



RAPPORT

Energieperspectief 2050: verdieping op de opgave





Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Hoofdstuk 1: Inleiding.....	6
1.1 Het Energieperspectief 2050 en de verdieping op de opgave.....	6
1.2 Gevolgd proces	6
1.3 Leeswijzer	7
Hoofdstuk 2: Brabantse waarden en leidende principes	8
Hoofdstuk 3: Het energiesysteem van Brabant	12
3.1 Het huidig energiesysteem van Brabant	12
3.2. Ontwikkeling Brabantse energievraag.....	14
3.3. Ontwikkelingen in het Brabants energieaanbod	16
3.4. Ontwikkelingen in de energie-infrastructuur en flexibiliteit.....	17
3.5 Ontwikkelingen in ruimtebeslag	18
3.6 Huidige situatie en ontwikkelingen in kaart gebracht	19
Hoofdstuk 4: Hoofdsysteemkeuzes en agenderende keuzes.....	23
4.1 Hoofdsysteemkeuzes voor het energiesysteem	23
4.1.1 Hoofdsysteemkeuze voor elektriciteit.....	23
4.1.2 Hoofdsysteemkeuzes voor warmte.....	27
4.1.3 Hoofdsysteemkeuzes voor duurzame moleculen: waterstof en groen gas	29
4.1.4 Hoofdsysteemkeuzes flexibiliteit.....	32
4.2 Agenderende keuzes voor de energievraag.....	34
4.2.1 Agenderende keuzes voor de gebouwde omgeving	34
4.2.2 Agenderende keuzes voor mobiliteit	35
4.2.3 Agenderende keuzes voor industrie en bedrijven.....	36
4.2.4 Agenderende keuzes voor de landbouw	38
Hoofdstuk 5: uitwerking in gebiedstypen	40



Samenvatting

De energietransitie vraagt om een snelle omschakeling naar een klimaatneutraal energiesysteem vóór 2050. Dit betekent grote veranderingen in de opwekking, het gebruik en het transport van energie, waarbij fossiele brandstoffen worden vervangen door duurzame bronnen en het energiesysteem steeds meer decentrale elementen krijgt. Deze veranderingen vereisen grote investeringen in infrastructuur, aanpassingen in ruimtelijke planning en samenhang met andere maatschappelijke opgaven zoals woningbouw, klimaatadaptatie en verduurzaming van industrie, mobiliteit, landbouw en gebouwde omgeving.

De provincie Noord-Brabant werkt met het Energieperspectief 2050 aan een toekomstbeeld en de stappen die daarvoor nodig zijn. Het Energieperspectief omschrijft hoe de provincie het toekomstige energiesysteem ziet én welke stappen zij moet zetten om daar te komen. Het is een aanvulling op de bestaande energieagenda 2019-2030, die het staande energiebeleid van de provincie bevat. Dit rapport gaat dieper in op de opgave die Brabant heeft om de stap te zetten naar een duurzaam energiesysteem. In die opgave worden keuzes onderscheiden voor zowel de systeemkant (productie, infrastructuur, opslag, flexibiliteit) als de vraagkant (gebouwde omgeving, mobiliteit, bedrijven, industrie en landbouw).

Belangrijke uitgangspunten zijn de Brabantse waarden (betrouwbaar, betaalbaar en omgevingsbewust) en de zes leidende principes. Deze geven richting aan de keuzes die de provincie in de energietransitie wil maken. Door keuzes te maken en sturing te geven op de energietransitie moet een betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem ontstaan dat.

In 2023 bedroeg de energievraag in Brabant 235 PJ, waarvan 14% hernieuwbaar. De gebouwde omgeving en mobiliteit verbruiken het meest. De meeste energie wordt gebruikt voor warmte, grotendeels uit aardgas. Richting 2050 wordt een lichte daling van de totale energievraag verwacht, vooral doordat elektrische alternatieven efficiënter zijn dan fossiele systemen. De vraag verschuift sterk naar duurzame elektriciteit, terwijl fossiele brandstoffen verdwijnen. Warmtevraag blijft een groot onderdeel van de totale energievraag.

Gelet op het kleine aandeel van duurzame energie in het volledig gebruik in 2023, namelijk 14%, is de opgave voor Brabant groot. Aan de aanbodkant moet Brabant veel meer duurzame energie gaan produceren. Er zijn mogelijkheden voor opschaling van zon en wind, er zijn kansen voor innovatieve technieken, zoals kernenergie uit kleine modulaire eenheden en voor lokale warmtebronnen zoals geothermie en aquathermie. Productie van groene waterstof is nog onzeker en hangt in belangrijke mate af van nationale keuzes over aanlandingen van wind op zee in Brabant. Voor groen gas is er ruimte voor verdere opschaling. Grote investeringen in elektriciteitsnet, waterstofinfrastructuur en warmtenetten zijn noodzakelijk, en flexibiliteitsopties zoals opslag en vraagsturing worden belangrijker.

De energietransitie vraagt bovendien meer fysieke ruimte, vooral voor elektriciteitsproductie uit zon en wind en de benodigde infrastructuur. Alternatieven zoals warmtenetten of geïmporteerde waterstof kunnen het ruimtebeslag deels beperken. De keuzes die Brabant maakt moeten rekening houden met technische haalbaarheid, ruimtelijke inpassing en maatschappelijke waarden, zodat in 2050 een betrouwbaar, betaalbaar en duurzaam energiesysteem ontstaat. De keuzes gaan enerzijds over het energiesysteem: productie, transport en opslag van elektriciteit, waterstof, warmte en groen gas. Anderzijds hebben keuzes ook betrekking op de vraagkant: die bestaat uit de sectoren gebouwde omgeving, mobiliteit, bedrijven en industrie, en landbouw. Voor deze sectoren agenderen we keuzes vanuit het energiesysteem bezien. Doorvertaling daarvan vindt plaats in sectoraal beleid.



Hoofdsysteemkeuzes voor elektriciteit

1	Verhoog de productie van duurzame elektriciteit in lijn met de Brabantse leidende principes. Zorg voor een brede productiemix
2	Realisatie van robuuste elektriciteitsinfrastructuur in geheel Brabant door realisatie 380kV deelnetten en opbouw daarvan op lagere spanningsniveaus
3	Bewust omgaan met schaarse netcapaciteit door planologische sturing op vestiging nieuwe intensieve afnemers van elektriciteit

Hoofdsysteemkeuzes voor warmte

4	Toepassing van collectieve warmte-oplossingen voor gebouwde omgeving en landbouw
5	Voorbereiden op ontwikkeling van vraag naar koude

Hoofdsysteemkeuzes voor duurzame moleculen

6	Realisatie grootschalige infrastructuur voor import, doorvoer en distributie van groene waterstof
7	Start en opschaling van productie van groene waterstof in Brabant
8	Verhogen productie van groen gas

Hoofdsysteemkeuzes voor flexibiliteit

9	Grootschalige opslag van elektriciteit vanuit uitgangspunten van het energiesysteem
10	Integratie van systeemonderdelen op verschillende schaalniveaus
11	Flexibilisering van de energievraag

Agenderende keuzes voor de gebouwde omgeving

12	Collectieve warmte oplossingen voorafgaand aan all electric oplossingen in wijken. Groen gas gebruiken waar echt geen alternatief is (historische kernen, piekvoorziening warmtenetten).
13	Netbewuste ontwikkeling van nieuwe woningen en gebouwen, en waar mogelijk netneutraal.

Agenderende keuzes voor de mobiliteit

14	Inzet van passende energiedragers voor de mobiliteit: Elektrificatie voor personenvervoer, vrachtvervoer en binnenvaart. Elektriciteit, waterstof en duurzame brandstoffen voor internationaal vrachtverkeer.
15	Netbewust laden als standaard voor nieuwe en mogelijk ook bestaande laadinfrastructuur.
16	Bewust omgaan met schaarse netcapaciteit door planologische sturing op vestiging van eventuele nieuwe energie-intensieve transportbedrijven.



Agenderende keuzes voor bedrijven en industrie	
17	Verschillende energiedragers voor verschillende typen bedrijventerreinen.
18	Bewust omgaan met schaarse netcapaciteit door planologische sturing op vestiging van eventuele nieuwe energie-intensieve industrieën en bedrijven.
19	Ontwikkeling van energy- of multi commodity hubs

Agenderende keuzes voor de landbouw	
20	Onderzoek eerst collectieve oplossingen voorafgaand aan individuele all-electric oplossingen voor glastuinbouw.
21	Slimme elektrificatie voor overige landbouw om de piekbelasting op het net te minimaliseren.





Hoofdstuk 1: Inleiding

De energietransitie is in volle gang. Om klimaatverandering een halt toe te roepen, dient het energiesysteem ver voor 2050 klimaatneutraal te zijn (NPE). De verbouwing van het energiesysteem zal daarvoor in hoog tempo moeten plaatsvinden. Dit gaan we allemaal merken. Door de energietransitie verandert de manier van opwekken, verbruiken en transporteren van energie. Fossiele brandstoffen nemen geleidelijk aan af en worden vervangen door duurzame energie. Het energiesysteem gaat van een centraal systeem richting een systeem met steeds meer decentrale initiatieven. Hierbij is op kleinere schaal balans tussen vraag en aanbod nodig en ontstaat meer behoefte aan flexibiliteit in het systeem.

Het huidige energiesysteem is (nog) niet ingericht op deze veranderingen. Ze vragen de komende decennia om grote investeringen in energie-infrastructuur, aanpassingen in het energiesysteem, en ruimtelijke planning. Daarbij is samenhang met de woningbouwopgave, klimaatadaptatie, circulaire economie en de verduurzaming van industrie, mobiliteit, landbouw en gebouwde omgeving. Deze ruimtelijk-economische opgaven hebben impact op het energiesysteem, en ze komen samen in de fysieke leefomgeving waar ook andere belangen spelen zoals natuur- en milieuwaarden.

1.1 Het Energieperspectief 2050 en de verdieping op de opgave

Ook Brabant werkt aan een toekomst met duurzame energie en heeft daarvoor de Energieagenda 2019-2030 en de Uitvoeringsagenda 2024-2027 vastgesteld. Sindsdien zijn er ontwikkelingen geweest die een effect hebben op de manier waarop de provincie in de energietransitie stappen vooruit kan blijven zetten. Dat vormt de aanleiding voor het Energieperspectief 2050. Het Energieperspectief omschrijft hoe de provincie het toekomstige energiesysteem ziet én welke stappen zij moet zetten om daar te komen. Het is een aanvulling op de Energieagenda 2019-2030 en samen met de Omgevingsvisie vormen zij een samenhangend beleidskader voor de energietransitie in Brabant.

Deze rapportage gaat dieper in op de achtergrond van het Energieperspectief. Daarbij is gekeken naar het huidige energiesysteem en de ontwikkelingen die zich daarin voordoen. Het beeld dat daaruit volgt geeft aan waar de provincie staat in de energietransitie. Vervolgens hebben we gekeken naar het toekomstig energiesysteem. Dat hebben we gedaan met behulp van de scenario's die eerder door CE Delft zijn opgesteld. En met behulp van de leidende principes die richting geven aan de keuzes die de provincie in de energietransitie wil maken. Door vanuit het huidige energiesysteem te kijken naar het toekomstig energiesysteem wordt de opgave duidelijk. Deze opgave hebben we uitgewerkt in keuzes die op provinciale schaal nodig zijn om de transitie naar een duurzaam energiesysteem te maken. Die keuzes betreffen enerzijds de systeemkant: productie, infrastructuur, opslag en (andere) flexibiliteitsopties voor elektriciteit, waterstof, groen gas, en hernieuwbare warmte. Anderzijds gaan de keuzes over de vraagkant, waarin we de sectoren gebouwde omgeving, mobiliteit, bedrijven en industrie, en de landbouw hebben bekeken. Daarmee geeft deze verdieping de basis van het Energieperspectief 2050 als strategisch kompas dat richting geeft aan het energiesysteem van 2050 én aan de rol die de provincie daarin speelt.

1.2 Gevolgd proces



Bij de totstandkoming van deze rapportage hebben we vele stakeholders betrokken. Het provinciale schaalniveau is de verbindende schakel tussen het rijk, de regio's, gemeenten, waterschappen en maatschappelijke partners. Zij sturen allemaal op (een deel van) de energietransitie vanuit hun eigen verantwoordelijkheden. Dat maakt de transitie tot een complexe opgave en is het belangrijk dat beleidsmatige inzet van verschillende overheidslagen in elkaars verlengde liggen. Om die verbinding te maken hebben we zowel interne als externe stakeholders betrokken. Daarvoor hebben we twee interne expertsessies georganiseerd en vier brede werkateliers. De werkateliers hebben we op regionaal niveau georganiseerd¹, waarvoor gemeentebesturen uit die regio, medewerkers van de regio, netbeheerders, het ministerie van Klimaat en Groene Groei, waterschappen, en maatschappelijke partners zoals VNO-NCW en ZLTO, zijn uitgenodigd. Voor de verbinding hebben we ook het nationale en regionale beleid betrokken, zoals vastgelegd in onder andere het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE), Programma Energiehoofdstructuur (PEH), Nationaal Programma Regionale Energiestrategieën (NPRES) Voorontwerp Nota Ruimte, Brabantse Omgevingsvisie, Brabants Ruimtelijk Voorstel (BRV), Energie-agenda 2019-2030, en de energieverkenningen van de vier RES-regio's. Gedurende het gehele proces is intensief samengewerkt met de provinciale projectgroep.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 beschrijven we kort de Brabantse waarden en de leidende principes. Deze zijn belangrijk voor de hoofdstukken die daarna volgen. Zij geven de waarden aan waar het toekomstig energiesysteem aan moet voldoen en geven richting aan de keuzes die de provincie in de transitie wil maken. In hoofdstuk 3 beschrijven we het huidige energiesysteem van Brabant en de ontwikkelingen daarin. Hoofdstuk 4 beschrijft de keuzes die nodig zijn om koers te zetten naar het toekomstig energiesysteem. In hoofdstuk 5 hebben we de keuzes voor een aantal gebiedstypologieën uitgewerkt. Daarbij hebben we gekeken naar het hoogstedelijk gebied, de gemengde kernen / middelgrote steden, de dorpen en kleine kernen, de industrieclusters en het landelijk gebied.

¹ De vier regio's zijn: Stedelijke Regio West-Brabant, Stedelijke Regio Breda-Tilburg, Regio Noordoost-Brabant en Regio Zuidoost-Brabant.





Hoofdstuk 2: Brabantse waarden en leidende principes

Bij de uitwerking van de opgave voor de ontwikkeling van het duurzaam energiesysteem is voortgebouwd op de Brabantse waarden en de leidende principes. De Brabantse waarden zijn de kernwaarden die de provincie, Brabanders en andere betrokkenen belangrijk achten voor de ontwikkeling van het energiesysteem. Deze zijn het resultaat van een participatietraject waarbij energieprofessionals, stakeholders en bijna 1500 Brabantse burgers zijn geraadpleegd.² De Brabantse waarden zijn:

1. **Betrouwbaar.** Een betrouwbaar energiesysteem functioneert voorspelbaar voor bedrijven en bewoners, ook ten tijde van crises, geopolitieke spanningen en conflicten. Hieronder vallen beschikbaarheid van energie zelf en het verkrijgen van een aansluiting op het energiesysteem. Het voorspelbaar functioneren geldt voor het fysiek vlak, dat het systeem functioneert ondanks defecten en sabotage. Evenals op het financiële vlak, dat de prijs voor energie ook ten tijde van crises stabiel blijft.
2. **Betaalbaar.** Een betaalbaar energiesysteem zorgt dat bedrijven en bewoners financieel kunnen meedoen aan de energietransitie en dat de lusten en lasten eerlijk worden verdeeld. De prijs waartegen het energiesysteem energie en toegang tot energie levert mag niet onnodig hoog worden. Ook vallen eventuele investeringen, bijvoorbeeld in benodigde isolatie, onder de waarde betaalbaar. Tot slot moeten lasten en lusten eerlijk verdeeld worden en is brede financiële participatie bij energieopwekking gewenst, zodat de samenleving hiervan kan profiteren.
3. **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. Waar mogelijk draagt het energiesysteem bij aan een schoner en gezonder ecosysteem en het verminderen van lucht- en watervervuiling. Tot slot wordt het toekomstige energiesysteem ontwikkeld voor toekomstige generaties. Daarom dient de lange termijn zwaar mee te wegen bij de te maken keuzes.

In aanvulling op de Brabantse waarden zijn leidende principes geformuleerd. De leidende principes geven richting aan de keuzes die de provincie in de energietransitie wil maken. In samenhang met elkaar leiden zij tot een energiesysteem dat efficiënt en duurzaam is. Dat zowel centrale als decentrale elementen kent en kan steunen op een brede mix van energiebronnen en energiedragers. Bovendien is het energiesysteem flexibel door opslag en conversie van energie en doordat de vraag naar energie het aanbod ervan volgt. De leidende principes zijn:

² Zowel de Brabantse waarden als de leidende principes zijn nader toegelicht in de Bouwstenennotitie. Die notitie is door Gedeputeerde Staten in december 2024 vastgesteld.



