

Voortgangsrapportage alternatieve duurzame energietechnieken

22 april 2021

Provincie Noord-Holland

Gedeputeerde Staten

BEL/IOT

Postbus 3007

2001 DA Haarlem

Telefoon (023) 514 3143

Fax (023) 514 3030

Houtplein 33

2012 DE HAAN

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	2
1.1	Aanleiding	2
1.2	Focus rapportage en uitgangspunten	2
1.3	Leeswijzer	3
2.	Overzicht energietechnieken	3
2.1	Geothermie	3
2.2	Aquathermie	6
2.3	Getijdenenergie	7
2.4	Superkritische watervergassing	8
2.5	Thorium MSR centrales	9
2.6	Waterstof	10
2.7	CO2 opslag en hergebruik	14
3.	Tot slot	16
4.	Bijlagen	17
4.1	Windenergie	17
4.2	Zonne-energie	19

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Provincie Noord-Holland is momenteel bezig met de uitwerking van twee Regionale Energiestrategieën (RES'en) om een bijdrage te leveren aan de 35 TWh duurzame elektriciteit in 2030 conform het Klimaatakkoord. In de twee RES regio's NHN en NHZ hebben gemeenten, provincie en waterschappen samen met bewoners, ondernemers, energiecoöperaties, maatschappelijke organisaties op het gebied van natuur, milieu en land- en tuinbouw gekeken naar zoekgebieden waar grootschalig wind- en zonne-energie opgewekt zou kunnen worden. In de RES wordt –conform de afspraken in het Klimaatakkoord – exclusief gekeken naar het genereren van wind- en zonne-energie (en binnen de Regionale Structuur Warmte naar de vraag naar en het aanbod van warmtebronnen).

Provinciale Staten hebben bij de behandeling van het concept RES op 5 oktober 2020 verzocht in motie 137-2020 “om naast de RES'en met een helder periodiek overzicht te komen van alle andere (innovatieve) duurzame energietechnieken” met daarbij de potentie, de stand van zaken, de voortgang en de rol van de provincie daarbij.

1.2 Focus rapportage en uitgangspunten

In deze rapportage kijken we naar:

- De potentie van verschillende energietechnieken én energiereductie technieken. Let wel op dat de huidige rapportage van kwalitatieve aard is. De potentie per techniek is een samenhang van meerdere verschillende factoren. Het ligt buiten de scope van deze rapportage om de potentie per techniek te kwantificeren.
- De stand van de techniek en hoe de voortgang verloopt.
- De rol van de provincie per techniek.

Per techniek zal de lengte van de stukken verschillen. Sommige technieken zijn al wat 'ouder' waardoor er meer informatie beschikbaar is over bijvoorbeeld de potentie in Noord-Holland. Andere 'nieuwere' technieken, of technieken die nu nog geen voeten in de aarde hebben gevonden in Nederland zijn nog zo in ontwikkeling dat er minder informatie beschikbaar is.

De belangrijkste uitgangspunten die in deze rapportage gehanteerd worden zijn:

- We baseren ons op reeds beschikbare kennis bij de provincie van de huidige stand van zaken per energie/CO₂-reductie techniek.
- Alleen innovaties die dicht genoeg bij de markt staan en op afzienbare termijn op grote schaal inzetbaar zijn, worden meegenomen.

In de motie wordt verzocht met een 'helder periodiek overzicht te komen van alle andere (innovatieve) duurzame energietechnieken'. Vanwege de noodzaak om dit stuk te presenteren vóór de besluitvorming over de RES 1.0. krijgt u deze eerste rapportage als afzonderlijk stuk aangeboden. In het vervolg koppelen we deze rapportage aan het Actieprogramma Klimaat. De technieken die in de voortgangsrapportage uitgewerkt worden zitten veelal nog in de demonstratiefase en ontwikkelen zich nog vrij langzaam. Deze voortgangsrapportage zal daarom driejaarlijks geüpdatet worden.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt allereerst een overzicht van de geselecteerde duurzame energietechnieken en CO₂-reductietechnieken gegeven. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe deze selectie tot stand is gekomen. In subhoofdstukken wordt vervolgens per energietechniek een overzicht gegeven van wat de techniek inhoudt, wat de potentie is van de techniek binnen de provincie voor 2030–2050, wat de huidige stand van zaken is rondom de techniek en ten slotte wat de rol van de provincie is. In hoofdstuk 3 volgt een korte reflectie.

2. Overzicht energietechnieken

In deze voortgangsrapportage worden een aantal alternatieve duurzame energietechnieken uitgediept. Hieronder staat een overzicht van de energietechnieken die in deze rapportage worden behandeld. Deze specifieke energietechnieken zijn geselecteerd omdat ze in de motie genoemd worden of omdat het naar verwachting veelbelovende technieken zijn voor 2030–2050.

Energiebron	Technologie	Elektriciteit/gas/warmte
Aardwarmte	Geothermie (diepe en ultradiepe)	Warmte
Energie uit water	- Aquathermie - Getijdenenergie - Superkritische watervergassing	Warmte Elektriciteit Gas
Kernenergie	Thorium	Elektriciteit

Naast bovenstaande energie-opwekkingstechnieken informeert de motie ook naar technieken die leiden tot een CO₂-reductie maar niet zelf duurzame energie

opwekken, zoals waterstof en CO₂-opslag en hergebruik. De rapportage maakt daarom onderscheid tussen duurzame energietechnieken en CO₂-reductietechnieken.

Ten slotte zijn wind- en zonne-energie toegevoegd in de bijlage om een zo volledig mogelijk overzicht te geven van technieken die een rol kunnen spelen in de toekomstige duurzame energiemix.

2.1 Geothermie

Geothermie, ofwel aardwarmte, is een techniek waarbij warmte uit de ondergrond gebruikt wordt als voeding voor warmtenetten of om elektriciteit op te wekken (dat gebeurt in Nederland nog niet). De temperatuur in de Nederlandse bodem stijgt per kilometer diepte met ongeveer 30 graden¹. Die warmte vormt een duurzame energiebron voor de verwarming van kassen en gebouwen. De provincie zet zich in om aardwarmte (geothermie) als energiebron te ontwikkelen.

Potentie van geothermie voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

De economische potentie van geothermie in provincie Noord-Holland voor 2030–2050 is afhankelijk van meerdere factoren. Te weten de vraag die, nu en in de toekomst, bestaat naar aardwarmte, de geschiktheid van de ondergrond en ten slotte het technische en financiële plaatje.

- Warmtevraag

In 2020 heeft Berenschot in opdracht van Energie Beheer Nederland (EBN) een detailstudie gedaan naar de economische potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron voor de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie in Noord-Holland Noord. Uit deze detailstudie komt naar voren dat de totale vraag naar warmte neerkomt op ca. 33,2 PJ.²

Deze vraag is opgebouwd uit:

- gebouwde omgeving: 11,5 PJ
- glastuinbouw: 5,4 PJ
- industrie: 16,3 PJ

Het deel van deze vraag dat economisch verantwoord door *aardwarmte* kan worden gedekt wordt door Berenschot geschat op ca. 21,9 PJ.

Deze vraag is opgebouwd uit:

- gebouwde omgeving: 3,0 PJ
- glastuinbouw: 3,0 PJ
- industrie: 15,9 PJ

In Noord-Holland Noord is er dus veel economische potentie voor geothermie, dit wordt tevens onderschreven door de Routeplanner Energietransitie 2020–2050³.

¹ Routeplanner Energietransitie 2020–2050

² De vraag naar HT-warmte (hoge temperatuur), zoals gewonnen wordt bij ultradiepe geothermie is niet meegenomen in de vraag. WA R M in Noord-Holland Noord, 2020, Berenschot.

