van het energiesysteem aangegeven waar (primair) de rol van bevoegd gezag ligt en wie de initiatiefnemer is.

Elektriciteit

Systeemonderdeel	(Primair) bevoegd gezag				Initiatiefnemer						
	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap	Markt: (ontwikkelaar) of coöperatie of particulier	Metbeheerder nationaal	Netbeheerder regionaal	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap
Energiebronnen											
Wind op land (solitair en kleinschalig)											
Wind op land (windpark)											
Zonnepark op land											
Zon op dak											
Productie											
Gasvormige duurzame moleculen centrale (waterstof)											
Aardgascentrale											
Vaste duurzame moleculen centrale				Rioolslib RWZI							
Kerncentrale (SMR)		SMR's tot 500MW _e									
Warmte kracht koppeling (WKK)											
Opslag											
Batterij											
Transport											
Hoogspanningsleiding (bovengronds, 380kV en 150 kV)											
Hoogspanningsleiding (ondergronds, tot 150kV)											
Onderstation 380kV											
Onderstation 150kV											
Onderstation 20/10kV											

Warmte

Systeemonderdeel	(Primair) bevoegd gezag				Initiatiefnemer						
	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap	Markt: (ontwikkelaar) of coöperatie of particulier	Metbeheerder nationaal	Netbeheerder regionaal	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap
Energiebronnen											
Geothermie (HT)									Mogelijk		
Geothermie (LT)									Mogelijk		
Aquathermie (rivier)											
Aquathermie (riool en RWZI)											

	(Primair) bevoegd gezag				Initiatiefnemer						
	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap	Markt: (ontwikkelaar) of coöperatie of particulier	Metbeheerder nationaal	Netbeheerder regionaal	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap
Systeemonderdeel											
Productie											
Warmte-koude opslag											
Warmte kracht koppeling (WKK)											
Transport											
Warmteleiding											

Vloeistoffen en gassen

	(Primair) bevoegd gezag				Initiatiefnemer						
	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap	Markt: (ontwikkelaar) of coöperatie of particulier	Metbeheerder nationaal	Netbeheerder regionaal	Rijk	Provincie	Gemeente	Waterschap
Systeemonderdeel											
Energiebronnen											
Vergisting (groen gas)											
Aardgaswinning											
Productie											
Electrolyser (waterstof)											
Transport											
Waterstofleiding											
Aardgasleiding											
Aardgasontvangststation											
Groen-gasontvangststation											
Waterstofontvangststation											

Bijlage C Beoordeling (milieu)effecten overige aspecten per systeemalternatief

Bodem en water

Bodem

Fysische bodemkwaliteit

Het alternatief 'Lokale kracht' kenmerkt zich door een verspreide plaatsing van energieopwekking en -opslag in de provincie, waaronder windturbines, zonnevelden en batterijen op verschillende schaalniveaus. De ruimtelijke spreiding zorgt ervoor dat de fysische bodemverstoring breed over het landschap wordt verdeeld. Hierdoor ontstaat het risico op cumulatieve bodemverdichting, verstoring van bodemstructuren en toename van verhard oppervlak op diverse locaties. De kans is echter aanwezig dat door lokale afstemming en aansluiting bij bestaande ruimtelijke ontwikkelingen, bodemverstoring deels kan worden beperkt of geïntegreerd met andere functies, mits zorgvuldig gepland.

Bij 'De grote opgaven gebundeld' worden grootschalige energieprojecten geconcentreerd in specifieke gebieden, zoals het rivierengebied en industriële clusters. Dit alternatief brengt het risico van aanzienlijke fysische bodemverstoring met zich mee op deze geconcentreerde locaties. Denk aan grootschalige windparken, zonnevelden en infrastructuur voor elektriciteit en warmte. Daarentegen wordt het overige landschap grotendeels ontzien, wat kan bijdragen aan behoud van de fysische bodemkwaliteit in grote delen van de provincie. Kansen liggen in het combineren van energieprojecten met andere nationale opgaven, zoals waterveiligheid en natuurontwikkeling, waardoor synergie ontstaat en mogelijk bodembehoud of -herstel wordt bevorderd.

'Op grote schaal denken' focust op import van duurzame energie en clustering van energie-infrastructuur rond haven- en industrieterreinen. De fysische impact op de bodem beperkt zich daardoor vooral tot deze gebieden. In de rest van Brabant blijft de fysische bodemkwaliteit grotendeels intact. Het risico bestaat dat de geconcentreerde ruimtelijke ingrepen, zoals de aanleg van grote centrales, warmtenetten en opslagfaciliteiten, lokaal leiden tot forse bodemverdichting en -verstoring. De kans bestaat echter dat door hergebruik van bestaande industriële locaties de additionele fysische bodemimpact relatief beperkt blijft.

Chemische bodemkwaliteit

In het alternatief 'Lokale kracht' kunnen verspreide energie-installaties leiden tot een toename van lokale emissies naar de bodem, bijvoorbeeld door lekkages van batterijen, transformatoren of bij de ombouw van fossiele centrales. De brede spreiding vergroot het risico op versnipperde chemische belasting. Een kans vormt de lokale betrokkenheid, waardoor sneller kan worden ingegrepen bij incidenten en duurzame technieken kunnen worden toegepast om chemische belasting te minimaliseren. Ook kunnen nieuwe ontwikkelingen gecombineerd worden met bodemsanering.

'De grote opgaven gebundeld' betekent dat chemische risico's geconcentreerd zijn op enkele grote locaties. Hier kan, door de schaalgrootte en intensiteit van activiteiten, aanzienlijke chemische belasting optreden, bijvoorbeeld door grootschalige elektrolyse, opslag van waterstof en industriële processen. De centralisatie biedt echter het voordeel van efficiënter milieubeheer, gerichte monitoring en toepassing van geavanceerde bodembeschermingstechnieken. Kansen liggen in het combineren van bodemsanering met nieuwe ontwikkelingen.