1. **Beperken van de energievraag.** Energie die we niet gebruiken hoeft ook niet opgewekt en getransporteerd te worden. Het toekomstige energiesysteem hoeft hierdoor minder groot te worden aangelegd. Dat komt zowel de betaalbaarheid als het ruimtebeslag ten goede zonder dat hierdoor de betrouwbaarheid in het geding komt. Het beperken van de vraag naar energie wordt bereikt door een combinatie van technische maatregelen, zoals isolatie van gebouwen, gedragsmaatregelen, zoals de thermostaat 1 graad lager zetten, en door ondersteunende maatregelen, zoals (home) energy management systemen.
2. **Bewust inzetten van duurzame energiedragers.** Elektriciteit, waterstof, groen gas en warmte hebben elk specifieke kwaliteiten en eigenschappen. Bovendien is de hoeveelheid duurzame energie de komende jaren schaars. En moet de infrastructuur die nodig is voor transport en distributie van groene waterstof nog worden gerealiseerd, en de infrastructuur voor hernieuwbare warmte en elektriciteit worden uitgebreid. Dit maakt dat het nodig is om keuzes te maken waar verschillende typen duurzame energiedragers bij voorkeur worden ingezet. Het is bijvoorbeeld niet efficiënt om de waterstof die beschikbaar komt in te zetten voor de verwarming van de gebouwde omgeving. Daarvoor zijn andere bronnen ook geschikt en kan waterstof beter worden ingezet de industrie voor de vraag naar hoge temperatuur warmte. De voorkeursinzet staat in tabel 1. Door in de energievraag te voorzien met de meest geschikte duurzame energiedragers functioneert het energiesysteem als geheel efficiënter. Dat resulteert in een minder groot energiesysteem en heeft positief effect op de betaalbaarheid en op het ruimtebeslag.

Gebouwde omgeving	Mobiliteit	Bedrijven en industrie hoge temp	Bedrijven en industrie lage temp	landbouw
1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas	1. Elektrificatie 2. Biobrandstoffen als transitiebrandstof voor vrachtverkeer en binnenvaart. 3. Mogelijk waterstof voor de zware logistiek 4. Synthetische brandstoffen voor vliegverkeer	1. Waterstof 2. Groen gas 3. Elektrificatie	1. Collectieve warmte 2. Elektrificatie 3. Groen gas	1. Collectieve warmtesystemen 2. Elektrificatie 3. Groen gas waar nodig

Tabel 1: voorkeur verduurzamingsroute

3. **Vergroten van het energieaanbod.** Daarmee wordt zowel het vergroten van de productie van energie in Brabant bedoeld als de hoeveelheid aan verschillende bronnen in de energiemix. De alternatieven die daarvoor in aanmerking komen zijn met name duurzame elektriciteit, bijvoorbeeld uit zon, wind, biomassa en kernenergie, hernieuwbare warmte zoals geo- en aquahermie, hoogwaardige restwarmte, en duurzame moleculen, zoals groene waterstof en groen gas. Inzet van een brede mix aan energiebronnen heeft een positief effect op de betrouwbaarheid omdat men niet afhankelijk is van een enkele energiebron. Wanneer de levering van een bepaalde energiebron uitvalt, blijft de levering van de andere bronnen mogelijk doorgaan. De betrouwbaarheid kan verder worden vergroot door integratie van de verschillende systeemonderdelen, zodat in de ene energiebron kan worden voorzien door conversie van een andere energiebron. Bijvoorbeeld de conversie van overtollige elektriciteit naar waterstof en warmte. Of andersom, bij een tekort aan elektriciteit. Ontsluiting van alternatieve bronnen kan ook bijdragen aan een lagere vraag naar elektriciteit en -transport en kan ervoor zorgen dat netcongestie sneller wordt opgelost of nieuwe congestie optreedt.





4. **Ruimtelijk bij elkaar brengen van energievraag en -aanbod.** Hierdoor is minder transport van energie nodig. Dat zorgt voor een kleiner energiesysteem en heeft positief effect op de betaalbaarheid en het ruimtebeslag van het energiesysteem. Dit principe werkt aan twee kanten. Het ontwikkelen van energieaanbod zoals zon op dak, wind op land en geo- en aquathermie nabij locaties waar energievraag is of ontstaat. En het ontwikkelen van nieuwe energievraag (en het sturen van bestaande energievraag) bij locaties waar nog aanbod is. Dit zorgt er ook voor dat de natuurlijke energiebronnen die in de provincie aanwezig zijn worden benut. Door het bij elkaar brengen van vraag en aanbod krijgt het Brabantse energiesysteem steeds meer decentrale kenmerken en bestaat het toekomstig energiesysteem uit zowel centrale als decentrale elementen. Het aanbod van elektriciteit komt voor een deel van (lokale) zon en wind en mogelijk andere bronnen. En voor een deel wordt elektriciteit via het hoogspanningsnet aangevoerd, bijvoorbeeld van de Noordzee of andere delen van Nederland. Aanbod van groene waterstof zal deels centraal georganiseerd zijn door import van groene waterstof via het Waterstofnetwerk Nederland. Productie van groene waterstof in Brabant kan ontstaan bij de aanlandingen van wind op zee en mogelijk op locaties waar voldoende zoet water en elektriciteit beschikbaar is. Het centrale en het decentrale systeem hebben elkaar nodig. Door decentrale productie en opslag te koppelen aan decentraal gebruik, kan het centrale energiesysteem ontlast worden en wordt de afhankelijkheid van grootschalige infrastructuur verkleind. Tegelijkertijd zorgt de grootschalige infrastructuur ervoor dat energie vanuit andere delen van Nederland (of daarbuiten) wordt aangevoerd wanneer levering uit lokale bronnen en opslagsystemen onvoldoende is om in de vraag te voorzien.
5. **In de tijd bij elkaar brengen van energievraag en -aanbod.** In een duurzaam energiesysteem dat mede afhankelijk is van de productie van elektriciteit uit wind en zon is het belangrijk dat de vraag kan meebewegen met het aanbod. Flexibiliteit in vraag en aanbod kan op verschillende manieren worden geleverd. Bijvoorbeeld door opslag van energie, zowel grootschalig als kleinschalig. Overschotten worden opgeslagen en weer gebruikt bij tekorten. En ook systeemintegratie biedt mogelijkheden om fluctuaties in het energieaanbod op te vangen. Verder nemen de (technische) mogelijkheden voor bedrijven en particulieren om hun vraag naar energie af te stemmen op het aanbod toe. Denk aan de ontwikkeling van stuurbare apparaten en de automatische systemen die de aansturing verzorgen zoals (Home) Energy management Systems. Ook prijsprikkels en verbetering van de informatie daarover dragen bij aan de aanpassing van de vraag aan het aanbod. Dit principe draagt daarmee bij aan een efficiënt energiesysteem, zowel in kosten als in ruimtebeslag, als aan de betrouwbaarheid van het energiesysteem.
6. **Fossiele brandstoffen bewust uitfaseren.** Elektriciteit is in het toekomstig energiesysteem de dominante energiedrager. Verreweg het grootste deel van de energievraag zal na uitfasering van fossiele energie, door middel van elektriciteit worden voorzien. Het huidige elektriciteitsnet staat stevig onder druk en is niet geschikt om de groeiende vraag te accommoderen. Netbeheerders investeren miljarden in het net om de capaciteit uit te breiden, maar kunnen de groeiende vraag niet of nauwelijks bijbenen. De verwachting is dat het nog jaren duurt voordat netcongestie structureel is opgelost, mogelijk zelfs tot na 2035. Ook daarna blijft het belangrijk om de druk op het elektriciteitsnet niet onnodig verder te laten oplopen om nieuwe congesties te voorkomen. Door fossiele energie bewust uit te faseren en in de pas te laten lopen met de ontwikkeling van het elektriciteitssysteem kunnen nieuwe problemen worden voorkomen. Daarbij is het ook belangrijk dat de groeiende vraag naar elektriciteit 'netbewust' wordt ingericht. Dat voorkomt onnodige druk op het elektriciteitsnet. Daarvoor is het van belang dat sectorale uitbreidingen en investeringen worden afgestemd op de beschikbare en toekomstige energie-infrastructuur. Wanneer bij



ruimtelijke en economische keuzes rekening wordt gehouden met het energiesysteem, kan de energievoorziening betrouwbaarder, betaalbaarder en duurzamer worden ingericht.





Hoofdstuk 3: Het energiesysteem van Brabant

Om inzicht te krijgen in de omvang van de opgave om tot verduurzaming van het Brabantse energiesysteem te komen is een analyse uitgevoerd. Deze analyse geeft een beeld van de energievraag in 2023, onderverdeeld naar de sectoren gebouwde omgeving, bedrijven en industrie, mobiliteit, en landbouw. De analyse geeft ook aan hoe in de energievraag is voorzien. Door vanuit de huidige situatie te kijken naar een toekomstig volledig duurzaam energiesysteem wordt inzichtelijk waar de Brabantse energietransitie staat en wat de omvang van de opgave nog is. Dit hoofdstuk geeft de opmaat voor hoofdstuk 4 waarin die opgave nader is uitgewerkt.

Voor de analyse van het energiesysteem in 2023 is gebruik gemaakt van de Klimaatmonitor. Dit jaartal is gebruikt aangezien deze dataset het meest complete beeld schetst. Wanneer er in 2023 gegevens ontbraken is deze data aangevuld op basis van bekende CBS datapunten. Voor de ontwikkeling naar 2050 is gebruik gemaakt van de studie van CE Delft³.

3.1 Het huidig energiesysteem van Brabant

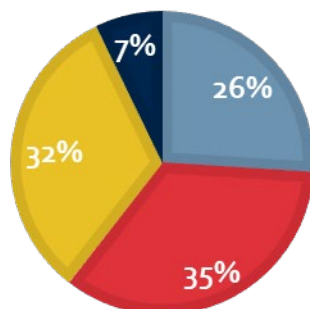
In 2023 bedroeg de totale energievraag in Brabant ongeveer 235 petajoule (PJ). Figuur 1 geeft de verdeling daarvan aan over de sectoren. De gebouwde omgeving (woningen en utiliteitsgebouwen) heeft in 2023 de meeste energie verbruikt, namelijk 77 PJ, gevolgd door de sector mobiliteit met 72 PJ. De sector industrie heeft 58 PJ verbruikt. De landbouwsector, met name de glastuinbouw, was verantwoordelijk voor 16 PJ van het energieverbruik. Deze data zijn exclusief hernieuwbare warmte uit bijvoorbeeld afvalverbrandingsinstallaties. De energie daaruit bedroeg in 2023 iets meer dan 9 PJ. Daarbij is geen onderverdeling gegeven van dit verbruik over de verschillende sectoren, maar het is waarschijnlijk dat dit verbruik plaatvond in de gebouwde omgeving. Daarmee komt het totaalverbruik van de gebouwde omgeving in 2023 op ongeveer 86 PJ uit.

³ [Brabants energiesysteem ontwikkelingen richting 2050](#).



Huidige energievraag per sector

■ Industrie ■ Gebouwde omgeving ■ Mobiliteit ■ Landbouw

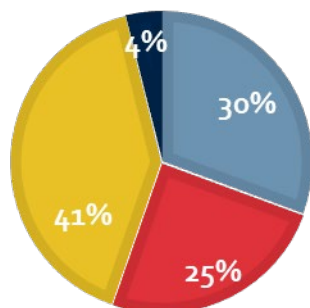


Figuur 1: huidige energievraag (2023) per sector in Brabant. Gegevens komen uit de klimaatmonitor voor mobiliteit, gebouwde omgeving en de landbouw.

Figuur 2 laat zien hoe het energieverbruik is verdeeld naar verbruiksvorm. Het grootste deel, ruim 105 PJ is gebruikt om te voorzien in warmte. Daarvan was ruim 9 PJ hernieuwbare warmte, het grootste deel van de gevraagde warmte, 96 PJ, werd in 2023 voorzien door toepassing van aardgas. Verder werd 72 PJ verbruikt voor voertuigbrandstoffen, zoals benzine en diesel. En 58 PJ van werd verbruikt in de vorm van elektriciteit.

Huidige energievraag per drager

■ Voertuigbrandstoffen ■ Elektriciteit ■ Aardgas ■ Hernieuwbare warmte



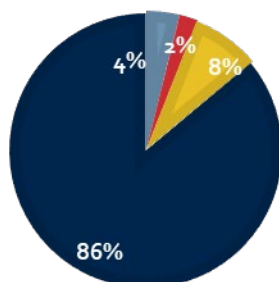
Figuur 2: huidige energievraag (2023) per drager in Brabant. Gegevens komen uit de klimaatmonitor

Figuur 3 laat het aandeel hernieuwbare energie zien. In 2023 was bijna 14% van het totale energieverbruik in Brabant afkomstig uit hernieuwbare bronnen, namelijk 32 PJ. Hernieuwbare elektriciteit nam daarin met 19 PJ het grootste deel van in. Hernieuwbare warmte was 9 PJ en 5 PJ bestond uit hernieuwbare energie voor het vervoer. Deze cijfers maken duidelijk dat het overgrote deel van de in Brabant verbruikte energie in 2023 afkomstig is uit fossiele bronnen en dat de transitie naar een volledig duurzaam energiesysteem nog een grote opgave is.



VERDELING ENERGIEVRAAG HERNIEUWBAAR / FOSSIEL

■ Hernieuwbare warmte
■ Hernieuwbare elektriciteit
■ Hernieuwbare voertuigbrandstoffen
■ Fossiele energie



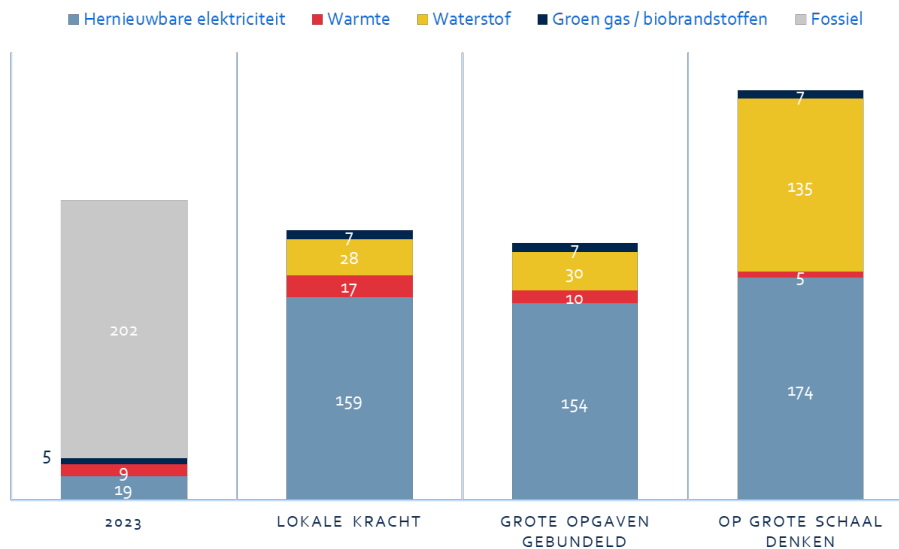
Figuur 3: Aandeel duurzame en fossiele energie in huidige energievraag. Gegevens uit de klimaatmonitor

3.2. Ontwikkeling Brabantse energievraag

CE Delft heeft in 2023 onderzocht hoe de vraag naar energie zich kan ontwikkelen richting 2050⁴. Daarvoor zijn drie scenario's onderzocht, namelijk Lokale Kracht, Grote Opgaven Gebundeld, en Op Grote Schaal Denken. In het scenario 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 scenario 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 scenario veel gebruik gemaakt van elektriciteit. In het scenario 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 scenario door de groei van de energie intensieve industrie. In figuur 4 is de energievraag in de drie 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.

⁴ [Brabants energiesysteem ontwikkelingen richting 2050](#)

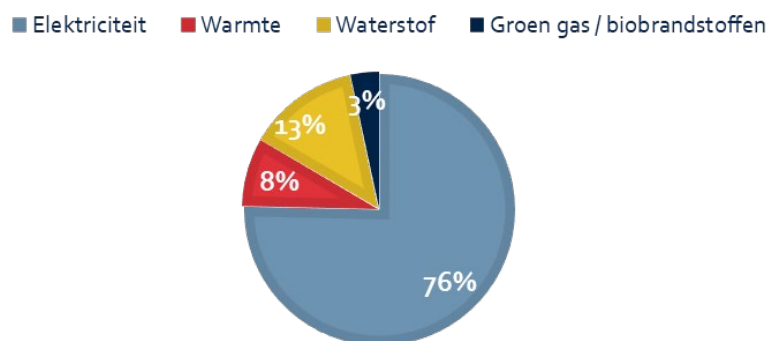
Verdeling energievraag dragers per scenario



Figuur 4: energievraag 2050 per scenario

Voor het vervolg laten we het scenario Op Grote Schaal Denken verder buiten beschouwing. De ontwikkelingen laten op dit moment geen bewegingen in de industrie zien die erop wijzen dat de energie-intensieve industrie sterk gaat groeien. De huidige ontwikkelingen laten zowel lokale en regionale sturing op de energietransitie zien, als sturing door de rijksoverheid. Maar aangezien lokale sturing beter past bij de rol van de provincie gebruiken we de getallen die passen bij het scenario Lokale Kracht. In figuur 5 is de procentuele verdeling van de energievraag in 2050 over de dragers aangegeven. Daarbij moet worden aangetekend dat dit 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 is de vraag naar energie er in 2050 uiteindelijk anders uit kan zien dan het scenario Lokale Kracht aangeeft.