- Ondergrond

De technische potentie van geothermie wordt bepaald door de geschiktheid van de ondergrond. Op dit moment is nog niet voor alle plekken in Nederland duidelijk in hoeverre de ondergrond er geschikt is voor het winnen van aardwarmte. Er zijn een aantal randvoorwaarden waar de ondergrond aan moet voldoen, wil deze geschikt zijn voor geothermie. Er moet een watervoerende laag in de ondergrond aanwezig zijn met een voldoende hoge temperatuur, die voldoende dik en waterdoorlatend is om water uit op te pompen⁴. In Noord-Holland Noord is de potentie van de ondergrond voor geothermie al redelijk in beeld en hier lopen al een aantal geothermie-projecten.

In de MRA/Noord-Holland Zuid is de ondergrondpotentie nog onduidelijk, vanwege een gebrek aan kennis over de ondergrond. Het landelijke SCAN-onderzoek (Seismische Campagne Aardwarmte Nederland) gaat hierin verandering brengen. De resultaten van het seismische onderzoek binnen het SCAN-programma helpen om de potentie van aardwarmte in kaart te brengen. Het SCAN-programma levert data aan. Experts kunnen deze data vervolgens analyseren om een model van de ondergrond te maken en zo toekomstige beslissingen voor nader onderzoek en (proef-)boringen te ondersteunen. Met deze proefboringen is de vraag over de potentie in een gebied echt te beantwoorden.

- Technische & financiële aspecten

De laatste factor die bepalend is of de potentie van geothermie in 2050 kan worden benut, is technisch en financieel van aard. Aardwarmte is een bron voor een warmtenet en daarmee (in de gebouwde omgeving) voor levering van warmte aan 5000 of meer klanten/ woningen en gebouwen. Van belang is daarom dat er voldoende snelheid komt in de ontwikkeling van warmtenetten in combinatie met de benodigde aanpassingen van gebouwen in de gebouwde omgeving⁵. Zoals eerder beschreven is er verder onderzoek nodig naar de technische potentie van geothermie in de MRA. Om aardwarmte te versnellen, investeringen uit te lokken, monopolies te voorkómen én om de ondergrond optimaal en duurzaam te kunnen gebruiken is samenwerking tussen de diverse overheden, warmtebedrijven en geothermie-ontwikkelaars vereist. Dit vergt visie vanuit alle genoemde partijen. Tot slot is de huidige SDE-subsidie van het Rijk ontoereikend om geothermie-projecten te financieren. Hier zal een verruiming in moeten komen.

Stand van de techniek

Geothermie is mogelijk, mits er een goed beeld is van de ondergrond. In Nederland worden bodemenergiesystemen al meer dan 30 jaar toegepast. Geothermie bestaat in Nederland sinds 2007, in onder andere Parijs sinds de jaren '70 van de vorige eeuw. Er zijn geen baanbrekende innovaties te verwachten in het huidige 'doublettensysteem'. Enkele nieuwe concepten zijn in onderzoek (Eavor loop, mono-wells). Voor het boren geldt dat de techniek volwassen is maar door een

³ Routeplanner Energietransitie 2020-2050

⁴ Expertise Centrum Warmte, z.d.

⁵ Routeplanner Energietransitie 2020-2050

gecoördineerde aanpak (meerdere putten na elkaar in dezelfde regio) in prijs daalt. Ook zou verdere opschaling er voor kunnen zorgen dat de overige aanlegkosten dalen, mits de routine zich vertaalt in snelheid en er geen kosten bijkomen door bijvoorbeeld additionele (milieu-)eisen en maatregelen⁶.

Verdere ontwikkelingen zijn gericht op optimalisatie. Het gaat dan bijvoorbeeld het verbeteren van het rendement en het optimaal plaatsen van productie- en een injectieput⁷.

Rol van de provincie Noord-Holland.

Op dit moment doen we als provincie meerdere dingen om geothermie te stimuleren. Het eerder beschreven SCAN-onderzoek wordt uitgevoerd door Energiebeheer Nederland (EBN), een zelfstandig onderdeel van het ministerie van EZK. De provincies Flevoland en Noord-Holland maakten met EBN en EZK de afspraak om via het SCAN-traject voor het MRA-gebied aanvullend seismisch onderzoek te doen ('aanvullende lijnen'). De provincies Flevoland en Noord-Holland zijn opdrachtgever en financier van deze aanvullende lijnen.

Daarnaast hebben de provincie Noord Holland en Flevoland het programma 'Versnelling Aardwarmte MRA' opgezet. Dit programma richt zich op het ondersteunen van overheden en initiatiefnemers van aardwarmteprojecten. Denk aan communicatie, voorlichting en stakeholdermanagement en beleidsontwikkeling. Via publiek-private overeenkomsten worden samenwerkingsafspraken vastgelegd. Doel is te komen tot een "geo-alliantie", waarin publieke en private partijen gezamenlijk de geothermie-ontwikkelingen versnellen. Verder worden binnen het programma 'Versnelling Aardwarmte MRA' voorbereidingen getroffen voor een of meer (proef)boringen. Deze zijn noodzakelijk om te toetsen of de aardlagen die het seismisch onderzoek laat zien ook daadwerkelijk geschikt zijn voor geothermie. Deze (proef)boringen komen niet in aanmerking voor de nationale RNES-regeling (een verzekering die het Rijk aanbiedt en die de kosten vergoed van een misboring). Daarom stellen wij samen met de provincie Flevoland (eveneens met geld van EZK) een regionale garantieregeling op. Voorwaarde om in aanmerking te komen voor deze garantieregeling is dat de operator de kennis die wordt opgedaan bij het boren openbaar ter beschikking stelt, zodat nieuwe projecten zich op deze kennis kunnen baseren.

Ondanks dat er voor Noord-Holland Noord al beter in beeld is wat de potentie van de ondergrond voor geothermie is en er al een aantal geothermie-projecten lopen, kan de potentie nog beter worden benut. De partners uit Noord-Holland Noord worden daarom ook uitgenodigd voor de voorlichtingssessies rond geothermie en kunnen een beroep doen op de provincie bij kennisvragen.

Tot slot zijn we als provincie mede-aanvrager van de opsporingsvergunning Amsterdam en omgeving, samen met de gemeente Amsterdam, Vattenfall en Eneco. Als mede-aanvrager ondersteunt de provincie in de opsporingsactiviteiten. Zo kunnen

⁶ Expertise Centrum Warmte, z.d.

⁷ Geothermie Nederland, z.d.

we als provincie actief meedenken over het vormgeven van een effectieve publiek-private samenwerking en hierin ervaring opbouwen. In geval van goede resultaten kan dit worden meegenomen in de advisering aan andere regio's.

2.2 Aquathermie

Aquathermie is de benutting van warmte en koude uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) of drinkwater (TED) om gebouwen te verwarmen of te koelen.

Potentie van aquathermie voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

Syntraal heeft in 2020 in opdracht van Noord-Holland een overzicht gemaakt van alle warmtebronnen in de provincie. Uit dit onderzoek blijkt dat 1,5 miljoen gebouwen in Noord-Holland verwarmd kunnen worden met waterwarmtebronnen. 96% van de woningen en kantoorpanden in Noord-Holland kunnen verwarmd worden met warmte uit oppervlaktewater. 2% van de gebouwen kunnen aangesloten worden op warmte uit afvalwater. Het is de verwachting dat TEO en TEA vooral in nieuwe projecten wordt toegepast, waarbij een optimale combinatie van warmtebron, warmtenet en afnemer wordt gezocht. Dit is dus grotendeels afhankelijk van de plannen. Daardoor zullen kosten fluctueren per project. De kosten zitten namelijk voor een groot deel in de infrastructuur en worden per project bepaald. Dit hangt sterk af van project specifieke kenmerken, zoals de afstand van de warmtebron tot de afnemers van de warmte (hoe groter de afstand, hoe hoger de kosten) en dichtheid van de bebouwing.