'Op grote schaal denken' brengt de chemische bodemimpact vrijwel uitsluitend samen in de bestaande industriële clusters. Doordat veel energie wordt geïmporteerd, neemt het aantal nieuwe chemisch risicovolle locaties in het buitengebied af. Het risico bestaat dat bij intensiever gebruik van deze clusters de cumulatieve chemische belasting toeneemt, vooral bij de opslag en conversie van geïmporteerde energiedragers. De kans bestaat dat door schaalvoordelen en bestaande milieumaatregelen de chemische bodemkwaliteit relatief goed beheersbaar blijft.

Biologische bodemkwaliteit (vitaliteit van de bodem)

Het alternatief 'Lokale kracht' kan door de verspreide aanleg van energie-infrastructuur leiden tot versnippering van bodemhabitats en verstoring van bodemecologie op veel plekken. Dit kan negatieve gevolgen hebben voor bodemleven, organischestofopbouw en bodemvitaliteit, zeker in kwetsbare agrarische en natuurgebieden. Een kans is dat lokale initiatieven maatwerk mogelijk maken, waarbij ecologische (bodem)waarden nadrukkelijk worden meegenomen in ontwerp en uitvoering.

In 'De grote opgaven gebundeld' worden grote oppervlakten ingezet voor energieproductie, maar wel geconcentreerd op beperkte locaties. In deze clusters kan de biologische bodemkwaliteit onder druk komen te staan door

grootschalige ingrepen. Tegelijkertijd biedt de koppeling met natuurontwikkeling en landbouwtransitie, zoals in De Peel, kansen voor herstel van bodemvitaliteit en versterking van ecosystemen, mits integraal ontworpen.

‘Op grote schaal denken’ heeft door de beperkte ruimtelijke impact buiten de industriële clusters relatief weinig effect op de biologische bodemkwaliteit in het grootste deel van Brabant. Lokaal, binnen de clusters, kan de intensivering van activiteiten de bodemvitaliteit negatief beïnvloeden. Het hergebruik van bestaande terreinen en de focus op import minimaliseren echter het areaal waar de biologische bodemkwaliteit onder druk komt te staan.

Grond- en oppervlaktewater

Grondwaterkwaliteit

Binnen het alternatief ‘Lokale kracht’ wordt de energietransitie op lokaal niveau gestuurd, met een sterke spreiding van energieopwekking en -opslag door de hele provincie. Dit betekent dat windturbines, zonnevelden, batterijen en electrolyzers op diverse locaties worden geplaatst, veelal in de nabijheid van gebruikers en bestaande infrastructuur. De verspreide plaatsing van energie-installaties, zoals batterijen en electrolyzers, brengt het risico van lokale emissies en incidenten met zich mee, bijvoorbeeld door lekkages van chemische stoffen. Hierdoor kan op verschillende plekken de grondwaterkwaliteit onder druk komen te staan. Tegelijkertijd biedt de lokale betrokkenheid kans op snelle interventie en toepassing van duurzame technologieën die verontreiniging kunnen minimaliseren. Echter, het versnipperde karakter van de ontwikkelingen maakt monitoring en beheer complexer, waardoor eventuele effecten op de grondwaterkwaliteit lastig te beheersen zijn.

In het systeemalternatief ‘De grote opgaven gebundeld’ worden opwek, opslag en conversie geconcentreerd in grote clusters, vooral bij industriële knooppunten en in het rivierengebied. Hierdoor zijn de potentiële risico’s voor grondwaterkwaliteit ruimtelijk gebundeld, wat centrale monitoring en beheersmaatregelen vergemakkelijkt. De schaalgrootte vereist wel strikte milieunormen en toezicht, omdat incidenten grotere gevolgen kunnen hebben. Kansen liggen bij het integreren van water- en milieubeschermingsmaatregelen in de grootschalige plannen.

Bij het systeemalternatief ‘Op grote schaal denken’ is de ruimtelijke impact kleiner en vooral geconcentreerd rond de haven- en industriële gebieden van Moerdijk en Geertruidenberg, waar import, opslag en conversie plaatsvinden. Het risico op grondwaterverontreiniging is hierdoor sterk gelokaliseerd. Dit maakt toezicht eenvoudiger, maar vraagt om hoge eisen aan de veiligheid van installaties en infrastructuur. Buiten de clusters is het risico op grondwatervervuiling beperkt.

Grondwaterkwantiteit

In het systeemalternatief ‘Lokale kracht’ kan de ruimtelijke spreiding van wind- en zonneparken en de ombouw van fossiele centrales lokaal gevolgen hebben voor de grondwaterkwantiteit, bijvoorbeeld door veranderingen in het bodemgebruik en de aanleg van verhard oppervlak. Dit kan leiden tot een afname van de infiltratiecapaciteit en een verhoogde afvoer van regenwater, waardoor de aanvulling van het grondwater lokaal kan verminderen. Door afstemming met bestaande ruimtelijke en waterbeheerontwikkelingen kunnen negatieve effecten echter worden beperkt, mits zorgvuldig gepland.

Door clustering van grootschalige energieprojecten in het rivierengebied en bij industriële clusters, is de impact op grondwaterkwantiteit in het systeemalternatief ‘De grote opgaven gebundeld’ ruimtelijk beperkt tot deze gebieden. In deze clusters kan de aanleg van grote zonneparken of windturbines leiden tot verdichting van de bodem en een verminderde grondwateraanvulling. Tegelijkertijd biedt de schaalgrootte juist kansen voor integrale planning, waarbij waterberging en energietransitie samen kunnen worden opgepakt.

Omdat de meeste nieuwe energie-infrastructuur in het systeemalternatief ‘Op grote schaal denken’ wordt geconcentreerd rond bestaande haven- en industrieterreinen, is de invloed op de grondwaterkwantiteit elders in Brabant beperkt. In de clusters zelf kunnen grote installaties lokaal de infiltratiecapaciteit beïnvloeden, maar de totale provinciale impact blijft gering. Dit alternatief biedt kansen om de effecten op grondwaterkwantiteit goed te beheersen door de beperkte ruimtelijke spreiding.