Energievraag per drager "lokale kracht"



Figuur 5: energievraag per drager in 2050

Het scenario 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 in 2023 naar 211 PJ in 2050. 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 zijn (steeds meer) alternatieven beschikbaar, zoals hernieuwbare warmte en waterstof, maar ook in deze sectoren zal verduurzaming deels door elektrificatie worden bereikt.

Een groot deel van de vraag naar energie is verbonden aan de vraag naar warmte. Daarbinnen wordt onderscheid gemaakt tussen hoge temperatuurwarmte (hoger dan 90 graden), lage temperatuurwarmte (lager dan 50 graden) en midden temperatuur warmte (tussen de 50 en de 90 graden). De vraag naar hoge temperatuur warmte komt uit de procesindustrie. De vraag naar lage en midden temperatuur warmte komt uit de gebouwde omgeving, de bedrijven en industrie en de landbouw (voornamelijk glastuinbouw) voor de verwarming van de ruimte en tapwater.

Ontwikkelingen in het Brabants energieaanbod

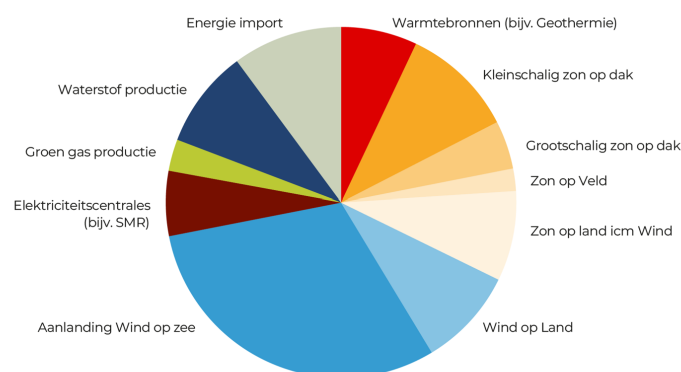
Aan de aanbodkant van het energiesysteem beschouwen we duurzame elektriciteit, groene waterstof, groen gas en duurzame warmte. Op dit moment wordt in Brabant minder energie geproduceerd dan verbruikt. Brabant is een importerende provincie. Op basis van de leidende principes die richting geven aan de keuzes die de provincie in de energietransitie wil maken is opschaling van de productie van energie nodig. 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, energiehub's, 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.

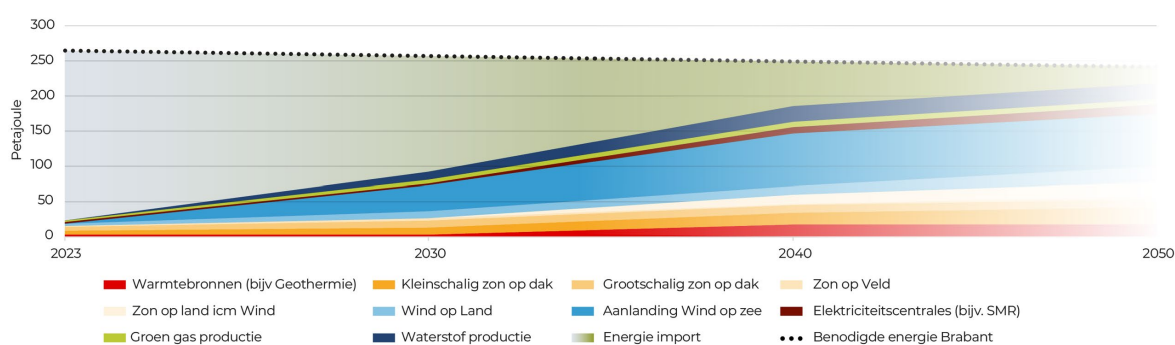
Het aanbod van duurzame moleculen bestaat op dit moment uit groen gas. Ongeveer 5% van de totale potentie wordt benut, waardoor ruimte is voor opschaling. In Brabant wordt nog geen groene waterstof geproduceerd en het is nog onzeker of grootschalige productie van waterstof ontwikkeld wordt. Dat is afhankelijk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

Figuur 6 laat een mogelijke bronnenmix zien dat op basis van het scenario Lokale Kracht kan ontstaan. Figuur 7 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) DRC en de realisatie van kleine modulaire kerncentrales.



Figuur 6: verwachte bronnenmix in 2050



Figuur 7: mogelijk ontwikkelpad van de bronnenmix richting 2050

4. Ontwikkelingen in de energie-infrastructuur en flexibiliteit

In Brabant is de huidige infrastructuur nog onvoldoende toegerust om de verschuivingen in vraag en aanbod van energie te ondersteunen. Ook wanneer vraag en aanbod van energie zo veel mogelijk ruimtelijk worden afgestemd, zijn forse investeringen noodzakelijk in de uitbreiding en modernisering van het netwerk.

Een duidelijk knelpunt vormt het elektriciteitsnet, dat momenteel zwaar onder druk staat. De snel groeiende elektriciteitsvraag, onder andere als gevolg van de elektrificatie van mobiliteit, industrie en warmtevoorziening, overstijgt de bestaande capaciteit. Zowel het hoogspanningsnet van TenneT als het midden- en laagspanningsnet van Enexis moeten daarom aanzienlijk worden uitgebreid. Een tweede belangrijke ontwikkeling is de aanleg van het Waterstofnetwerk Nederland. Voor Brabant biedt dit netwerk mogelijkheden voor de aan- en doorvoer van waterstof, dat op termijn een belangrijke rol kan spelen in de verduurzaming van de industrie. Op het gebied van warmte is uitbreiding van warmtenetten nodig om het aanbodpotentieel van duurzame warmtebronnen te benutten. In stedelijke gebieden, waar de bebouwingsdichtheid hoog is, bieden collectieve warmtenetten goede mogelijkheden. In kleinere kernen en landelijke gebieden kunnen juist kleinschalige, lokale warmte-initiatieven een passende oplossing bieden. Groen gas wordt op diverse locaties in Brabant al ingevoerd in het regionale gasnetwerk en gemengd bij aardgas. Voor een toekomstbestendige groengasvoorziening zijn echter



aanpassingen nodig aan de bestaande infrastructuur. Denk hierbij aan de inzet van boosters en het optimaliseren van verbindingen om een stabiele en efficiënte distributie van groen gas te waarborgen.

Afname van inzetbare regelbare centrales, die nu nog zorgen voor regelbaar vermogen, vraagt om meer flexibiliteit in het energiesysteem. Oplossingen zoals energieopslag, vraagsturing en integratie van systeemonderdelen worden essentieel om het systeem in balans te houden.

3.5 Ontwikkelingen in ruimtebeslag

Een klimaatneutrale energievoorziening neemt meer ruimte in dan een fossiel energiesysteem (PEH). De verduurzaming van het energiesysteem leidt tot veranderingen in het ruimtebeslag voor opwek, transport, conversie en opslag van energie. Dit geldt met name voor elektriciteit. Door elektrificatie van de maatschappij is veel meer productiecapaciteit en transportcapaciteit voor elektriciteit nodig. De impact daarvan op de ruimte is afhankelijk van de wijze waarop in die extra productiecapaciteit wordt voorzien. Grootschalige regelbare thermische centrales kunnen, afhankelijk van de bedrijfstijd veel elektriciteit per hectare produceren. De capaciteit van bijvoorbeeld SMR's ligt tussen 25MWe en 50 MWe (NRG) per hectare en voor grotere thermische centrales ligt dat rond 210 MW per hectare (PEH). Deze centrales kunnen vrijwel continue produceren waardoor een hoge productie per hectare mogelijk is. Voor productie van elektriciteit door wind op land en zon is (veel) meer ruimte nodig. Dat komt doordat zowel de capaciteit per hectare veel kleiner is (voor wind ongeveer 1 MW per hectare en voor zon op dak circa 1,7 MW per hectare) als het aantal vollasturen (wind op land rond 2760 uren en zon op dak rond 900 uren per jaar).⁵ De productie van elektriciteit uit zon op dak is daardoor per hectare circa 1,5 GWh. Voor elektriciteit uit wind is dat circa 2,8 GWh. De inzet van niet-regelbare bronnen zorgt ook voor de behoefte aan aanvullende elementen in het elektriciteitssysteem, zoals batterijsystemen, converterstations en elektrolyzers. Deze zijn nodig om fluctuaties in het aanbod in balans te brengen met de vraag en om elektriciteit van wind op zee om te zetten van gelijkstroom naar wisselstroom. Tenslotte is door elektrificatie stevige uitbreiding van het elektriciteitsinfrastructuur nodig. Zowel hoogspanningsstations (20 tot 35 hectare per station) en onderstations, als de verbindingen daartussen. Uitgangspunt daarbij is dat de hoogspanningsverbindingen (220kV en 380 kV) bovengronds worden aangelegd, en de verbindingen op lagere spanningsniveaus ondergronds.

Alternatieve deelsystemen voor elektrificatie zijn de collectieve warmtesystemen en waterstofsysteem. Bij collectieve warmtesystemen worden lokale hernieuwbare warmtebronnen en eventueel restwarmte uit de industrie gekoppeld aan warmtenetten. Via de warmtenetten wordt warmte geleverd aan eindverbruikers, onder andere in de gebouwde omgeving. De bovengrondse infrastructuur bestaat bij geothermie uit de geothermieput waarmee warmte uit de aarde wordt opgepompt en waarmee het afgekoelde water weer in de aarde wordt geïnjecteerd. Voor de boring hiervan is ongeveer 1,5 hectare aan ruimte nodig. Bij exploitatie van de put kan die ruimte worden teruggebracht tot 0,5 hectare. De gemiddelde jaarproductie van de huidige geothermieputten in Nederland bedraagt circa 50 GWh. Door deze opbrengst en door de eenvoudige inpasbaarheid vanwege de kleine benodigde ruimte is een collectief warmtesysteem een verkiesbare alternatief boven elektrificatie.

⁵ Bron: <https://ruimtevoorenergie.nl/>. Voor wind is uitgegaan van 1 MW per hectare. Dit is een positieve inschatting. Hierin is de veiligheidszone rondom windparken niet meegenomen. Deze verschilt per categorie objecten waar het windpark aan grenst. Wanneer we de veiligheidszone wel meenemen dan is het ruimtegebruik van 1 MW tussen 5 en 10 hectare.

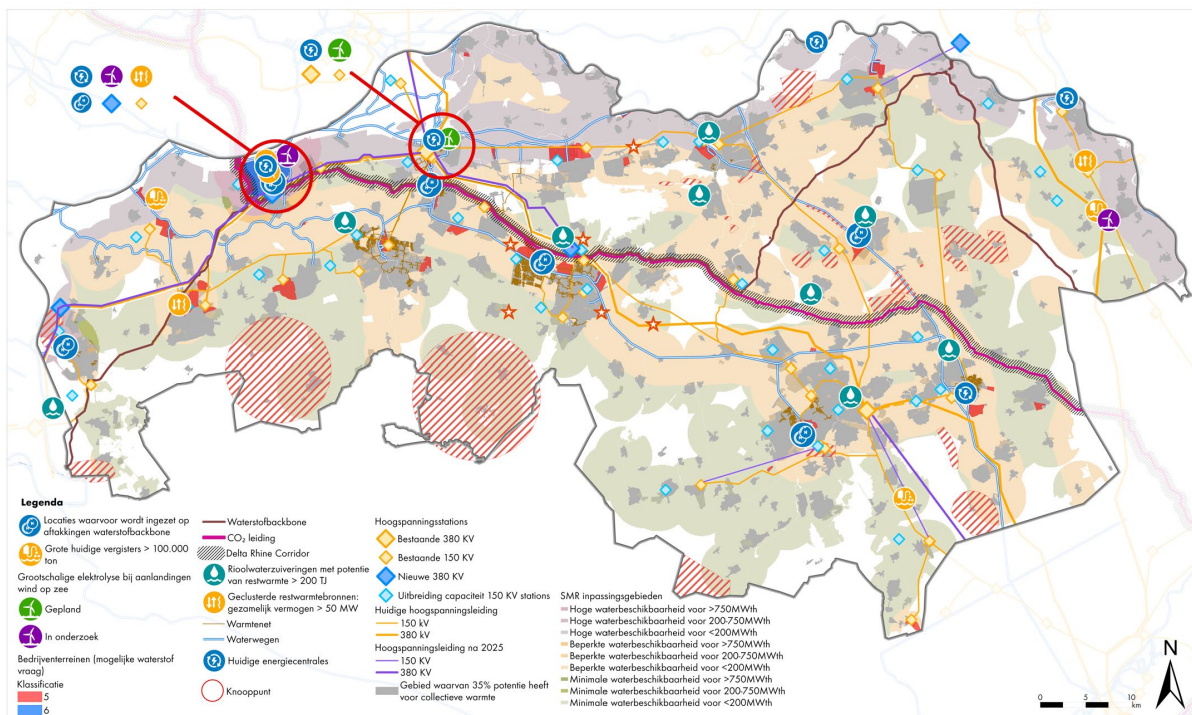


Groene waterstof wordt geproduceerd door elektrolyse van water met behulp van duurzame elektriciteit. Daarmee neemt een systeem voor groene waterstof in beginsel de meeste fysieke ruimte in omdat zowel productie en transport van elektriciteit nodig is als elektrolysecapaciteit. Bij elektrolyse wordt 30% van de energie omgezet in warmte. Zonder toepassing van die warmte gaat 30% dus verloren, waardoor de productie per hectare verder afneemt. Echter, wanneer we kijken naar het Brabants schaalniveau dan wordt de waterstof voor een deel geïmporteerd via het waterstofnetwerk, waardoor het ruimtebeslag daarvan in Brabant klein is. Het ruimtebeslag landt daar waar de waterstof wordt geproduceerd en in het waterstofnetwerk wordt ingevoed. En een deel van de waterstof wordt in Brabant geproduceerd om fluctuerend aanbod van wind op zee op te vangen. Productie van waterstof heeft daarmee een belangrijke functie in het duurzaam energiesysteem. Dat vraagt weliswaar ruimte (1 hectare per 100 MW elektrolysecapaciteit), maar die komt voort uit de functie van waterstof. De ruimtevrage wordt daarmee minder belangrijk als afweging, en heeft vooral gevolgen voor de inpasbaarheid ervan.

3.6 Huidige situatie en ontwikkelingen in kaart gebracht

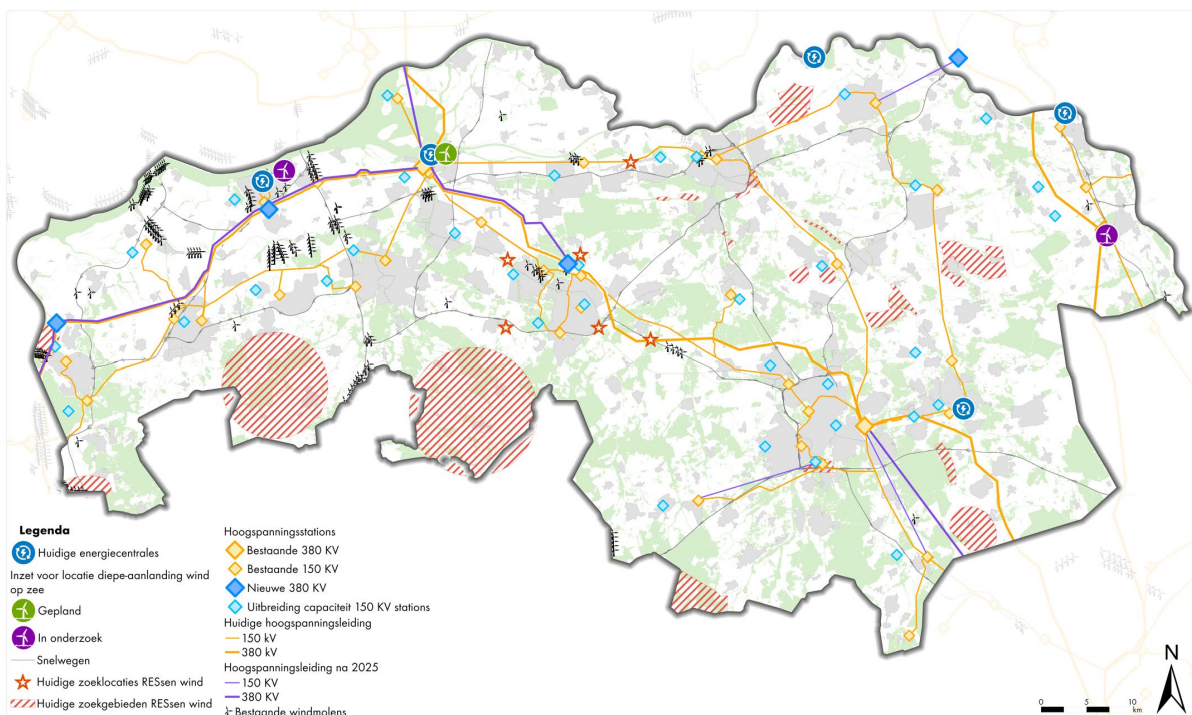
Het huidig energiesysteem en de ontwikkelingen daarin zijn in kaart 1 grafisch weergegeven. Deze kaart is opgebouwd uit de belangrijkste elementen van het elektriciteitssysteem, het warmtesysteem en het systeem voor duurzame moleculen. De kaart laat ook de inpassingsgebieden zien voor small modulair reactors. Deze gebieden zijn in het onderzoek van NRG naar voren gekomen op basis van de beschikbaarheid van water, dat nodig is voor de koeling, en op basis van de energievraag. In Brabant zien we twee knooppunten in het energiesysteem ontstaan, namelijk rond Moerdijk en Geertruidenberg. Daar komen grootschalige elektriciteitsinfrastructuur, infrastructuur voor CO₂ en waterstof, productie van elektriciteit en waterstof, en geclusterde restwarmtebronnen samen met een grote vraag naar energie. Deze knooppunten zijn belangrijk voor de integratie van verschillende onderdelen van het energiesysteem, en daarmee voor de balans in het energiesysteem. Tevens kunnen deze knooppunten een aanzuigende werking hebben voor nieuw te vestigen bedrijvigheid en industrie, mits daarvoor ook de fysieke ruimte voor kan worden benut.