Bovenstaande cijfers zijn gebaseerd op het technisch potentieel, de uiteindelijke toepasbaarheid is afhankelijk van een aantal factoren zoals de warmtevraag, de techniek (die logischerwijs volop in ontwikkeling is) en de opslagmogelijkheid in de bodem. Tot op heden is het daarnaast nog niet mogelijk geweest om de potentie van thermische energie uit drinkwater (TED) inzichtelijk te maken. Syntraal schrijft hierover: '[d]e drinkwaterbedrijven willen over het algemeen technisch wel meewerken (waarbij het enthousiasme in het westen en zuiden groter lijkt te zijn dan in het oosten van Nederland), maar lopen tegen het juridische probleem aan dat drinkwaterleidingen onder de vitale infrastructuur vallen. Daarmee mogen deze gegevens niet openbaar gemaakt worden en worstelen de drinkwaterbedrijven op dit moment nog (met name juridisch) hoe zij toch kunnen meewerken aan het bekend maken van de warmtepotentie'⁸.

De kennis ontbreekt nog om een goede vergelijking te maken met andere duurzame oplossingen. Aquathermie wordt nu al op verschillende plaatsen toegepast in nieuwbouw maar er is nog behoefte aan kennisontwikkeling over de toepassing van aquathermie in de bestaande bouw. Om een goede inschatting te kunnen maken van de mogelijkheden van aquathermie is de vraag hoe concurrerend aquathermie is ten opzichte van andere warmtetechnieken. Ook is meer inzicht nodig in de kostenopbouw van de verschillende vormen van aquathermie om de techniek mee te kunnen nemen in verschillende energietransitiemodellen.

⁸ Syntraal, Inventarisatie en analyse data warmtetransitie Provincie Noord-Holland, 2020. p. 23.

Stand van de techniek

Het Netwerk Aquathermie heeft een inventarisatie gemaakt van de gerealiseerde toepassingen van aquathermie. In 2020 waren dit er in het totaal 65. Er zijn echter weinig aquathermie projecten die bestaande woningen via het warmtenet van warmte voorzien.

De techniek en de randvoorwaarden eromheen zijn daarnaast nog steeds in ontwikkeling. De warmtepomp kan nog verbeteren in prestatie. Ook kan het rendement verhoogt worden als de warmteopslag plaatsvindt bij hogere temperatuur dan nu in de bodem is toegestaan. Integratie met andere warmtebronnen in grotere warmtenetten is in de onderzoeksfase. Datzelfde geldt voor grootschalige, kostenefficiënte aanleg van de benodigde warmtenetten. De WKO kan worden vervangen door een andere vorm van warmteopslag⁹.

Rol van de provincie Noord-Holland

In de provincie Noord-Holland zijn er 11 gerealiseerde aquathermie projecten¹⁰. De provincie ondersteunt niet expliciet aquathermie projecten maar in het algemeen alle duurzame warmteprojecten. Zo bestaat er een subsidieregeling waar gemeenten gebruik van kunnen maken voor het opstellen van een wijkuitvoeringsplan. Een aantal gemeenten maakt gebruik van deze regeling waarbij aquathermie de warmtebron is. Dit zijn: Amsterdam, Uitgeest, Wijdemeren en Gooise Meren. Meer informatie over deze subsidie is te vinden op <https://servicepuntduurzameenergie.nl/>.

Daarnaast is de provincie met waterschappen in gesprek om via ons warmtedata register de informatie over de kansen voor aquathermie te verbeteren, zodat partijen die overwegen aquathermie in te zetten, een goede eerste indruk krijgen van de haalbaarheid van aquathermie in hun specifieke situatie.

2.3 Getijdenenergie

Getijdenenergie is energie die wordt gewonnen uit waterkracht door gebruik te maken van de veranderingen in het getij.

Potentie van getijdenenergie voor 2030-2050 in provincie Noord-Holland

Hoewel de toepassing van getijdenenergie nog beperkt is, heeft getijdenenergie het potentieel voor toekomstige elektriciteitsopwekking. Getijden zijn beter voorspelbaar dan de wind en de zon. In vergelijking met andere bronnen van duurzame energieopwekking, lijdt getijdenenergie echter onder relatief hoge kosten en beperkte beschikbaarheid van locaties met voldoende hoge getijdenverschillen of stroomsnelheden, waardoor de totale beschikbaarheid ervan wordt beperkt.

⁹ ECW, z.d.

¹⁰ Netwerk aquathermie, Aquathermie in de praktijk: eerste conclusies en inzichten, 2020.

Door de relatief beschutte kustlijn van Nederland zijn de golven in de Noordzee niet zo energiek als die van de Atlantische kust, waar getijdenenergie economisch veel aantrekkelijk is. Volgens een studie van TKI ligt het technisch haalbare getijdenenergiepotentieel van Nederland tussen de 20 MW (lage schatting) en 130 MW (optimistische schatting)¹¹. Uit de analyse is gebleken dat er op 8 verschillende plekken in Nederland de mogelijkheid bestaat voor de winning van energie uit getijden. Deze gebieden bevinden zich bij dammen, rivieren en rond de Waddeneilanden. Er is één plek in Noord-Holland die volgens de analyse interessant zou kunnen zijn, namelijk de Stevin sluizen.

Stand van de techniek

In Nederland loopt ook een aantal getijdenprojecten, maar deze zijn vooral experimenteel. In 2014 werden vijf turbines tussen de pijlers van de Oosterscheldekering in gebruik genomen met een totaal opgesteld vermogen van 1,2 MW. Het bedrijf achter dit project, Tocardo, ging echter twee keer failliet. Dankzij een investering van het Participatiefonds Duurzame Energie Noord-Holland maakte Tocardo een doorstart in 2018 na het eerste faillissement. Ondanks deze steun ging Tocardo vervolgens nog een keer failliet. In februari 2020 werd Tocardo overgenomen door een combinatie van een Brits en een Schots bedrijf, namelijk QED Naval en Hydrowing. Investeerders blijven dus wel brood zien in getijdenenergie.

In 2020 werd bij het Grevelingenmeer een nieuwe getijdencentrale aangebouwd: het Tidal Technology Center (TTC). Een centrum waar turbines op waterkracht getest kunnen worden om te kijken hoeveel energie ermee opgewekt kan worden. De bouw van deze testlocatie staat echter al meer dan een jaar stil vanwege geldtekorten. Een doorstart lijkt onwaarschijnlijk¹².

Rol van de provincie Noord-Holland

In het bovenstaande stuk is beschreven hoe het Participatiefonds Duurzame Energie Noord-Holland heeft geïnvesteerd in een getijdenproject. Via diverse financieringsvormen zoals het PDENH geeft de provincie duurzame energie een extra stimulans. Verder blijft de rol van de provincie beperkt, ook omdat getijdenenergie tot nu toe nog in de experimentele fase is gebleven.

2.4 Superkritische watervergassing

Superkritische watervergassing is een technologie waarbij natte biomassa (afval-)stromen zoals mest, groenafval en rioolslib geconverteerd wordt in diverse gassen en herbruikbare grondstoffen.

