

Technieken voor duurzame energieopwek gemeente Bronckhorst

17 oktober 2024



Colofon

Titel	. Technieken voor duurzame energieopwek gemeente Bronckhorst
Client	. Gemeente Bronckhorst
Status	. Rapport
Date	. 17 oktober 2024
Project number	.
Project team	. ██████████ – duurzame energie expert ██████████ – duurzame energie expert
Contact	. www.energy-watch.nl

Disclaimer

Report: No rights can be derived from this report. The authors are not responsible for possible errors or consequences. Additions or corrections are welcome at info@energy-watch.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Technieken voor duurzame elektriciteit	5
2.1	Zon-PV	5
2.1.1	Zon-PV op daken van woningen	5
2.1.2	Zon-PV op grote daken	7
2.1.3	Zonneparken	9
2.2	Windenergie	11
2.3	Waterkracht	15
2.4	Kernenergie	15
3	Technieken voor duurzame warmte	18
3.1	Aardwarmte of geothermie	19
3.2	Aquathermie	21
3.3	Verbranding biomassa	22
3.4	Zon-thermisch	24
4	Techniek voor duurzaam gas	26
4.1	Groen gas	26
5	Technieken voor energieopslag	29
5.1	Batterijen	30
5.2	Warmteopslag	33
5.3	Waterstof	36
6	Overheidsbeleid	40
6.1	SDE++ subsidie	41
6.2	Ontwikkelfonds Opwek	42
7	Overzichtstabel technieken	43
8	Mogelijke invulling van de doelstellingen	45
8.1	Doelstellingen	45
8.2	Invulling van het RES-doel	45
8.2.1	Scenario: Zon-PV op grote daken	47
8.2.2	Scenario: Zon-PV op veld	47
8.2.3	Scenario: Windturbines	48
8.3	Op weg naar energieneutraliteit	48
8.4	Samenvatting van de aanbevelingen	49
9	Referenties	50

1

Inleiding

Om vanuit Nederland invulling te geven aan het klimaatakkoord van Parijs uit 2015 is in 2019 het Nederlandse klimaatakkoord (ref. [1]) getekend, waarin overheden en een groot aantal maatschappelijke organisaties gezamenlijk doelstellingen en aanpak hebben vastgelegd om de uitstoot van broeikasgassen drastisch te reduceren. De hoofdoelstelling van het Klimaatakkoord is om de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met tenminste 49% te reduceren ten opzichte van 1990¹. Deze doelstelling is in het Klimaatakkoord nader uitgewerkt voor verschillende sectoren, te weten: Gebouwde omgeving; Mobiliteit; Industrie; Landbouw en Landgebruik en Elektriciteit.

Om de doelstellingen te kunnen realiseren zijn gemeenten belangrijk. Gemeenten zijn immers vaak vergunningverlener, of kunnen door eigen beleid bepaalde ontwikkelingen stimuleren. Namens de gemeenten was de Vereniging van Nederlandse Gemeenten één van de ondertekenaars, waarmee de gemeenten zich hebben gecommitteerd om zich in te spannen om de doelstellingen te behalen.

In het verlengde van het Klimaatakkoord zijn in Nederland 30 RES²-gebieden gevormd, waarbinnen in belangrijke mate regionale samenwerking en afstemming plaats moet vinden tussen gemeenten, provincie en andere betrokken partijen, voor de sectoren Gebouwde Omgeving en Elektriciteit.

Voor de sector Elektriciteit is in het Klimaatakkoord als doelstelling afgesproken om in 2030 35 TWh hernieuwbare elektriciteit op land³ op te wekken. Dit betreft systemen die groter zijn dan 15 kW⁴. De 30 RES-gebieden leveren allemaal hun eigen bijdrage aan deze doelstelling. Deze doelstelling is in principe 'techniek-neutraal', maar de grootste bijdrage wordt verwacht van windenergie en zonne-energie.

Eén van de RES-gebieden is de RES Achterhoek, waarbij de samenwerkende gemeenten en andere partijen een bijdrage van 1,35 TWh⁵ aan de landelijke doelstelling hebben afgesproken. De gemeente Bronckhorst heeft zich hieraan gecommitteerd met een bijdrage van 0,054 TWh, als onderdeel van een breed plan voor de energietransitie, zoals beschreven in de 'Herijkte Routekaart' (ref. [2]).

¹ Dit doel is door het kabinet in 2023 aangescherpt naar 55%, om aan te sluiten bij de aangescherpte Europese doelstelling. Zie: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/nieuws/2023/04/26/extra-pakket-maatregelen-dicht-gat-tot-klimaatdoel-2030>

² RES staat voor Regionale Energiestrategie

³ Naast de doelstelling op land is er ook een doelstelling van 49 TWh van windenergie vanaf de zee afgesproken.

⁴ Systemen kleiner dan 15 kW betreft in de praktijk meestal zonnepanelen op woningen. Dit valt in de sector Gebouwde Omgeving.

⁵ 1 TWh = 1.000 GWh = 1.000.000 MWh = 1.000.000.000 kWh

Kernvraag voor de gemeente Bronckhorst is welke technieken ter beschikking staan om invulling te geven aan deze doelstelling voor grootschalige opwek van duurzame elektriciteit.

In dit document wordt een aantal technieken beschreven voor de productie van duurzame energie. Hierbij wordt toegelicht welke bijdrage deze kunnen leveren aan deze doelstelling en in bredere zin aan de energietransitie.

Vaak wordt energieopslag genoemd als cruciaal onderdeel van de verduurzaming van de energievoorziening. Daarom worden ook enkele energie-opslagtechnieken beschreven en van duiding voorzien.

Voor het verkrijgen van voldoende draagvlak is 'tenminste 50% lokaal eigendom' voor veel gemeenten uitgangspunt van beleid⁶. Dat geldt ook voor de gemeente Bronckhorst. Vaak zijn energievoorzieningscoöperaties in beeld om hier invulling aan te geven. Daarbij gaat het vaak om zon- en windprojecten, maar meer en meer ook over andere technieken⁷.

De energietransitie gaat over meer dan alleen de energievoorziening. In de verbruiks-sectoren Industrie, Gebouwde Omgeving, Landbouw en Mobiliteit is veel te besparen op energieverbruik, door bijvoorbeeld isolatie-maatregelen of proces-innovaties. Technieken hiervoor zijn interessant, relevant, maar geen onderdeel van dit rapport.

⁶ Dit is ook in het Klimaatakkoord als doelstelling weergegeven.

⁷ Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023>

2 Technieken voor duurzame elektriciteit

In dit hoofdstuk worden verschillende technieken beschreven voor de opwek van duurzame elektriciteit. Dit betreft de technieken die ter beschikking staan om invulling te geven aan de doelstelling in het Klimaatakkoord (en de RES-gebieden) om in 2030 35 TWh duurzame elektriciteit op land op te wekken.

In dit hoofdstuk wordt ook ingegaan op kernenergie. Dit wordt in het Klimaatakkoord niet genoemd en het is omstreden of kernenergie 'duurzaam' mag worden, in verband met de benodigde mijnbouw. Tegelijkertijd krijgt kernenergie de laatste jaren weer nieuwe belangstelling als CO₂-vrije bron van elektriciteit.

Na een korte beschrijving wordt beknopt ingegaan op de ontwikkeling, invloed op de omgeving, kosten en toepassing in Nederland.

2.1 Zon-PV

Als gesproken wordt over zonnepanelen worden meestal zonnepanelen bedoeld die de energie van licht om kunnen zetten in elektriciteit. Om verwarring met zon-thermische panelen te voorkomen spreken we hier van PV-panelen. Hierbij staat PV voor 'photovoltaic', ofwel van licht naar elektriciteit.

2.1.1 Zon-PV op daken van woningen

Beschrijving

PV-panelen op woningen zijn meestal in de woning 'achter de meter' aangesloten, zodat de elektriciteit direct in de woning kan worden gebruikt. Het deel van de elektriciteit dat niet direct wordt gebruikt wordt geleverd aan het net.

Zon-PV systemen op daken van woningen variëren van ca. 6 tot 30 panelen, overeenkomend met ca. 2 tot 10 kW piekvermogen.

De opbrengst is circa 2 tot 10 MWh per jaar, mede afhankelijk van de oriëntatie van het dak.

PV-panelen op woningen zijn kleinschalig (< 15 kW) en tellen ook niet mee voor de grootschalige opwek op land. In het Klimaatakkoord zijn PV-panelen op woningen onderdeel van de doelstellingen van de Gebouwde Omgeving.

Ontwikkeling

Het aantal woningen in Nederland met PV-panelen is de afgelopen jaren sterk gegroeid. Eind 2023 hadden 32% van alle woningen in Nederland PV-panelen op het dak⁸. Daarmee is Nederland koploper in Europa.

Deze sterke groei is mede het gevolg van de steeds lagere prijzen van PV-panelen en de zogenoemde salderingsregeling voor particulieren, waarbij de elektriciteit die geleverd wordt aan het net, wordt verrekend met de elektriciteit die (op een ander moment) uit het net wordt gehaald.

Het is de verwachting dat deze salderingsregeling de komende jaren zal worden afgebouwd, maar ook dan blijft het aantal woningen met zonnepanelen naar verwachting groeien.

Invloed op omgeving

PV-panelen op daken hebben invloed op het aanzicht van woningen en wijken. PV-panelen worden meestal individueel per woning aangelegd, met verschillende legplannen. Dit wordt door mensen soms als rommelig ervaren.

PV-panelen op daken van woningen worden, net als de woningen zelf, aangesloten op het fijnmazige laagspanningsnet. Als veel woningen in een straat of een wijk PV-panelen hebben, leidt dit tot een forse belasting van het elektriciteitsnet. Dit wordt versterkt door de salderingsregeling, waarbij er geen motivatie is om de stroom zoveel mogelijk zelf te benutten, maar waarbij het net onbelemmerd 'als buffer' wordt gebruikt. Als de salderingsregeling wordt afgeschaft, ontstaat een motivatie om de eigen opwek en het verbruik beter op elkaar af te stemmen, bijvoorbeeld door het plaatsen van een batterijsysteem.

Kosten

De kosten van zonnepanelen inclusief omvormer en installatie variëren van 1 tot 1,25 €/Wp. Voor een systeem van 10 panelen van 400 Wp komt dit neer op 4.000 tot 5.000 € per installatie.

Samenvatting

Zon-PV op woningen	
Doel	Elektriciteit, deels direct eigen gebruik
Schaal	Kleinschalig, 2 - 15 kWp
Stand van de techniek	Breed toegepast
Invloed op omgeving	
Visueel	Beperkt
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Geen
Hinder	Geen
Invloed op het net	Grote impact op het LS-net Capaciteitsfactor 11%
Kosten	
Investeringskosten	Ca. 1 tot 1,25 €/Wp, incl. montage en installatie Voorbeeld: 10 panelen ca 4.000 tot 5.000 €
Operationele kosten	Onderhoudskosten €0

⁸ Bron: <https://www.netbeheernederland.nl/artikelen/nieuws/netbeheerders-zien-aantal-huishoudens-met-zonnepanelen-verder-groeien-2023>

LCOE/Basisbedrag	
Subsidie / ondersteuning	Salderingsregeling
Collectief lokaal eigendom	Nee

2.1.2 Zon-PV op grote daken

Beschrijving

PV-panelen op grote daken zijn vaak relatief groot, dus meestal groter dan 15 kW, en tellen dus mee voor de doelstelling van grootschalige duurzame elektriciteit op land. Deze systemen worden soms ‘achter de meter’ bij het bedrijf worden aangesloten, maar grote systemen hebben vaak een eigen netaansluiting.

Er is in Nederland veel onbenut dakoppervlak. Als dit oppervlak ingezet zou kunnen worden voor de plaatsing van PV-panelen, zou dit een forse bijdrage kunnen leveren aan de doelstellingen.

Echter, een groot gedeelte van het bestaand dakoppervlak in Nederland is (nog) niet geschikt voor PV-panelen. In Nederland worden daken van utiliteitsbouw (o.a. grote industriële panden en distributiecentra) meestal opgebouwd met stalen gordingen en sandwichpanelen. Deze relatief lichte dakconstructie zijn vaak niet geschikt om het gewicht van PV-panelen, met bijbehorende constructie, te kunnen dragen. Daarbij komt dat voor de isolatie van platte daken vaak het lichte polystyreen (EPS) wordt toegepast. Naar schatting zit EPS in ongeveer 70% van de daken van utiliteitsbouw in Nederland. In de praktijk blijkt dat PV-panelen op daken met EPS isolatie moeilijk of niet verzekerd zijn in verband met een verhoogd brandrisico.

Een andere belemmering is dat er in veel gevallen niet voldoende beschikbare netcapaciteit is en dat de netbeheerder geen netaansluiting beschikbaar stelt.

Overheden proberen de bovengenoemde obstakels voor de opschaling van zon-op-dak weg te nemen door subsidies te geven voor het verstevigen of vervangen van ongeschikte daken en daarnaast te vereisen dat nieuw te bouwen panden beschikken over daken die geschikt zijn voor zonnepanelen.

Ontwikkeling

De opwek van elektriciteit van PV-panelen op grote daken is in Nederland de afgelopen jaren toegenomen van 1.260 GWh in 2018 naar 7.170 GWh in 2023⁹. Het is de verwachting dat deze groei doorzet.

Invloed op omgeving

PV-panelen leveren de meeste energie als de zon volop schijnt onder de juiste hoek (vaak vanuit het zuiden). Een groot deel van de tijd is dit niet het geval, bijvoorbeeld omdat het bewolkt is, later op de dag is of zelfs donker is. Dat betekent dat de gehele installatie en de elektrische netaansluiting slechts beperkt wordt gebruikt. Dit wordt uitgedrukt met het begrip capaciteitsfactor, gedefinieerd als het gemiddelde vermogen (over een heel jaar) gedeeld door het piekvermogen. Voor PV-panelen is de capaciteitsfactor slechts circa 11%.

⁹ Bron: Klimaatmonitor.nl

Om deze capaciteitsfactor iets te vergroten kan een PV-systeem worden aangesloten op een kleinere netaansluiting, van bijvoorbeeld 70% van het vermogen van de PV-systeem. Het piekvermogen is dan fors lager (bijvoorbeeld 30%), terwijl de energieopbrengst over een heel jaar maar zeer beperkt afneemt (enkele procenten). De capaciteitsfactor neemt dan toe tot ca. 15%.

Deze beperkte capaciteitsfactor heeft ook zijn weerslag op het elektriciteitsnet als geheel. Als de zon schijnt, geldt dat vaak voor alle zon-PV systemen in de regio en in het land, waardoor alle systemen (vrijwel) gelijktijdig het piekvermogen aan het elektrische net willen leveren. Dit kan leiden tot overbelasting van het net.

Veel PV-systemen op daken (tot 200 kW) worden aangesloten op het laagspanningsnet. Als andere bedrijven in de buurt ook PV-systemen hebben, en/of er is sprake van een aangrenzende woonwijk met veel PV-panelen, kan dit leiden tot netcongestie op dit laagspanningsnet.

Kosten

Zoals beschreven in 0 worden elk jaar worden de kosten van verschillende vormen van duurzame energie geanalyseerd en gekwantificeerd door het Planbureau voor de Leefomgeving. Voor gebouw-gebonden zon-PV is de berekende kostprijs 7,91 tot 10,63 ct€ per kWh, afhankelijk van de mate waarin het dak moet worden aangepast. Voor lichtgewicht panelen is de berekende kostprijs 11,92 ct€ per kWh.

In de loop van de jaren is zijn de basisbedragen voor zon-PV steeds verder gedaald, gerelateerd aan de prijsdalingen van zonnepanelen.

Onderdeel van deze kostprijsberekening is de investering in het gehele project om het PV-systeem te realiseren. In het PBL-document is dit gekwantificeerd en geschat op 569 € per kW. Voor een project van bijvoorbeeld 1000 PV-panelen van 0,400 kW gaat het dus om circa 230 duizend €¹⁰.

Als een coöperatie tenminste 50% van een project in eigendom heeft, kan de coöperatie gebruik maken van een risicoloze lening vanuit het Ontwikkelfonds Opwek, waarbij de aanloopkosten voorafgaand aan de daadwerkelijke investering (haalbaarheidsonderzoek, vergunningsaanvraag, bouwvoorbereiding, e.d.) kunnen worden gefinancierd¹¹.

Toepassing in Nederland

Er is in Nederland circa 1000 projecten waar een lokale energiecoöperatie eigenaar is van een zon-PV installatie op een dak¹². Er zijn nog enkele honderden projecten in voorbereiding.