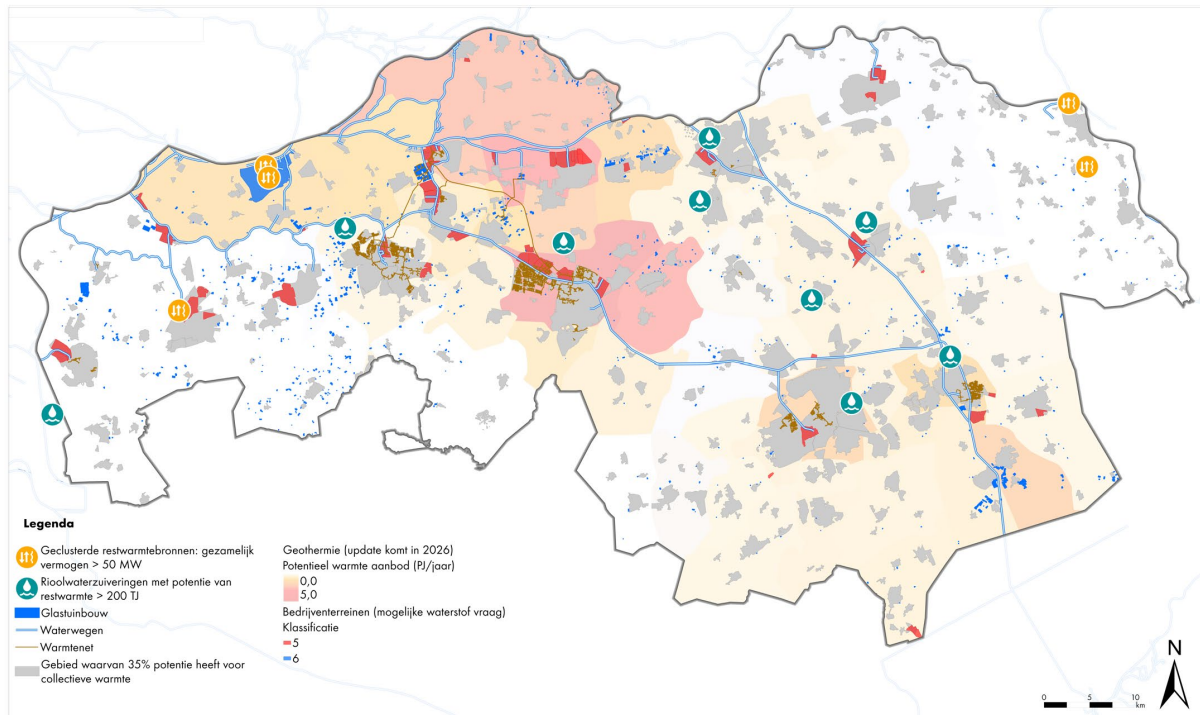
Kaart 1: energieknooppunten

In kaart 2 is het deelsysteem voor elektriciteit weergegeven. Daarin is opgenomen de huidige hoogspanningsinfrastructuur en de uitbreidingen daarvan, de (mogelijke) aanlanding(en) van wind op zee, huidige productielocaties en de zoekgebieden voor wind- en zonne-energie. Het nieuw te bouwen hoogspanningsstation bij Wijchen komt weliswaar niet in de provincie Noord-Brabant, maar zal wel een groot deel van Noordoost-Brabant van elektriciteit voorzien. Daarom is dat toekomstig hoogspanningsstation ook op deze kaart opgenomen.



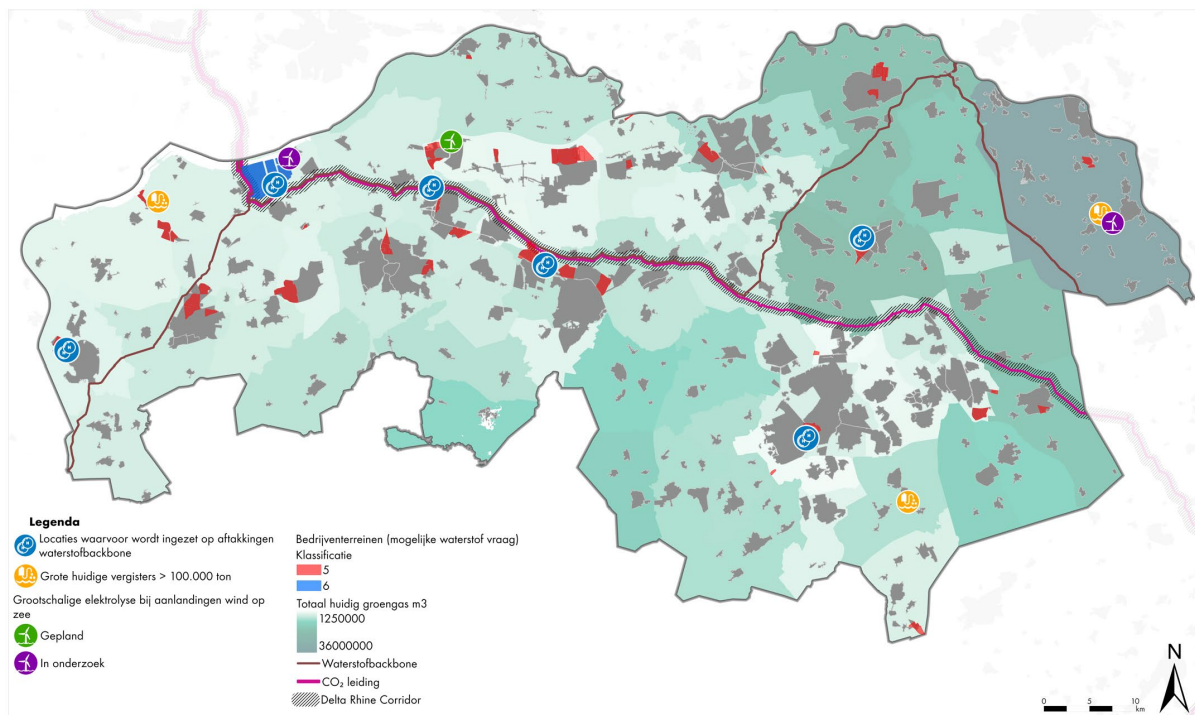
Kaart 2: elektriciteitssysteem

Kaart 3 geeft een beeld van het deelsysteem voor warmte. Het laat de huidige warmtenetten zien, bijvoorbeeld in Bergen op Zoom, Breda, Tilburg, Eindhoven en Helmond en in een aantal kleinere gemeenten. Daarnaast is aangegeven waar potentie zit voor ontsluiting van geothermiebronnen, de geclusterde restwarmtebronnen en de potentie van restwarmte van de RWZI's. Op basis van het potentiële toekomstvaste aanbod van warmte zou 35% van de grijs gekleurde gebieden aangesloten kunnen worden op een collectieve warmtevoorziening.



Kaart 3: warmtesysteem

Kaart 4 tenslotte bevat de grafische weergave van het systeem voor duurzame moleculen. Daarin is het voorgenomen Waterstofnetwerk Nederland opgenomen. Via dit netwerk kan waterstof beschikbaar komen voor de industrie in Moerdijk (als onderdeel van het energiecluster Rotterdam-Moerdijk) en in Bergen op Zoom (als onderdeel van het energiecluster Zeeland / West-Brabant. Mogelijke aftakkingen van het netwerk in de omgeving van Tilburg/Dongen/Oosterhout, Eindhoven en Meijerijstad. Daarnaast kan elektrolysecapaciteit worden gerealiseerd bij de aanlandingen van wind op zee. Bij Geertruidenberg is een aanlanding gepland, in Moerdijk en Boxmeer is deze nog in onderzoek. De kaart toont ook de potentie van de productie van groen gas. Deze zit met name aan de oostelijke kant van de provincie, maar al met al zal groen gas een bescheiden aandeel hebben in het toekomstig energiesysteem van Brabant.



Kaart 4: systeem duurzame moleculen



Hoofdstuk 4: Hoofdsysteemkeuzes en agenderende keuzes

In dit hoofdstuk gaan we dieper in op de opgave van Brabant met betrekking tot de ontwikkeling van een duurzaam energiesysteem. De leidende principes geven daarin de richting aan die leiden tot een systeem dat duurzaam en flexibel is met een brede mix aan energiebronnen en zowel centrale als decentrale elementen heeft. De opgave volgt uit hoofdstuk 3 waarin de huidige situatie in relatie tot het doel, en de ontwikkelingen in het energiesysteem zijn beschreven. De opgave is in dit hoofdstuk uitgewerkt in keuzes die nodig zijn om de transitie naar het energiesysteem van de toekomst te maken. We onderscheiden daarbij de hoofdsysteemkeuzes voor het energiesysteem en de agenderende keuzes voor de sectorale beleidsontwikkeling.

4.1 Hoofdsysteemkeuzes voor het energiesysteem



het gat tussen het huidige energiesysteem van Brabant en een duurzaam en efficiënt energiesysteem, dat flexibel en meer decentraal ingericht is, en maximaal gebruik maakt van een goede mix van duurzame energiedragers, is groot. Aan de systeemkant geeft dat een opgave voor productie, infrastructuur en opslag van elektriciteit, warmte, duurzame moleculen, en flexibiliteit. Deze opgaven staan niet allemaal op zichzelf, maar hangen met elkaar samen. Energiedragers kunnen immers substituten van elkaar zijn, aangezien meerdere energiedragers in aanmerking komen voor verduurzamingsroute van de sectoren. Ontwikkeling van de ene energiedrager beïnvloedt de opgave van andere energiedragers. Bijvoorbeeld: zowel elektriciteit als waterstof en groen gas kunnen voorzien in de vraag naar hoge temperatuurwarmte voor de industrie. Wanneer waterstof op het juiste moment en tegen de juiste prijs en voorwaarden beschikbaar komt is het mogelijk dat de industrie daadwerkelijk op waterstof overstapt. In dat geval drukt dat de toekomstige vraag naar elektriciteit en groen gas. Maar wanneer de waterstoftransitie tegenvalt dan zal de industrie grotendeels elektrificeren en komt de vraag aan de orde hoe daarin wordt voorzien. Opties daarbij zijn niet regelbare bronnen zoals wind en zon, regelbare thermische centrales waaronder kernenergie, of import van elektriciteit. Ook hierbij geldt dat ontwikkeling van het één impact heeft op de opgave van het andere. Voor de ontwikkeling van een evenwichtig en efficiënt energiesysteem is het belangrijk om te volgen hoe de ontwikkeling van het aanbod van elektriciteit, warmte en duurzame moleculen verloopt, en de resterende opgave daarop aan te passen.

4.1.1 Hoofdsysteemkeuze voor ktriciteit

Op basis van het in hoofdstuk 3 genoemde scenario Lokale Kracht is een sterke stijging van de vraag naar duurzame elektriciteit in 2050 te verwachten. Die vraag stijgt ongeveer naar 159 PJ. Dat is bijna een verdrievoudiging van de huidige vraag. Deze toename komt door de elektrificatie van de mobiliteit en door de gedeeltelijke elektrificatie van de warmtevraag uit industrie en gebouwde omgeving. Hoe groot de vraag naar elektriciteit in 2050 zal zijn hangt dus ook af van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving en de beschikbaarheid en betaalbaarheid van groene waterstof voor de industrie. Volgens de huidige inzichten kan ongeveer 35% van de Brabantse woningen op een warmtenet worden



aangesloten. Wanneer dat lukt, en er betaalbare groene waterstof beschikbaar komt zal de vraag naar elektriciteit meer richting de 159 PJ zijn dan wanneer de ontwikkelingen in de warmtetransitie en waterstofeconomie tegenvallen. In dat geval zal de vraag naar elektriciteit hoger zijn door de grotere rol van elektriciteit in de verduurzamingsroute van de industrie en gebouwde omgeving. Wat het ook wordt, het elektriciteitssysteem is daar niet op berekend. Zowel de productie van duurzame elektriciteit (19 PJ in 2023) als de transportinfrastructuur zal opgeschaald en versterkt moeten worden. Daarnaast is het voor een efficiënt elektriciteitssysteem nodig dat toekomstige groei in verbruik beter aansluit bij de uitbreiding van de infrastructuur en andersom. Het is namelijk onwenselijk dat nieuwe grote elektriciteitsverbruikers zich vestigen waar geen ruimte is op het net, terwijl elders dat nog wel is. In elk geval is er voor vestiging van nieuwe elektriciteitsvragers ook fysieke ruimte nodig. De spanning tussen fysieke ruimte en ruimte op het net zal dan toch moeten worden opgelost door uitbreiding van infrastructuur, tenzij herindeling van ruimtegebruik al tot de plannen behoort. Met het oog op deze opgave formuleren we drie hoofdsysteemkeuzes voor elektriciteit.

Hoofdsysteemkeuze 1: Verhoog de productie van duurzame elektriciteit in lijn met de Brabantse leidende principes. Zorg voor een brede productiemix.

Voor de productie van duurzame elektriciteit komen verschillende bronnen in aanmerking en mogelijk komen daar richting 2050 nog bronnen bij. Het is belangrijk om een brede productiemix voor elektriciteit te hebben. Dat vermindert de afhankelijkheid van niet regelbare bronnen en van opslagsystemen en andere flexibiliteitsopties, en is dus goed voor de leveringszekerheid, betaalbaarheid en ruimtebeslag. In Brabant komen de volgende productiemethoden voor elektriciteit in beeld.

Elektriciteit uit wind en zon

Keuzes over locaties voor wind en zon worden gemaakt in de RES regio's⁶. Op dit moment hebben de vier RES regio's doelstellingen voor 2030 geformuleerd die optellen tot 24,5 PJ. Daarbij staat de realisatiedatum van 2030 in twee regio's wel onder druk. Vanuit het perspectief van het energiesysteem is het belangrijk dat extra opwek uit wind en zon wordt gerealiseerd bovenop de huidige doelstellingen. Het totale resterend potentieel van zon op dak is ongeveer 8 PJ en die voor wind op land is 0,4 PJ⁷. Ook zon op landbouwgronden heeft potentie, maar vanwege het ruimtebeslag daarvan staat zon op land in het huidige beleid op de laagste trede van de zonneladder. Kansen zitten in dubbel ruimtegebruik waarbij de landbouwfunctie gecombineerd wordt met zonnepanelen.

Het is van belang dat de uitbreiding van productievermogen uit zon en wind past bij het energiesysteem van de toekomst en aansluit bij de leidende principes. Dat betekent dat in het ruimtelijk beleid rekening moet worden gehouden met productie- en opslaglocaties in de nabijheid van de vraagontwikkeling. Dat vraagt om een gebiedsgerichte benadering waarbij gemeenten, regio en provincie de groei in de gebouwde omgeving, mobiliteit en bedrijvigheid in samenhang ontwikkelen met de elektriciteitsvoorziening.

Kernenergie uit Small Modular Reactors (SMR)

⁶ Op dit moment is een heroriëntatie gaande op de interbestuurlijke samenwerkingsafspraken die impact kunnen hebben op de organisatie van de huidige RES regio's. Begin 2026 volgt hierover meer duidelijkheid.

⁷ Potentie is berekend op basis van huidige beleidskaders. Dit zijn de afstandsnormen ten opzichte van huishoudens en beperkingen vanuit defensie. Op dit moment voert het ministerie van KGG een onderzoek uit naar de realistische potentie van wind op land en zon richting 2050. De resultaten daarvan worden begin 2026 verwacht en zullen inzicht geven in hoeverre wind en zon in Brabant kunnen doorgroeien.