Potentie van superkritische watervergassing voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

¹¹ TKI, Dutch Wave & Tidal energy sector, 2015

¹² NOS, Miljoenenstrop en sloop dreigt voor testcentrum getijden in Zeeland, 04-02-2021

Superkritische watervergassing is een techniek die nog in de demonstratiefase zit, maar waarvan een sterke opschaling verwacht wordt in de komende jaren¹³. Hoewel er geen cijfers beschikbaar zijn over het potentieel van superkritische watervergassing voor 2030–2050 in Noord-Holland, heeft CE Delft in 2020 een analyse gemaakt van de hoeveelheid biomassa die economisch beschikbaar kan komen voor groengasproductie en –invoeding in 2030. De totale groengasproductie op basis van technisch beschikbare biomassastromen uit Nederland in 2030 is 9,2 bcm, uitgaande dat de stromen kritisch worden vergast¹⁴. Afhankelijk van de mate van technologische ontwikkeling en schaalgrootte, en anderzijds de mate van sturend beleid loopt het economisch potentieel sterk uiteen. Omdat de techniek voor superkritisch vergassen nog sterk in ontwikkeling is, is het in dit stadium moeilijk een goede inschatting te maken van het potentieel. Echter, vanwege de brede toepasbaarheid van de technologie, de beschikbare natte reststromen en omdat het een 1-op-1 vervanging is van gas kan het een belangrijke rol spelen in de energietransitie van Noord-Holland voor 2030–2050.

Stand van de techniek

Zoals eerder genoemd is superkritische watervergassing nog een zeer nieuwe techniek. De techniek is in verschillende studies als beloftevol geïdentificeerd. Al in de eerste scenario studies voor de Energiefabriek in 2009 werd superkritisch vergassen van slib genoemd in de “super” variant als een beloftevolle techniek. SCW systems heeft een werkende installatie staan in Alkmaar. Het voornemen is de productie de komende jaren op te schalen.

Rol van de provincie Noord-Holland

Zoals hierboven ook al genoemd werkt Gasunie momenteel samen met SCW Systems aan een demonstratie–installatie voor superkritische watervergassing in Alkmaar. SCW werkt met ondersteuning vanuit Kansen voor West van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling (ERDF) met co–financiering van provincie Noord-Holland aan de realisatie van een continue pilot voor CO₂ mineralisatie¹⁵. Wederom geldt dat de provincie een faciliterende rol heeft maar dat de daadwerkelijke ontwikkeling van de technologie bij de markt ligt.

2.5 Thorium MSR centrales¹⁶

Thorium MSR centrales gebruiken thorium in plaats van uranium als brandstof. Daarnaast gebruiken ze gesmolten zout (MSR, Molten Salt Reactor) als koelmiddel en om de kernreactie te modereren. Ze behoren tot de zogenaamde 4^e generatie kerncentrales die nu nog niet op de markt zijn. Dit zijn kernreactoren die op

¹³ ECW, z.d.

¹⁴ CE Delft, Potentieel van lokale biomassa en invoedlocaties van groengas, 2020.

¹⁵ SCW systems, z.d.

¹⁶ Voor deze paragraaf is – vaak letterlijk – gebruik gemaakt van: TNO: De rol van kernenergie in de energietransitie van Noord-Brabant, februari 2021. Dit rapport is een co–productie van TNO en NRG en gemaakt in opdracht van de provincie Noord-Brabant.

duurzaamheid (onder meer het zuiniger omgaan met natuurlijke grondstoffen), economie, veiligheid, en/of non-proliferatie significante vooruitgang moeten laten zien ten aanzien van de nu leverbare derde generatie reactoren.

Potentie van de techniek voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

Het potentieel van kernenergie wordt vooral bepaald door de technische en economische inpasbaarheid ervan in het totale energiesysteem. Hiernaar is veel onderzoek gedaan, vooral in de vorm van scenariostudies. De uitkomst is veelal, zie ook het TNO/NRG-rapport in de voetnoot, dat kernenergie in een energiesysteem met veel zon en wind moeilijk rendabel te maken is vanwege de hoge investeringskosten die terugverdiend moeten worden door veel draaiuren te maken. Kerncentrales moeten om economische redenen eigenlijk continu draaien, terwijl een energiesysteem met veel zon en wind vooral behoefte heeft aan flexibele aanvullende opties (zoals gascentrales met CO₂-opslag). Kerncentrales gebruiken voor waterstofproductie – waarmee volcontinu draaien mogelijk zou zijn – is een naar verhouding kostbare manier van waterstof produceren. De potentie van kernenergie is dus sterk afhankelijk van de inrichting van het totale energiesysteem en met name het aandeel zon en wind daarin.

Stand van de techniek

Wereldwijd worden momenteel acht thorium MSR reactoren ontwikkeld, o.a. TerraPower van Bill Gates, twee Chinese projecten en het ontwerp van het Canadese Elysium Industries.

Sinds 2015 doen in Nederland de TU Delft en NRG (Nucleair Research Group) in Petten onderzoek naar thorium MSR reactoren. Dit gebeurt in Europees verband. Volgens TNO en NRG – zie het rapport in de voetnoot – heeft de Nederlandse nucleaire onderzoekinfrastructuur een goede uitgangspositie om een vooraanstaande rol te spelen bij de ontwikkeling van nieuwe, innovatieve reactor technologieën. Hiervoor is nodig dat kennis en expertise gebundeld worden in een consortium en dat samenwerking gevonden wordt met internationale partijen.

Om tot een commerciële generatie 4 kerncentrale te komen, dienen de volgende stappen te worden doorlopen:

- Opzetten van een internationaal consortium van overheden, onderzoeksinstituten en bedrijven die een ontwikkelingsprogramma kunnen uitvoeren en financieren;
- Realiseren van een experimentele infrastructuur (o.m. demonstratiereactor);
- Uitvoeren van grootschalige experimenten met de experimentele infrastructuur;
- Uitvoeren van veiligheidsanalyses;
- Aanpassing van vergunningseisen;
- Vergunningaanvraag;
- Bouw commerciële generatie 4 kerncentrale.

Het tijdspad voor de eerste drie stappen is – aldus TNO en NRG – hoogst onzeker. Als deze eerste stappen succesvol zijn doorgelopen, is voor realisatie van een thorium MSR nog 20 tot 25 jaar nodig, inclusief de bouwtijd van circa 5 jaar. Dit zal dan een

first-of-a-kind kerncentrale zijn met een kleiner vermogen dan een generatie 3 kerncentrale.

Rol van de provincie Noord-Holland

Vanwege de benodigde middelen, het fundamentele karakter van het onderzoek en de noodzaak het in internationaal verband te doen, ligt hier vooral een rol voor het Rijk (en de EU). De provincie kan NRG eventueel steunen in haar lobby voor een kennisconsortium.

2.6 Waterstof

Waterstof is het meest voorkomend element in het universum. Onder normale omstandigheden komt waterstof voor in gasvorm. We spreken dan over waterstof gas (H₂). Waterstof is een unieke en veelzijdige CO₂ uitstootvrije en duurzame energiedrager welke in de gehele energie-waardeketen ingezet kan worden in gasvormige, vloeibare en vaste vorm. Waterstof kan ingezet worden in sectoren die anders moeilijk te verduurzamen zijn. Denk hierbij aan zwaar transport, hoge temperatuur processen in de industrie en in de luchtvaart. Voor deze gevallen is er nog geen goede elektrische oplossing en blijft er behoefte aan een duurzaam alternatief. Waterstof kan hier een cruciale rol spelen. Daarnaast is waterstof belangrijk om een balans te creëren in het elektriciteitsnet. Het opwekken van groene elektriciteit brengt pieken en dalen met zich mee, wat leidt tot verschillen tussen vraag en aanbod. Een overschot aan elektriciteit kan worden omgezet in waterstof en op deze manier voor de korte of lange termijn worden opgeslagen.

Potentie van waterstof voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

De potentie van waterstof in provincie Noord-Holland voor 2030–2050 is afhankelijk van meerdere factoren. Het is een samenhang van de vraag die momenteel bestaat naar waterstof, de economische kansen en de ruimtelijke factoren in Noord-Holland.

- **Vraag**

Een aantal sectoren zijn afhankelijk van waterstof willen zij volledig fossielvrij worden. Hierbij moet gedacht worden aan de procesindustrie (grond- en brandstof), de transportsector (brandstof) en delen van de gebouwde omgeving (warmte). Energiescenario's tonen aan dat bij een fossielvrije economie in 2050 gasvormige energiedragers (zoals waterstof) in minimaal 30 procent van ons energiegebruik gaan voorzien. Dit maakt waterstof een belangrijke speler in de energietransitie.