Oppervlaktewaterkwaliteit

In het systeemalternatief ‘Lokale kracht’ kunnen verspreide initiatieven kunnen leiden tot lokale belasting van het oppervlaktewater, bijvoorbeeld door afspoeling van verontreinigende stoffen bij incidenten of onderhoudswerkzaamheden aan installaties. De risico’s zijn versnipperd en daardoor lastig centraal te beheersen. Er zijn kansen voor maatwerkoplossingen per locatie, waarbij lokale waterkwaliteitseisen kunnen worden geïntegreerd in vergunningen en beheer.

Door de bundeling van energie-infrastructuur in grote clusters is de kans op grootschalige incidenten bij het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' groter, maar tegelijkertijd is het handhaven van hoge milieunormen en het ingrijpen bij eventuele verontreinigingen eenvoudiger. Hierdoor kunnen de risico's op oppervlaktewatervervuiling beter beheersbaar blijven.

In het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' zijn de effecten op de oppervlaktewaterkwaliteit vooral geconcentreerd rond de industriële clusters. Hier kunnen incidenten, lekkages of afspoeling bij onderhoud een grote lokale impact hebben, maar door de beperkte ruimtelijke spreiding is gericht toezicht mogelijk. Buiten deze clusters zijn de risico's op oppervlaktewatervervuiling gering.

Oppervlaktewaterkwantiteit

De aanleg van energie-infrastructuur verspreid over de provincie leidt in het systeemalternatief 'Lokale kracht' tot extra verhard oppervlak, wat de piekafvoer van regenwater naar het oppervlaktewater kan verhogen, vooral bij hevige neerslag. Dit vergroot lokaal het risico op wateroverlast en legt druk op het bestaande watersysteem. Door ruimtelijke inpassing en koppeling aan waterbergingsopgaven kunnen deze risico's deels worden beperkt.

In het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' betekent de concentratie van energie-infrastructuur in grote clusters dat de effecten op de oppervlaktewaterkwantiteit vooral in deze gebieden spelen. Hier kan de aanleg van grootschalige parken en installaties de piekafvoer naar het oppervlaktewater verhogen, maar biedt de schaal ook kansen om waterbergingsmaatregelen efficiënt te integreren. Elders in de provincie blijft de impact beperkt.

Door de beperkte aanleg van nieuwe infrastructuur buiten de industriële clusters is de impact op de oppervlaktewaterkwantiteit in grote delen van Brabant minimaal. Binnen de clusters kan de aanleg van grote energie-installaties lokaal de afvoer beïnvloeden, maar door de beperkte omvang is het goed mogelijk om passende waterbeheersmaatregelen te nemen.

Klimaatadaptatie

Waterberging en waterveiligheid

Door de spreiding van energieopwekking en -opslag in het landschap ontstaan er in het systeemalternatief 'Lokale kracht' op veel verschillende locaties ruimtelijke ingrepen. Dit biedt kansen om waterberging en waterveiligheid lokaal te integreren met energieprojecten, bijvoorbeeld door multifunctioneel ruimtegebruik (zoals zonneparken in waterbergingsgebieden). Tegelijkertijd brengt de verspreide ontwikkeling het risico met zich mee dat lokale wateropgaven versnipperd en minder efficiënt worden aangepakt, zeker als coördinatie ontbreekt tussen energie- en waterbeheer. Verspreide infrastructuur kan bovendien lokaal tot meer verharding leiden, waardoor de afvoer van regenwater kan toenemen en wateroverlast mogelijk versterkt wordt.

Het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' concentreert grootschalige energieprojecten in gebieden waar nationale opgaven samenkomen, zoals het rivierengebied met bestaande waterveiligheids- en waterbergingsopgaven. Hierdoor ontstaat de kans om grootschalige energie-infrastructuur te combineren met waterveiligheidsmaatregelen, bijvoorbeeld door windparken en zonneparken te integreren met waterberging of dijkversterking. Een risico is echter dat de druk op deze gebieden toeneemt, waardoor de beschikbare ruimte voor waterberging onder druk kan komen te staan. Als de energie- en wateropgaven goed op elkaar worden afgestemd, kan dit alternatief bijdragen aan synergie; bij onvoldoende afstemming nemen de ruimtelijke conflicten toe.

De ruimtelijke impact van het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' is geconcentreerd rond haven- en industriële gebieden, met relatief weinig grootschalige ingrepen elders in het landschap. Dit beperkt het risico op versnippering en biedt mogelijkheden om waterveiligheidsmaatregelen grootschalig en integraal te benaderen in de betreffende clusters. Tegelijkertijd blijven landelijke wateropgaven grotendeels buiten beschouwing, waardoor kansen voor integratie van waterberging met energieprojecten in het buitengebied minder benut worden. In de havengebieden zelf kan de combinatie van industriële uitbreiding en waterveiligheid tot extra druk leiden, vooral bij extreme weersomstandigheden.

Droogte

Door de sterke nadruk op lokale opwekking en verspreide locaties voor energie-infrastructuur, komen veel energieprojecten in het systeemalternatief 'Lokale kracht' in het landelijk gebied terecht. Dit biedt kansen om bij de inrichting van zonneparken, windturbines en opslaglocaties rekening te houden met bodemvocht en het vasthouden van water, bijvoorbeeld door vergroening of het combineren met natuurontwikkeling. Tegelijkertijd bestaat het risico dat door versnippering de cumulatieve effecten op de lokale waterhuishouding minder goed worden gemonitord, wat

nadelig kan zijn voor de droogteproblematiek als bijvoorbeeld verharding wordt aangelegd of bodemverdichting optreedt.

Door clustering van energie-infrastructuur in gebieden met nationale opgaven, ontstaat in het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' ruimte voor het combineren van droogtebestrijding met energieprojecten, bijvoorbeeld door grootschalige groenstructuren of waterbuffers rondom zonneparken aan te leggen. Het risico is echter dat de focus op grootschaligheid leidt tot grootschalige bodemverstoring, waardoor lokaal het waterbergend vermogen kan afnemen. Een goede ruimtelijke integratie en ecologische inrichting zijn essentieel om negatieve effecten op de droogteproblematiek te voorkomen.