Voor de opschaling van duurzame elektriciteitsproductie kijkt het Rijk nadrukkelijk ook naar Kernenergie (NPE). SMR's zijn kleine modulaire reactoren die op decentraal niveau een rol kunnen spelen. Met de komst van SMR's ontstaat een nieuw speelveld (investeerders, ontwikkelaars, overheden, draagvlak, procedures etc) waarin op dit moment nog veel onduidelijk is. Daarom heeft het ministerie van KGG een programma-aanpak SMR uitgewerkt. Het doel van dat programma is om de mogelijke potentie van SMRs in kaart te brengen door zicht te krijgen op de mogelijke toepassing in het decentrale energiesysteem en inpassing in het transportnetwerk. De verwachting is dat de realisatietermijn van de eerste SMRs in Nederland tussen de 8 en de 11 jaar duurt, waarbij ervan is uitgegaan dat bij de start voldoende zicht is op betrouwbare financiering en dat de nodige politieke besluitvorming heeft plaatsgevonden (NRG). SMR's produceren zowel elektriciteit als warmte, of een combinatie daarvan. Wanneer een SMR volledig wordt ingezet voor de productie van elektriciteit is het energetisch rendement ongeveer 33%. Dat betekent dat 67% van de energie aan warmte verloren gaat. Wanneer de SMR volledig wordt ingezet voor de productie van warmte dan kan het volledig thermisch vermogen van de SMR worden benut. NRG onderscheidt 3 vermogensklassen voor SMR's:

- Vermogenscategorie 1: thermisch vermogen groter dan 750 MW_{th}. Deze kan jaarlijks ongeveer 23,7 PJ warmte leveren en 7,9 PJ elektriciteit.
- Vermogenscategorie 2: thermisch vermogen tussen 200 MW_{th} en 750 MW_{th}. Deze kan jaarlijks tussen 6,3 en 23,7 PJ aan warmte leveren en tussen 2,1 en 7,9 PJ elektriciteit.
- Vermogenscategorie 3: thermisch vermogen kleiner dan 200 MW_{th}. Deze kan tot 6,3 PJ warmte leveren en tot 2,1 PJ elektriciteit.

NRG heeft onderzocht welke locaties in Brabant kansrijk zijn voor realisatie van SMR's. Deze locaties zijn het resultaat van een afweging van de aanwezigheid van koelwater, de vraag naar energie, en beperkende omgevingsfactoren zoals Natura 2000 gebieden. De conclusie is dat bijna alle bedrijventerreinen in Brabant van energie kunnen worden voorzien door SMR's. Inpasbaarheid van SMR's op specifieke locaties kan in een volgende stap beoordeeld worden op basis van ruimtelijke opgaven en business cases.

Wind op Zee

Het ministerie van KGG is verantwoordelijk voor het programma Verbindingen Aanlanding Wind Op Zee (VAWOZ). Op dit moment landt in Brabant geen wind op zee aan. Er is wel besloten om één aanlanding van 2 GW te realiseren in Geertruidenberg. Daarnaast wordt in het programma onderzocht of in Moerdijk één of twee aanlandingen van 2 GW tot de mogelijkheden behoren. Besluitvorming hierover wordt eind 2026 verwacht. Elke aanlanding van 2 GW levert ongeveer 37 PJ⁸ aan elektriciteit op. Wanneer besloten wordt de twee aanlandingen in Moerdijk ook te realiseren, dan komt ruim 110 PJ aan elektriciteit in Brabant beschikbaar. Deze energie zal met name worden gebruikt door de industrie en/of voor de productie van waterstof door elektrolyse. Het energetisch omzettingsrendement daarvan is ongeveer 70%. De resterende energie komt vrij in de vorm van warmte en kan worden gebruikt in de industrie.

Mogelijke toekomstige opties

In het Programma Energie Hoofdstructuur (PEH) zijn 2 gebieden aangewezen voor de vestiging van grootschalige regelbare elektriciteitsproductie (groter dan 500 MW). Die gebieden betreffen de locaties van de bestaande Amercentrale in Geertruidenberg en de Moerdijkcentrale in Moerdijk. Wanneer beide centrales een capaciteit hebben van 500 MW en voor de helft van de tijd in net jaar bijregelen dan levert

⁸ Bij 5166 vollasturen



dat ongeveer 16 PJ op. Het PEH laat het type centrale in het midden, maar er zijn verschillende duurzame opties waaraan met name op de langere termijn kan worden gedacht. Ten eerste aan biomassa. Op dit moment wordt de Amercentrale volledig gestookt met biomassa. Over de duurzaamheid van biomassa wordt verschillend gedacht, maar wanneer de biomassa duurzaam wordt geproduceerd, beschouwt men de energie hieruit als duurzaam. Voor verdere verduurzaming onderzoekt RWE de haalbaarheid van de afvang van CO₂, wat de centrale passend zou maken binnen de verduurzamingsdoelstellingen van Brabant en het Rijk. Ten tweede kan worden gedacht aan een aantal opties die op dit moment om verschillende redenen nog niet (op een efficiënte manier) toegepast kunnen worden, maar die op de lange termijn wel relevant kunnen worden. Bijvoorbeeld groene waterstof en ijzerpoeder als brandstof voor grootschalige regelbare elektriciteitsproductie. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met de ontwikkeling van kernenergie uit gesmolten zout reactoren. Dat zijn ook SMR's die in plaats van uranium gesmolten zout en thorium gebruiken om elektriciteit en warmte op te wekken.

Restcategorie: import van elektriciteit

In het voorgaande is beschreven hoe het aanbod van elektriciteit in Brabant door middel van productie verhoogd kan worden, en zo bijdraagt aan de doelstelling dat in 2050 de duurzame energie grotendeels afkomstig is uit Brabant. Het deel van het elektriciteitsverbruik dat niet in Brabant wordt geproduceerd, zal 'geïmporteerd' worden via het hoogspanningsnet. Wanneer de capaciteit daarvan groot genoeg is (zie hoofdsysteemkeuze 2), en de elektriciteit elders kan worden ingevoerd gaat dat vanzelf door de werking van het elektriciteitssysteem.

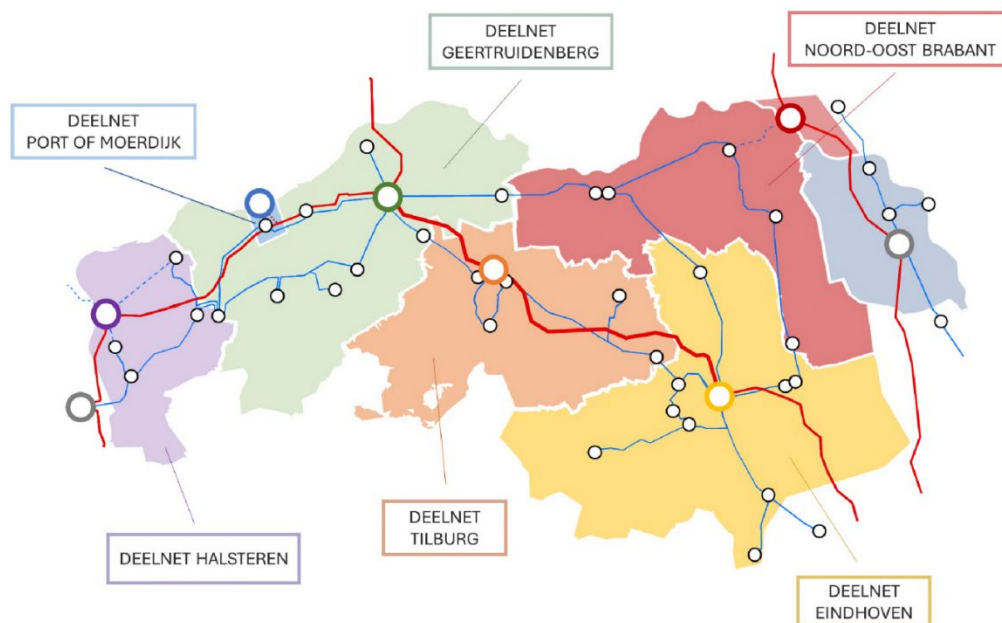
Hoofdsysteemkeuze 2: Realisatie van robuuste elektriciteitsinfrastructuur in geheel Brabant door realisatie 380kV deelnetten en opbouw daarvan op lagere spanningsniveaus.

De capaciteit van het huidige elektriciteitsnet is in Brabant op alle spanningsniveaus onvoldoende om de groei in de vraag en het aanbod van elektriciteit te accommoderen. Hoewel vraag- en aanbodontwikkeling van andere energiedragers zoals warmte, groen gas en waterstof, een belangrijke bijdrage leveren aan het energiesysteem van de toekomst, zal het elektriciteitsnet op alle spanningsniveaus stevig uitgebreid moeten worden.

Netbeheerder TenneT heeft een visie ontwikkeld voor de uitbreiding van het hoogspanningsnet richting 2045 ([TenneT/target-grid](#)). De visie is gebaseerd op het maximale elektrificatiescenario en leidt tot een verviervoudiging van de transportcapaciteit in Brabant. Om dat te bereiken realiseert TenneT in Brabant 7 deelnetten.⁹ Elk deelnet zal gevoed worden vanuit een 380kV station en voorziet de 150kV stations binnen het deelnet van transportcapaciteit. Zie kaart 5. De realisatie van deze netstructuur faciliteert de groei en verduurzaming van alle sectoren. Hiervoor is het nodig dat de bestaande 380kV stations in Eindhoven, Geertruidenberg en Boxmeer worden uitgebreid en nieuwe 380 kV stations realiseert bij Halsteren, Moerdijk, Tilburg en Wijchen (Gelderland).

Voor de ontwikkeling van het midden- en laagspanningsnet is netbeheerder Enexis verantwoordelijk. Ook Enexis investeert in aanzienlijke uitbreiding van deze spanningsniveaus.

⁹ Op 31 oktober 2025 heeft TenneT het Ontwerp Investeringsplan 2026-2040 ter inzage gelegd. In dat plan is een extra deelnet rond Eindhoven opgenomen die niet in kaart 1 staat. In 2026 worden de investeringsplannen vastgesteld.



Kaart 5: grove indeling van de geplande indeling van deelnetten (pMIEK 2 van Noord-Brabant).

Hoofdsysteemkeuze 3: Bewust omgaan met schaarse netcapaciteit door planologische sturing op vestiging nieuwe intensieve afnemers van elektriciteit

De provincie volgt het proces van integraal programmeren voor de ontwikkeling van het energiesysteem. Dat wil zeggen dat de uitbreiding van het energiesysteem (beter) samenloopt met de verduurzaming en groei van de gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit en landbouw. Vestiging van nieuwe energie-intensieve gebruikers worden doorgaans door de netbeheerders meegenomen in de prognoses en netberekeningen die ten grondslag liggen aan de investeringsplannen. Het kan echter ook voorkomen dat de integrale planning uit balans raakt, door een onderschatting in de prognose of juist een overschatting. Beide zijn onwenselijk. Om onderschatting of overschatting in de prognoses te voorkomen is het belangrijk dat partijen die over relevante informatie beschikken deze met elkaar delen, vergelijken en conclusies trekken over te nemen acties.

Het is belangrijk dat nieuwe verbruikers zich vestigen op plekken waar ook in de toekomst grootschalig wordt geïnvesteerd in elektriciteitsinfrastructuur. Locaties die hiervoor in ontwikkeling zijn betreffen de regio Eindhoven, Tilburg/Dongen, Moerdijk/Geertruidenberg en Bergen op Zoom. Of op locaties waar nog structurele ruimte is in het netwerk, bijvoorbeeld nabij stations waarop veel wind- en/of zonneparken en/of (op de langere termijn) SMR's worden aangesloten. Wanneer deze locaties uitgroeien tot energieknooppunten waar meerdere energie-infrastructuren bij elkaar komen, zullen zij een autonome aanzuigende werking hebben voor nieuw te vestigen bedrijvigheid. Aanvullend daarop is het nodig dat de provincie sturend vestigingsbeleid ontwikkelt dat zij in kan zetten wanneer een nieuwe energie-intensieve afnemer zich buiten die knooppunten wil vestigen. Voorwaarde is dat voor vestiging fysieke ruimte beschikbaar is. Wanneer die er niet is, dan zal de infrastructuur verder moeten worden uitgebreid.

4.1.2 Hoofdsysteemkeuzes voor warmte

De huidige warmtevraag bedraagt ongeveer 105 PJ en wordt voornamelijk ingevuld door middel van aardgas. Ongeveer 9 PJ bestaat uit hernieuwbare warmte. Naar verwachting zal de warmtevraag door



isolatie, besparingsmaatregelen en procesoptimalisatie licht dalen naar ongeveer 89 PJ. Ongeveer de helft van de totale warmtevraag in 2050, namelijk 44 PJ, komt uit de gebouwde omgeving. De industrie vraagt ongeveer 33 PJ en de landbouw 12 PJ.

Voor de verduurzamingsroute maken we onderscheid in de vraag naar hoge temperatuur (hoger dan 90 graden), lage temperatuur (tot 50 graden) en midden temperatuur (tussen 50 en 90 graden). De hoge temperatuur wordt voornamelijk gevraagd door de industrie. Verduurzaming daarvan kan door middel van toepassing van groene waterstof of groen gas, of door middel van elektrificatie. Voor de hoofdsysteemkeuzes die daarvoor nodig zijn verwijzen we naar paragraaf 4.1.1. (elektriciteit) en paragraaf 4.1.3 (duurzame moleculen).

De lage en midden temperatuur warmte wordt met name gevraagd door de gebouwde omgeving en de landbouw, en dan met name de glastuinbouw. Voor de verduurzaming daarvan zijn collectieve warmte-oplossingen de voorkeursroute. Deze collectieve oplossingen bestaan uit een warmtenet in combinatie met warmte uit lokale hernieuwbare bronnen of een combinatie met restwarmte uit de industrie.

De provincie heeft ten behoeve van de oprichting van een regionaal warmtebedrijf voor Brabant een juridische en financiële verkenning laten uitvoeren. Voor de verkenning is gebruikt gemaakt van een portfolio-model welke is opgesteld door de Rebel-groep in opdracht van EBN en gevuld is met data door Stantec. De gebruikte data zijn tijdens de warmtedialogen in 2024 met alle Brabantse gemeenten geverifieerd. De verkenning laat een reële aansluitpotentie zien van circa 400.000 woningen (bestaande- en nieuwbouw) plus circa 35.000 utiliteits-aansluitingen op een warmtenet. Uitgangspunt daarbij is dat woningen die gebouwd zijn na 1945 zodanig geïsoleerd kunnen worden dat deze verwarmd kunnen worden met lage temperatuur warmte. Woningen die vóór 1945 zijn gebouwd moeten worden verwarmd met midden temperatuur warmte. Voor de warmteproductie van een warmtenet van een dergelijke omvang zijn in theorie in Noord-Brabant voldoende duurzame warmtebronnen aanwezig.

Hoewel het een globale verkenning is, illustreert deze dat in theorie voldoende duurzame en toekomst-vaste warmtebronnen zijn om circa 35% van de woningen en gebouwen in Brabant aan te sluiten op een duurzaam warmtenet. Hierbij is uitgegaan van projecten met een minimale omvang van 200 aansluitingen. Daarmee wordt bijna 17 PJ aan warmte uit deze bronnen geleverd. Op de langere termijn kunnen ook koppelkansen ontstaan door benutting van warmte die overblijft bij de productie van kernenergie in SMR's en bij de conversie van elektriciteit in waterstof. Of de warmte wordt benut voor invoeding in bestaande netten of voor uitbreiding van netten hangt af van de locaties van SMR's en waterstofproductie, en van de specifieke vraag naar warmte in dat gebied.

Niet alleen warmte is belangrijk voor de gebouwde omgeving. Ook de vraag naar koude neemt toe als gevolg van klimaatverandering. Met het oog op de ontwikkelingen op gebied van warmte en koude formuleren we drie hoofdsysteemkeuzes.

Hoofdsysteemkeuze 4: Toepassing van collectieve warmte-oplossingen voor gebouwde omgeving en landbouw.

Er is niet een standaard aanpak voor de uitrol van collectieve warmtesystemen. Er kan een onderscheid gemaakt worden in een viertal categorieën. Elke categorie vraagt om een andere aanpak.

Warmtenetten in stedelijk gebied

Brabant kent meerdere warmtenetten in stedelijk gebied. De grootste is het warmtenet Midden- en West Brabant. Dit net levert warmte aan 51.000 huishoudens en 355 bedrijven in Breda, Tilburg, Oosterhout, Geertruidenberg, Made, Dongen en Sprang Capelle. Daarnaast zijn er warmtenetten van verschillende omvang in Bergen op Zoom, Goirle, Eindhoven, Helmond, 's-Hertogenbosch en



Roosendaal. Bij de ontwikkeling van warmtenetten in stedelijk gebied gaat het vaak om de ontwikkeling van warmtenetten met meer dan 1500 aansluitingen. Het wettelijk kader hiervoor wijzigt met de komst van de Wet collectieve warmtevoorziening. Warmtelevering van warmtenetten met meer dan 1500 aansluitingen mag in de toekomst alleen ontwikkeld en geëxploiteerd worden door warmtebedrijven die voor ten minste 51% in publieke handen zijn.

Warmtenetten in dorpen en kleine kernen

Warmtenetten in dorpen en kleine kernen hebben andere uitdagingen dan grote netten. Het gaat dan vaak om warmtenetten onder de 1500 aansluitingen. Dit worden in de nieuwe Wet collectieve warmte, Kleine Collectieve Warmtesystemen (KCW) genoemd. De ontwikkeling van KCW kan liggen bij gemeenten, maar ook bij andere initiatiefnemers, zoals projectontwikkelaars, private warmtebedrijven, regionaal warmtebedrijf of woningcorporaties. Kleine Collectieve Warmtesystemen maken sneller gebruik van lokale, vaak kleinere bronnen, waarbij het in de regel van belang is dat de afstand tussen bron en afnemer beperkt blijft. In deze categorie liggen mogelijk ook kansen voor lokaal eigendom en/of participatie door burgers.