Samenvatting

Zon-PV op grote daken	
Doel	Elektriciteit voor op het net
Schaal	Grootschalig
Stand van de techniek	Breed toegepast
Invloed op omgeving	
Visueel	Geen
Natuur	Geen

¹⁰ 1000 x 0,4 kW x 569 €/kW = 227.600 €

¹¹ Bron: <https://energiesamen.nu/pagina/77/ontwikkelfonds-voor-energiecooperaties>

¹² Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023/collectieve-zonprojecten>

Ruimtegebruik	Geen
Hinder	Geen
Invloed op het net	Grote impact op het LS-net Capaciteitsfactor 11% tot 15%
Kosten	
Investeringskosten	Ca. 569 €/kW. Voorbeeldproject 1000 panelen: ca 230.000 €.
Operationele kosten	
LCOE/Basisbedrag	Ca. 8 tot 11 ct/kWh
Subsidie / ondersteuning	SDE++ Voor coöperaties: Ontwikkelfonds Opwek
Collectief lokaal eigendom	vaak

2.1.3 Zonneparken

Beschrijving

In veel gemeenten zijn in de afgelopen jaren zonneparken gerealiseerd om invulling te geven aan de doelstelling voor de opwek van duurzame elektriciteit. Zonneparken zijn relatief eenvoudig te realiseren. De meeste zonneparken zijn meerdere hectares groot, en hebben een vermogen van meerderde MW's. Zonneparken hebben een eigen netaansluiting.

In standaard zonneparken zijn de PV-panelen op het zuiden gericht, of juist verdeeld over oost en west. In enkele gevallen zijn de panelen zonvolgend, waardoor de opbrengst per paneel hoger is.

Een nadeel van standaard zonneparken is het ruimtegebruik. Dit betreft vaak grond die ook voor landbouw of andere doeleinden gebruikt kan worden. Het beleid ten aanzien van zonneparken is om die reden omgeslagen en minder positief geworden.

Als reactie op deze bezwaren zijn er een aantal alternatieve concepten ontwikkeld, zoals bijvoorbeeld drijvende systemen op waterplassen.

Een andere optie is systemen waarbij dubbel ruimtegebruik mogelijk wordt, bijvoorbeeld in combinatie met landbouw. Dit wordt ook wel 'agrivoltaic' genoemd. Deze worden nog niet op grote schaal toegepast.

Een andere belemmering is dat er in veel gevallen niet voldoende beschikbare netcapaciteit is en dat de netbeheerder geen netaansluiting beschikbaar stelt.

Ontwikkeling

De opwek van elektriciteit van zonnepanelen op land is in Nederland de afgelopen jaren toegenomen van 279 GWh in 2018 naar 3.509 GWh in 2022¹³. Vanwege de genoemde bezwaren was de groei in 2023 veel kleiner naar 3.721 GWh. Het is de verwachting dat er de komende jaren weinig zonneparken bij gaan komen.

Invloed op omgeving

Zoals beschreven is het ruimtegebruik van zonneparken relatief groot. Ter indicatie: een park van 10 ha levert circa 10 GWh.

¹³ Bron: Klimaatmonitor.nl

Ook de visuele impact wordt door veel mensen als verstorend ervaren.

Zonneparken worden (meestal) aangesloten op het middenspanningsnet en leiden dus eventueel ook tot congestie op het middenspanningsnet, mogelijk versterkt als op hetzelfde moment ook veel energie vanaf het laagspanningsnet wordt aangevoerd. Als er sprake is van (dreigende) netcongestie op het middenspanningsnet of onbalans tussen vraag en aanbod, kunnen zonneparken tijdelijk naar beneden worden bijgesteld. In feite zijn zonneparken goed naar beneden regelbaar.

De capaciteitsfactor is net als voor zon-op-dak slechts circa 11% tot 15%. De benutting van de aansluiting is dus relatief laag.

Kosten

Het Planbureau voor de Leefomgeving berekent voor zonneparken een kostprijs van 6,24 tot 8,96 ct€ per kWh, afhankelijk van de afmeting en de mate waarin rekening is gehouden met 'natuurinclusiviteit'. Voor drijvende systemen is dit 7,70 tot 9,90 ct€ per kWh (ref [3]).

In de loop van de jaren is zijn de basisbedragen voor zon-PV steeds verder gedaald, gerelateerd aan de prijsdalingen van zonnepanelen.

Onderdeel van deze kostprijsberekening is de investering in het gehele project om het zonnestelsel te realiseren. In het PBL-document is dit gekwantificeerd en geschat op 451 tot 586 € per kW, afhankelijk van de grootte. Voor drijvende systemen is dit 543 tot 673 € per kW.

Voor een project van bijvoorbeeld 10 MW gaat het dus om 4,5 tot 6,7 miljoen €.

Als een coöperatie tenminste 50% van een project in eigendom heeft, kan de coöperatie gebruik maken van een risicoloze lening vanuit het Ontwikkelfonds Opwek, waarbij de aanloopkosten voorafgaand aan de daadwerkelijke investering (haalbaarheidsonderzoek, vergunningsaanvraag, bouwvoorbereiding, e.d.) kunnen worden gefinancierd¹⁴.

Toepassing in Nederland

Er is in Nederland in de loop der jaren veel ervaring opgedaan met zonne-energieprojecten. In veel gevallen is een lokale energiecoöperatie geheel of gedeeltelijk eigenaar. Dit betreft circa ruim 100 zonneparken waarvan de meeste in de laatste 5 jaar zijn gerealiseerd¹⁵.

Bij het realiseren van een zonnepark komt heel wat kijken. Een goede voorbereiding en kennis van zaken is essentieel om succesvol te kunnen zijn. Deze kennis is niet of onvoldoende aanwezig bij de coöperatie. De benodigde expertise is beschikbaar en in te huren bij adviesbureaus, op het gebied van techniek, participatie, financiën, organisatie en procedures.

Samenvatting

Zonneparken	
Doel	Elektriciteit voor op het net
Schaal	15 kWp – 100 MWp
Stand van de techniek	Breed toegepast
Invloed op omgeving	

¹⁴ Bron: <https://energiesamen.nu/pagina/77/ontwikkelfonds-voor-energiecooperaties>

¹⁵ Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023/collectieve-zonprojecten>

Visueel	Groot
Natuur	Beperkt
Ruimtegebruik	Groot
Hinder	Geen
Invloed op het net	Relatief groot Capaciteitsfactor 11% tot 15%
Kosten	
Investeringskosten	451 - 673 €/kWp (SDE++)
Operationele kosten	Vast: 0,115 - 0,132 €/kWp/jaar Variabel: 0,0019 €/kWh
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,062 - 0,079 €/kWh
Subsidie / ondersteuning	SDE++ Voor coöperaties: Ontwikkelfonds Opwek
Collectief lokaal eigendom	Vaak

2.2 Windenergie

Beschrijving

Windenergie wordt gezien als een belangrijke bouwsteen van de energietransitie voor de opwek van duurzame elektriciteit. Dit wordt gedaan door grote windturbines, die op zee of ook op land worden geplaatst. Moderne grote windturbines voor op land hebben een vermogen van 4 tot 7 MW, een ashoogte van circa 120 tot 175 meter en een diameter van 140 tot 175 meter. Het hoogste punt van de windturbine, ofwel de tiphoogte, is dan circa 190 tot 260 meter.

De gemiddelde windsnelheid is afhankelijk van de hoogte. Op 100 meter hoogte is de gemiddelde windsnelheid in de gemeente Bronckhorst ca. 6,8 m/s¹⁶. Op 120 meter is deze ca. 7,2 m/s, op 150 ca. 7,6 m/s en op 180 meter ca. 8,0 m/s. Als gevolg hiervan levert een windturbine met een ashoogte van 150 meter ca. 10% meer energie dan eenzelfde turbine met een lagere ashoogte van 120 meter. Met een ashoogte van 175 meter is dit zelfs ca. 20% meer energie.

Voor een indicatieve opbrengstberekening is het realistisch om 3000 vollasturen per jaar aan te nemen. Een windturbine van 4 MW levert dan 12.000 MWh per jaar (= 4MW x 3.000hr/jr), ofwel ca. 12 GWh per jaar. Voor een 7 MW turbine is dit ca. 21 GWh per jaar.

Naast deze grote windturbines zijn er ook kleine windturbines verkrijgbaar, met een tiphoogte tot ca. 25 m en een vermogen van ca. 15 kW. Deze worden meestal toegepast als erfmolen bij agrarische bedrijven, waarbij de elektriciteit zoveel mogelijk direct op eigen erf gebruikt wordt. De energieopbrengst is ca. 25 MWh per jaar (ofwel 0,025 GWh per jr), bescheiden ten opzichte van grote windturbines.

Naast de 'standaard' windturbines met drie wieken en een horizontale draai-as, zijn er in de loop van de tijd diverse concepten bedacht en gemaakt om op een andere manier energie uit wind te

¹⁶ Bron: RVO windviewer: <https://geocontent.rvo.nl/windviewer/>

winnen, meestal in een poging om met een relatief klein ontwerp toch een grote energieopbrengst te verkrijgen. Geen van die concepten is (nog) kansrijk gebleken.

Ontwikkeling

De moderne windenergie-technologie vindt zijn oorsprong in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw. In de eerste tijd leverden windturbines nog een geringe bijdrage aan de totale elektriciteitsproductie in Nederland, in de marge van de grote elektriciteitscentrales op gas en kolen. Inmiddels is dit aandeel gegroeid tot ca. 25%. De totale elektriciteitsproductie in Nederland in 2023 was 120 TWh, waarvan 29 TWh uit windenergie¹⁷. Daarmee heeft windenergie een volwaardige bouwsteen geworden voor de energievoorziening in Nederland.

Het is de verwachting dat dit aandeel de komende jaren zal toenemen met nieuwe windparken op zee en ook meer windturbines op land. Zoals beschreven in hoofdstuk 1 is de doelstelling van het Klimaatakkoord om in 2030 49 TWh aan windenergie op zee op te wekken. De doelstelling op land is 35 TWh duurzame energie, waarvan een groot deel windenergie.

De gemiddelde windsnelheid in het oostelijk deel van Nederland is lager dan in ander delen van het land. Begrijpelijk dat de realisatie van windturbines elders is begonnen. Aan de andere kant is het windaanbod in het oostelijk deel van Nederland nog steeds relatief gunstig ten opzichte van grote delen van de wereld. De technologische ontwikkeling in de windenergietechnologie van de laatste jaren maakt het mogelijk om ook in minder windrijke gebieden een goed renderend windproject te realiseren. De drie belangrijkste ontwikkelingen die daartoe hebben bijgedragen, zijn:

- kostprijsreductie door wereldwijd toenemende volumes
- relatief langere bladen
- hogere masten

Invloed op omgeving en op het elektriciteitsnet

Windenergie kent voor- en tegenstanders. Tegenstand is in belangrijke mate gerelateerd aan de invloed van windturbines op de omgeving. Als gesproken wordt over de komst van windturbines op een bepaalde locatie, leidt dit vaak tot zorgen en weerstand van mensen in de omgeving. Deze zorgen zijn te verdelen in drie categorieën:

1. Zorgen over de leefomgeving

Deze zorgen hebben betrekking op verstoring van de leefomgeving, door geluid, slagschaduw, belemmering van het vrije uitzicht en lichtvervuiling 's nachts. Om de hinder hiervan te beperken, zijn landelijk normen opgesteld waar windturbines en de plaatsing ervan aan moeten voldoen.

Daarnaast zijn mensen bezorgd over gezondheid, meestal in verband gebracht met subsoon geluid en/of straling. Deze directe invloed van windturbines op gezondheid is niet aangetoond, maar geluid kan wel leiden tot slaapverstoring wat indirect wel invloed kan hebben op gezondheid¹⁸.

2. Zorgen over de natuur

Het gaat hier over de invloed van windturbines op met name vogels en vleermuizen, waardoor hun leefgebied wordt verstoord. Om deze invloed in beeld te brengen, is een ecologisch onderzoek nodig, meestal als onderdeel van een milieueffectrapportage.

¹⁷ Bron: CBS; <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/10/bijna-helft-elektriciteitsproductie-komt-uit-hernieuwbare-bronnen>

¹⁸ Bron: RIVM; <https://www.rivm.nl/windenergie/windmolens-gezondheid>

3. Zorgen over de verdeling van lusten en lasten

Hier gaat het om de zorg dat de negatieve effecten op de leefomgeving (de lasten) bij de omwonenden terecht komen, terwijl de financiële winsten (de lusten) van windturbines naar andere partijen kunnen gaan. Dit wordt dan vaak als onrechtvaardig ervaren. Om de lusten en lasten beter in balans te brengen, kunnen financiële compensatie en mogelijkheden voor financiële participatie worden toegepast. Dit past ook in het beleid van 'lokaal eigendom', dat veel gemeenten hanteren.

In het algemeen is voor het verkrijgen van voldoende draagvlak lokale betrokkenheid, zeggenschap en participatie essentieel. Hoe dit vorm kan krijgen is beschreven in een gedragscode (ref. [4]), opgesteld door de Nederlandse Windenergie Associatie, de Organisatie voor Duurzame Energie en vier milieuorganisaties.

Als het stevig waait leveren grote windturbines veel elektriciteit. De elektrische aansluiting en achterliggende elektrische net moet voldoende capaciteit hebben om deze elektriciteit te transporteren. Bij een project voor de plaatsing van windturbines hoort ook de aanleg van kabels naar een (dichtstbijzijnde) onderstation. En er wordt door de netbeheerders hard gewerkt om het elektrische net daarvoor te verzwaren. Maar als het eens niet waait, leveren de windturbines ook geen elektriciteit en wordt de aansluiting en het elektrische net ook niet benut. Windturbines hebben een benuttingsgraad (ook capaciteitsfactor genoemd) van circa 30 tot 40%, afhankelijk van de locatie en de gekozen turbine. Dat is beter dan de benuttingsgraad in het geval van zonne-energie.

Windturbines worden (meestal) aangesloten op het middenspanningsnet en leiden dus eventueel ook tot congestie op het middenspanningsnet. Het is gunstig dat er echter nauwelijks sprake van gelijktijdigheid met zonne-energie die op hetzelfde moment ook veel energie vanaf het laagspanningsnet wordt aangevoerd, waardoor en minder snel problemen ontstaan door netcongestie.

Als er sprake is van (dreigende) netcongestie op het middenspanningsnet of onbalans tussen vraag en aanbod, kunnen windturbines tijdelijk naar beneden worden bijgesteld. In feite zijn windturbines goed naar beneden regelbaar.

Kosten

Zoals beschreven in 0 worden elk jaar worden de kosten van verschillende vormen van duurzame energie geanalyseerd en gekwantificeerd door het Planbureau voor de Leefomgeving. Voor windenergie is de berekende kostprijs 4,80 tot 7,15 ct€ per kWh, afhankelijk van de gemiddelde windsnelheid op de locatie in het land. Voor locaties in de gemeente Bronckhorst is dit 6,62 of 7,15 ct€ per kWh.

In de loop van de jaren is zijn de basisbedragen voor windenergie steeds verder gedaald, gerelateerd aan de technologische ontwikkeling en marktontwikkeling van windenergie. In de praktijk is er weinig of zelfs geen subsidie meer nodig, omdat de elektriciteitsprijs voldoende hoog is.

Onderdeel van deze kostprijsberekening is de investering in het gehele project om windturbines te realiseren. In het PBL-document is dit gekwantificeerd en geschat op 1.450 € per kW. Voor een project van bijvoorbeeld 3 windturbines van 7 MW gaat het dus om circa 30 miljoen €¹⁹.

Kleine windturbines worden meestal ingezet om de geproduceerde energie zoveel mogelijk direct zelf te gebruiken, bij voorbeeld door het eigen agrarische bedrijf. De investering voor een 15 kW turbine is circa 60.000 €, ofwel 4.000 € per kW.

Als een coöperatie tenminste 50% van een project in eigendom heeft, kan de coöperatie gebruik maken van een risicoloze lening vanuit het Ontwikkelfonds Opwek, waarbij de aanloopkosten voorafgaand aan de daadwerkelijke investering (haalbaarheidsonderzoek, vergunningsaanvraag, bouwvoorbereiding, e.d.) kunnen worden gefinancierd²⁰.