In het NZKG ontstaat grote behoefte aan waterstof in de industrie. Alleen al Tata Steel heeft 4GW nodig als dit bedrijf volledig overstapt op waterstof. Regionaal, nationaal en internationaal kan een waterstoffabriek in Den Helder in 2027 blauwe waterstof aanbieden aan een industriecluster in Nederland waar op dit moment grijze waterstof wordt geproduceerd en gebruikt (wanneer de waterstofbackbone na 2030 ook het Ruhrgebied en Antwerpen verbindt, kan deze waterstoffabriek ook daar de industrieën bedienen).

Voor de logistieke sector is de vraag ook groot. In Noord-Holland is veel zwaar transport over weg, water, spoor en in de lucht (de luchthavens Schiphol en Den Helder). Ook is er veel transport bij/vanaf de Green Port Aalsmeer. Daarmee is het belang groot om de transportsector te verduurzamen. De luchthaven Schiphol wordt vermoedelijk een grootverbruiker van synthetische kerosine. Voor het grondgebonden verkeer van Schiphol zijn er kansen voor waterstof. In de regio NZKG als ook in Den Helder ligt de toepassing van waterstof voor de hand door offshore vaartuigen en de Koninklijke Marine (waterstof voor schepen en drones). Ten slotte zijn er ook voldoende kansen voor de gebouwde omgeving, de agrisector en de asfaltsector.

Naar verwachting zal richting 2025–2030 de vraag naar en het aanbod van duurzame waterstof net op gang komen, richting 2050 wordt een forse toename verwacht door het gebruik in meerdere sectoren zoals gebouwde omgeving en lucht- en scheepvaart¹⁷.

- Locatie

Noord-Holland ligt aan de Noordzeekust en in de nabijheid van de grote windvelden die in de Noordzee geprojecteerd zijn. Vóór 2030 zal elektriciteit van wind op zee aanlanden in de IJmond. Dit biedt kansen om te voorzien in de grote energievraag van de industrie. De energie die op de Noordzee ná 2030 wordt geproduceerd, wordt in welke vorm dan ook aan land gebracht. Noord-Holland heeft een ijzersterke positie op het gebied van waterstof met twee sterke draaischijven in Noord (Port of Den Helder) en Zuid (Port of Amsterdam en industrie in het NZKG).

Noord

Den Helder ligt gunstig voor de aanlanding en distributie van groene waterstof die op zee wordt gemaakt. Het gasbehandelingsstation van de NAM is een strategische asset in de centrale rol die Den Helder kan spelen in de aanlanding, productie en het transport van waterstof. Via Den Helder kan waterstof ingevoerd worden op de toekomstige backbone. Daarnaast kan de bestaande gasinfrastructuur gebruikt worden voor de opslag van CO₂ in zee wat gunstig is voor de productie van blauwe waterstof. Port of Den Helder ligt dicht bij internationale afzetmarkten en beschikt zij over een sterk kenniscluster (TNO, ECN, de Technische Faculteit van het Koninklijk Instituut voor de Marine) en een sterk ontwikkelde offshore logistieke supply chain. Het sterke maritiem cluster van Den Helder biedt ten slotte volop kansen voor pilots rondom de verduurzaming van de scheepvaart.

Zuid

Het NZKG ligt nabij de locaties waar vóór 2030 windparken op zee komen. Het NZKG heeft daardoor een goede positie om aanleg en onderhoud van de windparken op zee uit te voeren. De lege gasvelden voor de kust kunnen door de industrie benut worden voor opslag van CO₂. Daarnaast is er een specifieke, vraag

¹⁷ Gasunie, 2019

naar nieuwe, duurzame energie vanuit de lokale industrie (Schiphol, Tata, gebouwde omgeving). Het NZKG is door de ligging aan zee, de diepwatervargeul met afmeerlocaties, de opslagmogelijkheden en gastransportmogelijkheden via de waterstof backbone, bijzonder geschikt als importhaven voor groene waterstof. Ook ligt het NZKG dichtbij afzetmarkten in Noordwest Europa en is de regio gevuld met hoogwaardige kennispartijen (VU, UvA, Amsterdam Sciencepark, ECN, Shell, Tata, Alliander, Akzo).

Wat de Port of Amsterdam betreft: deze beschikt ook over cruciale infrastructuur (opslagtanks, pijpleidingen, schepen, etc.) voor transport van waterstof. Daarnaast hebben de Port of Amsterdam en de omliggende bedrijven ervaring in de handel (invoer, opslag, doorvoer) van fossiele brandstoffen. Deze ervaring is relevant en kan ingezet worden voor de handel in waterstof en in producten die hiervan zijn afgeleid, zoals synfuels. Waterstof vormt voor de PoA een bouwsteen naar duurzame brandstoffen en circulaire chemie.

Stand van de techniek

Er is veel kennis over het produceren van (groene) waterstof door elektrolyse. Daarnaast zijn meerdere partijen bezig aan technologische doorbraken voor de opschaling van waterstof, bijvoorbeeld TNO in het Faraday laboratorium in Petten: Europa's grootste waterstof onderzoeksfaciliteit. In de industrie en in raffinaderijen wordt waterstof op diverse plaatsen al vele jaren op grote schaal gebruikt. Hier is dus al veel ervaring mee, ook op het gebied van veiligheid. Het toepassen van waterstof voor het verwarmen van gebouwen is nieuw. Er is daarom nog veel onduidelijk rondom de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving.

Voordat waterstof op grote schaal geproduceerd kan worden moeten er nog wel verschillende ontwikkelingen plaatsvinden. Naar verwachting maakt de waterstofeconomie in Noord-Holland op hoofdlijnen de volgende ontwikkeling door:

Op korte termijn (2020–2025) vindt vooral kleinschalige en lokale productie van groene waterstof plaats, vooral voor de zware mobiliteit en het oplossen van lokale netcongestieproblemen. Deze pioniersfase is de tijd van leren en experimenteren.

Op middellange termijn (2025–2030) wordt de productie van blauwe waterstof opgeschaald, bedoeld voor de industrie, zodat grijze waterstof wordt verdrongen. In deze periode vindt ook de realisatie van de backbone plaats. Daarnaast wordt de productie van groene waterstof opgeschaald (100 MW H2ermes project). Groene waterstof zal meer en meer als brandstof voor zware mobiliteit worden ingezet, terwijl ook toepassing van waterstof in de agrisector gaat plaatsvinden. Tot slot wordt waterstof meer ingezet om de elektriciteitsinfrastructuur te ontlasten.

Op lange termijn (2030–2050) gaat er meer 'wind op zee' gerealiseerd worden. Hierdoor kan de productie van groene waterstof worden opgeschaald. Dit is de periode waarin energieleveranciers waterstof op grotere schaal gaan inzetten voor de balancerende van het elektriciteitsnet. Vanaf 2030 zal de op zee geproduceerde waterstof bij Den Helder en bij het NZKG Nederland binnen kunnen komen. De industrie gaat over op waterstof, als ook die delen van de gebouwde omgeving die

niet op een andere wijze verwarmd kunnen worden. Internationale handel vindt plaats. Er komt steeds meer import, opslag en doorvoer van waterstof en energiedragers die daarvan zijn afgeleid op gang in het NZKG. De haven van Amsterdam wordt de Future Fuel Valley. De luchtvaart gaat over op duurzame brandstof. De haven van Den Helder wordt een van de Europese hubs in aanlanding, verwerking en doorvoer van groene waterstof vanaf de Noordzee en elders.