Individuele oplossingen

In gebieden met een lage woningdichtheid zullen collectieve warmtesystemen (financieel) meestal niet haalbaar zijn. Elektrificatie kan hierbij een oplossingsrichting zijn. Overigens is het belangrijk om ook bij elektrificatie eerst naar collectieve elektrische oplossingen te kijken. Met name in landelijk gebied, kan biogas of groen gas ingezet worden in combinatie met hybride warmtepompen of Warmte-Kracht-Koppeling (WKK) bij de glastuinbouw.

Uitzonderlijke bronkansen

Het blijft belangrijk om de beschikbaarheid van duurzame warmtebronnen te onderzoeken en de toepassingsmogelijkheden uit te breiden. Het betreft maatwerk. Elke uitzonderlijke bronkans is anders, ook restwarmte van de industrie is geen twaalf in een dozijn. Afhankelijk van de bron, de beschikbaarheid van meerdere bronnen, de continuïteit van levering, de temperatuur en het beschikbare vermogen, afstand tot afnemers en de business-case moet telkens bezien worden of de realisatie van een collectief warmtesysteem mogelijk is. Geothermie, vanwege het kunnen bepalen van de locatie (mits de ondergrond geschikt is) als de ontsluiting van warmte van industriële bedrijven met hogere temperaturen restwarmte lijken met name kansrijk, omdat die warmte over grotere afstanden kan worden getransporteerd.

Hoofdsysteemkeuze 5: Voorbereiden op ontwikkeling van vraag naar koude

Door klimaatverandering, verstedelijking en betere isolatie groeit de behoefte aan koeling van gebouwen. Er ontstaat dus een toenemende koudevraag: een hoeveelheid energie die nodig is om gebouwen op een bepaalde temperatuur te houden wanneer het buiten warmer is. Tegenwoordig wordt hierin voorzien door middel van elektrische oplossingen, zoals airco's. Bij een groeiende vraag naar koeling worden deze oplossingen steeds onwenselijker. Warmte-oplossingen zijn in bepaalde gevallen te combineren met koude-oplossingen, zoals met een bodemwarmtepomp. Het is daarom verstandig om, waar mogelijk, de koudevraag direct mee te nemen in de keuze voor de meest geschikte warmtestrategieën.

4.1.3 Hoofdsysteemkeuzes voor duurzame moleculen: waterstof en groen gas





De categorie duurzame moleculen bestaat uit groene waterstof en groen gas. Deze energiedragers beschikken over specifieke eigenschappen. Hiermee kunnen hele hoge temperaturen bereikt worden waardoor zij een belangrijke rol in de ontwikkeling van een flexibel en robuust energiesysteem spelen. Het kan worden ingezet in de energie-intensieve industrie vanwege de vraag naar hoge temperatuur warmte, en voor zwaar wegtransport, de scheepvaart en luchtvaart. Groene waterstof heeft daarnaast in 2050 een belangrijke rol in het energiesysteem als bron voor regelbare CO₂-vrije elektriciteitsproductie en als opslagmedium van elektriciteit door middel van conversie (NPE). Op dit moment wordt er geen waterstof als energiebron gebruikt in Brabant. De verwachting is dat de vraag naar duurzame moleculen in 2050 tot ongeveer 35 PJ gaat toenemen. Naar verwachting is dat 28 PJ voor waterstof en ongeveer 7 PJ voor groen gas.

Nederland heeft de ambitie om de waterstofmarkt in de komende jaren fors uit te breiden, met onder andere de gefaseerde aanleg van het Waterstofnetwerk Nederland. Dit netwerk verbindt de grote nationale industrieclusters en zal deels door de provincie lopen. Brabant heeft daarmee een belangrijke functie in de doorvoer van waterstof(dragers). Dat biedt ook kansen voor de verduurzaming van de industrie en mobiliteit in Brabant, aangezien vanuit dit netwerk aftakkingen mogelijk zijn op locaties waar grote volumes aan waterstof gevraagd worden.

Hoofdsysteemkeuze 6: Realisatie grootschalige infrastructuur voor import, doorvoer en distributie van groene waterstof

De belangrijkste ontwikkelingen voor Brabant zijn conform het aangepaste uitrolplan ([aangepaste uitrolplan waterstofnetwerk 2024](#)) de realisatie van het waterstofnetwerk Zuidwest Nederland (fase 2 van het uitrolplan) en de realisatie van de Delta Rhine Corridor (DRC) (fase 3 van het uitrolplan). Het waterstofnetwerk Zuidwest Nederland verbindt de industrie van Moerdijk en Bergen op Zoom met het havengebied North Sea Port in Zeeland en de Antwerpse haven. Door de productie van duurzame waterstof aldaar en door de import via North Sea Ports komt waterstof daarmee beschikbaar voor afnemers in West-Brabant. De DRC verbindt in een volgende fase het haven en industrieel complex Rotterdam met Duitsland. In deze buisleiding wordt waterstof getransporteerd tot aan Boxtel. Vanaf daar gaat het Waterstofnetwerk verder via Ravenstein naar het noorden. Bij Ravenstein neemt het netwerk ook een afslag naar industrieterrein Chemelot in Limburg. Volgens de huidige planning zijn deze onderdelen van het netwerk vanaf 2032 gereed. De industrie in Moerdijk en Bergen op Zoom kan specifieke aansluitingen op het netwerk aanvragen bij HyNetwork Services. Voor de overige industrie in Brabant is een aftakking van het netwerk nodig, dat tot nu toe niet tot de scope van het uitrolplan behoort.

Ook buiten de industriële clusters is het de verwachting dat een vraag naar waterstof gaat ontstaan van partijen die op hoge druk opereren. Voor deze gebieden is een netwerkuitbreiding (ook wel aftakking genoemd) op het bestaande uitrolplan nodig. In Brabant voorzien we op dit moment netwerkuitbreidingen voor de regio Tilburg/Oosterhout/Dongen, voor Eindhoven en voor Meijerijstad.

Over de verdere regionalisering van het waterstofnetwerk op lagere druk is nog veel onduidelijk. Die onduidelijkheid zit zowel in de vraag naar waterstof op lage druk, als in de marktorganisatie rond die infrastructuur. We gaan er vanuit dat een vraag naar waterstof op lage druk kan ontstaan. Er zijn dan verschillende opties, zoals zelf produceren (hoofdsysteemkeuze 7), distributie met een regionaal waterstofnetwerk, of aanvoer met tankwagens.

Hoofdsysteemkeuze 7: Start en opschaling van productie van groene waterstof in Brabant



In Brabant is op dit moment geen grootschalige elektrolysecapaciteit voor de productie van groene waterstof. De verwachting is dat groene waterstof met name grootschalig wordt geproduceerd tijdens overvloedig aanbod van groene elektriciteit (NPE). Voor een efficiënt energiesysteem kan het nodig zijn dat elektrolysecapaciteit wordt ontwikkeld op locaties waar ook wind op zee aanlandt, zodat overtollige elektriciteit kan worden omgezet in waterstof. Op dit moment is er één aanlanding van 2 GW gepland in Geertruidenberg, en wordt een aanlanding in Moerdijk van 2 of 4 GW onderzocht. Deze elektriciteit kan direct worden gebruikt door de industrie in Moerdijk, of deels worden omgezet in waterstof wanneer elektrolysecapaciteit is ontwikkeld. Energetisch gezien treedt daarbij een verlies tot 30% op dat vrij komt in de vorm van warmte. Deze warmte kan worden ingezet in de industrie en mogelijk ook voor collectieve warmte oplossingen. Maar wanneer de verduurzaming van de industrie niet lukt door elektrificatie, is waterstof een mogelijkheid.¹⁰ Daarnaast kan productie van waterstof een balancerende functie hebben voor het elektriciteitsnet, waardoor waterstofproductie een specifieke functie krijgt ondanks de energieverliezen die daarbij optreden. Het combineren van elektrolysecapaciteit bij aanlanding wind op zee is dus vanuit het energiesysteem gezien een goede oplossing. Maar daardoor wordt ook het ruimtebeslag groter, en die is in Moerdijk en Geertruidenberg schaars.

In aanvulling op grootschalige waterstofproductie, is het ook nodig om decentraal waterstof te produceren zonder aansluiting op het nationale waterstofnetwerk. Dit is gewenst op locaties waar geen waterstof beschikbaar komt via het netwerk, maar waar wel vraag naar waterstof ontstaat door de behoefte aan zeer hoge temperaturen. Ook lokaal overaanbod van elektriciteit kan worden benut voor de productie van waterstof. Zorgvuldig gebruik van zoetwater en het gebruik van vrijkomende restwarmte en zuurstof is van belang om per situatie te kunnen inspelen op de mogelijkheden.

Voor productie van waterstof is veel elektriciteit nodig, veel water en afhankelijk van afnemers ook nog infrastructuur in de vorm van aftakkingen en eventueel distributienetten. Daardoor is het aantal mogelijke locaties beperkt. Door de energieverliezen lijkt dit onderdeel van het systeem een beperkte rol te spelen en vooral nodig te zijn als andere energiebronnen en -dragers geen soelaas kunnen bieden. Er dient voldoende hernieuwbare elektriciteit beschikbaar te zijn om de waterstofproductie te ondersteunen, zonder dat dit ten koste gaat van andere elektriciteitsvragers.

Hoofdsysteemkeuze 8: Verhogen productie van groen gas

Groen gas wordt geproduceerd uit duurzame biomassa zoals mest en groenafval. Hieruit wordt biogas geproduceerd dat kan worden opgewerkt naar groen gas. Groen gas kan dienen als alternatief voor aardgas en is dus geschikt om te voorzien in de vraag naar warmte.

De maximale potentie van groen gas in 2050 is ongeveer 15 PJ. Van de huidige potentie wordt nu ongeveer 5% gebruikt. De komende jaren is er dus ruimte om de productie op te schalen. Het lastige hierbij is dat biomassa ook op een meer hoogwaardige manier kan worden ingezet dan voor productie van groen gas, en voor die bestemming dus een hogere waarde heeft. De verwachting is dat de beschikbaarheid op de lange termijn beperkt blijft en groen gas en biobrandstoffen een relatief bescheiden rol spelen in het toekomstig energiesysteem.

Op basis van het huidige beleid wordt groen gas in Brabant geproduceerd op bedrijventerreinen. Om de productie verder op te schalen is het ook nodig om andere locaties op te nemen, bijvoorbeeld op de

¹⁰ In praktijk zal de industrie bepalen hoeveel elektrolysecapaciteit nodig is. Een elektrolysecapaciteit van 1 GW produceert ongeveer 37 PJ energie uit waterstof. De huidige gesprekken over elektrolyse in Moerdijk gaan uit van een capaciteit tussen de 100 en 500 MW.



bestaande gronden van agrariërs. Deze locaties zijn geschikt voor productie op iets kleinere schaal en kunnen een belangrijke bijdrage leveren.

Vanwege de beperkte beschikbaarheid van groen gas moet zorgvuldig afgewogen worden waar deze schaarse energiebron wordt ingezet; met name op plekken waar het niet anders kan. Conform het NPE voorzien we dat het beperkt beschikbare groen gas vooral zal worden gebruikt in de industrie buiten de CES clusters waar het ingezet kan worden voor de behoefte aan zeer hoge temperaturen. Groen gas vindt ook een toepassing in de gebouwde omgeving. Daar kan het dienen als piekvoorziening voor warmtenetten. En eventueel is een rol voor groen gas weggelegd in de in historische binnensteden, onder meer voor de verwarming van monumentale panden. Aangezien deze soms moeilijk te isoleren zijn, kan groen gas (in combinatie met een hybride warmtepomp) uitkomst bieden als oplossing om te verduurzamen zonder ingrijpende aanpassingen aan monumentale gebouwen. Groen gas is in geen enkele sector de voorkeursroute voor verduurzaming, maar kan wel helpen om andere routes zoals de warmtetransitie betrouwbaar en betaalbaar te maken.

4.1.4 Hoofdsysteemkeuzes xibiliteit

Door toename van niet regelbare bronnen voor de productie van elektriciteit en door sluiting van kolen en gascentrales wordt de rol van flexibiliteit in het energiesysteem belangrijker. Op de lange termijn is het de verwachting dat thermische regelbare centrales een bijdrage gaan leveren aan de systeembalans. Dat kunnen centrales zijn die op waterstof, ijzerpoeder of andere energiedragers draaien. En mogelijk gaan hierbij SMR's ook een rol vervullen. Op de korte en middellange termijn zijn die opties er niet, en zal flexibiliteit op een andere manier geleverd moeten worden. Dat kan bijvoorbeeld door een sterk elektriciteitsnetwerk te hebben. Overschotten worden via het net afgevoerd naar gebieden met tekorten en andersom. Andere bronnen van flexibiliteit zijn vraag- en aanbodrespons, opslag van energie en conversie.

Hoofdsysteemkeuze 9: Grootschalige opslag van elektriciteit vanuit uitgangspunten van het energiesysteem

Elektriciteit kan op verschillende manieren worden opgeslagen en de verwachting is dat door innovaties nieuwe methoden richting 2050 economisch rendabel zullen worden.

Batterij opslag

Batterijen kunnen op verschillende plekken in het systeem worden ingezet. CE Delft maakt onderscheid tussen:

- Thuisbatterijen: kleine batterij achter de meter van kleinverbruikers. Wordt met name ingezet om zonne-energie op te slaan en het eigen verbruik te verhogen. Dit leidt doorgaans tot een efficiëntere benutting van het elektriciteitsnet. De komende jaren worden financiële prikkels geïntroduceerd die verdere optimalisering van de inzet van thuisbatterijen stimuleren.
- Grote batterijen gecombineerd met opwek en / of verbruik. Deze worden geplaatst bij een bedrijf, zonnepark of windpark en wordt gebruikt om fluctuerende afname of productie te dempen.



- Grote batterijen met een eigen netaansluiting. Deze batterijen, ook wel systeembatterijen genoemd, kunnen een capaciteit hebben van 5 tot meer dan 1000 MW en kunnen worden ingezet op de groothandelsmarkt, de congestiemarkt en de onbalansmarkt.¹¹

Door hun flexibiliteit kunnen batterijen bij juist gebruik een cruciale rol spelen in de energievoorziening en in een efficiëntere benutting van het net. Ook kunnen batterijen bijdragen aan het verminderen van netcongestie. Bij onjuist gebruik kunnen batterijen netcongestie juist verergeren.¹² Daarom is zorgvuldigheid bij het plannen van batterijen belangrijk.

TenneT heeft in haar position paper aangegeven dat in Brabant 1000-2000 MW aan batterijvermogen in 2030 nodig is voor de systeemstabiliteit. Die hoeveelheid is gebaseerd op een totale behoefte in Nederland van 9 GW. Deze behoefte wordt elk jaar herzien in het Monitoringsrapport Leveringszekerheid, maar de provinciale behoefte wordt niet meer bijgewerkt.¹³ Desalniettemin is het belangrijk om rekening te houden met ruimtebeslag voor batterij-opslag. Plaatsing van systeembatterijen nabij hoogspanningsstations kan een positief effect hebben op de betaalbaarheid. Kortere kabels voor de aansluiting zorgen voor lagere kosten. Ook de plaatsing nabij grote zonne- en/of windparken spaart kosten uit. Clustering van grote batterijen met hoogspanningsstation of wind- of zonnepark leidt wel tot een groter benodigd perceel en eventueel tot extra problemen bij de inpassing daarvan.

Innovatieve opslagtechnieken

Innovatieve opslagsystemen verdienen nu de aandacht omdat zij op termijn functies kunnen vervullen die batterijsystemen op dit moment niet of heel beperkt vervullen. Bijvoorbeeld voor de seizoensopslag van elektriciteit. Zonder volledig te zijn noemen we er een aantal:

- Flowbatterijen: deze slaan energie op in een vloeistof. Innovatie is erop gericht om gebruik te maken van organische verbindingen die niet schadelijk zijn voor het milieu
- Zoutwaterbatterijen: deze gebruiken water met verschillende zoutconcentraties om elektriciteit op te slaan.
- Vehicle to grid: hierbij wordt de batterij van de auto gebruikt om elektriciteit op te slaan en weer te leveren aan het net of voor thuisverbruik
- Compressed air energy storage: elektriciteit wordt opgeslagen door lucht te comprimeren en onder hoge druk op te slaan
- Zandbatterijen: hierbij wordt elektriciteit omgezet in warmte en opgeslagen in zand
- Conversie naar waterstof: hierbij wordt waterstof geproduceerd door elektrolyse

Hoofdsysteemkeuze 10: Integratie van systeemonderdelen op verschillende schaalniveaus

Onder systeemintegratie verstaan we: het versterken van flexibiliteit in het energiesysteem door verschuivingen van de ene energiedrager naar andere energiedragers. Schakelen tussen elektriciteit, waterstof(dragers) of warmtebuffers vergroten de robuustheid van het energiesysteem (NPE). Voorbeelden hiervan zijn de productie van waterstof door elektrolyse en het omzetten van elektriciteit

¹¹ www.tennet.eu

¹² De termen 'juist' en 'onjuist gebruik' staan hier in verband met het energiesysteem. Bij juist gebruik, gezien vanuit het energiesysteem hebben batterijen een dempende, stabiliserende werking op zowel het net als de elektriciteitsprijs. Maar batterijen kunnen ook op commerciële basis worden ingezet. Dat kan leiden tot versterking van netcongestie en wordt vanuit het energiesysteem gezien als onjuist.