De concentratie van energie-infrastructuur en importfaciliteiten in de havengebieden beperkt in het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' de druk op het landelijke gebied, waardoor de effecten op droogte in het buitengebied relatief klein zijn. Dit biedt het voordeel dat bestaande landbouw- en natuurgebieden minder worden belast. In de industriële clusters zelf kan de grootschalige ontwikkeling echter leiden tot extra waterverbruik en mogelijke verdroging, zeker als koelwater en proceswater uit lokale bronnen worden betrokken. Hier is extra aandacht nodig voor duurzaam waterbeheer.

Zeespiegelstijging

De effecten van zeespiegelstijging in Brabant zijn relatief beperkt. Het systeemalternatief 'Lokale kracht' heeft een relatief beperkte directe relatie tot zeespiegelstijging, aangezien de meeste energie-infrastructuur landinwaarts gerealiseerd wordt. De spreiding van projecten betekent dat de kwetsbaarheid voor zeespiegelstijging vooral afhankelijk is van de locatiekeuze. In laaggelegen gebieden kunnen extra maatregelen nodig zijn om de infrastructuur te beschermen tegen overstromingen, maar de risico's zijn over het algemeen goed te beheersen door lokale aanpassingen.

Door de focus op het rivierengebied en industriële clusters nabij grote wateren, neemt de blootstelling aan de gevolgen van zeespiegelstijging toe in het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld'. Wel zijn er kansen om energie- en waterveiligheidsopgaven te combineren, bijvoorbeeld door de aanleg van energie-infrastructuur te koppelen aan dijkversterking of het verhogen van waterkeringen. Het risico ontstaat dat bij onvoldoende integratie de energie-infrastructuur kwetsbaar wordt voor overstromingen, vooral op lange termijn bij een stijgende zeespiegel.

De concentratie van energie-infrastructuur in haven- en kustgebieden maakt het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' gevoelig voor zeespiegelstijging en overstromingsrisico's. In dit alternatief is het essentieel om energievoorzieningen te integreren met robuuste waterveiligheidsmaatregelen, zoals verhoogde terreinen en versterkte kades. Tegelijkertijd biedt de schaalgrootte kansen om innovatieve, geïntegreerde oplossingen te realiseren, mits deze tijdig en adequaat worden geïmplementeerd.

Gezonde en veilige leefomgeving, exclusief geluid

Luchtkwaliteit

De drie systeemalternatieven bieden verschillende benaderingen voor de energietransitie in Brabant. Elk alternatief kent een eigen ruimtelijke en technologische invulling, wat leidt tot uiteenlopende effecten op de luchtkwaliteit.

Stikstofoxiden (NOx)

In het alternatief 'Lokale kracht' wordt sterk ingezet op lokaal opgewekte elektriciteit, met veel verspreide initiatieven en een nadruk op het ombouwen van bestaande fossiele centrales naar hernieuwbare bronnen zoals waterstof. De grootschalige toepassing van wind- en zonne-energie leidt tot een forse afname van NOx-emissies, doordat elektriciteitsproductie met fossiele brandstoffen grotendeels wordt vervangen. Wel bestaat er een risico dat bij de omschakeling van oudere centrales tijdelijk extra NOx kan vrijkomen, vooral bij het opstarten en testen van nieuwe installaties. Het verspreide karakter van opwek en opslag in dit alternatief beperkt echter de kans op lokale hoge concentraties van NOx-uitstoot, wat gunstig is voor de luchtkwaliteit.

In het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' ligt de focus op grootschalige windparken op zee en grote duurzame elektriciteitscentrales, met name geconcentreerd rond industriële clusters. Dit alternatief biedt kansen voor een aanzienlijke reductie van NOx, doordat fossiele productie op deze locaties wordt vervangen door hernieuwbare bronnen en waterstofproductie. Het risico is wel dat tijdens de bouw- en conversiefase van grootschalige infrastructuur tijdelijk verhoogde NOx-emissies kunnen optreden, vooral in de nabijheid van de grote clusters Moerdijk en Geertruidenberg.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' gaat uit van een sterke internationale oriëntatie en grootschalige import van duurzame energiedragers (waterstof en groen gas). Hierdoor verschuift een deel van de productie en bijbehorende NO_x-emissies naar het buitenland. Lokaal resulteert dit in een beperkte toename van NO_x-emissies, met name rond de havens en industriële clusters waar import en conversie plaatsvinden. Dit alternatief biedt kansen voor een verbetering van de luchtkwaliteit in Brabant, aangezien de directe lokale emissies van NO_x relatief laag blijven, al blijft er een risico op piekbelasting rond de importlocaties.

Fijn stof (PM)

Binnen het alternatief 'Lokale kracht' zorgt de verspreide inzet van wind- en zonne-energie voor een minimale bijdrage aan fijnstofemissies, aangezien deze technologieën tijdens de operationele fase nauwelijks fijn stof genereren. Wel kunnen er beperkte emissies optreden bij de bouw en het onderhoud van de vele kleine installaties, en bij de conversie van bestaande centrales naar waterstof. De verspreiding van opwek- en opslaglocaties verkleint de kans op lokale overschrijdingen van normen, maar cumulatief kan het effect als gevolg van de aanleg regionaal merkbaar zijn.

In het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' worden grote energieprojecten en infrastructuur geconcentreerd in enkele gebieden. Dit biedt kansen om emissies van fijn stof te beheersen door gerichte maatregelen op deze locaties. De aanleg van grootschalige centrales en windparken kan tijdelijk leiden tot verhoogde fijnstofconcentraties, vooral tijdens bouw- en transportactiviteiten. Tijdens de operationele fase zijn de emissies gering, mits fossiele bronnen daadwerkelijk worden uitgefaseerd.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' beperkt de lokale productie van energie en daarmee de kans op fijnstofemissies in Brabant. Doordat veel energie geïmporteerd wordt, verschuiven eventuele emissies in het productieproces grotendeels naar het buitenland. De lokale impact op fijn stof concentreert zich rond de overslag- en conversiepunten in de havengebieden, waar tijdens aanvoer, opslag en verwerking van energiedragers tijdelijk verhoogde fijnstofwaarden kunnen ontstaan. Over het geheel genomen blijft het effect op de regionale luchtkwaliteit beperkt.