De blauwe waterstof die wordt voorzien vanaf 2027, zal samen met Noordzeegas ook ver voorbij 2030 deel uitmaken van de energiemix die tijdens de energietransitie nodig is. Nederland zal tot 2050 vermoedelijk draaien op een mix van aardgas, blauwe waterstof, duurzame elektriciteit en uiteindelijk een steeds toenemend aandeel van groene waterstof. Blauwe waterstof neemt dus ook na 2030 nog een relevante plaats in als transitiegas.

Rol van de provincie Noord-Holland

De ambitie van de provincie is als volgt:

“Noord-Holland is een snel opkomende Hydrogen Valley met vele lopende projecten die de schakels zullen vormen voor een grote waterstofketen. De regio heeft veel potentie om de productie en/of invoer, opslag, doorvoer en export van (klimaatvriendelijke) waterstof snel op te schalen. Daarmee kan Noord-Holland niet alleen haar eigen klimaatdoelstellingen realiseren, maar ook een substantiële bijdrage leveren aan het verduurzamen van het energiesysteem in Nederland én Noord-West Europa.”

De provincie ziet waterstof als een onmisbare schakel in een 100 procent duurzaam en fossielvrij energiesysteem. Meerdere studies, waaronder onze eigen ‘systeemstudie Noord-Holland’ onderschrijven deze visie. Noord-Holland kan en wil Nederland helpen om een internationale positie te verwerven op waterstof en kan de EU helpen haar waterstofambities te verwezenlijken. De provincie functioneert voornamelijk als verbinder en aanjager in de vorm van (mede-) financiering en inzet van expertise. Belangrijk is echter dat projecten vanuit de markt komen, niet vanuit de provincie.

Momenteel lopen de volgende projecten binnen provincie Noord-Holland rond de grootschalige productie van waterstof:

Nr	Omschrijving project	Locatie	Betrokken partijen	Omvang	Looptijd/status
1	H2ermes: Productie van waterstof via elektrolyse voor verduurzaming staalindustrie	IJmuiden / NZKG	Tata Steel, Nouryon en PoA	100 MW (met mogelijke opschaling naar 1GW)	Studiefase loopt. Operationeel in 2024.

2	H2Gateway: Productie van blauwe waterstof via SMR, POX of ATR met CCS in de Noordzee	Den Helder	NAM, Gasunie, GasTerra, PoDH, gemeente Den Helder, Ontwikkelings bedrijf NHN, NEC, PNH, operator(s).	Productie van 0,2 megaton waterstof per jaar (25% van de huidige waterstofconsumptie voor industriële feedstock). Bijdrage van 2 megaton CO ₂ -reductie per jaar (14% van de jaarlijkse industriële opgave voor 2030).	Quick Scan afgerond. In 2021 Business Analyse FID 2023, operationeel in 2026
---	--	------------	--	---	---

De volgende projecten lopen rond de realisatie van infrastructuur (backbone en opslag waterstof):

Nr	Omschrijving project	Locatie	Betrokken partijen	Omvang	Status/looptijd
3	Regionale H2 infrastructuur H2ermes Regional Integrated Backbone (RIB)	NZKG	Gasunie, Port of Amsterdam		Tracéverkenning loopt, Realisatie in 2025
4	Project ARAMIS; grootschalige CO ₂ opslag via de gasinfrastructuur vanuit Den Helder.	Den Helder	NAM, Total		Haalbaarheidsstudie loopt. Realisatie in 2027
5	Project ATHOS; afvang, gebruik, transport en opslag CO ₂ van o.a. Tata en AEB en opslag in het NZKG	NZKG	EBN, Gasunie, PoA, Tata	1,5 – 7,5 Mton CO ₂ per jaar	FID 2023. Realisatie in 2027

6	Rietlanden; Rietlanden is een overslag terminal in het havengebied van Amsterdam. Voor de lange termijn wordt transitie van kolen naar waterstof gerelateerde activiteiten onderzocht of een logistieke rol in de transitie van de Haven.	PoA	Rietlanden		Verkenning zal plaats vinden in de periode 2020–2025.
---	--	-----	------------	--	---

2.7 CO2 opslag en hergebruik

CO₂ ofwel koolstofdioxide is een molecuul wat ontstaat bij de volledige verbranding van koolstof en koolstof-houdende verbindingen. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de verbranding van bruinkool, steenkool en aardgas. Bij vrijwel alle industriële processen komt CO₂ vrij (zowel uit energieverbruik als uit niet-energetische toepassing). Om de CO₂ uitstoot te verminderen bij industriële processen die afhankelijk zijn van fossiele verbranding kan de CO₂ afgevangen worden zodra het vrijkomt bij de verbranding. De afgevangen CO₂ kan ondergronds opgeslagen worden (opslag) en wellicht opnieuw gebruikt worden als energiebron (hergebruik). Bij afvang en opslag van CO₂ spreken we van CCS (Carbon Capture and Storage). Bij afvang en hergebruik van CO₂ spreken we van CCU (Carbon Capture and Utilisation). Alle technieken rond CO₂-afvang, – opslag en –hergebruik worden samen ook wel CCUS genoemd, Carbon Capture, Utilisation and Storage¹⁸.

Potentie van CO2 opslag en hergebruik voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

Qua vraag is er voldoende potentie voor zowel CCU en CCS. Het mogelijke aanbod van CO₂ voor ondergrondse opslag of hergebruik gaat naar verwachting groeien naar 4 tot 8 Mton per jaar volgens de CES. In het NZKG-gebied en in de glastuinbouw van NH-Noord en NH-Zuid is er zowel vraag naar als aanbod van CO₂.

In de glastuinbouwgebieden in de provincie is er vooral vraag naar CO₂ (0,4 Mton, oplopend naar 1,1 Mton in 2025 t.g.v. de het afstappen van aardgas). Vanaf 2025 kan een vraag ontstaan vanuit CCU. Het betreft 'mineralisatie' (circa 0,1 Mton/jr), en vanuit geleidelijke opbouw van synfuelproductie. Synfuelproductie zal naar verwachting pas op grotere schaal gerealiseerd kunnen zijn in 2040 en verder kunnen oplopen richting 2050. Ook in 2050 is de verwachting dat de vraag vanuit CCU-processen substantieel kleiner is dan het aanbod (3,9 Mton versus 6,4 Mton)¹⁹.

¹⁸ Gasunie, z.d.

¹⁹ Navigant, Detailstudie naar ontwikkeling CO₂-vraag en –aanbod in de tijd, 2019.

Transport van CO₂ per tankauto en binnenvaartschip naar de glastuinbouw in het noorden lijkt uit kosten oogpunt een logischer keuze dan het doortrekken van een CO₂-pijpleiding vanuit het NZKG. In het zuidelijk deel van de provincie kan de glastuinbouw ook CO₂ krijgen via de reeds bestaande leiding van OCAP.

In het industriegebied NZKG is behoefte aan een CO₂-net voor zowel CCS als CCU. In geval van CCU is daarbij ook waterstof nodig. Vanuit de industrie is er vraag om met de CO₂ bijvoorbeeld (syn)kerosine, nafta (een grondstof voor de chemische industrie) of andere grondstoffen mee te produceren. Hierbij is in de meeste gevallen ook aansluiting op een waterstofnetwerk nodig. Net als bij waterstof gaat het bij het realiseren van een CO₂-keten om een klassieke kip-ei-situatie die alleen kan worden doorbroken door overheidssteuning en een goed gecoördineerd stimuleringsprogramma. Ten behoeve van de opslag van overtollige CO₂ zal aanvullende uitleg naar lege gasvelden onder de Noordzee nodig zijn voor opslag²⁰. Voor enkele bedrijven in de regio geldt dat CO₂ afvang nodig zal zijn om klimaatneutraal te kunnen worden, namelijk voor AfvalEnergieBedrijf Amsterdam (AEB), HVC en Tata Steel²¹. Dit CO₂-net kan gerealiseerd worden door het bestaande CO₂-net van OCAP uit te breiden naar AEB en naar Tata Steel, en met een afvoermogelijkheid vanuit het NZKG naar ondergrondse opslag in lege aardgasvelden onder de Noordzee. De totale potentiële emissiereductie is volgens de ontwikkelingsstrategie energietransitie NZKG 8 Mton CO₂/jaar. De capaciteit van de lege gasvelden op het Nederlands continentaal plat voor opvang van CO₂ bedraagt in totaal 1.200 Mton. Met andere woorden: voor opslag van de 8 Mton/jaar CO₂ van AEB en Tata Steel tot 2050 is er geen opslagcapaciteitsprobleem.