Toepassing in Nederland

Er is in Nederland in de loop der jaren veel ervaring opgedaan met windenergieprojecten. In meer dan 100 gerealiseerde windprojecten een lokale energiecoöperatie geheel of gedeeltelijk eigenaar. Ongeveer de helft hiervan zijn gerealiseerd in de laatste 5 jaar, maar de oudste projecten dateren al uit de jaren '90²¹. Er zijn circa 40 projecten nog in ontwikkeling.

Het realiseren van een windpark is geen sinecure. Een goede voorbereiding en kennis van zaken is essentieel om succesvol te kunnen zijn. Deze kennis is niet of onvoldoende aanwezig bij de coöperatie. De benodigde expertise is beschikbaar en in te huren bij adviesbureaus, op het gebied van techniek, participatie, financiën, organisatie en procedures.

Kleine windturbines zijn vaak te vinden bij agrarische bedrijven, vooral in de kustprovincies, maar meer en meer ook in het oosten van het land.

Samenvatting

Windenergie	Groot	Klein
Doel	Elektriciteit voor op het net	Elektriciteit voor eigen verbruik
Schaal	4 tot 7 MW, tiphoogte 190 tot 260 m Opwek 12 tot 21 GWh per jaar	15 kW, tiphoogte ca. 20 m Opwek ca. 0,025 GWh per jaar
Stand van de techniek	Breed toegepast	Breed toegepast
Invloed op omgeving		
Visueel	Groot	Beperkt
Natuur	Beperkt, afhankelijk van aanwezige soorten vogels en vleermuizen	Geen
Ruimtegebruik	Beperkt	Zeer beperkt
Hinder	Groot. Sterk genormeerd. Afhankelijk van afstand.	Zeer beperkt
Invloed op het net	Beperkt (eenzijdig) regelbaar. Capaciteitsfactor 30 tot 40%.	Zeer beperkt
Kosten		
Investeringskosten	1.450 €/kW (SDE++) Voorbeeldproject 3 x 7 MW: ca 30 mln €.	4.000 €/kW Prijs molen: 60.000 €
Operationele kosten	Vast: 13,4 €/kWe/jaar	Ca. 20 ct/kWh

¹⁹ 3 x 7.000 kW x 1.450 €/kW = 30 mln €

²⁰ Bron: <https://energiesamen.nu/pagina/77/ontwikkelfonds-voor-energiecooperaties>

²¹ Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023/collectieve-windprojecten>

	Variabel: 0,0068 €/kWh	
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,048 - 0,072 €/kWh	
Subsidie / ondersteuning	SDE++ Voor coöperaties: Ontwikkelfonds Opwek	ISDE
Collectief lokaal eigendom	Vaak	Nee

2.3 Waterkracht

Beschrijving

In landen met gebergten, heuvels en/of snelstromende rivieren is waterkracht een belangrijke bron van energie. Dat geldt bijvoorbeeld voor landen als Noorwegen, Zwitserland en Oostenrijk. Door het terugpompen van water naar hogere bekkens, kan ook energie worden opgeslagen. Door de elektrische verbindingen (interconnecties) tussen de landen profiteren ook andere landen hiervan.

Gezien de geringe hoogteverschillen en de traag stromende rivieren in Nederland is waterkracht in Nederland niet relevant.

Samenvatting

Waterkracht	
Doel	Elektriciteit
Schaal	Niet in NL
Stand van de techniek	Nvt
Invloed op omgeving	Nvt
Visueel	Nvt
Natuur	Nvt
Ruimtegebruik	Nvt
Hinder	Nvt
Invloed op het net	Nvt
Kosten	
Investeringskosten	Nvt
Operationele kosten	Nvt.
LCOE/Basisbedrag	Nvt
Subsidie / ondersteuning	SDE++
Collectief lokaal eigendom	Nvt

2.4 Kernenergie

Beschrijving

Kernenergie is de energie die vrijkomt bij de kernsplijting van radioactief materiaal, met name verrijkt uranium. In een kerncentrale wordt deze energie omgezet in warmte, waarmee water wordt omgezet in stoom, waarmee een elektrische generator wordt aangedreven.

Een kerncentrale is niet geschikt om snel mee te schakelen, maar door de continue levering van energie wel geschikt als basislast. De meeste kerncentrales in Europa staan in Frankrijk. In feite leveren deze kerncentrales een belangrijk deel van de basislast in Europa, waarbij andere energiecentrales in andere landen juist meegaan met de wisselingen van de elektriciteitsvraag.

Uranium wordt gehaald uit uraniumerts. Van deze uranium is slechts 0,7% (isotoop U-235) radioactief. Voor toepassing in een kerncentrale wordt uranium, via ultracentrifuge, verrijkt tot tenminste 3% van deze isotoop.

Kerncentrales moeten worden gekoeld met koelwater. Daarom worden deze meestal geplaatst bij een rivier of de zee.

De bouw van kerncentrales vraagt om veel nucleaire kennis en ervaring. Deze is in Nederland onvoldoende aanwezig. Daarnaast zijn de benodigde investeringen erg hoog en de looptijd van besluitvorming en vergunningen erg lang. Nieuw te bouwen grote conventionele kerncentrales zullen daarom in ons land niet voor 2040 inzetbaar zijn (ref. [5]).

Een mogelijk alternatief is de bouw van kleine centrales, ook wel Small Modular Reactors of SMR's genoemd. Het idee is dat deze sneller te plaatsen zouden zijn en beter inpasbaar in kleinere, lokale energiesystemen, zoals bijvoorbeeld een bedrijventerrein.

Het is echter niet reëel om te verwachten dat SMR's eerder operationeel kunnen zijn. SMR's bevinden zich nog in het onderzoeks- en ontwikkelingsstadium en zijn daarom niet commercieel te koop. Er is nog zeer heel veel onzekerheid rondom de technische haalbaarheid, de kosten en het radioactief afvalvraagstuk van SMR's. SMRs zullen in ons land waarschijnlijk pas na 2045 een bijdrage kunnen gaan leveren, ervan uitgaande dat een principebesluit tot het bouwen van een SMR pas begin jaren '30 zal worden genomen omdat de technologie eerst in het buitenland met succes moet zijn bewezen (ref. [5] en [6]).

Na afloop van de levensduur van een kerncentrale duurt het vele jaren voor deze ontmanteld kan worden. Het constructiemateriaal in het binnenste van de centrale, zoals het vele beton, is dan radioactief en moet ook als zodanig vele jaren veilig worden bewaard.

Ontwikkeling

Grote kerncentrales zijn bewezen technologie, maar het vergt veel nucleaire kennis en ervaring om een kerncentrale te bouwen en operationeel te houden. Nieuw te bouwen kerncentrales worden in Nederland niet voor 2040 operationeel. Dat geldt ook voor kleine kerncentrales (SMR's).

Invloed op omgeving

Uraniumerts wordt gewonnen uit uraniummijnen in verschillende landen, met name uit Kazachstan, Canada en Australië. Uraniummijnen hebben grote impact op de omgeving.

Het restproduct van een kerncentrale blijft vele eeuwen hoogradioactief en gevaarlijk. Kernafval moet daarom ook eeuwenlang veilig worden opgeborgen.

Kosten

De bouw van een kerncentrale kost vele miljarden. De nieuwe kerncentrale in Flamanville, Frankrijk, heeft bijvoorbeeld reeds 19 miljard € gekost, na een aanvankelijke begroting van 3,4 miljard €. Deze centrale wordt binnenkort operationeel²².

²² Bron: https://nl.wikipedia.org/wiki/Kerncentrale_Flamanville

Toepassing in Nederland

Er staat in Nederland één kerncentrale voor energievoorziening, in Borssele. Een tweede, in Petten, is gericht op het maken van isotopen voor medische toepassingen. De kerncentrale in Borssele heeft een vermogen van 485 MW en is in 1973 in gebruik genomen.

Samenvatting

Kernenergie	Conventioneel	SMR's
Doel	Elektriciteit	Elektriciteit
Schaal	500 – 2.000 MW	20 - 100 MW
Stand van de techniek	Beschikbaar, maar niet in NL	In ontwikkeling
Invloed op omgeving		
Visueel	Beperkt	Beperkt
Natuur	Groot (mijnbouw)	Groot (mijnbouw)
Ruimtegebruik	Groot (mijnbouw)	Groot (mijnbouw)
Hinder	Lokaal groot	Lokaal
Invloed op het net	Basislast, capaciteitsfactor 90%	Basislast lokaal, capaciteitsfactor 90%
Kosten		
Investerings	Vele miljarden	Onbekend
Kosten / LCOE	Onbekend	Onbekend
Subsidie / ondersteuning	Nvt	Nvt
Collectief lokaal eigendom	Nvt	Nvt

3

Technieken voor duurzame warmte

Een belangrijk onderdeel van de energietransitie is de energievoorziening in de vorm van duurzame warmte, ter vervanging van het verbruik van aardgas dat nu nog gebruikelijk is. Dit betreft laagtemperatuur-warmte voor het verwarmen van gebouwen, maar ook warmte voor allerlei productieprocessen, waar vaak hogere temperaturen benodigd zijn.

Voor het verwarmen van woningen en andere gebouwen wordt vaak gekeken naar het gebruik van warmtepompen, die met gebruik van elektriciteit warmte uit de buitenlucht of de bodem haalt. Dit is dus een vorm van elektrificatie, waar (duurzame) elektriciteit voor nodig is. Ook productieprocessen kunnen vaak wel worden geëlektrificeerd. Dit legt een groot beslag op de elektriciteitsvoorziening. Dit onderstreept het belang van alternatieve bronnen van duurzame warmte.

Als alternatief voor warmtepompen wordt vaak gedacht aan een collectieve voorziening in de vorm van een warmtenet. Maar ook een warmtenet moet gevoed worden met warmte uit bepaalde bronnen, gebruik makend van bepaalde technieken.

In de gehele energietransitie heeft de verduurzaming van de warmtevoorziening een ander karakter dan de verduurzaming van elektriciteit. Bij elektriciteit is het hele land (en daarbuiten) via het elektrische net met elkaar verbonden en wordt elke regio gevraagd (vanuit het Klimaatakkoord, ingevuld door de RES) om een bijdrage te leveren aan de duurzame elektriciteit van het geheel.

Bij de verduurzaming van de warmtevoorziening is dat anders. Warmte kan niet eenvoudig over grote afstanden worden getransporteerd en heeft daarom veel meer een lokaal karakter.

Duurzame warmte is ook onderdeel van de RES, waarbij het gaat om het kaart brengen van warmtebronnen en waar nodig intergemeentelijke afstemming. Dit wordt beschreven in de Regionale Structuur Warmte (RSW). Verder is dit vooral een lokaal thema met de Transitievisie Warmte op gemeentelijk niveau en Wijkuitvoeringsplannen op wijkniveau.

Anders dan bij het thema Elektriciteit is er geen gekwantificeerde doelstelling vastgesteld over hoeveel warmte moet worden opgewekt.

In dit hoofdstuk worden verschillende technieken beschreven voor de winning of productie van duurzame warmte. Na een korte beschrijving wordt beknopt ingegaan op de ontwikkeling, invloed op de omgeving, kosten en toepassing in Nederland.

3.1 Aardwarmte of geothermie

Beschrijving

Door de vorming van de aarde en door interne processen diep in de aarde is de kern van de aarde heet. Deze aardwarmte of geothermie komt langzaam naar de oppervlakte en kan in potentie worden benut.

Om deze warmte te benutten moeten diepe putten worden geboord, waarbij in het algemeen geldt: hoe dieper, hoe warmer. De warme lagen zitten echter niet overal even diep: In het oosten van het land zitten de warme lagen dieper dan in het westen van Nederland.

Meestal wordt een onderscheid gemaakt tussen ondiepe geothermie en diepe geothermie. Het PBL maakt deze indeling als volgt (ref. [7]):

- Ondiepe geothermie: vanaf 500 meter tot 1500 meter diep (25-55°C)
- Diepe geothermie: vanaf 1500 meter tot 4000 meter diep (70-110°C)
- Ultradiepe geothermie: vanaf 4000 meter diep (120-140°C)

Geothermie-installaties zijn van nature grootschalig, die continu veel warmte kunnen leveren. Om deze te laten renderen, is een grote en liefst continue warmtevraag nodig.

Een enkele geothermie-installatie (van bijvoorbeeld 10 MWth) zou in de gebouwde omgeving duizenden huizen en/of grotere gebouwen, zoals kantoren of een ziekenhuis, via een warmtenet van warmte kunnen voorzien. In de gebouwde omgeving is de warmtevraag echter niet continu, in de zomer is de warmtevraag immers nihil. Dat betekent dat benutting van geothermie voor de gebouwde omgeving relatief duur is.

Warmte die onttrokken wordt op dieptes minder dan 500 meter, bijvoorbeeld door een WKO installatie, wordt bodemenergie genoemd. Het gaat dan om laagwaardige (laag-temperatuur) warmte, die wordt opgewaardeerd met een warmtepomp.

Ontwikkeling

Geothermie wordt voor de langere termijn gezien als belangrijke bron voor de toekomstige warmtevoorziening van de gebouwde omgeving.

Invloed op omgeving

Het bovengrondse ruimtegebruik van een installatie voor geothermie is beperkt tot ongeveer 0,5 hectare. Er worden geen veiligheidsrisico's verwacht ten aanzien van aardbevingen. Risico's ten aanzien van gasophoping, natuurlijke straling en grondwatervervuiling zijn zeer beperkt, mits goed aangelegd²³.

Kosten

Geothermie is opgenomen in de SDE++ subsidie. Ten behoeve hiervan heeft het Planbureau voor de Leefomgeving kostenanalyses gemaakt (ref. [3]). De investering voor geothermie wordt geschat op 1.119 tot 2.972 € per kW, afhankelijk van de diepte en toepassing. Voor bijvoorbeeld een

²³ Bron: <https://geothermie.nl/geothermie/wat-is-geothermie/>

installatie van 10 MW, betekent dit 11 tot 30 miljoen euro. Een eventueel aan te leggen warmtenet is hierbij niet inbegrepen.

De kostprijs voor deze vorm van energie hangt sterk af van de toepassing, ofwel het aantal uren per jaar dat de installatie benut wordt. Voor toepassing als basislast, met veel gebruiksuren, wordt dit geschat op 4,66 tot 8,62 ct€ per kWh.

Voor toepassing in de gebouwde omgeving, met beperkte gebruiksuren, wordt dit geschat op 13,19 tot 16,46 ct€ per kWh.

Kanttekening hierbij is dat door het PBL (nog) geen onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende locaties in Nederland. Zoals beschreven zitten de warme lagen in het oosten van het land dieper dan in het westen van het land. Het is daarom reëel om te verwachten dat de kosten in het oosten van het land hoger uit zullen vallen.

Toepassing in Nederland

In 2023 waren er 27 aardwarmtelocaties in Nederland²⁴. Deze meeste daarvan zijn in het westen van het land. Deze worden gebruikt om kassen in de glastuinbouwsector te verwarmen.

Voor toepassing in de gebouwde omgeving zijn in het land wel diverse plannen, maar deze zijn nog niet gerealiseerd. Landelijk zijn er zes energiecoöperaties die onderzoek doen naar de mogelijkheden van de toepassing van aardwarmte²⁵.

Samenvatting

Aardwarmte / Geothermie	
Doel	Warmte
Schaal	Ondiep (25-55°C): 8 MW _{th} Diep (70-110°C): 8-30 MW _{th} Ultradiep (120-140°C): 15-20 MW _{th}
Stand van de techniek	Wordt toegepast in glastuinbouw en warmtenetten en industriële processen
Invloed op omgeving	
Visueel	Beperkt
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Beperkt
Hinder	Geen
Invloed op het net	Geen
Kosten	
Investeringskosten	1.119 – 2.972 €/kW (SDE++) Voorbeeldproject: 10 MW ca. 21 - 29 mln €
Operationele kosten	Vast: 33 - 110 €/kW/jaar Variabel: 0,0064 - 0,028 €/kWh
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,047 - 0,132 €/kWh
Subsidie / ondersteuning	SDE++
Collectief lokaal eigenaardom	Enkele projecten in onderzoek

²⁴ Bron: <https://geothermie.nl/wp-content/uploads/2024/02/Infographic-Geothermie-cijfers-2023.pdf>

²⁵ Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023/warmte>

3.2 Aquathermie

Beschrijving

Aquathermie is het benutten van thermische energie uit oppervlaktewater, om gebouwen te verwarmen of juist te koelen.

Koelen van gebouwen met oppervlaktewater kan het gebruik van airco's vervangen. Dat betekent dus een besparing op het elektriciteitsverbruik.