¹³ Volgens het Rapport Monitoring Leveringszekerheid 2025 is de behoefte aan grootschalige batterijen 6,7 GW in 2030 en 11,4 GW in 2033.





in warmte. Waterstof en warmte kunnen direct worden ingezet, of als opslagmedium dienen voor elektriciteit.

Om de integratie van energiesystemen te optimaliseren is het belangrijk om de energie-infrastructuur in de ruimte bij elkaar te laten komen. Op die plekken kunnen knooppunten ontstaan waar energie wordt omgezet in een andere drager en wordt overgebracht naar de infrastructuur voor die drager. In Brabant zijn meerdere locaties waar in de toekomst dergelijke energieknooppunten kunnen ontstaan, zoals in Moerdijk, Bergen op Zoom en Geertruidenberg. En op het lokale schaalniveau kan integratie van energiesystemen ontwikkeld worden op bedrijven- en industrieterreinen. Daar kunnen energyhubs of multi commodity hubs ontstaan waar bedrijven samenwerken in de opwek, gebruik, conversie en opslag van energie. Wanneer energiesystemen steeds meer onderling verbonden zijn, leidt dat ook tot complexere coördinatie bij het ontwikkelen van de ketens.

Hoofdsysteemkeuze 11: Flexibilisering van de energievraag

Het oude energiesysteem is in de basis vraag gestuurd. Dat wil zeggen dat de productie van energie is afgestemd op de vraag naar energie. In het nieuwe energiesysteem is elektriciteit de dominante energiedrager en een aanzienlijk deel daarvan wordt opgewekt door niet regelbare bronnen. Door systeemintegratie en opslagfaciliteiten kunnen tekorten en overschotten worden weggeregeld. Hier zijn investeringen voor nodig en ze nemen ruimte in beslag.

Flexibilisering van de energievraag is een belangrijke aanvulling hierop en kan een alternatief zijn voor opslagfaciliteiten. Dat bespaart dan ruimte en kosten, en is 'onzichtbaar' in de omgeving. Het houdt in dat de vraag naar energie veel sterker het aanbod gaat volgen. Dat gaat niet vanzelf, maar betere prijsinformatie en financiële prikkels in combinatie met Energy management systemen en aanstuurbare apparatuur stimuleren toename hiervan.

4.2 Agenderende keuzes voor de energievraag

Het toekomstig energiesysteem wordt niet alleen bepaald door de opgave aan de systeemkant (paragraaf 4.1). Ook aan de vraagkant ligt er een opgave. Hierbij onderscheiden we de sectoren gebouwde omgeving, bedrijven & industrie, mobiliteit, en landbouw. Keuzes hierin worden gemaakt door bedrijven, ondernemers, particulieren, brancheorganisaties, coöperaties en andere partijen die onderdeel uitmaken van deze sectoren. En door de overheid, die keuzes maakt in het landbouwbeleid, woonagenda, mobiliteitsbeleid etc. De opgave aan de vraagkant hebben we ook uitgewerkt in keuzes. Deze keuzes zijn agenderend bedoeld, vanuit het oogpunt van het energiesysteem, als input voor de besluitvorming in het sectoraal beleid.

4.2.1 Agenderende keuzes voor de gebouwde omgeving

Onder de gebouwde omgeving vallen woningen, bedrijfsgebouwen en utiliteitsbouw, waaronder ook publieke voorzieningen zoals scholen, musea en overheidsgebouwen. In 2023 was de energievraag van de gebouwde omgeving 77 PJ en de verwachting is dat deze ongeveer gelijk blijft, of licht daalt. Het aantal woningen en gebouwen stijgt weliswaar, maar door besparing, isolatie en efficiëntere verwarmingstechnieken neemt de energievraag naar verwachting niet toe.



Agenderende keuze 12: Collectieve warmte oplossingen voorafgaand aan all electric oplossingen in wijken. Groen gas gebruiken waar echt geen alternatief is (historische kernen, piekvoorziening warmtenetten).

Waar warmtebronnen beschikbaar zijn, en de dichtheid van de warmtevraag hoog genoeg is, ligt de voorkeur voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving bij warmtesystemen. Zie ook hoofdsysteemkeuze 4. Alleen waar geen warmte oplossing mogelijk is ligt elektrificatie voor de hand. Groen gas kan ingezet worden in combinatie met hybride warmtepompen, bijvoorbeeld in de historische binnensteden, waar de isolatiegraad onvoldoende is voor een all electric oplossing. Groen gas kan ook worden ingezet als piekvoorziening van een warmtenet.

Agenderende keuze 13: Netbewuste ontwikkeling van nieuwe woningen en gebouwen, en waar mogelijk netneutraal.

Het huidige elektriciteitsgebruik in de gebouwde omgeving is één van de oorzaken van de piekbelasting van het elektriciteitsnet. Het dagritme van particulieren en in bedrijven zorgt ervoor dat de pieken in de ochtend en aan het eind van de middag tot in de avond plaatsvinden. Dat zijn ook de uren waarin het net zwaar belast wordt. Buiten deze uren is er doorgaans nog wel ruimte in de het elektriciteitsnet. Netbewust bouwen is een methode om hierin verbetering aan te brengen. Het doel ervan is om huizen en gebouwen zodanig te bouwen dat de netto belasting op het net wordt verlaagd, dat de belasting gelijkmatig over de dag wordt verspreid en dat de belasting stuurbaar is. Netbewust bouwen draagt daardoor bij aan een efficiënt gebruik van het elektriciteitsnet. Belangrijke aspecten daarbij zijn collectieve (warmte) oplossingen, isolatie van gebouwen, energiebesparing, eigen opwek in combinatie met opslag- en energiemanagementsystemen, en het verschuiven van de energievraag. Netbewust bouwen staat nog aan het begin van de ontwikkeling. Specifieke regelgeving hiervoor is nog in ontwikkeling, maar het omgevingsrecht en het energierecht kennen sturingsmogelijkheden om stappen te zetten met netbewust bouwen.

4.2.2 Agenderende keuzes voor mobiliteit

De sector mobiliteit bestaat uit personenvervoer (auto en openbaar vervoer), vrachtvervoer, scheepvaart, en werktuigen voor de bouw en landbouw. In 2023 bedroeg de energievraag uit de mobiliteitssector 72 PJ. Verreweg het grootste deel daarvan, namelijk 64 PJ, kwam uit het wegverkeer. De energievraag werd hoofdzakelijk ingevuld door fossiele brandstoffen zoals benzine en diesel. Het aandeel biobrandstoffen was ongeveer 6%. Het aantal elektrische voertuigen stijgt sterk en is in de afgelopen 4 jaar bijna verviervoudigd. Fossiele brandstoffen worden volledig uitgefaseerd richting 2050 en elektriciteit vormt daarbij de belangrijkste vervanger.

De overstap naar elektrische aandrijving zorgt niet alleen voor een verduurzaming van de mobiliteit, maar leidt ook tot een aanzienlijke daling van de energievraag. Elektrische voertuigen en transportsystemen zijn namelijk veel efficiënter dan verbrandingsmotoren. Bij verbrandingsmotoren gaat ongeveer 70% van de energie verloren als warmte. Bij elektromotoren is het energieverlies ongeveer 20%. Deze ontwikkeling resulteert in minder energieverbruik per kilometer.

Agenderende keuze 14: Inzet van passende energiedragers voor de mobiliteit: Elektrificatie voor personenvervoer, vrachtvervoer en binnenvaart. Elektriciteit, waterstof en duurzame brandstoffen voor internationaal vrachtverkeer.

Waterstof en duurzame brandstoffen zijn relatief schaars, en zullen naar verwachting ook relatief kostbaar zijn en blijven (NPE). Voor de mobiliteit volgen we de landelijke lijn uit het NPE. Voor





personenvervoer, het nationale vrachtvervoer en de scheepvaart verwachten we, mede op basis van het NPE, vooral elektrificatie. Voor internationaal vrachtvervoer en scheepvaart zullen naast elektriciteit mogelijk ook waterstof, bio-LNG, biobrandstoffen en/of synthetische brandstoffen worden gebruikt. Voor het vrachtverkeer en de binnenvaart blijven biobrandstoffen voorlopig een noodzakelijke transitiebrandstof.

Agenderende keuze 15: Netbewust laden als standaard voor nieuwe en mogelijk ook bestaande laadinfrastructuur.

Een particuliere of publieke laadpaal voor personenauto's heeft doorgaans een vermogen van 3,7 kW bij een één fase aansluiting of 11 kW bij een driefase aansluiting. Ter vergelijking: dat is ongeveer evenveel als het totale vermogen van die aansluitingen. Met andere woorden, een particuliere laadpaal verdubbelt het vermogen dat een huishouden aan het elektriciteitsnet kan onttrekken.

Dit voorbeeld betreft een particuliere laadpaal. Maar ook voor grote laadpleinen geldt dat laadinfrastructuur een zwaar beroep doet op het elektriciteitsnet en impact heeft op alle spanningsniveaus. Daarom is het nodig om te sturen op betere benutting van het elektriciteitsnet door netbewust te laden, zoals beschreven in de Nationale Agenda Laadinfrastructuur. Dat houdt in dat laadprocessen worden gepland en gestuurd om overbelasting van het elektriciteitsnet te voorkomen.

Voor de mobiliteit is daarnaast het strategisch plaatsen van de laadinfrastructuur van belang. Laadinfrastructuur wordt ingericht met 'stopcontacten op land' langs rijkswegen en logistieke laadcentra. Door laadinfrastructuur te clusteren en te plaatsen dicht bij aanbod van elektriciteit kunnen, in combinatie met opslagmogelijkheden, vraag- en aanbodpieken worden voorkomen.

Agenderende keuze 16: Bewust omgaan met schaarse netcapaciteit door planologische sturing op vestiging van eventuele nieuwe energie-intensieve transportbedrijven.

Voor een efficiënt elektriciteitssysteem is het belangrijk dat nieuwe transportbedrijven zich vestigen waar nog ruimte is op het net of waar grootschalig wordt geïnvesteerd in energie-infrastructuur. Voor transport dat op waterstof rijdt is dat volstrekt logisch: je vestigt je waar waterstof beschikbaar is. Voor elektriciteit zou dat ook logisch moeten zijn, maar doordat we eraan gewend zijn dat elektriciteit altijd en overal beschikbaar is, is elektriciteit geen belangrijke factor geweest. Door netcongestie is dat veranderd, en ook op lange termijn, wanneer netcongestie verzocht of opgelost is, blijft de beschikbaarheid van elektriciteit relevant in het vestigingsbeleid. Voor de ontwikkeling van een efficiënt duurzaam energiesysteem is het van belang dat gestuurd kan worden op de vestiging van transportbedrijven op locaties waar grootschalig wordt geïnvesteerd in de uitbreiding van het elektriciteitsnet. In Brabant zijn dat bijvoorbeeld de omgeving van Eindhoven, Tilburg, Moerdijk en Bergen op Zoom.

4.2.3 Agenderende keuzes voor industrie en bedrijven

De sector industrie en bedrijventerreinen bestaat uit industriële bedrijven en bedrijventerreinen waarop verschillende economische activiteiten samenkomen. Deze sector was in 2023 verantwoordelijk voor een energievraag van 58 PJ. De ontwikkeling van de industriële energievraag richting 2050 is onduidelijk en is afhankelijk van beslissingen van een aantal grote partijen. Het scenario Lokale Kracht laat een stijging zien naar 85 PJ. Binnen de energievraag uit de industrie en bedrijven onderscheiden wij elektriciteit, lage temperatuur warmte (bijvoorbeeld voor ruimteverwarming) en hoge temperatuur warmte (bijvoorbeeld voor productieprocessen).



Agenderende keuze 17: Verschillende energiedragers voor verschillende typen bedrijventerreinen.

Voor de verduurzaming van de vraag naar hoge temperaturen komen waterstof, groen gas en elektrificatie in beeld. Ook met elektriciteit kunnen zeer hoge temperaturen gehaald worden, maar niet zo hoog als door toepassing van groen gas of waterstof. De vraag naar lage temperatuur wordt bij voorkeur ingevuld door warmtenetten in combinatie met restwarmte en door elektriciteit.

Brabant kent een aantal grote, regionale en verspreid liggende bedrijventerreinen waar de (toekomstige) beschikbaarheid van energiedragers verschilt. De verschillende typen vereisen dan ook een verschillende aanpak. We verwachten voor de industrie en bedrijvigheid grofweg de onderstaande inzet van energiedragers.

Industriegebieden Moerdijk en Bergen op Zoom:

- Waterstof vanuit Waterstofnetwerk Nederland en eventueel door conversie van wind op zee in Moerdijk
- Elektriciteit via ontwikkeling 380kV deernetten Moerdijk en Halsteren, eventueel aanlanding wind op zee in Moerdijk, eventueel regelbaar vermogen in Moerdijk.
- Warmte via warmtenetten: hergebruik door onderlinge uitwisseling tussen bedrijven, uitkoppeling restwarmte naar gebouwde omgeving en glastuinbouw.

Grote bedrijventerreinen Tilburg, Eindhoven, Meijerijstad

- Waterstof via uitbreiding uitrolplan Waterstofnetwerk Nederland (aftakkingen)
- Elektriciteit vanuit de deernetten Tilburg, Eindhoven en Wijchen, lokale opwekvoorzieningen waar mogelijk.
- Warmte eventueel via een warmtenet voor hergebruik door onderlinge warmte-uitwisseling tussen bedrijven en eventueel uitkoppeling naar gebouwde omgeving.
- Groen gas, afhankelijk van beschikbaarheid.

Overige regionale bedrijventerreinen (terreinen Grote Oogst die buiten de vorige categorieën vallen)

- Elektriciteit door middel van slimme elektrificatie.
- Warmte eventueel via een warmtenet voor hergebruik door onderlinge warmte-uitwisseling tussen bedrijven en eventueel uitkoppeling naar gebouwde omgeving.
- Groen gas, afhankelijk van beschikbaarheid.
- Waterstof eventueel via tankauto's of via lokale productie in combinatie met lokale opwek.

Individuele grote energievragers

Brabant kent een aantal grote verspreid liggende afnemers van energie. Hun verduurzaming kan een opgave zijn in verband met de grote afstand tot energie-infrastructuur. Dit geldt met name voor verspreid liggende grootverbruikers van gas. De verduurzamingsroute is een individuele aanpak gebaseerd op de mogelijkheden. Een andere route is door te verplaatsen naar locaties waar duurzame energie wel grootschalig beschikbaar is of komt.

Agenderende keuze 18: Bewust omgaan met schaarse netcapaciteit door planologische sturing op vestiging van eventuele nieuwe energie-intensieve industrieën en bedrijven.

Om inefficiënte uitbreiding van het energiesysteem te voorkomen is het belangrijk dat nieuwe energie-intensieve bedrijven zich vestigen op plekken waar ook in de toekomst grootschalig wordt geïnvesteerd in hoogspanningsinfrastructuur, bijvoorbeeld rond Eindhoven, Tilburg, Moerdijk en Bergen op Zoom. Of





op locaties waar nog structurele ruimte is voor afname in het netwerk, bijvoorbeeld nabij stations waarop veel wind- en/of zonneparken zijn aangesloten.

Agenderende keuze 19: Ontwikkeling van energy- of multi commodity hubs

Multi-commodity hubs zijn lokale systemen waar vraag en aanbod van energie op elkaar is afgestemd door lokale productie, consumptie, opslag en conversie te combineren. Een energy hub is eigenlijk hetzelfde, maar wordt vooral gebruikt voor oplossingen voor netcongestie en beperken zich tot het samen delen van elektriciteit. Multi-commodity hubs, of energy hubs, zijn van groot belang voor het verminderen van netcongestie en het realiseren van een duurzaam, decentraal energiesysteem.¹⁴ Een belangrijk aandachtspunt hierbij is het flexibiliseren van de energievraag, zodat industriële processen beter aansluiten op de beschikbare capaciteit van het net. Innovaties in sturing, digitalisering, kennisdeling en opslagtechnologie zijn nodig om de opschaling van energy hubs te realiseren. In Brabant wordt op verschillende bedrijventerreinen gewerkt aan het realiseren van energyhubs, zoals het Kempisch Bedrijvenpark.

4.2.4 Agenderende keuzes voor de landbouw

De sector landbouw en landgebruik omvat de akkerbouw, veeteelt en glastuinbouw. Binnen deze sector is de glastuinbouw verantwoordelijk voor het grootste deel van de energievraag. Deze vraag richt zich voornamelijk op warmte van relatief lage temperatuur, vergelijkbaar met de warmtevraag in de gebouwde omgeving. De sector was in 2023 verantwoordelijk voor een energieverbruik van 16 PJ en heeft daarmee een bescheiden aandeel in de totale vraag naar energie. De verwachting is dat de vraag richting 2050 stabiel blijft of eventueel lichtelijk daalt.