Het samenwerkingsverband Athos voorziet in de aanleg van een infrastructuur om deze CO₂ opslag mogelijk te maken. Athos is een gezamenlijk initiatief van Gasunie, Energie Beheer Nederland, Tata Steel en Port of Amsterdam. Athos is een van de prominente klimaatprojecten in het Noordzeekanaalgebied en is door de TIKI aangewezen als essentieel project vanwege de grote bijdrage aan het behalen van de klimaatdoelstellingen en het bieden van additionele mogelijkheden tot decarbonisatie bij de andere clusters. De haalbaarheidsstudie laat zien dat een CCUS netwerk technisch realiseerbaar is. Er wordt nu ingezet op versnelde realisatie.

Stand van de techniek

In 2020 waren er 28 operationele CCS-projecten in de wereld waarbij bijna 40 miljoen ton CO₂ per jaar werd afvangen, waarvan 9 miljoen ton geologisch werd opgeslagen. De meeste projecten voor het afvangen van koolstof zijn industrieel van aard, voornamelijk moeilijk koolstofvrij te maken industrieën zoals cement, staalproductie en kunstmestproductie²². Met geologische opslag is echter nog maar vrij weinig ervaring. Van deze 28 projecten vallen er 22 onder 'Enhanced Oil Recovery' projecten, de resterende 6 zijn 'dedicated geological storage'. Enhanced Oil Recovery houdt in dat CO₂ in olievelden geïnjecteerd wordt met als doel olieproductie te stimuleren.

²⁰ Rapportage systeemstudie energie-infrastructuur Noord-Holland 2020-2050.

²¹ CE Delft, Ontwikkelstrategie Energietransitie NZKG, 2018.

²² Global CCS institute, The Global Status of CCS Report 2020, 2021.

Er bestaat nog veel potentie voor de techniek om door te ontwikkelen. Dit zal vooral draaien rondom het verbeteren van de energie zuinigheid bij het comprimeren van de CO₂. Ook kan de afvang van CO₂ efficiënter worden zodat minder CO₂ ontsnapt.

In Nederland bestaan er nog geen operationele CCS projecten. Met CCU is meer ervaring. Sinds 2005 bestaat er in Nederland al een CO₂ transportnetwerk: de CO₂ leiding van OPAC. Het huidige OCAP-systeem bestaat uit een pijpleidingsysteem met een hoofdleiding van meer dan 80 km vanaf Botlek naar Schiphol en de Amsterdamse haven. De hoofdleiding heeft een transportcapaciteit van ongeveer 1 Mton/jaar en kan CO₂ onder een druk van ongeveer 20 bar transporteren. De pijpleiding wordt beleverd vanuit de Shell PER+ en Abengoa fabrieken in de Botlek. Beide fabrieken samen kunnen jaarlijks maximaal 1,3 Mton/jaar (1,0 + 0,3 Mton/jaar) aan de pijpleiding leveren. Vanuit de pijpleiding worden een kleine 600 tuinders beleverd met ongeveer 400 kton/jaar aan CO₂. De CO₂ wordt namelijk gebruikt om planten beter en sneller te laten groeien. De levering vindt hoofdzakelijk in de zomer plaats²³.

Rol van de provincie Noord-Holland

In het NZKG komen verschillende projecten tot stand om de CO₂ -uitstoot van de industrie te verminderen door middel van CO₂ afvang. De belangrijkste zijn: Athos; Hlsarna (een nieuw procedé voor het maken van staal waarbij de CO₂ wordt afgevangen); Everest 1 en 2 (voor hergebruik van CO₂ bij Tata Steel) en CO₂ -afvang bij AEB voor hergebruik in de glastuinbouw; Aramis (ontwikkelt de infrastructuur om vanuit Den Helder door derden aangeleverde CO₂ onder de Noordzeebodem op te slaan. Deze CO₂ kan per boot of per aan te leggen pijpleiding (bijvoorbeeld vanuit IJmuiden) in Den Helder worden gebracht). Meer informatie over bovenstaande projecten in het NZKG zijn te vinden in het regioplan Noordzeekanaalgebied.

De rol van de provincie bij CO₂ opslag en hergebruik projecten is beperkt. Als het gaat om CCS dan vallen projecten automatisch onder de mijnbouwwet; dit maakt het een Rijksaangelegenheid. De provincie is wel betrokken op ruimtelijk, juridisch en planologisch niveau bij zowel CCS als CCU projecten. Wel geldt dat er coördinatie en helderheid met betrekking tot infrastructuur realisatie nodig is vanuit het Rijk, evenals actieve betrokkenheid en medewerking aan het versneld realiseren van no regret-projecten (bijv Athos)²⁴.

3. Tot slot

²³ CE Delft, Kansrijk beleid voor CCS, 2016.

²⁴ Regioplan Noordzeekanaalgebied, 2020

Met bovenstaande tekst hopen we een verhelderend overzicht gegeven te hebben van andersoortige duurzame energietechnieken. Van sommige technieken wordt meer verwacht dan anderen, daarom is de provincie niet bij alle technieken op dezelfde manier betrokken. Wel geldt dat het niet de taak van de provincie om enkel in te zetten op bepaalde vormen van duurzame energieopwekking of CO2 reductie technieken. Daarnaast geldt dat voor veel van de besproken technieken ondersteunend beleid vanuit het Rijk moet volgen, voordat er grootschalig op ingezet kan worden. Om Noord-Holland in 2050 klimaatneutraal en circulair te krijgen moet er nog veel gebeuren. Het is nog onduidelijk hoe het toekomstige energiesysteem er precies uit zal zien, wel is duidelijk dat het toekomstige energiesysteem een mix zal zijn van allerlei verschillende technieken.

Om de lange termijn transitie naar duurzame energie in beeld te krijgen heeft de provincie Noord-Holland diverse ruimtelijke- en economische toekomstverkenningen uitgevoerd. Deze zijn te vinden op [Energietransitie – Provincie Noord-Holland \(noord-holland.nl\)](#). Hierbij staat de vraag centraal hoe de energievoorziening er in 2050 uit kan zien, wat er voor nodig is om daar te komen en wat de consequenties zijn voor economie, landschap en samenleving.

Het is duidelijk dat er zijn nieuwe energiesystemen nodig zijn en dat innovatieve technologieën ontwikkeld moeten worden. De provincie heeft diverse subsidieregelingen om innovatie aan te jagen:

- Participatiefonds Duurzame Economie Noord-Holland (PDENH): dit fonds is bedoeld voor bedrijven en projecten, die duurzame energie een extra stimulans geven. Zo wil de provincie stimuleren op het inzetten van energie, circulaire economie en duurzame mobiliteit.
- Programma Investeringsgereed Innovatief MKB Noord-Holland (PIM): innovatieve of duurzame MKB'ers kunnen hier terecht met financieringsvragen. PIM biedt maatwerkadvies, geeft inzichten over financieringsmogelijkheden en biedt masterclasses en voorlichtingsbijeenkomsten aan. Ook koppelt PIM ondernemers aan zijn unieke netwerk van financiers, andere bedrijven en potentiële klanten.
- GO!-NH: De GO!-NH Accelerators versnellen MKB-bedrijven en startups. In een programma van 3 maanden worden bedrijven klaargestoomd om met innovatieve oplossingen de markt te bestormen. Met trainingen, tools en professionele ondersteuning van experts ontwikkelen zij een bedrijf in een beschermde omgeving. Vanaf 2018 is de Accelerator duurzame mobiliteit gestart.
- Subsidieregeling MKB Innovatiestimulering Regio en Topsectoren 2017.