Vanwege de lage temperatuur van oppervlaktewater is dit een zeer laagwaardige bron van energie. De warmte van het water moet worden opgewaardeerd naar een hogere temperatuur. Dit gebeurt met een warmtepomp (een water-waterwarmtepomp). Dit is vergelijkbaar met een warmtepomp die de energie uit de buitenlucht haalt (een lucht-waterwarmtepomp). In beide gevallen wordt de warmtepomp aangedreven met elektriciteit. Het gebruik van warmte uit water ten opzichte van lucht is dat de temperatuur in de winter over het algemeen minder ver afkoelt dan de buitenlucht, waardoor de warmtepomp iets efficiënter kan functioneren. Een tweede voordeel is het ontbreken van een (geluidmakende) buitenunit, maar daar komt een warmtewisselaarsysteem in het water voor in de plaats. Nadeel van aquathermie is dat oppervlakte water niet altijd vlakbij beschikbaar is.

Aquathermie als bron van verwarming heeft dus een warmtepomp nodig, en is in feite een vorm van elektrificatie, net als 'gewone' warmtepompen.

Vanwege de relatief grote warmtewisselaar en de afstand tot het water, is aquathermie meestal meer geschikt voor grootschalige toepassingen, zoals in een warmtenet of voor grotere gebouwen, zoals bijvoorbeeld kantoren of ziekenhuizen. Aquathermie kan worden gecombineerd met een WKO²⁶.

Ontwikkeling

De technologie voor aquathermie is beschikbaar en wordt beperkt toegepast. Aquathermie is ook opgenomen in de SDE++ regeling.

Invloed op omgeving

Aquathermie heeft invloed op de temperatuur van het water, dus mogelijk ook op de aanwezige flora en fauna, zeker als het een grote installatie betreft met een relatief klein oppervlaktewater. Om die reden is vaak een vergunning met bijbehorende vergunningstraject noodzakelijk.

Kosten

Aquathermie is ook opgenomen in de SDE++ subsidie. Ten behoeve hiervan heeft het Planbureau voor de Leefomgeving kostenanalyses gemaakt (ref. [3]). De investering voor aquathermie wordt geschat op 1038 tot 2590 € per kW, afhankelijk van de toepassing, met of zonder WKO, wel of geen basislast. De kostprijs voor deze vorm van energie wordt geschat op 7,69 tot 15,51 ct€ per kWh. Daarbij moet wel rekening gehouden dat de elektriciteit die de warmtepomp nodig heeft om de warmte van het water naar het gebouw te brengen er nog bij komt.

²⁶ Een WKO is een warmte-koudeopslag in de bodem, waarbij de grond wordt opgewarmd om later (opgewaardeerd door een warmtepomp) weer te worden benut.

Toepassing in Nederland

Volgens de Unie van Waterschappen zijn er in Nederland ruim 110 aquathermie-projecten gerealiseerd en nog ruim 140 in ontwikkeling²⁷.

De toepassing van aquathermie heeft de belangstelling van lokale energiecoöperaties. Landelijk zijn er ca. 30 projecten in onderzoek of in ontwikkeling, maar dat heeft nog niet geleid tot een operationeel project²⁸.

Samenvatting

Aquathermie	
Doel	Warmte, koude
Schaal	0,6 - 10 MW Kantoren, utiliteit, warmtenetten.
Stand van de techniek	Wordt toegepast
Invloed op omgeving	
Visueel	Geen
Natuur	Beperkt
Ruimtegebruik	Geen
Hinder	Geen
Invloed op het net	Geen
Kosten	
Investeringskosten	1.038 - 2.590 €/kW (SDE++)
Operationele kosten	Vast: 43 - 69 €/kW/jaar Variabel: 0,034 - 0,059 €/kWh
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,077 - 0,146 €/kWh
Subsidie / ondersteuning	SDE++
Collectief lokaal eigendom	Ca. 30 in onderzoek of ontwikkeling

3.3 Verbranding biomassa

Beschrijving

Met het verbranden van biomassa wordt meestal houtige biomassa bedoeld. Het gaat hier om verschillende varianten met verschillende schaal, zoals houtkachels bij woningen, pelletkachels bij bedrijven en elektriciteitsproductie bij energiecentrales en afvalverbrandingscentrales.

Houtkachels in woningen worden meestal beperkt gebruikt, op erg koude dagen of voor de gezelligheid. Deze worden niet geregistreerd en er is geen ondersteuningsbeleid vanuit de overheid. Wel zijn er zorgen over rook en fijnstof.

Verbranding van biomassa in energiecentrales en afvalverbrandingscentrales voorkomt het gebruik van aardgas. Wel is de laatste jaren discussie ontstaan over de herkomst van de biomassa en de duurzaamheid daarvan.

Een derde categorie is de toepassing van verbrandingsketels, meestal bij bedrijven. Deze maken bijvoorbeeld gebruik van pellets (korrels) van hout of vergelijkbaar materiaal. Deze worden gebruikt

²⁷ Bron: <https://unievandwaterschappen.nl/themas/aquathermie/>

²⁸ Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023/warmte>

voor ruimteverwarming of verwarming in bedrijfsprocessen. Deze biomassaketels worden ondersteund door de overheid.

Ontwikkeling

Verbranding van biomassa is uiteraard een oude, veelgebruikte en bewezen technologie.

Invloed op omgeving

Er zijn zorgen over de rookgassen en met name fijnstof bij de verbranding van biomassa.

Kosten

De productie van energie met biomassaketels is opgenomen in de SDE++ subsidie. Ten behoeve hiervan heeft het Planbureau voor de Leefomgeving kostenanalyses gemaakt (ref. [3]). De investering voor een biomassaketel van 0,5 tot 10 MW wordt geschat op 554 tot 939 € per kW. Voor een 5 MW systeem komt dit neer op circa 2,8 miljoen euro.

De kostprijs voor deze vorm van energie wordt geschat op 5,73 tot 7,14 € per kWh, afhankelijk van het aantal vollasturen (bedrijfsuren) van de ketel.

Toepassing in Nederland

Verbranding van biomassa levert een forse bijdrage aan de opwek van duurzame energie, waarvan ketels bij bedrijven ook weer een flink aandeel heeft. Dit betreft ca. 36 PJ, ofwel 10 TWh²⁹. Deze bijdrage is de laatste paar jaar redelijk stabiel.

Naar aanleiding van de discussies over de herkomst van biomassa, neemt de meestook in energiecentrales af.

Er zijn twee projecten voor biomassa waar een lokale energiecoöperatie bij betrokken is, waarvan een operationeel³⁰. Dit betreft de verwarming van een Kulturhus in Hoonhorst.

Samenvatting

Verbranding biomassa	Biomassaketels	Energiecentrales, afvalcentrales
Doel	Warmte	Elektriciteit en warmte
Schaal	0,5 tot 50 MW	1 – 50 MW elektrisch 5 – 120 MW thermisch
Stand van de techniek	Beschikbaar	Beschikbaar
Invloed op omgeving		
Visueel	Geen	Geen
Natuur	Geen	Afhankelijk van herkomst
Ruimtegebruik	Geen	Geen
Hinder	Ja, fijnstof	Ja, fijnstof
Invloed op het net	Geen	
Kosten		
Investeringen	554 - 939 €/kW (SDE++) Voorbeeldproject 5 MW: 2,8 mln €.	
Operationele kosten	Vast: 30 - 55 €/kW/jaar	

²⁹ Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2024/hernieuwbare-energie-in-nederland-2023/8-biomassa>

³⁰ Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023/warmte>

	Variabel: 0,0062 - 0,0064 €/kWh	
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,0573 - 0,0714 €/kWh	
Subsidie / ondersteuning	SDE++	Nvt
Collectief lokaal eigendom	Eén	Nee

3.4 Zon-thermisch

Beschrijving

Bij zon-thermie wordt zonnewarmte gebruikt om een deel van de totale warmtevraag in een woning te dekken. Op het dak wordt een zonnecollector geplaatst waar een vloeistof (water, water met antivries of synthetische vloeistoffen) doorheen stroomt. Deze vloeistof wordt door de warmte van de zon opgewarmd. De warmte wordt vervolgens gebruikt voor de verwarming van de woning en/of het tapwater. Er is een buffervat aanwezig om de warmte eventueel in op te slaan.

Een zonneboiler is bedoeld voor het maken van warm tapwater of voor het leveren van ruimteverwarming in combinatie met het maken van warmtapwater. In dat laatste geval is het collectoroppervlakte over het algemeen groter. Door de ongelijktijdigheid van aanbod van zonne-energie en vraag naar ruimteverwarming kan zonne-energie slechts een kleine bijdrage aan de warmtevraag voor ruimteverwarming leveren (ca. 10 tot 20%).

Een zonneboiler wordt altijd gecombineerd met een naverwarmingstoestel. Er zijn namelijk momenten dat de zon onvoldoende warmte kan leveren. Vrijwel ieder type opwekkingstoestel voor warm(tap)water komt hiervoor in principe in aanmerking. In veel gevallen is dit een CV-ketel, maar dit kan ook een warmtepomp zijn.

Zonnecollectoren zijn er in verschillende verschijningsvormen. Bekend is de vlakke plaat die in een schuin dakvlak is geïntegreerd of met behulp van een hulpconstructie op een plat dak wordt geplaatst.

Het bepalen van het opwekkingsrendement van een zonnecollector of zonneboilercombisysteem is complex. Dit rendement wordt bepaald door het optische rendement, warmteverlieswaarden, buitentemperatuur, bestralingssterkte en het warmtevraagprofiel van de gebruiker.

De hoeveelheid zon die op de collector valt hangt af van de oriëntatie (liefst zuid-gericht), de hellingshoek van de collector en eventuele belemmeringen. De energieprestatie van een zon-thermisch systeem wordt uitgedrukt in [kWh] of [GJ] op jaarbasis. Een gemiddeld collectorpaneel heeft een vermogen van ongeveer 0,6 [kW/m²] wat per jaar 2 [GJ/m²] oplevert. Voor de specifieke warmtevraag van een consument kan dit worden omgerekend naar een jaarlijkse besparing in m³ gas of besparing gaskosten.

Ontwikkeling

Zon-thermische panelen zijn bewezen technologie en goed verkrijgbaar. Vanwege de relatief hoge kosten is het niet de verwachting dat dit breed zal worden toegepast. Bovendien 'concurreren' zon-thermische panelen vaak met PV-panelen voor de beschikbare ruimte op het dak.

Invloed op omgeving

Door de inzet van zon-thermische panelen wordt het gebruik van elektriciteit, door bijvoorbeeld een elektrische boiler, verminderd. Dat heeft dus een gunstige invloed op de netbelasting,

Kosten

Een zonneboiler kost gemiddeld tussen de €2.500 (1 collector) en € 3.500 (2 collectoren) excl. montage (€1.000) en inclusief BTW. De overheid verstrekt een eenmalige ISDE subsidie (Investeringssubsidie Duurzame Energie) op de investeringskosten van het systeem, waarbij de hoogte van het subsidiebedrag afhankelijk is van het soort apparaat en de energieprestatie. Per 1 januari 2018 is het subsidiebedrag voor zonneboilers vastgesteld op 0,68 [€/kWh]²². Voor een zonneboiler met 1 collector bedraagt de subsidie gemiddeld €800 en met 2 collectoren ongeveer €1200. De verwachting is dat de subsidie na 2020 wordt gestopt en dat de toepassing van zonthermisch zal worden gestimuleerd door een gasprijsverhoging. De levensduur van een zonneboiler is ongeveer 25 tot 30 jaar. De onderhoudskosten zijn laag.

Toepassing in Nederland

Zonthermische panelen worden beperkt toegepast in Nederland.

Samenvatting

Zon-thermisch	
Doel	Warmte woningen, volledig eigen gebruik
Schaal	2 [GJ/m ²], typisch huis 2,4 m ² , 4,8 GJ/jr
Stand van de techniek	Beperkt toegepast
Invloed op omgeving	
Visueel	Geen
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Geen
Hinder	Geen
Invloed op het net	Positief
Kosten	
Investeringskosten	€3.500 - €3.500 per m ² , incl. montage en installatie,
Operationele kosten	Onderhoudskosten €0
LCOE/Basisbedrag	
Subsidie / ondersteuning	ISDE
Collectief lokaal eigendom	Niet

4

Techniek voor duurzaam gas

Nederland heeft een fijnmazig gasnet voor het transport van aardgas en we zijn gewend aan het gebruik ervan. Duurzame gaswinning, waarbij netto geen CO₂ vrijkomt, zou daarom een aantrekkelijk alternatief kunnen zijn voor het vervangen van aardgas.

In dit hoofdstuk wordt Groen gas beschreven. Na een korte beschrijving wordt beknopt ingegaan op de ontwikkeling, invloed op de omgeving, kosten en toepassing in Nederland.

Een andere vorm van duurzaam gas zou waterstof, geproduceerd met duurzame elektriciteit, kunnen zijn. Waterstof kan in dit verband ook worden gezien als vorm van energieopslag en komt daarom in een volgend hoofdstuk aan de orde.

4.1 Groen gas

Beschrijving

Groen gas wordt gemaakt in een vergistingsproces van mest of andere (natte) materialen. Bij mestvergisting wordt mest van koeien, varkens of kippen vergist, waarbij biogas wordt geproduceerd. De energie-inhoud van biogas is nog relatief laag ten opzichte van het aardgas in het Nederlandse gasnet. Daarom wordt biogas vaak opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit, wat dan groen gas wordt genoemd.

Het restproduct na vergisting wordt digestaat genoemd. Dit kan weer worden gebruikt als meststof of verder worden verwerkt tot andere producten.

Voor een goede opbrengst uit mestvergisting is het van belang dat mest zo snel mogelijk, binnen een dag, van de stal naar de vergister wordt gebracht. Dit wordt dagverse mest genoemd. Daarom staat een vergister normaal gesproken bij een boerderij.

Mest van dieren die buiten lopen kan niet worden vergist. Dat betekent dat mestvergisting past bij stalgebonden, intensieve veehouderij.

Om het vergistingsproces te bevorderen kan aan de mest extra materialen worden toegevoegd, bijvoorbeeld energiemais. Dit wordt co-vergisting genoemd. De laatste jaren is de technologie verder ontwikkeld en is het meer gebruikelijk om alleen mest als instroom te gebruiken. Dit wordt mono-mestvergisting genoemd.

Naast mest zijn ook andere materialen vergistbaar, zoals slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties of bepaalde reststromen uit de voedingsmiddelen- of veevoerindustrie.

Ontwikkeling

Mestvergisting heeft zich de laatste jaren ontwikkeld tot een bewezen technologie en wordt steeds meer toegepast. In 2022 werd ongeveer 5% van alle mest in Nederland vergist.

Mestvergisting is ook opgenomen in de SDE++ subsidieregeling. Hiervoor is veel belangstelling. In 2023 zijn hiervoor 300 aanvragen gedaan³¹.

Nederland heeft in het programma Groen Gas als doelstelling vastgesteld om in 2030 circa 2 miljard m³ groen gas te produceren. Als alle mest in Nederland zou worden vergist, levert dit circa 1 miljard m³ gas, 50% van de doelstelling.

De verdere ontwikkeling van mestvergisting hangt uiteraard sterk samen met de ontwikkeling van de veehouderij in Nederland.

Invloed op omgeving

Mestvergisters worden geplaatst bij veehouderijen. De invloed op de omgeving is beperkt.

Kosten

De productie van Groen Gas uit mestvergisting is opgenomen in de SDE++ subsidie. Ten behoeve hiervan heeft het Planbureau voor de Leefomgeving kostenanalyses gemaakt (ref. [3]). De investering voor een mestvergister tot 110 kW (circa 88.000 kuub groen gas per jaar) wordt geschat op 5.419 € per kW. Voor een 110 kW systeem, geschikt voor een melkveebedrijf met circa 200 koeien komt dit neer op circa 600.000 €.

De kostprijs voor deze vorm van energie wordt geschat op 21,87 ct€ per kWh. Dit komt overeen met circa 2,20 € per m³ groen gas.

Toepassing in Nederland

Mestvergisting neemt toe. Er zijn diverse aanbieders van mestvergisters. Mestvergisters (en de opwaarderings-installatie) worden meestal geëxploiteerd door één of enkele boeren.

Er zijn geen (breder) energiecoöperaties bekend die mede-eigenaar zijn van een mestvergistingsinstallatie.