Slagschaduw

Binnen het systeemalternatief 'Lokale kracht' worden na uitvoering van de Regionale Energie Strategieën (RES) nog 222 windturbines verspreid over de provincie geplaatst, voornamelijk in de buurt van gebruikers en nabij hoog- en middenspanningsstations. Door deze ruimtelijke spreiding ontstaat een verhoogd risico op hinder door slagschaduw voor een groter aantal omwonenden, aangezien turbines op veel verschillende locaties terechtkomen, ook nabij woonkernen. Tegelijk biedt deze spreiding kansen om lokaal maatwerk toe te passen, bijvoorbeeld door de plaatsing af te stemmen op bestaande bebouwing of door het nemen van mitigerende maatregelen zoals het tijdelijk stilzetten van turbines bij overlast. Lokale betrokkenheid kan bovendien de acceptatie verhogen en creatieve oplossingen stimuleren om hinder te beperken.

Het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' concentreert de plaatsing van windturbines in grote clusters binnen het rivierengebied, direct aangesloten op het landelijke elektriciteitsnet. Deze bundeling leidt ertoe dat de hinder door slagschaduw zich vooral concentreert in specifieke gebieden, waardoor de impact op individuele locaties groter kan zijn, maar het totaal aantal getroffen bewoners relatief beperkt blijft. De schaal van de clusters biedt daarnaast de mogelijkheid om collectieve mitigerende maatregelen te treffen en de locatiekeuze te optimaliseren met het oog op minimale hinder, bijvoorbeeld door afstand tot woongebieden te maximaliseren of innovatieve technieken toe te passen, zoals slimme stilstandsystemen⁶⁸ of het toepassen van adaptieve rotorbladen⁶⁹.

In het alternatief 'Op grote schaal denken' worden na uitvoering van de Regionale Energie Strategieën geen extra windturbines op land geplaatst. Dit betekent dat de kans op extra hinder door slagschaduw minimaal is, aangezien er geen nieuwe turbines bijkomen buiten de reeds geplande projecten. De ruimtelijke impact van slagschaduw blijft hierdoor beperkt tot bestaande situaties, wat zekerheid en rust biedt aan omwonenden. Kansen voor verdere

⁶⁸ Hierbij wordt met behulp van sensoren en software exact berekend wanneer de slagschaduw op nabijgelegen woningen valt. Op deze momenten wordt de betreffende windturbine tijdelijk automatisch stilgezet, zodat omwonenden geen last hebben van de bewegende schaduw. Moderne systemen zijn steeds nauwkeuriger en kunnen het stilzetten beperken tot de strikt noodzakelijke periodes, waardoor het energieverlies minimaal blijft.

⁶⁹ Adaptieve rotorbladen kunnen hun stand aanpassen om de hoeveelheid slagschaduw actief te verminderen, bijvoorbeeld door de bladen in bepaalde posities te brengen tijdens kritieke uren.

beperking van hinder liggen hier vooral in het optimaliseren van bestaande locaties en het strikt naleven van regelgeving.

Overige gezondheidseffecten

Magneetvelden

Het systeemalternatief 'Lokale kracht' leidt tot een brede spreiding van energieopwekking en opslag in de provincie, met veel lokale initiatieven en een groot aantal nieuwe aansluitingen op het elektriciteitsnet op verschillende spanningsniveaus. Hierdoor kunnen op meer plaatsen magneetvelden ontstaan, bijvoorbeeld nabij nieuwe onderstations en transformatoren. Door de fijnmazige verdeling bestaat het risico dat magneetvelden dichterbij woonwijken en gevoelige bestemmingen komen. Tegelijk biedt de lokale aanpak kansen om via participatie en maatwerk bij de inrichting rekening te houden met de lokale situatie en het voorzorgbeleid strikt toe te passen, zodat langdurige blootstelling wordt voorkomen.

In het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' worden nieuwe grootschalige energievoorzieningen en infrastructuur geconcentreerd rond bestaande industriële clusters. Hierdoor ontstaat een beperkte ruimtelijke spreiding van magneetvelden, die vooral geconcentreerd zijn in gebieden met weinig gevoelige bestemmingen. De clustering maakt het eenvoudiger om bufferzones in te richten en het voorzorgbeleid toe te passen. Het risico op blootstelling voor de algemene bevolking is daardoor relatief kleiner.

Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' beperkt de uitbreiding van energie-infrastructuur hoofdzakelijk tot de havengebieden en bestaande industriële clusters. De aanleg van nieuwe netten en stations is hier vooral nodig voor import, opslag en conversie van energie, met een kleine ruimtelijke impact. Magneetvelden blijven hierdoor grotendeels beperkt tot industriële zones. Voor de algemene bevolking is het risico op langdurige blootstelling daarmee het kleinst. Wel zijn voor het transport van elektriciteit aanpassingen aan het hoogspanningsnet nodig. Ook hier geldt dat het voorzorgbeleid van de Rijksoverheid wordt toegepast bij nieuwe infrastructuur.

Stress

De grote mate van lokale betrokkenheid en spreiding van projecten in het systeemalternatief 'Lokale kracht' kan leiden tot meer draagvlak, maar ook tot stress bij inwoners door de veelheid van initiatieven in de eigen leefomgeving. Lokale participatie biedt kansen voor zeggenschap en invloed, maar kan in de praktijk ook tot conflicten, onzekerheid en gevoel van overbelasting leiden als de lasten (zoals visuele impact, geluid of ruimtebeslag) en lusten (meedelen in de opbrengsten van de duurzame opwek) ongelijk worden verdeeld.

De concentratie van grote energieprojecten op specifieke locaties in het systeemalternatief 'De grote opgaven gebundeld' zorgt voor duidelijkheid over waar de lasten neerkomen. Dit kan stress verminderen voor grote delen van de bevolking, maar kan juist in de gebieden rond de clusters leiden tot verhoogde stress vanwege de omvang van de ontwikkelingen. De regie van de rijksoverheid kan bovendien het gevoel van invloed bij lokale gemeenschappen verminderen, wat tot weerstand en stress kan leiden als de participatie beperkt is.