Op dit moment wordt de energievraag in de landbouw, en met name in de glastuinbouw, grotendeels ingevuld met aardgas. Voor de verduurzaming wordt dat wordt bij voorkeur vervangen door collectieve warmtesystemen die gebruik maken van bronnen als geothermie of restwarmte. Waar dit niet mogelijk is, wordt elektrificatie toegepast, bijvoorbeeld via warmtepompen of elektrische boilers.

Agenderende keuze 20: Onderzoek eerst collectieve oplossingen voorafgaand aan individuele all-electric oplossingen voor glastuinbouw.

Brabant kent verschillende glastuinbouwclusters, waarvoor vanuit het energiesysteem gezien een andere oplossing voor de hand ligt. Op basis van een aantal factoren is voor de clusters een beoordeling gemaakt van het transitieperspectief. Daarin is meegewogen de mate van clustering van bedrijven, de mate waarin samenwerking tussen bedrijven is georganiseerd, de potentie van geothermie en de (eventuele toekomstige) aanwezigheid van een warmtenet. De glastuinbouwclusters in Made, Dinteloord, Steenberg en Zevenbergen hebben op basis hiervan een hoog transitieperspectief. Uit proefboringen is gebleken dat daar kansen zijn voor geothermie. Het Amernet (Made) en het Osiris project (Dinteloord, Steenberg, Zevenbergen), bieden mogelijkheden voor levering van warmte en CO₂. Voor deze clusters is het belangrijk om de collectieve oplossingen verder te verkennen.

Agenderende keuze 21: Slimme elektrificatie voor overige landbouw om de piekbelasting op het net te minimaliseren.

In de clusters van Breda en Heusden zijn er op basis van huidige inzichten geen mogelijkheden voor verduurzaming door collectieve warmteoplossingen. Dat betekent dat zij vooral zijn aangewezen op

¹⁴ https://topsectorenergie.nl/documents/1237/20240708_Eindrapport_Families_Energy_Hubs_PDF.pdf.



elektrificatie. Dat leidt tot een aanvullende elektriciteitsvraag. Het elektriciteitsnet is onvoldoende toegerust om dat te accommoderen. Eigen opwek en direct gebruik daarvan verlaagt de impact op het systeem. Door batterijopslag kunnen de fluctuaties in het aanbod deels worden opgevangen. Aanvullende afstemming van vraag en aanbod kan bereikt worden door bedrijfsprocessen af te stemmen op de eigen elektriciteitsproductie. Door toekomstige koppelkansen van warmtelevering die vrijkomt bij productie van elektriciteit uit kernenergie en bij de conversie van elektriciteit in waterstof, kunnen mogelijkheden ontstaan voor verduurzaming door middel van warmte. Dit is wel afhankelijk van locatiekeuzes die hiervoor gemaakt worden.





Hoofdstuk 5: uitwerking in gebiedstypen

In hoofdstuk 4 hebben we de hoofdsysteemkeuzes over energiebronnen en -dragers beschreven die nodig zijn om het energiesysteem te ontwikkelen volgens de leidende principes. We hebben ook de agenderende keuzes beschreven voor de sectorale (beleids)ontwikkeling. Deze keuzes pakken niet op alle gebieden in de Brabant hetzelfde uit. Bijvoorbeeld is een uitwerking van de warmtevoorziening in het buitengebied heel anders dan in een stedelijk gebied. Om de verschillen in de keuzes afhankelijk van de ruimtelijke kenmerken inzichtelijk te maken, gebruiken we gebiedstypologieën. Typologieën bieden in één of enkele woorden inzicht in de essentiële kenmerken van een gebied. Ondanks de grote variatie binnen gebieden van hetzelfde type, lijken kernen, steden of gebieden die binnen één typologie vallen zodanig veel op elkaar dat keuzes in het energiesysteem in die gebieden hetzelfde uitpakken. We onderscheiden de volgende gebiedstypen:

- Hoogstedelijk gebied
- Gemengde kernen / middelgrote steden
- Dorpen en kleine kernen
- Industrieclusters
- Landelijk gebied

Het hoogstedelijk gebied:

Het gebiedstype “hoogstedelijk gebied” omvat de 5 grootste steden in Brabant. Dit zijn Eindhoven, Tilburg, Breda, 's-Hertogenbosch en Helmond. Hier wonen 100.000 – 250.000 mensen en de energievraag uit de gebouwde omgeving is groot en geconcentreerd. Ook de energievraag van het personenvervoer is groot. Verder hebben deze steden ook bedrijven- en industrieterrainen met een vraag naar elektriciteit en hoge en lage temperatuur warmte.

Deze steden hebben een hoge warmtevraagdichtheid en zijn geschikt voor collectieve warmteoplossingen. Op grond van hoofdsysteemkeuze 4 en agenderende keuze 12 wordt dit gebiedstype in 2050 gekenmerkt door collectieve warmtesystemen. Beslissingen hierover worden (in samenspel) genomen door gemeenten, private eigenaren van warmtenetten en het op te richten regionaal warmtebedrijf. Waar collectieve warmteoplossingen niet tot de mogelijkheden behoren vanwege het ontbreken van hernieuwbare warmtebronnen zullen all-electric oplossingen toegepast worden, bij voorkeur collectieve oplossingen. Het gebiedstype wordt dus ook gekenmerkt door bijvoorbeeld grote warmtepompen en buurtbatterijen en de kenmerken van individuele all electric oplossingen zoals zonnepanelen en individuele warmtepompen.

Het hoogstedelijk gebied wordt gekenmerkt door laadinfrastructuur. Deze ligt zowel verspreid (particuliere en openbare laadpalen) als geconcentreerd (laadpleinen voor de logistiek). De geconcentreerde laadinfrastructuur bij grote logistieke centra is het resultaat van agenderende keuze 16. Door hoofdsysteemkeuze 1 worden deze gebieden gekenmerkt door lokale elektriciteitsproductie. De elektriciteitsinfrastructuur zal flink verzwakt zijn ten opzichte van nu (hoofdsysteemkeuze 2). Dit betekent meer stations rond de stad en meer trafohuisjes in de stad.

Aan de randen van de steden is op grond van keuze 3, 16 en 18 in meer of mindere mate (zware) industrie en logistiek aanwezig. Hier zal veel elektriciteit gebruikt worden en een deel waterstof. De elektriciteit wordt deels lokaal opgewekt met bijvoorbeeld windturbines en eventueel SMR's (hoofdsysteemkeuze



1). Een groot deel van de gevraagde elektriciteit wordt via het hoogspanningsnet aangevoerd. Waterstof wordt waar nodig aangevoerd via aftakkingen van het waterstofnetwerk NL (hoofdsysteemkeuze 6). Waar voldoende water en elektriciteit beschikbaar is, in combinatie met een vraag naar waterstof, kan in dit gebied op grond van hoofdsysteemkeuze 7 elektrolyse capaciteit ontstaan. Voor kleinere vragers kan het ook via vrachtwagens worden getransporteerd. Tabel 2 geeft de samenvatting voor het hoogstedelijk gebied.

Grote energievragers	Oplossingen	Kenmerken energiesysteem
Personenvervoer	Elektrische laadinfrastructuur	Elektriciteitsinfrastructuur bij de stad, veel laadpalen.
Gebouwde omgeving	Grote warmtenetten, (collectieve) all-electric oplossingen	Elektriciteitsinfrastructuur en warmtenetten; warmteleidingen naar de bron, warmte-opslag en buurtbatterijen. Zon op dak en veel trafohuisjes
Bedrijventerreinen	Elektrisch, eventueel klein deel waterstof	Elektriciteitsinfrastructuur, aftakking waterstofnetwerk of waterstoftransport door vrachtwagens. Zon op dak en wind bij bedrijventerreinen
Logistiek	Geconcentreerde laadinfrastructuur, klein deel waterstof	Elektriciteitsinfrastructuur en waterstoftransport door vrachtwagens. Grote laadcentra. Zon op dak en wind bij laadcentra

Tabel 2: kenmerken hoogstedelijk gebied

Voor het hoogstedelijk gebied is een groot aantal keuzes nodig. Naast keuzes die hierboven zijn genoemd komen daar ook keuzes bij die niet of minder zichtbaar zullen zijn, zoals netbewuste nieuwbouw en netbewust laden. Door de vele keuzes is de energietransitie zeer complex. Er zijn veel actoren die keuzes maken en beslissingen nemen en daardoor sturen op de transitie. Denk aan gemeenten, provincie, het Rijk, MKB bedrijven, industriële ondernemingen, particulieren, netbeheerders en eigenaren van warmtenetten.

Gemengde kernen / middelgrote steden

Het gebiedstype 'middelgrote steden' omvat stedelijk gebied met een inwonertal tussen de 25.000 en 100.000. Voorbeelden zijn Bergen op Zoom, Oss, Oosterhout, en Roosendaal. De energievraag is afkomstig uit de gebouwde omgeving, mobiliteit en bedrijventerreinen. De gebiedskenmerken zijn vergelijkbaar met die van het hoogstedelijk gebied, maar verschillen door de totale energievraag. Die is kleiner dan in het hoogstedelijk gebied. Daardoor zijn kenmerken zoals laadcentra, elektriciteitsinfrastructuur en opslagfaciliteiten ook kleiner. Verschil met hoogstedelijk gebied is de waterstofvoorziening. Geen aftakking, maar aanvoer met tankwagens en eventueel kleinschalige elektrolyse capaciteit. Het aantal keuzes is ook vergelijkbaar met die van het hoogstedelijk gebied, waardoor de transitie in dit gebiedstype ook zeer complex is. Tabel 3 geeft de samenvatting voor de middelgrote steden.

Grote energievragers	Oplossingen	Kenmerken energiesysteem
Personenvervoer	Elektrische laadinfrastructuur	Elektriciteitsinfrastructuur bij de stad, veel laadpalen.





Gebouwde omgeving	Grote warmtenetten en kleine collectieve warmtesystemen, (collectieve) all-electric oplossingen	Elektriciteitsinfrastructuur en warmtenetten, warmteleidingen naar de bron, warmte-opslag en buurtbatterijen. Zon op dak en veel trafohuisjes
Bedrijventerreinen	Elektrisch, eventueel klein deel waterstof	Elektriciteitsinfrastructuur, waterstoftransport door tankwagens. Zon op dak en wind bij bedrijventerreinen
Logistiek	Elektrisch, klein deel waterstof	Elektriciteitsinfrastructuur en laadcentra.

Tabel 3 : kenmerken gemengde kernen / middelgrote steden

Dorpen en kleine kernen

Het gebiedstype kleine kernen bevat alle kernen met minder dan 25.000 inwoners. De belangrijkste energievragers in kleine kernen zijn de gebouwde omgeving (woningen en kleine bedrijven) en het personenvervoer. Daarnaast is er in beperkte mate energieverbruik door lokale agrarische bedrijven en kleinschalige bedrijventerreinen.

In kleine kernen ligt de nadruk voor de warmtevoorziening op kleine collectieve warmtesystemen en all-electric oplossingen, zoals warmtepompen, elektrische boilers en zonnepanelen op daken. Voor het personenvervoer is laadinfrastructuur nodig, maar in mindere mate dan in stedelijke gebieden. In dit gebiedstype kan ook geclusterde glastuinbouw aanwezig zijn. De warmtevraag kan worden ingevuld door kleine collectieve warmtesystemen en door elektrificatie (agenderende keuze 20).

Het energiesysteem in kleine kernen is vooral decentraal georganiseerd. De elektriciteitsinfrastructuur moet worden uitgebreid om de groei van warmtepompen en elektrische voertuigen te kunnen ondersteunen, maar de belasting is minder intensief dan in stedelijke gebieden. Lokale opwek via zonnepanelen speelt een belangrijke rol, vaak gecombineerd met thuis- en buurtbatterijen voor opslag. Tabel 4 geeft de samenvatting voor dorpen en kleine kernen.

Grote energievragers	Oplossingen	Energiesysteemkenmerken
Personenvervoer	Elektrische laadinfrastructuur	Veel laadpalen
Gebouwde omgeving	Kleine collectieve warmtesystemen en (collectieve) all electric oplossingen	Warmte-opslag en buurtbatterijen. Zon op dak en veel trafohuisjes
Glastuinbouw	Kleine collectieve warmtesystemen en individuele all electric oplossingen	Zonnepanelen, windmolens, batterij opslag.

Tabel 4 : kenmerken dorpen en kleine kernen

Grote industrieclusters

Het gebiedstype "de grote industrieclusters" omvat de Powerport, industrie bij Bergen op Zoom, Tilburg / Dongen, Meijerijstad en Eindhoven. De belangrijkste energievragers in de grote industrieclusters zijn de hoge temperatuur industrie en de logistieke sector. Deze gebieden kenmerken zich door



grootschalige productieprocessen met een hoge energie-intensiteit, zoals chemie, metaalbewerking en voedingsmiddelenindustrie. Daarnaast is er veel goederenvervoer, zowel over de weg als via water.

De energievoorziening van deze gebieden zal in 2050 grotendeels bestaan uit elektriciteit en waterstof (keuze 17). Deze wordt aangevoerd (keuze 1 en 6), of geproduceerd (keuze 1 en 7). De logistiek maakt gebruik van een mix van elektriciteit, waterstof en biobrandstoffen, afhankelijk van de aard en afstand van het transport (keuze 14). Hiervoor is een zware laadinfrastructuur nodig, met voldoende netcapaciteit voor vrachtvervoer en opslagfaciliteiten voor waterstof en biobrandstoffen. Voor transport van waterstof en biobrandstoffen naar tankstations wordt gebruikgemaakt van vrachtwagens.

De industrieclusters vormen knooppunten in het nationale energiesysteem. Hier komen hoogspanningslijnen, waterstofleidingen en CO₂-transportleidingen samen. De aanlanding van wind op zee zorgt voor een directe toevoer van grote hoeveelheden elektriciteit, deels gebruikt voor industriële processen en deels voor elektrolyse ten behoeve van waterstofproductie.

Het hoogspanningsnet is hier zwaar uitgebouwd (keuze 1), met meerdere transformatorstations en koppelingen met omliggende netwerken. Deze gebieden fungeren als distributie- en conversiepunten binnen het energiesysteem waar elektriciteit, waterstof en mogelijk ook warmte worden uitgewisseld tussen industrie, logistiek en omliggende regio's (keuze 4 en 10).

Op en rond de industrieclusters wordt elektriciteit opgewekt via zon en wind, thermische centrale en wellicht via kerncentrales (keuze 1). Om de balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit te waarborgen en piekbelastingen op te vangen, kenmerkt dit gebied zich door grootschalige systeembatterijen (keuze 9).

De opgave vraagt veel ruimte door de ontwikkeling van energie-infrastructuur, productie en opslagfaciliteiten, elektrolyse capaciteit, en mogelijke uitbreiding van energie-intensieve industrie door aanzuigende werking van faciliteiten of door sturing (keuze 18). Tabel 5 geeft de samenvatting voor de grote energieclusters.

Grote energievragers	Oplossingen	Kenmerken energiesysteem
Hoge temperatuur industrie	Waterstof en elektriciteit	Aanlanding wind op zee vervoert elektriciteit, aftakking / aftappunt van de waterstofbackbone levert waterstof samen met elektrolyzer bij aanlanding. Knooppunt voor hoogspanningsinfrastructuur.
Logistiek	Elektriciteit, deel waterstof, deel biobrandstoffen	Zware laadinfrastructuur voor logistiek. Ook hiervoor veel elektriciteitsinfrastructuur nodig. Waterstof en biobrandstoffen worden in principe via vrachtwagens getransporteerd.

Tabel 5 : kenmerken grote industrieclusters

Landelijk gebied

De typologie "landelijk gebied" omvat de gebieden waar de bebouwing verspreid is. Een deel hiervan zijn landbouwbedrijven met een beperkte energievraag. Aangezien individuele gebruikers de meerderheid vormen, zijn collectieve oplossingen geen geschikte optie. Agrarische bedrijven kunnen daarom hun processen en voertuigen verduurzamen door individueel energie op te wekken en op te



slaan. Ook individuele all-electric oplossingen zoals een warmtepomp voor warmtevoorziening en eigen opwek en opslag kenmerken het landelijk gebied.

Grote energievragers	Oplossingen	Energiesysteemkenmerken
Verspreide landbouw en glastuinbouw	Individuele warmteoplossing	Zonnepanelen, windmolens , warmtepomp

Tabel 6 : kenmerken landelijk gebied



Colofon

Titel:

Energieperspectief 2050: verdieping op de opgave

Datum:

19 november 2025

Groen Licht Management Consultants B.V.

Binckhorstlaan 36 Unit C3.33

2516BE Den Haag

info@groenlicht.nl +31 640818470

KVK: 80834108 BTW: 861818556B01

Auteurs

Oscar Tessensohn oscar@groenlicht.nl 06-1309 7378

Jasper Mansier jasper@groenlicht.nl 06-2115 0420

In opdracht van en samenwerking met de provincie Noord-Brabant