Samenvatting

Groen gas	
Doel	Vervanging aardgas
Schaal	72 kW - 2,2 MW Boerderijschaal: 200 melkkoeien, 88.000 m ³
Stand van de techniek	Wordt toegepast
Invloed op omgeving	
Visueel	Beperkt
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Beperkt
Hinder	Beperkt
Invloed op het net	Geen
Kosten	
Investeringen	3.035 - 5.419 €/kW
Operationele kosten	Vast: 215 - 400 €/kW input Variabel: 0,021 - 0,073 €/kWh output
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,10 - 0,219 €/kWh

³¹ Bron: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bio-energie/vergisting-en-vergassing/monomestvergisten>

Subsidie / ondersteuning	SDE++
Collectief lokaal eigendom	Geen projecten bekend

5

Technieken voor energieopslag

Een veelgehoorde veronderstelling is dat de verduurzaming van ons energiesysteem door een overgang op grootschalige wind en zon niet kan lukken zonder enige vorm van energieopslag. Immers, energie uit wind en zon is niet altijd beschikbaar, aangezien het niet altijd waait en de zon niet altijd schijnt. Naast deze voor de hand liggende behoefte om energie beschikbaar te hebben op momenten dat er geen wind en zon is, zijn er nog een aantal goede redenen om opslag te gebruiken. Hieronder zijn een aantal effecten genoemd die kunnen ontstaan bij de inpassing van grote hoeveelheden wind en zon en waar energieopslag een positief effect zou kunnen hebben:

- Het invoeden van steeds grotere hoeveelheden fluctuerende stroom heeft tot gevolg dat de prijzen van energie volatieler worden. Prijsvolatiliteit is misschien aantrekkelijk voor de energiehandel en marktspeculatie, maar draagt niet bij aan duurzaamheid.
- Een overaanbod van (beperkt stuurbare) duurzame energie veroorzaakt lagere prijzen waardoor de businesscase van wind- en zonne-energie verslechtert. Een lage winstgevendheid vermindert de prikkel om te investeren in hernieuwbare energie.
- Piekbelastingen van duurzame opwek kunnen netwerkstoringen of uitval tot gevolg hebben en problemen met de stroomkwaliteit zoals spanningsval of harmonische vervuiling veroorzaken. Instabiele en onbetrouwbare energiesystemen kunnen miljoenen euro's schade veroorzaken.

Er zijn meerdere maatregelen die de omschakeling naar een duurzaam energiesysteem op basis van wisselvallige energieopwek mogelijk kunnen maken, waaronder de uitbreiding van het aantal elektrische interconnecties tussen landen voor meer import- en export van elektriciteit, het afschakelen van windturbines of zonneparken (curtailment), vraagsturing (demand-response) en tenslotte conversie van energie, waarbij elektriciteit omgezet wordt naar andere energiedragers, zoals waterstof.

Opslag van energie is dus niet het enige bouwblok wat een duurzaam energiesysteem mogelijk maakt. Het is wel de verwachting dat juist een combinatie van alle bovenstaande oplossingen nodig is om een betaalbaar en betrouwbaar energiesysteem mogelijk maken. Er zijn inmiddels vele onderzoeken, analyses en simulaties gedaan naar de haalbaarheid van 100% duurzame energiesystemen³², zowel in Europa als wereldwijd zie referenties [8], [9], [10], [11], [12]. Uit deze studies blijkt dat het in Europa goed mogelijk is om tegen 2040 een 100% hernieuwbaar energiesysteem te bouwen wat betrouwbaar én betaalbaar is, wat voldoet aan de ambitieuze doelstelling van het Akkoord van Parijs, met de bouwblokken van nu, zonder daarbij te hoeven vertrouwen op nog te ontwikkelen disruptieve energie innovaties.

³² <http://neocarbonenergy.fi/internetofenergy/>

De voorwaarden voor het bereiken van een 100% hernieuwbaar energiesysteem in Europa blijken daarbij in belangrijke mate afhankelijk van opslag. Energieopslag is daarmee geen strikte voorwaarde voor de voortgang van de energietransitie op lokaal niveau, maar het draagt wel bij aan de een betere benutting van de bestaande elektrische infrastructuur en op nationaal en internationaal niveau aan de betrouwbaarheid en betaalbaarheid van het gehele energiesysteem.

Op hoofdlijnen zijn er drie soorten energieopslag te onderscheiden: elektrische opslag, opslag van warmte of chemische energieopslag (zoals in fossiele brandstoffen en waterstof).

De specifieke eigenschappen van de genoemde opslagtypen maken deze meer of minder geschikt om een bepaalde functie te vervullen. Het benutten van de prijsvolatiliteit is praktisch te realiseren via elektriciteitsopslag, omdat het dan ook mogelijk is om elektriciteit terug te leveren aan het net als de elektriciteitsprijzen hoog zijn. Thermische energieopslag is veel minder geschikt voor het benutten van de prijsvolatiliteit, omdat het 'laden' van warmte over het algemeen lang duurt en lage prijzen over het algemeen niet lang aanhouden. Om het eigenverbruik van elektriciteitsproductie te vergroten en extra opwek mogelijk te maken, kan zowel elektrische als thermische energieopslag worden toegepast. De keuze voor een type energieopslag is sterk afhankelijk van het uiteindelijke doel van de energie.

Opslag van energie heeft ook een groeiende belangstelling van energiecoöperaties, maar het aantal projecten is nog beperkt. Er zijn enkele batterijen, gekoppeld aan een zonnepark, en enkele waterstof-projecten³³.

In de onderstaande paragrafen worden de meest relevante opslagmethodes behandeld voor elk van de bovengenoemde hoofdtypen energieopslag.

5.1 Batterijen

Beschrijving

Tot 2016 waren batterijen voor consumentenelektronica het dominante marktsegment voor de vraag naar lithium-ion batterijopslag. Sindsdien zijn elektrische mobiliteit en stationaire opslag echter de toepassingen die bepalend zijn voor de sterke groei van het (lithium-ion) batterijsegment. Die groei is te danken aan een toenemende elektrificatie van vervoer, industrie, MKB en de wens van huishoudens om het eigenverbruik van hun opgewekte zonnestroom te verhogen.

In 2022 bedroeg de wereldwijde vraag naar lithium-ion batterijen ongeveer 770 GWh. De huidige prognose voor de wereldwijde vraag in 2030 bedraagt 4.900 GWh, zie ref. [13]. De twee grootste batterijsegmenten zijn elektrische voertuigen (75%) en stationaire opslag (17%). Opslag voor consumentenelektronica beslaat slechts nog een klein gedeelte (5%) van de totale batterijmarkt.

De sterke opkomst van elektrisch vervoer is bepalend voor de continue verbeteringen in de energiedichtheid van batterijen en gelijktijdig dalende kosten. De energiedichtheid van de huidige generatie lithium-ion batterijen ligt echter dicht bij het theoretische maximum. Er is wereldwijd veel onderzoek en ontwikkeling naar batterijinnovaties die hogere energiedichtheden mogelijk maken en die ook kunnen voldoen aan de eisen die de autoindustrie stelt aan levensduur, veiligheid, laadsnelheid en kosten. De volgende stapsgewijze verbeteringen in prestaties en kosten

³³ Bron: <https://www.hier.nu/lokale-energie-monitor-2023/nieuwe-ontwikkelingen>

zullen naar verwachting afkomstig zijn van innovaties in siliciumanodes en de volgende generatie solid-state en natrium-ion batterijen.

Elektrische voertuigen zijn de sleuteltechnologie om transport en wegvervoer te verduurzamen, maar deze batterijtoepassing wordt hier niet behandeld, omdat deze in principe gericht is op het vervangen van fossiele brandstoffen voor vervoer en niet op de inpassing van duurzame opwek. Stationaire batterijopslag is daarentegen wel rechtstreeks ondersteunend aan de verduurzaming van de energievoorziening³⁴.

Toepassingen voor stationaire batterijopslag kunnen worden geclusterd in gebruiksscenario's vóór- en achter-de-meter. Batterijtoepassingen achter-de-meter zijn bijvoorbeeld: het leveren van noodstroom, piekstroom, het verhogen van het eigenverbruik en het leveren van flexibiliteit door elektriciteitsvraag en aanbod beter op elkaar aan te sluiten. Gebruiksscenario's vóór-de-meter zijn bijvoorbeeld: energiehandel (onbalans en day-ahead markt) en netondersteuningsdiensten zoals frequentieregulering en verbetering van de spanningskwaliteit.

Thuisbatterijen

Een thuisbatterij is een batterij met een grote opslagcapaciteit, die alle elektrische apparatuur in een woning enkele uren tot dagen van energie kan voorzien. De meeste thuisbatterijen zijn gebaseerd op lithium-ion-technologie, die voornamelijk met zonnestroom worden opgeladen. Pas wanneer de thuisbatterij leeg is, zal weer stroom van het elektriciteitsnet worden gehaald.

Bij een woning voorzien van voldoende zonnepanelen en een gemiddeld consumptieprofiel van de bewoners, wordt ongeveer 30% - 40% van de zelf opgewekte elektriciteit meteen verbruikt (de momentane energie opwek valt dan samen met de momentane energie vraag). Het resterende elektriciteitsoverschot wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Met behulp van een batterijopslagsysteem, kan een gemiddeld huishouden over het hele jaar beschouwd, tussen de 75% en 80% van de zelf opgewekte elektriciteit van de zonnepanelen gebruiken. In principe is het mogelijk om in de lente en zomermaanden (als zonnepanelen veel energie opwekken) zelfs volledig onafhankelijk van het elektriciteitsnet te zijn. In de wintermaanden, als de zonnepanelen weinig opwekken en er dus zelden een overschot aan elektriciteit is om op te slaan in de batterij, wordt de elektriciteit hoofdzakelijk uit het net betrokken.

De reden waarom de thuisbatterij in Nederland nog niet economisch interessant is, komt met name door de salderingsregeling voor zonnepanelen. Deze regeling houdt in dat alle opgewekte zonnestroom over een geheel jaar verrekend mag worden met de stroom die verbruikt is op de momenten waarop geen stroom opwekt werd. Hierbij vervult het elektriciteitsnet dus de functie van een (ideale) batterij. Als de salderingsregeling voor zonnepanelen in Nederland wordt omgezet in een nieuwe (soberder) regeling, worden thuisbatterijen sneller economisch interessant.

Vanwege het afschaffen van de salderingsregelingen voor zon-PV in België en Duitsland zijn thuisbatterijen daar populair. Bij installatie van nieuwe zon-PV systemen op particuliere gebouwen is batterijopslag nu de standaard in Duitsland. Mede door de hoge energieprijzen en de sterk dalende kosten voor batterijen, verdubbelde in Duitsland in 2023 het aantal batterijen gekoppeld

³⁴ Hoewel elektrisch vervoer een toenemende impact heeft op de energievoorziening, energieverbruik en energie-infrastructuur in een gemeente, wordt dit hier beschouwd als een autonome ontwikkeling van de mobiliteitssector die niet rechtstreeks verband houdt met grootschalige opwek- van duurzame energie of de inpassing daarvan. Een laadplein met stationaire opslag om vraag en aanbod van elektriciteit voor mobiliteit met elkaar in balans te brengen is wel een voorbeeld van een batterijtoepassing die ondersteunend is aan de inpassing van duurzame energie.

aan zonne-energie tot meer dan een miljoen (volgens de Bundesverband Solarwirtschaft)³⁵. De gezamenlijke capaciteit van 12 GWh, is voldoende om 1,5 miljoen tweepersoonshuishoudens een dag van stroom te voorzien.

Kwantificatie

Op dit moment zijn de kosten van de thuisbatterij nog relatief hoog. Afhankelijk van de gewenste opslagcapaciteit, bedragen de kosten tussen 3.000 en 9.000 euro, met een gemiddelde prijs per kWh van 300 - 600 euro (excl. BTW). De huidige break-even kosten voor een geïnstalleerd thuisbatterijsysteem in woningen met voldoende zonnepanelen en een gemiddeld stroomverbruik liggen op circa 475 euro/kWh. De kale prijs voor de batterijen zelf bedraagt dan ongeveer 300 euro/kWh. De terugverdientijd bedraagt dan ongeveer 10-12 jaar, voor een huishouden met. De levensduur van een thuisbatterij bedraagt ook ongeveer 15 jaar.

Overigens is een kale batterijprijs lager dan 100 euro/kWh nodig voor een echt overtuigende businesscase en overzienbare terugverdientermijnen, waarmee opslag echt zou kunnen doorbreken. Daarnaast moeten batterijen verder doorontwikkeld worden t.a.v. veiligheid, levensduur, duurzaamheid en hergebruik, om als volwassen bouwblok aan het energiesysteem bij te kunnen dragen.

Als de salderingsregeling verdwijnt of sterk wordt versoerd, kunnen thuisbatterijen een goede aanvulling zijn op PV-panelen. Ondanks de huidige bescheiden positieve businesscase voor thuisbatterijen, kan de inzet van batterijen in combinatie met zonopwek, door de verhoging van het eigenverbruik in woningen, nu wel een belangrijke bijdrage leveren aan het verminderen van netcongestie.

Batterijen voor industrie en MKB, ontwikkelingen en toekomstverwachting

Uit diverse studies blijkt dat de kostprijs van opslag in verhouding moet komen met de lage kostprijs van energie uit zon en wind, om op grote schaal een bijdrage te leveren aan de verduurzaming op MKB en industrie niveau. Om de dagelijkse opslag van energie uit zon en wind economisch aantrekkelijk te maken, zijn verregaande kostendalingen van batterijen nodig tot een niveau lager dan 75 €/kWh, zie ref. [9], [12] en [14]. Voor langdurige opslag van energie (weken en maanden) moeten de kosten zelfs lager worden dan 20 €/kWh, zie ref. [11]. Gezien de stand van de techniek en de voorziene ontwikkelingen op batterijgebied is het realistisch dat dit op termijn (2035-2040) haalbaar is.

Een andere ontwikkeling die van groot belang is voor grootverbruikers en bedrijven die hun gebruik goed kunnen (gaan) regelen zijn de nieuwe alternatieve transportrechten die moeten zorgen voor ontlasting van het stroomnet.

Netcongestie wordt veroorzaakt door pieken in het net, die toenemen als gevolg van de groei in zon- en windenergie en door elektrificatie van verwarming en mobiliteit. Bedrijven en grootverbruikers van elektriciteit moeten daardoor lang wachten op een nieuwe aansluiting of het vergroten van hun huidige netaansluiting. Netcongestie doet zich vooral voor op piekmomenten waarop er meer aanbod of vraag is naar elektriciteit dan het elektriciteitsnet aankan. Buiten deze spits is er vaak wel ruimte op het net.

³⁵ Bron: <https://www.solarwirtschaft.de/2024/01/17/speicherkapazitaet-von-solarbatterien-2023-verdoppelt/>

Netbeheerders gaan in 2025 tijdsduur- en tijdsblokgebonden transportrechten en tijdsgebonden transporttarieven instellen, naast een volledig variabel transportrecht. Het invoeren van deze maatregelen is van belang om bestaande en nieuwe bedrijven met een grootverbruikaansluiting te stimuleren om te flexibiliseren.

De nieuwe contractvormen zijn dan ook met name interessant voor bedrijven die flexibel met de beschikbare capaciteit op het net om kunnen gaan. Batterijen en energieopslag gaan daarmee een belangrijke rol spelen in het realiseren van die flexibilisering. Onder welke omstandigheden het voor bedrijven interessant wordt om batterijen in te zetten hangt sterk af van hun gebruiksscenario en van de uiteindelijke contractvoorwaarden voor alternatieve transportrechten.

Samenvatting

Batterijopslag	
Doel	Electrificatie Benutting opwek en aansluiting Netcongestie verminderen
Schaal	3 - 20 kWh (particulieren) 10 kWh - 60 MWh (bedrijven)
Stand van de techniek	Marktrijp - diverse marktpartijen voor thuisbatterijen en MKB.
Invloed op omgeving	Geen
Visueel	Geen
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Beperkt
Hinder	Veiligheidsmaatregelen
Invloed op het net	Verhogen van betrouwbaarheid, regelbaarheid, voorspelbaarheid, flexibiliteit
Kosten	
Investeringen	300 – 600 €/kWh excl. installatie
Operationele kosten	Afhankelijk van de gebruiksscenario en toepassing
LCOE/Basisbedrag	
Subsidies / ondersteuning	EIA
Collectief lokaal eigendom	Enkele projecten

5.2 Warmteopslag

In 2022 was de totale warmtevoorziening verantwoordelijk voor ongeveer 41% van het primaire energiegebruik in Nederland (bron: CBS/Energiebeheer Nederland³⁶). Dit is veruit de grootste verbruiker van energie in Nederland. Ongeveer de helft van het totale primaire energieverbruik in de vorm van warmte wordt gebruikt in de gebouwde omgeving (22%) voor de verwarming van onze huizen en gebouwen. De andere helft (19%) wordt gebruikt voor industriële warmte toepassingen. Verduurzamen van onze warmtevraag heeft daarmee een grote impact op het totale energiegebruik en de CO₂ uitstoot en is essentieel voor de energietransitie.