Het systeemalternatief 'Op grote schaal denken' kent een beperkte ruimtelijke spreiding van nieuwe energie-infrastructuur en situeert deze hoofdzakelijk rond industriële clusters. Hierdoor blijft de impact op woon- en leefomgevingen beperkt. Dit verkleint de kans op stress bij de algemene bevolking. Wel kunnen bewoners en ondernemers in en rond de clusters te maken krijgen met veranderingen en onzekerheid, maar het aantal direct betrokkenen is relatief klein. De afstand tot besluitvorming op internationaal niveau kan echter het gevoel van grip en invloed verminderen.

Externe veiligheid

Invloed op (beperkt) kwetsbare objecten

Het alternatief 'Lokale kracht' kenmerkt zich door een sterke ruimtelijke spreiding van energieopwekking en -opslag over de provincie Noord-Brabant. Windturbines, zonnepanelen, elektrolyzers en batterijen worden nabij gebruikers en bestaande infrastructuur geplaatst, veelal in de directe nabijheid van woonwijken, bedrijventerreinen en andere (beperkt) kwetsbare objecten. Hierdoor neemt het plaatsgebonden risico op diverse locaties toe, vooral waar innovatieve energie-installaties dicht bij mensen worden gesitueerd. De kans op incidenten met een lokale impact – bijvoorbeeld door storing in elektrolyzers of batterijen – wordt hierdoor groter, maar de relatief kleinschalige toepassing en lokale betrokkenheid biedt ook de mogelijkheid tot maatwerk bij risicobeperking door veiligheidsmaatregelen. Het verspreide karakter vraagt om een fijnmazige ruimtelijke ordening en een zorgvuldige afstemming met bestaande kwetsbare objecten, waardoor lokaal maatwerk mogelijk is en kansen ontstaan om risico's te beheersen.

In het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' worden energie-installaties en infrastructuren geconcentreerd in grote clusters, met name in het rivierengebied en industriële gebieden zoals Moerdijk en Geertruidenberg. De nabijheid tot kwetsbare objecten is hier minder verspreid; het merendeel van de risicobronnen bevindt zich in gebieden die reeds een hogere risicodichtheid kennen (industriële clusters) of een lagere dichtheid van beperkt kwetsbare objecten (het rivierengebied) kent. Het plaatsgebonden risico wordt hierdoor voornamelijk lokaal verhoogd in de industriële clusters en het rivierengebied, terwijl elders in de provincie relatief weinig extra risico's ontstaan. De bundeling van opgaven biedt kansen voor het treffen van integrale veiligheidsmaatregelen en het minimaliseren van risico's door clustering, maar vraagt om extra aandacht voor het groepsrisico in en rond de industriële clusters, zeker gezien de mogelijke aanwezigheid van grote aantallen mensen of kwetsbare objecten in de nabijheid van grootschalige energie-infrastructuur.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' leidt tot een concentratie van ruimtelijke impact rond de havengebieden en industriële clusters, met grootschalige import van duurzame energiedragers en beperkte additionele opwekking op land. De nabijheid tot (beperkt) kwetsbare objecten is vooral relevant in en nabij de havengebieden van Moerdijk en Geertruidenberg. Hier kunnen plaatsgebonden risico's ontstaan door de aanwezigheid van grote duurzame elektriciteitscentrales, elektrolyzers en batterijen, in combinatie met logistieke activiteiten. Buiten deze clusters blijven kwetsbare objecten grotendeels gevrijwaard van extra risico's. De ruimtelijke concentratie vergemakkelijkt het treffen van doelgerichte veiligheidsmaatregelen, maar vraagt om intensieve monitoring van risicovolle interacties in deze clusters.

Invloed op andere risicobronnen

De spreiding van energieopwekking en -opslag in het alternatief 'Lokale kracht' leidt tot een toename van het aantal potentiële risicobronnen in de provincie. De interactie met bestaande risicobronnen, zoals het elektriciteitsnet, transportleidingen en industrie, is divers en locatie-afhankelijk. Er bestaat een verhoogde kans op cumulatie van risico's, vooral waar nieuwe installaties worden gerealiseerd nabij bestaande infrastructuren en kwetsbare objecten. Dit vraagt om een goede afstemming en integratie van veiligheidsmaatregelen. Tegelijkertijd biedt de spreiding de mogelijkheid om risico's te spreiden en lokaal te beheersen, waardoor het groepsrisico per locatie beperkt kan blijven mits er voldoende veiligheidsmaatregelen worden getroffen.

Door clustering van risicobronnen in specifieke gebieden in het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' ontstaat een verhoogde kans op cumulatieve risico's, met name in de industriële clusters. Hier komen grootschalige energieopwekking, opslag en conversie samen met bestaande industriële activiteiten, wat het groepsrisico en de complexiteit van risicobeheersing vergroot. Het voordeel is dat integrale veiligheidsmaatregelen en monitoring efficiënter kunnen worden ingezet in deze gebieden, waardoor risico's potentieel beter beheersbaar zijn. Buiten deze clusters is de invloed op andere risicobronnen beperkt, wat de kans op cumulatie elders in de provincie minimaliseert.

In het alternatief 'Op grote schaal denken' worden nieuwe risicobronnen vooral geconcentreerd rond de havengebieden, waar import, opslag en conversie van duurzame energiedragers plaatsvinden. De interactie met bestaande risicobronnen is hier sterk, gezien de reeds aanwezige industriële infrastructuur. Dit vergroot lokaal het groepsrisico en de complexiteit van risicobeheersing, vooral door de combinatie van verschillende energiedragers en grootschalige logistieke processen. Echter, door de beperkte spreiding van nieuwe risicobronnen over de provincie, blijven cumulatieve risico's elders gering. Dit biedt kansen voor een gerichte aanpak van externe veiligheid in de clusters, mits er voldoende aandacht is voor de integratie met bestaande risicobronnen.

Luchtvaartveiligheid

De drie systeemalternatieven – 'Lokale kracht', 'De grote opgaven gebundeld' en 'Op grote schaal denken' – hebben elk een eigen ruimtelijke invulling van de energietransitie. Deze alternatieven hebben daarmee ook een verschillende invloed op de luchtvaartveiligheid rondom civiele luchthavens (Eindhoven Airport, Breda International Airport, Kempen Airport) en de vier militaire luchthavens (Eindhoven, Gilze-Rijen, Volkel, Woensdrecht).