Warmteopslag kan potentieel een grote bijdrage leveren aan de energietransitie. Door in tijden van overvloed energie op te slaan als warmte voor later gebruik, kunnen duurzame bronnen beter

³⁶ Bron: <https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2024/01/EBN-Infographic-2024.pdf>

worden benut, congestie op het elektriciteitsnet worden voorkomen en kan de noodzaak voor extra (fossiele) centrales voor de piekvraag worden vermeden.

Er zijn verschillende technieken voor warmteopslag:

- Voelbare warmteopslag in water (voor temperaturen tussen de 0 - 100 °C)
- Voelbare warmteopslag in vloeibaar zout, olie, zand, steen en keramiek (voor temperaturen tussen de 100 en 1000 °C).
- Latente warmteopslag in faseovergangsmaterialen (PCM's).
- Warmteopslag in thermochemische materialen (TCM), bijvoorbeeld chemische reactie tussen een zout en water.
- Warmteopslag in metalen (redox reacties), bijvoorbeeld oxidatie van ijzerpoeder.

Alleen de voelbare laagtemperatuur warmteopslag in water is technisch ver genoeg ontwikkeld en beschikbaar om op grote schaal en in diverse toepassingen te worden benut, bijvoorbeeld m.b.v. elektrische boilers en boven- of ondergrondse waterbassins. Voelbare hoogtemperatuur warmteopslag in andere materialen moet nog verder worden doorontwikkeld voordat deze tot brede implementatie kan komen. PCM's, TCM's en warmteopslag via redox reacties bevinden zich nog in de innovatiefase.

Beschrijving laagtemperatuur warmteopslag

Huishoudens en MKB/industrie kunnen hun laagtemperatuur warmtebehoefte eenvoudig elektrificeren met elektrische boilers als vervanging van fossiel gestookte verwarmingsinstallaties. Voor huishoudens kan een E-boiler de traditionele gasketel vervangen voor het leveren van tapwater en bedrijven kunnen hun WKK vervangen door een boiler voor het leveren van laagtemperatuur warmte. Door flexibele warmteproductie plaats te laten vinden op momenten dat de elektriciteit afkomstig is uit hernieuwbare bronnen helpen elektrische boilers mee aan de balanshandhaving op het elektriciteitsnet. De elektrische boilers kunnen rechtstreeks gekoppeld zijn aan zon-PV systemen of aan het net. In het eerste geval helpen de boilers om "achter-de-meter" het eigenverbruik van opgewekte duurzame energie te verhogen, waarmee het elektriciteitsnet wordt ontlast. In het geval van netkoppeling is het aannemelijk dat op momenten waarbij veel duurzame energie wordt geproduceerd, de elektriciteitsprijzen relatief laag zijn ten gevolge van de lage marginale kosten van hernieuwbare opwek. Voor de eigenaar van de installatie is het aantrekkelijk om zich juist in deze uren van elektrisch geproduceerde warmte te voorzien.

Er is in Nederland een ruim aanbod van elektrische boilers voor huishoudens, die rechtstreeks aangesloten kunnen worden op zon-PV systemen, of aangestuurd kunnen worden via dynamische beprijzing. De elektrificatie van de tapwaterbehoefte van huishoudens via elektrische boilers wordt beschouwd als een marktrijpe techniek waarbij de transitie autonoom plaatsvindt. In de onderstaande tabel zijn daarom alleen de kentallen opgenomen voor laagtemperatuur warmteopslag voor MKB en industrie die gestimuleerd en gesubsidieerd wordt door de overheid.

Samenvatting

Lagtemperatuur warmteopslag	
Doel	Elektrificatie Benutting opwek en aansluiting Netcongestie verminderen
Schaal	20 MW _e (zie SDE++)
Stand van de techniek	Marktrijp - aanbod van diverse marktpartijen

Invloed op omgeving	Beperkt, vergelijkbaar met aardgas infrastructuur
Visueel	Geen
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Beperkt
Hinder	Veiligheidsmaatregelen
Invloed op het net	Verhogen van betrouwbaarheid, regelbaarheid, voorspelbaarheid, flexibiliteit
Kosten	
Investeringskosten	257 €/kW _e
Operationele kosten	Vast: 195 €/kW _{th} /jaar Variabel: 0,033 €/kWh _{th}
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,111 €/kWh _{th}
Subsidies / ondersteuning	SDE++
Collectief lokaal eigendom	Nee

Beschrijving hogetemperatuur warmteopslag

Een van de belangrijkste aspecten van grootschalige elektrificatie is het samenbrengen van vraag en aanbod van elektriciteit. Duurzame elektrische warmteproductie moet daarom idealiter aansluiten bij de beschikbaarheid van zon en wind, maar industriële installaties zijn over het algemeen ontworpen voor continubedrijf. Dit vormt een sterke beperking voor de toepassing van duurzame warmte. Het aantal uren warmteproductie op CO₂-vrije elektriciteit kan echter worden vergroot door gebruik te maken van thermische opslag.

Hogetemperatuur-thermische opslag betreft het gebruik van thermische opslag voor de uitgestelde levering van hoge-temperatuurwarmte (boven de 100°C) aan industriële productieprocessen. Voor warmteconsumerende industriële processen zijn verschillende technieken in ontwikkeling en op de markt. Als opslagmedium kan gesmolten zout worden gebruikt, maar ook bijvoorbeeld zand, steen en staalslakken.

Schaalbaarheid

De aantrekkingskracht van hogetemperatuur warmteopslag is dat deze realiseerbaar is met standaard technische kennis en bestaande technische componenten (pompen, pijpen, isolatie, besturing etc.). Deze opslagvorm laat zich wel lastig schalen, omdat er veel volume (en dus ruimte en materiaal) nodig is om op industriële schaal warmte op te slaan. Er is ook veel isolatiemateriaal nodig om warmteverliezen tegen te gaan, wat tot hoge investeringskosten leidt. Daarnaast laat warmte zich in tegenstelling tot elektriciteit, maar moeilijk transporteren (maximaal 1000 meter i.v.m. 1000 kilometer). Tenslotte stroomt warmte relatief traag, waardoor laden en ontladen lang duurt en een beperking vormt in het meebewegen met vraag en aanbod. Deze aspecten maken dat grootschalige hogetemperatuur warmteopslag maar moeilijk tot implementatie komt.

Toch zijn er diverse prototypen en pilotprojecten in Nederland die werken aan hoge temperatuur warmteopslag in steen. Sinds 2024 is hogetemperatuur thermische opslag ook toegevoegd aan de categorie van technieken die leiden tot een reductie van de uitstoot van broeikasgassen en daarmee in aanmerking komen voor exploitatiesteun in de vorm van een SDE++ subsidie, zie ref. [3]. Hiermee wordt implementatie en doorontwikkeling van deze opslagtechniek gestimuleerd.

Samenvatting

Hogetemperatuur warmteopslag	
Doel	Elektrificatie Benutting opwek en aansluiting Netcongestie verminderen
Schaal	12,5 – 50 MW _{th} (zie SDE++)
Stand van de techniek	In ontwikkeling - pilot projecten
Invloed op omgeving	Beperkt, vergelijkbaar met aardgas infrastructuur
Visueel	Geen
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Beperkt
Hinder	Veiligheidsmaatregelen
Invloed op het net	Verhogen van betrouwbaarheid, regelbaarheid, voorspelbaarheid, flexibiliteit
Kosten	
Investeringskosten	1.069 [€/kW _{th}], zie SDE++
Operationele kosten	Vast: 326 [€/kW _{th} /jaar] Variabel: 0,0339 [€/kWh _{th}]
LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,1359 [€/kWh _{th}] zie SDE++
Subsidies / ondersteuning	SDE++
Collectief lokaal eigendom	Nee

5.3 Waterstof

Beschrijving

In de transitie naar een energiesysteem op basis van 100% duurzame bronnen kan waterstof als energieopslagmedium een waardevolle bijdrage leveren. Praktisch toepasbare opslagmethoden voor energie moeten voldoen aan veel randvoorwaarden. Ze moeten bij voorkeur grote hoeveelheden energie kunnen opslaan (capaciteit), de energie snel kunnen opnemen en afstaan (vermogen), weinig verliezen hebben (zowel bij toe- en afvoer als bij opslagduur) en economisch aantrekkelijk zijn. In principe voldoet waterstof aan veel van deze eisen. Er zijn echter ook nadelen. Om niet teveel ruimte in te nemen wordt waterstof onder hoge druk opgeslagen, wat relatief duur is. Bij de productie van waterstof uit elektriciteit gaat veel energie verloren, evenals bij de terugconversie naar elektriciteit. Seizoensopslag heeft verder het nadeel dat de benuttingsgraad van het opslagsysteem laag is (door de seizoenoverbrugging) waardoor economische exploitatie moeilijk wordt.

Waterstof kan gebruikt worden voor het verduurzamen van diverse processen in de (chemische) industrie, voor transport, voor de gebouwde omgeving en als opslagmedium in de energiesector. Groene waterstof is voorlopig nog zeer beperkt beschikbaar. Het is dan logisch om waterstof in te zetten in die sectoren waar weinig of geen alternatieven voor verduurzaming voorhanden zijn. De waterstofladder³⁷ geeft inzicht welke toepassingen meer prioriteit hebben dan andere.

Waterstof wordt gezien als een kansrijke optie voor de verduurzaming van hoog-temperatuur industriële processen, als grondstof voor chemische procesindustrie, als bufferfunctie in de

³⁷ Bron: <https://www.natuurenmilieu.nl/themas/energie/projecten-energie/waterstof/waterstof-de-waterstofladder/>

energiesector en tenslotte voor de verduurzaming van zwaar transport (varen en vliegen). Waterstof is minder kansrijk in de verduurzaming van personenmobiliteit en verwarming van huizen, waar betere alternatieven voorhanden zijn.

Als waterstof gemaakt wordt van duurzame elektriciteit (groene waterstof) dan leidt de toepassing daarvan inderdaad tot vermindering van CO₂ emissie. Diezelfde duurzame elektriciteit kan echter in veel gevallen op een andere manier worden toegepast die leidt tot nog meer vermindering van CO₂ emissies. Het is daarom wenselijk dat groene waterstof alleen wordt ingezet voor die toepassingen waar geen andere duurzame alternatieven beschikbaar zijn.

Kwantificatie

Na Duitsland is Nederland de grootste producent én gebruiker van 'grijze' waterstof per jaar in Europa (bron: Hydrogen Europe³⁸). Vrijwel alle waterstof in Nederland (1,5 miljoen ton per jaar) wordt geproduceerd uit aardgas en wordt daarom 'grijze' waterstof genoemd. In het productieproces reageert stoom (H₂O) onder hoge druk met aardgas (CH₄) met als resultaat waterstof (H₂) en het broeikasgas CO₂.

'Groene' waterstof, is waterstof die geproduceerd is met duurzame energie. Via elektrolyse wordt water (H₂O) met elektriciteit gesplitst in waterstof (H₂) en zuurstof (O₂). De kosten hiervan zijn relatief hoog. Er is veel energie nodig om de sterke binding tussen de elementen te breken. Gemiddeld is 58 kWh elektriciteit en 9 liter zeer zuiver water nodig om een kilogram waterstof via electrolyse te maken. De energieinhoud van een kg waterstof bedraagt ongeveer 39 kWh.

Schaalbaarheid

De benodigde electrolyzers zijn nog steeds relatief duur en de kosten dalen minder hard dan vaak wordt verwacht. Duurzame elektriciteit is nu nog relatief schaars en wat gebruikt wordt voor elektrolyse kan niet worden benut voor verduurzaming van andere processen (elektrificatie). In 2023 kwam 48 procent van de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare bronnen zoals zon, wind en water³⁹. Grote hoeveelheden groene waterstof kunnen pas beschikbaar komen als de kosten van electrolyzers sterk dalen en duurzame elektriciteit ruim beschikbaar is.

Opmerkelijk is dat de olieraffinagesector de grootste waterstof gebruiker (45%) is van waterstof in de EU. Waterstof is namelijk onmisbaar in het dieselraffinageproces. Daarnaast wordt een groot deel van de beschikbare waterstof in Europa (35%) benut in de chemische industrie om ammoniak te maken (NH₃). In Nederland wordt deze grondstof vervolgens hoofdzakelijk benut om kunstmest te produceren. De noodzakelijke uitfasering van deze CO₂ intensieve sectoren zal ruimte bieden om de schaarse waterstof in te zetten voor duurzame toepassingen.

Trends en ontwikkelingen

De ontwikkeling van electrolyzers is gericht op verdere kostendalingen en verbeteringen van de efficiëntie in de omzetting van elektriciteit naar waterstof. De potentiële kostendaling is echter begrensd, omdat electrolyzers complexe en materiaalintensieve installaties zijn, die bestand moeten zijn tegen hoge drukken en corrosieve gassen en vloeistoffen. Daarnaast zijn kostbare metalen zoals platina (Pt) en iridium (Ir) nodig als katalysator voor de elektrochemische waterstof- en zuurstofreacties. Een duidelijk waarneembare trend om de kosten te reduceren is de

³⁸ Bron: https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/10/Clean_Hydrogen_Monitor_11-2023_DIGITAL.pdf

³⁹ Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/10/bijna-helft-elektriciteitsproductie-komt-uit-hernieuwbare-bronnen>

toenemende schaal van electrolyzers, van 1 MW tot 1000 MW en het terugdringen van de kosten van de overige delen van het systeem (balance-of-plant).

Invloed op omgeving

Wind, zon en biomassa zijn volwassen technologieën die in het landschap zichtbaar zijn en als zodanig herkenbaar zijn. Waterstofinfrastructuur is minder ruimte-intensief en beeldbepalend. Voor de productie van ‘groene’ waterstof is elektriciteit uit wind en zon echter randvoorwaardelijk, ook als de electrolyser niet rechtstreeks aan een wind- of zonnepark is gekoppeld, maar via het net.

Subsidies en toepassing in Nederland

Om waterstofprojecten economisch rendabel te maken zijn er diverse investerings-, exploitatie-, of onderzoeksubsidies van de overheid.

Sinds 2020 is grootschalige waterstofproductie via elektrolyse als categorie opgenomen in de subsidieregeling SDE++, zie referentie [3].

De OWE subsidie (Subsidieregeling grootschalige productie volledig hernieuwbare waterstof via elektrolyse) ondersteunt de bouw van waterstoffabrieken en electrolyzers in Nederland. In 2023 waren er 7 partijen die OWE subsidie kregen op hun grootschalige waterstofproject⁴⁰.

De subsidieregeling Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) is bedoeld voor ondernemers of eindgebruikers die willen investeren in (innovatieve) toepassingen van waterstof.

De aanleg van een landelijke waterstofnetwerk is in 2023 van start gegaan. Tot 2030 ontwikkelt de Gasunie een aaneengesloten netwerk⁴¹ dat Nederlandse havens en industriële clusters met waterstofopslag en onze buurlanden zal verbinden.

Samenvatting

Waterstof	
Doel	Verduurzamen chemische industrie en industriële hoog temperatuur processen
Schaal	0,5 - 100 MW _e , H ₂ energieinhoud = 39,32 kWh/kgH ₂ Rendement electrolyser = 67,5%
Stand van de techniek	pilot projecten
Invloed op omgeving	Beperkt, vergelijkbaar met aardgas infrastructuur
Visueel	Geen
Natuur	Geen
Ruimtegebruik	Beperkt
Hinder	Veiligheidsmaatregelen
Invloed op het net	Verhogen van betrouwbaarheid, regelbaarheid, voorspelbaarheid, flexibiliteit
Kosten	
Investeringskosten	2.200 [€/kWe], zie SDE++
Operationele kosten	Vast: 362 [€/kW _e /jaar] Variabel: 0,043 [€/kWh _{HV} H ₂]

⁴⁰ Bron: <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/owe#wie-kreeg-subsidie-in-2023%3F>

⁴¹ Bron: <https://www.gasunie.nl/expertise/waterstof/waterstofnetwerk>

LCOE/Basisbedrag	Basisbedrag: 0,3796 [€/kWh _{HHV} H ₂] zie SDE++
Subsidies / ondersteuning	SDE++ , OWE , DEI
Collectief lokaal eigendom	Enkele

6

Overheidsbeleid

De energietransitie vraagt om inspanningen en aanpassingen op veel terreinen. Het gaat daarbij natuurlijk over verschillende vormen van duurzame energie, zoals die in dit document worden kort worden beschreven. Maar naast de opwek van duurzame energie gaat het ook over de verschillende verbruikssectoren, zoals: de gebouwde omgeving met woningen, kantoren en utiliteitsgebouwen; de industrie en MKB; de mobiliteit, met personenvervoer en goederenvervoer; en de landbouw en andere vormen van landgebruik. Er is nog veel te besparen op energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen door bijvoorbeeld isolatie, procesaanpassingen, elektrificatie en andere aanpassingen.

Verder vraagt de energietransitie ook over aanpassingen van de infrastructuur die opwek en verbruik met elkaar verbindt. Het gaat daarbij om: het elektrische net, dat onder druk staat en er sprake is van netcongestie; over het gasnet, dat verminderd ingezet gaat worden; eventuele komst van warmtenetten; en om de verschillende contractvormen tussen aangeslotenen en de beheerders van deze netten.

De verschillende overheden proberen over deze volle breedte de energietransitie te ondersteunen. Op de verschillende terreinen wordt beleid gemaakt, waarbij de doelstellingen uit het Klimaatakkoord (ref. [1]) als basis dienen. Deze breedte komt op landelijk niveau ook tot uiting in het Nationaal plan energiesysteem van de Rijksoverheid (ref. [15]) en op gemeentelijk niveau in de Herijkte routekaart Energieneutraal (ref. [2]).

Zoals beschreven zijn de verschillende vormen van duurzame energie een deel van de energietransitie, maar uiteraard wel essentieel. Elke vorm van duurzame energie die een serieuze bijdrage kan leveren, is daarbij welkom.

De Rijksoverheid ondersteunt veel vormen van duurzame energie. Het belangrijkste instrument is de Subsidie Duurzame Energie of SDE++ regeling. Deze wordt hieronder nader toegelicht.

Een belangrijke randvoorwaarde voor nieuwe vormen van energie is draagvlak. Dat geldt zeker ook voor vormen van energie die invloed hebben op de leefomgeving van mensen. Belangrijk voor dat draagvlak is betrokkenheid van mensen, wat het best gerealiseerd kan worden door lokaal eigenaarschap, zodat mensen zelf ook de voordelen hebben en zeggenschap hebben over de invulling van het project en de verdeling van de inkomsten.

Voor het verkrijgen van voldoende draagvlak wordt in het Klimaatakkoord gestreefd naar tenminste 50% lokaal eigendom (van burgers en bedrijven). Dit is breed door gemeenten en provincies overgenomen als uitgangspunt van beleid⁴². Vaak zijn energiecoöperaties in beeld om invulling te geven aan deze doelstelling van lokaal eigendom. Het aantal energiecoöperaties in Nederland is in de afgelopen jaren toegenomen. Er zijn in het land diverse energiecoöperaties die eigenaar of

⁴² Ook in de Herijkte Routekaart van de gemeente Bronckhorst is gekozen voor 50% lokaal eigendom.

mede-eigenaar zijn van een zonnepark en/of windturbines. Voor andere vormen van energie is dat (nog) minder het geval, en misschien ook minder passend.

Het realiseren van een energieproject, van welke vorm ook, heeft veel aspecten, waarbij veel verschillende expertises nodig zijn. Energiecoöperaties ontstaan en bestaan door de vrijwillige inzet van betrokken mensen. Er komt veel op deze mensen af. Hierbij is ondersteuning door de overheden onontbeerlijk. Daarnaast is in de ontwikkeling van een project ook specifieke kennis en expertise moeten worden ingehuurd. Voor de kosten die dat met zich meebrengt is het Ontwikkelfonds Opwek ingesteld, waarbij deze aanloopkosten via een gunstige regeling kunnen worden gefinancierd. Deze regeling wordt in par. 6.2 nader toegelicht.

Tot slot staat ook de energietransitie niet op zich, maar heeft verbindingen met andere ontwikkelingen en transities in onze samenleving, zoals: Natuurontwikkeling en biodiversiteit; grondstoffenverbruik en circulariteit; en voedseltransitie en landbouw. Op elk van die terreinen werkt de overheid aan beleidsontwikkeling.

6.1 SDE++ subsidie

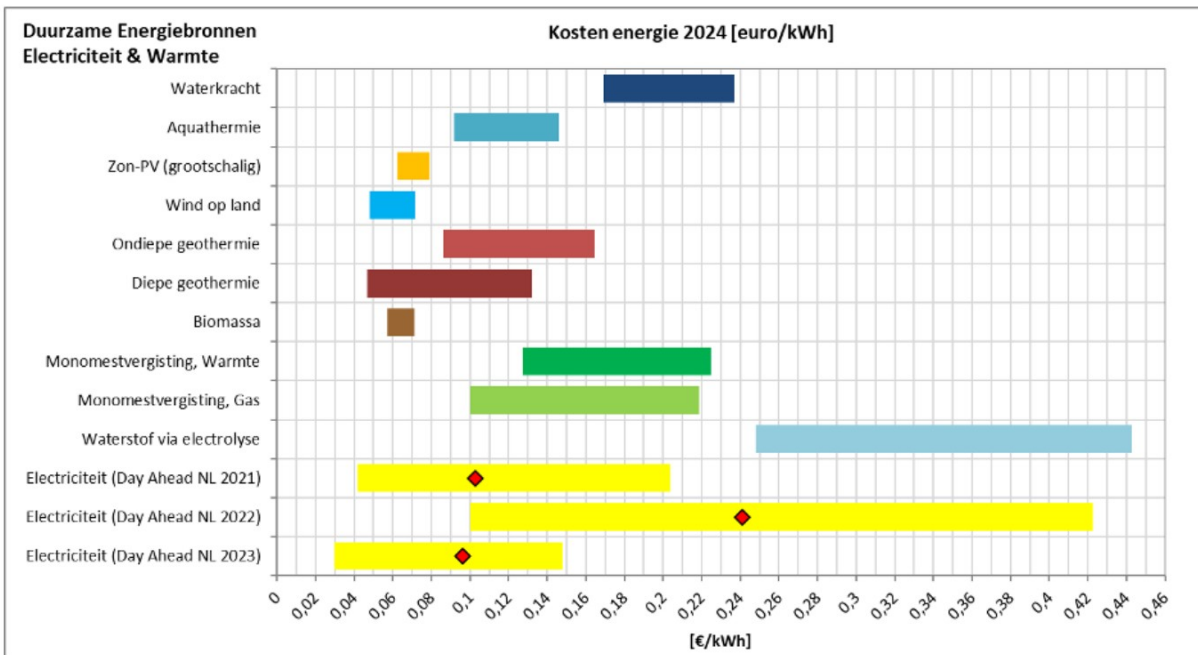
De Rijksoverheid ondersteunt de productie van verschillende vormen van duurzame energie in de vorm van de zogenoemde SDE++-subsidie. Het basisprincipe hierbij is dat de overheid een bepaald bedrag per kWh garandeert, dat voldoende is om een financieel gezond project te realiseren. Dit bedrag is feitelijk de kostprijs van de betreffende technologie en wordt ook wel 'basisbedrag' genoemd. Een deel van die inkomsten komt uit de verkoop van elektriciteit op de elektriciteitsmarkt, de rest (ook wel 'onrendabele top' genoemd) wordt dan aangevuld door de subsidie.

Elk jaar worden de kosten van verschillende vormen van duurzame energie geanalyseerd en gekwantificeerd door het Planbureau voor de Leefomgeving (ref. [3]). Dit document dient als basis voor de SDE++-subsidie.

In de praktijk blijken deze bedragen voldoende basis voor exploitanten om financieel gezonde projecten te kunnen realiseren.

De basisbedragen lopen uiteen voor de verschillende technologieën. Een overzicht is weergegeven in Figuur 1.

Ter vergelijking geven de gele balken in de figuur de elektriciteitsprijzen (op de Day-ahead-markt) weer in de jaren 2021, 2022 en 2023. De lengte van de balk geeft de prijsvariatie aan, de rode stip de gemiddelde prijs in dat jaar.



Figuur 1: Kostprijsbedragen voor verschillende vormen van elektriciteit. Bronnen: EPEX en PBL.

6.2 Ontwikkelfonds Opwek

Het Ontwikkelfonds Opwek is een regeling voor de provincies Drenthe, Limburg, Utrecht, Zuid-Holland en de regio Achterhoek. Uit dit fonds worden leningen verstrekt aan energiecoöperaties, voor ten hoogste 70% de aanloopkosten van een project voorafgaand aan de daadwerkelijke investering (haalbaarheidsonderzoek, vergunningsaanvraag, bouwvoorbereiding, e.d.)⁴³.

Het risico dat het project niet doorgaat, terwijl er wel kosten zijn gemaakt, ligt bij het fonds: De lening hoeft in dat geval niet terugbetaald te worden. Daar staat tegenover dat als het project wel succesvol wordt gerealiseerd en inkomsten genereert, dat dan de lening met een extra opslag moet worden terugbetaald.

Voorwaarde is dat de coöperatie tenminste 50% eigenaar moet zijn van het project. Verder is de regeling uitsluitend bedoeld voor projecten voor windenergie of zonne-energie.

⁴³ Bron: <https://energiesamen.nu/pagina/77/ontwikkelfonds-voor-energiecooperaties>

7

Overzichtstabel technieken

Opwektechnieken	Technieken voor duurzame elektriciteit								Technieken voor duurzame warmte					Duurzaam gas
	Zon-PV op woningen	Zon-PV op grote daken	Zonneparken	Windenergie groot	Windenergie klein	Waterkracht	Kernenergie conventioneel	Kernenergie SMR's	Aardwarmte of geothermie	Aquathermie	Biomassaketels	Energiecentrales, afvalcentrales	Zon-thermisch	Groen gas
Doel	Elektriciteit voor woning, deel direct eigen verbruik	Elektriciteit voor op het net	Elektriciteit voor op het net	Elektriciteit voor op het net	Elektriciteit voor eigen verbruik	Elektriciteit	Elektriciteit	Elektriciteit	Warmte	Warmte, koude	Warmte	Elektriciteit en warmte	Warmte woningen, volledig eigen gebruik	Vervanging aardgas
Schaal	Kleinschalig, 2 - 15 kWp	15 kWp - 10 MWp	15 kWp - 100 MWp	4 - 7 MW tiphoogte 190 - 260 m opwek 12 - 21 GWh per jaar	15 kW tiphoogte ca. 20 m opwek 0,025 GWh per jaar	Niet in NL	500 - 2.000 MW	20 - 100 MW	Ondiep (25-55°C): 8 MW _{th} Diep (70-110°C): 8-30 MW _{th} Ultradiep (120-140°C): 15-20 MW _{th}	0,6 - 10 MW Kantoren, utiliteit, warmtenetten	0,5 tot 50 MW	1 - 50 MW elektrisch 5 - 120 MW thermisch	2 GJ/m ² typisch huis 2,4 m ² => 4,8 GJ/jr	72 kW - 2,2 MW Boerderijschaal: 200 melkkoeien, 88.000 m ³
Stand van de techniek	Breed toegepast	Breed toegepast	Breed toegepast	Breed toegepast	Breed toegepast	Nvt	Beschikbaar, niet in NL	In ontwikkeling	Wordt toegepast in glastuinbouw, warmtenetten en industriële processen	Wordt toegepast	Beschikbaar	Beschikbaar	Beperkt toegepast	Wordt toegepast
Invloed op omgeving														
Visueel	Beperkt	Geen	Groot	Groot	Beperkt	Nvt	Lokaal groot	Beperkt	Beperkt	Geen	Geen	Geen	Geen	Beperkt
Natuur	Geen	Geen	Beperkt	Beperkt, afhankelijk van aanwezige soorten vogels en vleermuizen	Geen	Nvt	Groot (mijnbouw)	Groot (mijnbouw)	Geen	Beperkt	Geen	Afhankelijk van herkomst	Geen	Geen
Ruimtegebruik	Geen	Geen	Groot	Beperkt	Zeër beperkt	Nvt	Groot (mijnbouw)	Groot (mijnbouw)	Beperkt	Geen	Geen	Geen	Geen	Beperkt
Hinder	Geen	Geen	Geen	Groot. Sterk genormeerd. Afhankelijk van afstand.	Zeër beperkt	Nvt	Lokaal groot	Lokaal	Geen	Geen	Ja, fijnstof	Ja, fijnstof	Geen	Beperkt
Invloed op het net	Grote impact op het LS-net Capaciteitsfactor 11%	Grote impact op het LS-net Capaciteitsfactor 11% - 15%	Invloed op MS-net Eenzijdig regelbaar Capaciteitsfactor 11% - 15%	Invloed op MS-net Eenzijdig regelbaar Capaciteitsfactor 30 - 40%	Zeër beperkt	Nvt	Basislast Capaciteitsfactor 90%	Basislast lokaal Capaciteitsfactor 90%	Geen	Geen	Geen		Positief	Geen
Kosten														
Investeringskosten	1.000 - 1.250 €/kWp incl. montage en installatie	532 - 569 €/kWp (SDE++)	451 - 673 €/kWp (SDE++)	1.450 €/kW (SDE++)	4.000 €/kW	Nvt	Vele miljarden	Onbekend	1.119 - 2.972 €/kW (SDE++)	1.038 - 2.590 €/kW (SDE++)	554 - 939 €/kW (SDE++)		2.500 - €3.500 €/m ² incl. montage en installatie	3.035 - 5.419 €/kW (SDE++)
Operationele kosten	Onderhoudskosten €0	Vast: 0,111 - 0,117 €/kWp/jaar Variabel: 0,0019 €/kWh	Vast: 0,115 - 0,132 €/kWp/jaar Variabel: 0,0019 €/kWh	Vast: 13,4 €/kW _e /jaar Variabel: 0,0068 €/kWh	Onderhoudskosten €0	Nvt	Onbekend	Onbekend	Vast: 33 - 110 €/kW/jaar Variabel: 0,0064 - 0,028 €/kWh	Vast: 43 - 69 €/kW/jaar Variabel: 0,034 - 0,059 €/kWh	Vast: 30 - 55 €/kW/jaar Variabel: 0,0062 - 0,0064 €/kWh		Onderhoudskosten €0	Vast: 215 - 400 €/kW input Variabel: 0,021 - 0,073 €/kWh output
LCOE/Basisbedrag (SDE++)		Basisbedrag: 0,079 - 0,106 €/kWh	Basisbedrag: 0,062 - 0,079 €/kWh	Basisbedrag: 0,048 - 0,072 €/kWh	LCOE: 0,20 €/kWh				Basisbedrag: 0,047 - 0,132 €/kWh	Basisbedrag: 0,077 - 0,146 €/kWh	Basisbedrag: 0,057 - 0,071 €/kWh			Basisbedrag: 0,10 - 0,219 €/kWh
Subsidie / ondersteuning														
Subsidie	Salderingsregeling	SDE++	SDE++	SDE++	ISDE	SDE++	Nvt	Nvt	SDE++	SDE++	SDE++	Nvt	ISDE	SDE++
Lening voor aanloopkosten	Nvt	Ontwikkelfonds Opwek voor coöperaties	Ontwikkelfonds Opwek voor coöperaties	Ontwikkelfonds Opwek voor coöperaties	Nvt	Nvt								
Collectief lokaal eigendom	Nee	Vaak	Vaak	Vaak	Nee	Nvt	Nvt	Nvt	Enkele projecten in onderzoek	Ca. 30 in onderzoek of ontwikkeling	Een	Nee	Nee	Geen projecten bekend

Opslagtechnieken	Batterijopslag	Lagetemperatuur warmteopslag	Hogetemperatuur warmteopslag	Waterstof
Doel	Elektrificatie Benutting opwek en aansluiting Netcongestie verminderen	Elektrificatie Benutting opwek en aansluiting Netcongestie verminderen	Elektrificatie Benutting opwek en aansluiting Netcongestie verminderen	Verduurzamen chemie en hogetemperatuur processen
Schaal	3 - 20 kWh (particulieren) 10 kWh - 60 MWh (bedrijven)	20 MW _e (SDE++)	12,5 – 50 MW _{th} (SDE++)	0,5 - 100 MW _e energie = 39,32 kWh/kgH ₂ rendement electrolyser = 67,5%
Stand van de techniek	Marktrijp - aanbod van diverse marktpartijen	Marktrijp - aanbod van diverse marktpartijen	In ontwikkeling - pilot projecten	In ontwikkeling - pilot projecten
Invloed op omgeving	Geen	Beperkt, vergelijkbaar met aardgas infrastructuur		
Visueel	Geen	Geen		
Natuur	Geen	Geen		
Ruimtegebruik	Beperkt	Beperkt		
Hinder	Veiligheidsmaatregelen	Veiligheidsmaatregelen		
Invloed op het net	Verhogen van betrouwbaarheid, regelbaarheid, voorspelbaarheid, flexibiliteit			
Kosten				
Investeringskosten	300 – 600 €/kWh excl. installatie	257 €/kW _e (SDE++)	1.069 €/kW _{th} (SDE++)	2.200 €/kW _e (SDE++)
Operationele kosten	Afhankelijk van gebruiksscenario en toepassing	Vast: 195 €/kW _{th} /jaar Variabel: 0,033 €/kWh _{th}	Vast: 326 €/kW _{th} /jaar Variabel: 0,034 €/kWh _{th}	Vast: 362 €/kW _e /jaar Variabel: 0,043 €/kWh _{H₂}
LCOE/Basisbedrag (SDE++)		Basisbedrag: 0,111 €/kWh _{th}	Basisbedrag: 0,136 €/kWh _{th}	Basisbedrag: 0,38 €/kWh _{H₂}
Subsidie	EIA	SDE++	SDE++	SDE++, OWE, DEI
Collectief lokaal eigendom	Enkele projecten	Nee	Nee	Enkele

8

Mogelijke invulling van de doelstellingen

8.1 Doelstellingen

Zoals beschreven in de Herijkte Routekaart (ref. [2]), heeft de gemeente Bronckhorst zich ten doel gesteld om zo snel mogelijk (na 2030) energieneutraal, aardgasvrij en zo veel mogelijk zelfvoorzienend te zijn. Aanvullend doel is dat het lokaal energiesysteem zoveel mogelijk in lokaal gemeenschappelijk eigendom komt, zodat zoveel als mogelijk iedereen hiervan kan meeprofiteren.