Het alternatief 'Lokale kracht' kenmerkt zich door een hoge mate van decentrale opwekking en opslag van energie, verspreid over de gehele provincie. Windturbines, zonnepanelen, batterijen en elektrolyzers worden op veel locaties gerealiseerd, vaak nabij gebruikers en het bestaande elektriciteitsnet. Dit leidt tot een aanzienlijke ruimtelijke verspreiding van energie-infrastructuur, waardoor het risico op conflicten met luchtvaartveiligheid toeneemt. Voor Eindhoven Airport, Breda International Airport en Kempen Airport betekent dit dat de kans op plaatsing van windturbines of hoge installaties in de aanvlieg- en vertrekzones groter is, wat het aantal obstakels en mogelijke turbulentie-effecten verhoogt. Ook voor de militaire luchthavens geldt dat door de veelheid aan verspreide projecten de kans op verstoring van radar en navigatie, alsmede het beperken van vrije luchtverkeersruimtes, toeneemt. Voor

alle luchthavens en radarlocaties geldt echter dat voldaan moet worden aan normen en randvoorwaarden die de luchtvaartveiligheid moeten garanderen. Daarnaast biedt de lokale sturing ook kansen: door afstemming met lokale overheden en luchthavenbeheerders kunnen locatiespecifieke risico's worden geminimaliseerd en maatwerkafspraken worden gemaakt.

In het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' wordt de energietransitie vooral centraal aangestuurd, met clustering van grootschalige wind- en zonneparken, met name in het rivierengebied en rond industriële clusters als Moerdijk en Geertruidenberg. Hierdoor worden de meeste nieuwe energie-installaties geconcentreerd op enkele locaties, wat het aantal potentiële obstakels in de nabijheid van civiele en militaire luchthavens buiten deze clusters vermindert. De luchthavens in en om Brabant liggen relatief ver van de geselecteerde clusters, waardoor het risico op directe belemmeringen beperkt is. Daarnaast maakt de centrale regie het mogelijk om luchtvaartbelangen vroegtijdig mee te nemen en de plaatsing van windturbines en hoge installaties in kritieke luchtruimten te voorkomen. Dit alternatief biedt daarmee betere mogelijkheden voor risicobeheersing en ruimtelijke afstemming dan 'Lokale kracht'. Voor de aanleg van windturbines in het rivierengebied geldt wel dat rekening moet worden gehouden met eventuele beperkingen rond de radarlocatie Herwijnen.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' gaat uit van een internationale oriëntatie en grootschalige import van duurzame energie, waardoor de fysieke inpassing van energie-infrastructuur vooral geconcentreerd wordt in de industriële clusters van Moerdijk en Geertruidenberg. Buiten deze gebieden is de ruimtelijke impact van nieuwe windturbines, zonnevelden en andere installaties beperkt of zelfs niet aanwezig. Voor alle civiele en militaire luchthavens in Brabant betekent dit een relatief klein risico op nieuwe obstakels of verstoring van luchtvaartnavigatie in hun directe omgeving, aangezien de meeste ontwikkelingen ver van de luchthavens plaatsvinden. De kans op conflicten tussen energie-infrastructuur en luchtvaartveiligheid is hierdoor het kleinst. Ook de mogelijkheden om het luchtruim vrij te houden van hoge objecten zijn in dit alternatief het grootst.

Economie

Natuurlijke hulpbronnen

Het alternatief 'Lokale kracht' richt zich op maximale inzet van lokaal opgewekte hernieuwbare energie, zoals zon en wind, met een hoge mate van lokale autarkie en een verspreide plaatsing van opwek, opslag en conversie. Dit leidt tot een sterke vermindering van de afhankelijkheid van niet-hernieuwbare, fossiele brandstoffen, doordat extra windturbines en zonnevelden worden geplaatst en bestaande fossiele centrales omgebouwd worden om op hernieuwbare bronnen draaien. Ook nieuwe centrales zullen op hernieuwbare bronnen draaien. Het risico bestaat echter dat de ruimtelijke versnippering en de noodzaak tot lokale opslag en infrastructuur leiden tot een intensiever gebruik van ruimte en mogelijk druk op lokale natuurlijke hulpbronnen, zoals landbouwgrond. Een kans is dat de betrokkenheid van lokale partijen innovatie en draagvlak stimuleert, wat kan bijdragen aan een efficiënter en evenwichtiger gebruik van hernieuwbare bronnen.

'De grote opgaven gebundeld' zet in op grootschalige, centraal aangestuurde projecten, met name wind op zee en de koppeling van duurzame energieproductie aan nationale opgaven en bestaande industriële clusters. Door deze schaalvergroting wordt het gebruik van fossiele brandstoffen aanzienlijk teruggedrongen en ontstaat een sterke focus op hernieuwbare bronnen, vooral windenergie. Het risico is dat de concentratie van opwek en opslag in grote clusters kan leiden tot lokale overbelasting van ecosystemen en infrastructuur, terwijl andere gebieden buiten beschouwing blijven. De kans ligt in de efficiëntie van grootschalige oplossingen en het combineren van energieopwekking met andere ruimtelijke opgaven, wat het potentieel voor synergie vergroot en de impact op natuurlijke hulpbronnen kan beperken tot specifieke locaties.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' gaat uit van internationale marktwerking en een sterke import van duurzame energiedragers, zoals waterstof en groen gas, waardoor Nederland minder afhankelijk wordt van eigen fossiele reserves. De ruimtelijke impact op natuurlijke hulpbronnen binnen Nederland (zoals landbouwgrond) is relatief beperkt, omdat hernieuwbare energie vooral wordt geïmporteerd en geconcentreerd rond haven- en industriële gebieden. Risico's zijn de afhankelijkheid van buitenlandse leveringen en de mogelijke milieueffecten van grootschalige import en logistiek, waaronder druk op havengebieden en transportinfrastructuur. Ook is er minder grip op de duurzaamheid van de geïmporteerde energiedragers.