Om nader invulling te geven aan deze energietransitie worden vijf sporen beschreven:

1. Regie op de lokale warmtetransitie
2. Regie op het lokale energiesysteem
3. Regie op grootschalige energieprojecten
4. Regie op Dorps Energie Processen
5. Regie op Randvoorwaarden

Daarnaast werkt Bronckhorst samen met de andere Achterhoekse gemeenten en andere partners in de RES-Achterhoek, waarbij het primair gaat om de opwek van duurzame energie. De concrete doelstelling van de regio is om in 2030 in totaal 1350 GWh aan duurzame energie (uit grootschalige projecten) te produceren. Hiervan is 1106 GWh gealloceerd en 244 GWh nog niet gealloceerd. Bronckhorst heeft toegezegd om 54 GWh/jr aan deze regionale doelstelling bij te dragen.

Deze bijdrage van Bronckhorst voor 2030 is in feite een tussendoel, wat ook past in het spoor Grootschalige Energieprojecten.

Deze bijdrage van 54 GWh/jr vanuit Bronckhorst komt overeen met 4,0% van de regionale doelstelling van 1350 GWh/jr. Het is een constatering dat dit ten opzichte van de gehele regio Achterhoek relatief gering is in vergelijking met bijvoorbeeld het aantal inwoners van Bronckhorst (12%) of het landoppervlak (23%).

8.2 Invulling van het RES-doel

Zoals beschreven in de inleiding is de RES-doelstelling bedoeld om invulling geven aan de doelstelling uit het Klimaatakkoord voor grootschalige productie van duurzame Elektriciteit op land in 2030. Technieken die andere vormen van energie leveren kunnen van belang zijn, maar leveren geen bijdrage aan deze doelstelling.

De beschikbare technieken voor duurzame elektriciteit zijn beschreven in hoofdstuk 2 en samengevat in de tabel in hoofdstuk 8.

Een aantal van deze technieken vallen af als mogelijkheid om in 2030 een serieuze bijdrage te leveren aan de opwek van duurzame elektriciteit. Dit zijn:

Zon-PV op woningen

De toename van zon-PV op woningen draagt bij aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving en dus ook aan de energietransitie als geheel. Dit levert echter geen bijdrage aan de opwek van grootschalige duurzame elektriciteit zoals bedoeld in de doelstelling.

Windenergie klein

Kleine windturbines (mits tenminste 15 kW) dragen wel degelijk bij aan de doelstelling van grootschalige opwek, maar deze bijdrage is zeer beperkt. Rekenvoorbeeld: als een kleine windturbine 0,025 GWh per jaar opwekt, zijn er 40 kleine windturbines nodig voor een bijdrage van 1 GWh per jaar. En dat is slechts bescheiden ten opzichte van de doelstelling van 54 GWh per jaar.

Waterkracht

Vanwege de geringe hoogteverschillen in de gemeente is er geen serieuze bijdrage van waterkracht te verwachten.

Kernenergie, groot of klein

De realisatie van kerncentrales is complex en kent zeer lange looptijden. Kernenergie kan niet vóór 2030 gerealiseerd worden.

Groen gas

Met Groen gas kan met behulp van een gasturbine of een WKK-installatie elektriciteit gemaakt worden, dat dan als duurzame elektriciteit kan worden beschouwd. Dat kan voor enkele individuele gevallen ook een goede toepassing zijn. Het ligt echter veel meer voor de hand om Groen gas te gebruiken ter vervanging van aardgas voor verwarming, bij voorkeur in processen die lastig te elektrificeren zijn, zoals industriële hoge-temperatuur toepassingen.

Dat leidt tot de conclusie dat er drie technieken overblijven om invulling te geven aan de doelstelling: Zon-PV op grote daken, zon-PV op veld en grote windturbines. Voor deze drie technieken geldt ook dat er in Nederland veel ervaring is opgedaan met lokaal coöperatief eigenaarschap, en is er ook ondersteuning voor.

Hieronder worden drie scenario's geschetst voor de invulling van de doelstelling. In de afwegingen is het van belang om te realiseren dat het doel van 54 GWh/jr in 2030 in feite slechts een tussendoel is op weg naar energieneutraliteit. Het verdient aanbeveling om hier in de scenariokeuze rekening mee te houden.

Aanbeveling: Beschouw de RES-bijdrage van Bronckhorst van 54 GWh/jr in 2030 als tussendoel op weg naar energieneutraliteit.

8.2.1 Scenario: Zon-PV op grote daken

Het toepassen van zon-PV op grote daken heeft voor veel mensen de voorkeur ten opzichte van zonneparken en windturbines. Dit scenario sluit daarbij aan.

In dit scenario wordt de gehele doelstelling van 54 GWh/jr ingevuld door zon-PV op grote daken. Of dit haalbaar is, is allerm minst zeker. Zoals beschreven in paragraaf 2.1.2 zijn veel daken niet geschikt, waardoor ook veel geïnitieerde projecten in een later stadium toch afvallen. Zie ref. [16]. Daarnaast leidt netcongestie ertoe dat veel projecten niet kunnen worden gerealiseerd of veel kleiner moeten worden uitgevoerd om binnen de grenzen van de bestaande netaansluiting te blijven.

Volgens de Atlas Leefomgeving⁴⁴ heeft de gemeente Bronckhorst circa 2,7 mln m² daken die niet een woonfunctie hebben. Dit zou voldoende kunnen zijn om de doelstelling in te vullen, maar uit de praktijk blijkt dat slechts een klein deel van de daken geschikt is, of geschikt kan worden gemaakt, voor zonnepanelen. Verder blijkt dat van de overblijvende geschikte daken een groot deel niet kan worden benut vanwege netcongestie. Zie ref. [16].

Daarbij komt dat in de praktijk niet alle potentieel geschikte daken ook daadwerkelijk gebruikt zullen worden voor zon-PV. Het is immers aan de eigenaar van het dak of hij of zij een zon-PV systeem op het dak wil hebben, hierin wil en kan investeren en hiertoe ook daadwerkelijk het initiatief neemt.

Het verdient aanbeveling om de mogelijkheden voor zon-PV op grote daken in een goede potentieanalyse in beeld te brengen. Op basis hiervan kan ook een realistische prognose gemaakt worden. Het is realistisch om te verwachten dat dit slechts een bescheiden bijdrage kan leveren aan de doelstelling.

Aanbeveling: Maak een goede potentieanalyse en een realistische prognose van zon-PV op grote daken in de gemeente Bronckhorst. Het is realistisch om te verwachten dat dit slechts een bescheiden bijdrage kan leveren aan de doelstelling.

8.2.2 Scenario: Zon-PV op veld

In dit scenario wordt ervanuit gegaan dat (het merendeel van) de doelstelling wordt gerealiseerd door zonneparken.

Zoals beschreven in paragraaf 2.1.3 hebben zonneparken een relatief groot ruimtegebruik, waarbij gebruik wordt gemaakt van grond die ook voor landbouw of andere doeleinden gebruikt kan worden.

Om invulling te geven aan de doelstelling van 54 GWh/jr is circa 54 hectare grond nodig.

Daarnaast hebben zonneparken ook een relatief grote visuele invloed op de omgeving en (met de lage capaciteitsfactor) een relatief grote belasting op het elektriciteitsnet. Om een netaansluiting te kunnen realiseren zal het elektrische net (bijvoorbeeld onderstations) verzwaaard moeten worden.

Het is een politieke afweging hoe dit zich verhoudt tot andere mogelijkheden om de doelstelling in te vullen.

⁴⁴ Bron: <https://www.atlasleefomgeving.nl/platte-daken-in-nederland-bag>

8.2.3 Scenario: Windturbines

In dit scenario wordt ervanuit gegaan dat (het merendeel van) de doelstelling wordt ingevuld met windturbines.

Zoals beschreven in paragraaf 2.2 hebben windturbines een relatief grote invloed op de omgeving. Het voordeel van windturbines is dat de doelstelling met een beperkt aantal windturbines gehaald kan worden. Om een netaansluiting te kunnen realiseren zal ook in dit scenario het elektrische net verzaamd moeten worden, maar door de hogere capaciteitsfactor wel veel minder dan in het geval van zonneparken.

De doelstelling van 54 GWh/jr kan worden ingevuld met drie tot vijf windturbines, afhankelijk van de grootte van de windturbines.

Het is een politieke afweging hoe dit zich verhoudt tot andere mogelijkheden om de doelstelling in te vullen.

Aanbeveling: Maak een keuze tussen windturbines of zonneparken om invulling te geven aan het RES-bijdrage van Bronckhorst van 54 GWh/jr in 2030.

8.3 Op weg naar energieneutraliteit

Zoals beschreven streeft de gemeente Bronckhorst ernaar om na 2030 zo snel mogelijk energieneutraliteit te bereiken. Om dit te bereiken zal veel meer duurzame elektriciteit nodig zijn dan de 54 GWh/jr die als tussendoel als bijdrage aan de RES is gesteld.

Daarnaast gaat energieneutraliteit over meer dan alleen elektriciteit. Het gaat ook over de warmtevoorziening voor woningen en andere gebouwen en voor de productieprocessen van bedrijven in de gemeente.

Verder gaat de energietransitie ook over besparing van het energieverbruik. In alle hoofdsectoren, zowel Gebouwde Omgeving, Industrie als Mobiliteit, is hier nog een lange weg te gaan.

De gemeente Bronckhorst is geen eiland. Er zijn in de wereld veel technische en maatschappelijke ontwikkelingen gaande die ook in de gemeente Bronckhorst toegepast gaan worden en hun invloed zullen hebben.

Het verdient aanbeveling om een gekwantificeerd beeld te vormen hoe energieneutraliteit kan worden bereikt: Hoeveel elektriciteit, hoeveel warmte moet worden opgewekt of gewonnen? Hoeveel besparing moet in elk van de sectoren worden gerealiseerd? Welke technieken passen daarbij? Dit kan worden beschreven in een gemeentelijke energievisie op weg naar energieneutraliteit. Dit is een passend op de Herijkte Routekaart, zoals recent door de gemeenteraad is vastgesteld.

Aanbeveling: Ontwikkel voor de periode na 2030 een energievisie op weg naar energieneutraliteit, waarin een gekwantificeerd beeld wordt gevormd over de benodigde opwek en winning van duurzame elektriciteit en warmte, passende technieken, energiebesparing in de verschillende sectoren en ontwikkelingen elders in de wereld.

8.4 Samenvatting van de aanbevelingen

Hieronder worden de aanbevelingen samengevat:

1. Beschouw de RES-bijdrage van Bronckhorst van 54 GWh/jr in 2030 als tussendoel op weg naar energieneutraliteit.
2. Maak een goede potentieanalyse en een realistische prognose van zon-PV op grote daken in de gemeente Bronckhorst. Het is realistisch om te verwachten dat dit slechts een bescheiden bijdrage kan leveren aan de doelstelling.
3. Maak een keuze tussen windturbines of zonneparken om invulling te geven aan het RES-bijdrage van Bronckhorst van 54 GWh/jr in 2030.
4. Ontwikkel voor de periode na 2030 een energievisie op weg naar energieneutraliteit, waarin een gekwantificeerd beeld wordt gevormd over de benodigde opwek en winning van duurzame elektriciteit en warmte, passende technieken, energiebesparing in de verschillende sectoren en ontwikkelingen elders in de wereld.



Referenties

- [1] *Klimaatakkoord*, 28 juli 2019.
- [2] Bronckhorst, *Regie op Energieneutraal Bronckhorst, Herijkte Routekaart Bronckhorst Energieneutraal 2024 - 2030*.
- [3] S. Lensink, E. Eggink en K. Schoots, „Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2024,” Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Den Haag, 20 februari 2024.
- [4] NWEA e.a., *Gedragcode Acceptatie & Participatie Windenergie op Land*, okt 2020.
- [5] W. Turkenburg, Toepassing kernenergie in Nederland en de perspectieven van SMRs, nov 2022.
- [6] W. Turkenburg, „De ontwikkeling van gesmolten-zoutreactoren, waaronder ‘de thoriumreactor’,” *Tijdschrift Milieu - Milieu Dossier*, pp. 28 - 33, Mei 2024.
- [7] Planbureau voor de Leefomgeving, *Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2024*, 24 feb 2024.
- [8] SolarPower Europe and LUT University, „100% Renewable Europe: How To Make Europe’s Energy System Climate-Neutral Before 2050,” SolarPower Europe, Brussels, Belgium, April 2020.
- [9] M. Child, D. Bogdanov en C. Breyer, „The role of storage technologies for the transition to a 100% renewable energy system in Europe,” *Energy Procedia*, vol. 155, pp. 44 - 60, November 2018.
- [10] W. Zappa, M. Junginger en M. v. d. Broek, „Is a 100% renewable European power system feasible by 2050?,” *Applied Energy*, Vols. %1 van %2233-234, pp. 1027-1050, January 2019.
- [11] M. S. Ziegler, J. M. Mueller, G. D. Pereira, J. Song, M. Ferrara, Y.-M. Chiang en J. E. Trancik, „Storage Requirements and Costs of Shaping Renewable Energy Toward Grid Decarbonization,” *Joule*, vol. 3, nr. 9, pp. 2134-2153, 18 September 2019.
- [12] M. Ram, D. Bogdanov, A. Aghahosseini, A. Gulagi, S. A. Oyewo, M. Child, U. Caldera, K. Sadowskaia, J. Farfan, L. S. Barbosa, M. Fasihi, S. Khalili, C. Breyer en H.-J. Fell, „Global Energy System based on 100% Renewable Energy - Energy Transition in Europe Across Power, Heat,

Transport and Desalination Sector,” Study by LUT University and Energy Watch Group, Lappeenranta, Berlin, December 2018.

[13] Roland Berger, RWTH Aachen University, „Battery Monitor 2023 - The value chain between economy and ecology,” Roland Berger GmbH, Stuttgart, December 8, 2023.

[14] O. Ruhnau en S. Qvist, „Storage requirements in a 100% renewable electricity system: extreme events and inter-annual variability,” *Environmental Research Letters*, vol. 17, nr. 4, 15 March 2022.

[15] Rijksoverheid, Nationaal plan energiesysteem, dec 2023.

[16] RVO, Monitor zon-PV 2023, sept 2023.