Circulariteit

Bij circulariteit gaat het over het minimaliseren van afvalstromen en het maximaliseren van hergebruik van materialen, energie en grondstoffen, in dit geval binnen het energiesysteem. Het systeemalternatief 'Lokale kracht' biedt duidelijke kansen voor circulariteit door de nadruk op lokale opwekking en gebruik van energie. De verspreide plaatsing van opwek- en opslagvoorzieningen vergroot de mogelijkheden om lokaal beschikbare afvalstromen en restwarmte direct te benutten, wat de stimulans voor hergebruik van materialen en energie verhoogt. Dit alternatief sluit aan bij lokale initiatieven en ruimtelijke ontwikkelingen, waardoor samenwerking tussen partijen in de regio wordt gestimuleerd en circulaire ketens gemakkelijker te organiseren zijn. Tegelijkertijd bestaat het risico dat door versnippering van initiatieven schaalvoordelen voor hoogwaardige recycling en hergebruik minder goed benut kunnen worden, en dat kennis en technologie voor geavanceerde circulaire processen niet overal beschikbaar zijn.

In het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' ligt de regie bij de rijksoverheid en wordt de energietransitie gebundeld op locaties met nationale opgaven, zoals industriële clusters. Dit biedt kansen voor circulariteit op grotere schaal: geconcentreerde clusters maken het mogelijk om grootschalige infrastructuur voor restwarmtebenutting, afvalverwerking en materiaalhergebruik efficiënt te realiseren. De integratie van nieuwe energie-infrastructuur met bestaande opgaven kan leiden tot slimme combinaties van energie- en materiaalstromen. Denk daarbij aan restwarmtebenutting uit industriële processen, het gebruik van bestaande infrastructuur voor nieuwe energiedragers (bijvoorbeeld gasleidingen geschikt maken voor transport van waterstof) of de combinatie van geothermie installaties met ondergrondse energieopslag (warmte-koudeopslag). Het risico is echter dat circulaire oplossingen minder aandacht krijgen op lokaal niveau, omdat de focus vooral ligt op grootschalige projecten. Hierdoor kunnen kansen voor kleinschalig hergebruik of lokale afvalvermindering onbenut blijven, en bestaat het gevaar dat lokale initiatieven worden verdrongen door nationale belangen.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' richt zich op internationale samenwerking en grootschalige import van duurzame energiedragers en grondstoffen, met een sterke concentratie van activiteiten rond de haven- en industriële gebieden. Dit creëert mogelijkheden voor circulaire processen op industriële schaal, zoals gezamenlijke verwerking en hergebruik van geïmporteerde reststromen, en een efficiënte inzet van energie- en grondstoffen. Door de schaalgrootte kunnen hoogwaardige recycling en innovatieve circulaire technologieën worden toegepast. Aan de andere kant brengt deze centralisatie risico's met zich mee: de afhankelijkheid van internationale stromen kan leiden tot minder grip op de kwaliteit en samenstelling van afvalstromen, en lokale initiatieven voor afvalvermindering en hergebruik kunnen onder druk komen te staan door de dominantie van grootschalige import en verwerking. Er is bovendien kans op een verschuiving van afvalproblemen naar het buitenland.

Economische vitaliteit

Het alternatief 'Lokale kracht' biedt duidelijke kansen voor het behoud en de versterking van economische vitaliteit op lokaal en regionaal niveau. Door maximale inzet op lokaal opgewekte elektriciteit en warmte ontstaan er verspreid over de regio nieuwe initiatieven voor opwek, opslag en conversie van energie. Dit stimuleert lokale werkgelegenheid, ondernemerschap en innovatie, bijvoorbeeld bij het plaatsen van windturbines, zonnepanelen en batterijen, en het ombouwen van fossiele centrales. Lokale bedrijven en coöperaties kunnen profiteren van investeringen en samenwerkingen, wat de regionale economie ten goede komt. Tegelijkertijd brengt deze spreiding risico's met zich mee, zoals versnippering van investeringen, hogere kosten door kleinschaligheid en mogelijke belemmeringen in kennisdeling. Ook kunnen conflicten ontstaan rond ruimtelijke inpassing, wat lokale economische activiteiten kan hinderen.

Het alternatief 'De grote opgaven gebundeld' richt zich op grootschalige projecten onder regie van de rijksoverheid, zoals grote windparken op zee, waterstofproductie en de aanleg van bovenlokale warmtenetten. Dit biedt aanzienlijke kansen voor economische vitaliteit op nationaal niveau, met name in de industriële clusters Moerdijk en Geertruidenberg, het rivierengebied (plaatsing windturbines) en De Peel (plaatsing van zonnenvelden). Grootschalige investeringen trekken grote bedrijven en kennisinstellingen aan, stimuleren innovatie en creëren banen in de energie- en bouwsector. De concentratie van energie-infrastructuur kan leiden tot een sterke economische impuls voor deze gebieden. Daarentegen bestaat het risico dat andere regio's minder profiteren en dat lokale ondernemerschap en werkgelegenheid buiten de clusters achterblijven. Bovendien kan afhankelijkheid van grootschalige projecten leiden tot minder flexibiliteit en minder betrokkenheid van lokale partijen, wat de veerkracht van de economie in de breedte kan beperken.

Het alternatief 'Op grote schaal denken' focust op internationale samenwerking en grootschalige import van duurzame energie, met een ruimtelijke concentratie rondom havengebieden en industriële clusters. Dit biedt kansen voor groei

van energie-intensieve industrieën, internationale handel en logistiek, en kan leiden tot een toename van werkgelegenheid en bedrijvigheid in de havengebieden van Moerdijk en Geertruidenberg. Door de import van waterstof en groen gas kunnen deze regio's uitgroeien tot (inter)nationale energiehubs. Het risico is dat de economische vitaliteit elders in de provincie achterblijft, omdat de ruimtelijke impact en investeringen zich voornamelijk op de clusters concentreren. Ook bestaat er een afhankelijkheid van internationale markten en geopolitieke ontwikkelingen, wat onzekerheden voor de lokale economie met zich meebrengt.