Technologische innovaties kosten tijd en vinden plaats in een mondiale context, en zijn daarmee beperkt stuurbaar door één land/overheid. Het moment waarop kostenreducties gaan optreden door niet-technische zaken (goede tenderssystematiek ontwikkelen, daarbinnen sterke investeringszekerheid bieden in combinatie met een goede planmatige inpassing in het elektriciteitsnet) zijn enkel en alleen afhankelijk van de voortvarendheid waarin de overheid samen met de markt daar de kaders voor schept.

4. Bijlagen

4.1 Windenergie

Windenergie is energie die wordt gewonnen uit de kracht van de wind. Via een windturbine die de kinetische energie van luchtstromen omzet in elektrische energie. De energie wordt voornamelijk onttrokken met de rotor, die de kinetische energie omzet in mechanische energie, en met de generator, die deze mechanische energie omzet in elektrische energie. Windenergie is een van de snelste groeiers in de markt voor duurzame én conventionele elektriciteit.

Potentie van windenergie voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

Noord-Holland heeft een gunstige geografische positie ten aanzien van de grootschalige ontwikkeling van wind op zee. Bij wind op zee speelt de vraag waar grote nieuwe windparken worden aangeland, hoe de energie aan land komt, en hoe en in welke vorm de energie naar het achterland zal worden getransporteerd. Noord-Holland Noord ligt gunstig voor wind op land vanwege de relatief hoge opbrengsten t.o.v. meer landinwaarts gelegen regio's. In de RES'en staat de potentiële opwekking in GWh voor wind op land beschreven voor Noord-Holland Noord en Noord-Holland Zuid.

Wind op land en zon + wind kan in Noord-Holland Noord zorgen voor een gezamenlijke opwek van 142 GWh. In Noord-Holland Zuid komt dit neer op 359 GWh.

In de systeemstudie energie–infrastructuur Noord-Holland wordt er gekeken naar de mogelijke opwek van hernieuwbare energie in NH voor 2050. De studie werkt met vier toekomstscenario's. De scenario's zijn gebaseerd op landelijke scenario's en uitgewerkt voor de specifieke situaties in de provincie Noord-Holland. Elk scenario doet andere aannames over de vraagontwikkeling. In de scenario's loopt het aandeel wind op land tussen 0,8 GW en 2,5 GW. Het aandeel wind op zee loopt uiteen tussen 2,1 GW en 4,1 GW²⁵.

Stand van de techniek

²⁵ CE Delft, Rapportage systeemstudie energie–infrastructuur Noord-Holland, 2019.

Windenergie is een vrij volwassen techniek. Sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw wordt er geëxperimenteerd met het opwekken van windenergie. De conventionele windturbine, met horizontale as, is een van de meest efficiënte modellen. Desondanks staat deze windturbine ontwerptechnisch niet stil. Ook bij windenergie geldt dat rendementen verhoogt kunnen worden. Het gaat hier om een combinatie van het optimaliseren van de energieopbrengst en verlagen van de kosten van productie en onderhoud. TNO is bijvoorbeeld aan het onderzoeken hoe de aerodynamica verbeterd kan worden om windparken te optimaliseren. De huidige generatie windturbines wordt in hoog tempo vervangen door nieuwe die veel groter efficiënter zijn en die ook bij minder wind nog veel elektriciteit opwekken. Toekomstige kostprijsreductie wordt gedreven door technologische en systeeminnovaties. Een greep uit innovaties met de grootste potentie zijn:

- *Grotere rotorbladen*

De stap van de huidige grootste model van windmolens en (164 en 167 m rotordiameter) naar 220 meter resulteert in een 45% grotere output. Momenteel voert TNO een uitgebreid testprogramma uit aan de zogenaamde Haliade-X, de grootste windturbine ter wereld. Dit model is bedoeld voor de opwekking van wind op zee. De capaciteit van deze windmolen zou 12 megawatt bedragen waarmee de turbine genoeg energie zou produceren om tot wel 16.000 huishoudens van stroom te voorzien²⁶. Een voordeel van de grotere turbines is dat deze langzamer draaien en verder uit elkaar moeten staan waardoor dit ruimtelijk een rustiger beeld geeft.

- *Hoger vermogen per windturbine*

Volgens Ecofys zal de recente groei van het vermogen per turbine (van 3 naar 9,5 MW) zich voortzetten, waarbij het meest recent aangekondigde type al tot 12 MW gaat²⁷.

- *Schaalvergroting en standaardisering*

Wanneer de ontwikkeling van nieuwe typen windturbines zich stabiliseert rondom een technisch optimum, zullen er meer stuks van dezelfde succesvolle modellen verkocht worden wat schaalvoordelen oplevert en daarmee kosten dempt²⁸.

In Nederland kennen we voornamelijk windturbines met een horizontale as (Horizontal Axis Wind Turbine – HAWT) Naast het conventionele model, wordt er ook geëxperimenteerd met het opwekken van windenergie met andersoortige turbines: ‘verticale-as-windmolen’ (Vertical Axis Wind Turbine – VAWT)²⁹. In dit laatste geval draaien de rotorbladen, zoals de naam al impliceert, om een verticaal gerichte as. Er bestaan allerlei soorten en maten maar de twee bekendste varianten zijn de Savonius-molen (twee of drie schoepvormige delen vangen wind op, de energie wordt overgebracht naar de verticale as) en de Giromill/Darrieus-molen (bestaat meestal uit 2 of 3 verticaal, gebogen wieken, gemonteerd aan een verticale as). Bovengenoemde modellen zijn vaak stiller en kleiner dan traditionele windturbines. Voorlopig geldt echter dat ze qua rendement nog niet kunnen concurreren met de conventionele windmolens waardoor deze modellen economisch gezien niet rendabel zijn.

²⁶ TNO, z.d.

²⁷ Ecofys, Kostprijs van Zon-PV en Wind in 2030. 2018.

²⁸ Ecofys, Kostprijs van Zon-PV en Wind in 2030. 2018.

²⁹ TNO, Optimalisatie van een drijvende draagconstructie voor een VAWT, z.d.

In een eerder subhoofdstuk ging het over waterstof. Zoals beschreven vervult waterstof een belangrijke systeemrol. Waterstof als energiedrager biedt flexibiliteit vanwege de verschillende toepassingsmogelijkheden. De integratie van elektrolyse in een windturbine leidt tot een hogere efficiëntie. Elektrische conversie- en transportverliezen tussen de windturbine generator en het aanlandingspunt op land wordt vermeden. Daarbij biedt de integratie een mogelijkheid om de efficiëntie van het elektrolyseproces te verhogen. Door de integratie ontstaan er nieuwe uitgangspunten voor de optimalisatie van de windturbine en het windpark als geheel. Daarbij zijn de productiekosten van waterstof vele malen lager dan wanneer de productie van waterstof in een separaat elektrolyseproces aangesloten wordt op de elektrische infrastructuur.

Rol van de provincie Noord-Holland

De provincie Noord-Holland erkent dat windmolens op land nodig zullen zijn om de vanuit het Rijk gestelde doelen te behalen. Wel geldt dat de provincie daarbij de voorkeur heeft om windmolens op zee te plaatsen. Het opwekken van elektriciteit vraagt ruimte. En omdat ruimte in Noord-Holland schaars is, moeten functies zorgvuldig wege en op elkaar afgestemd worden. Dit gebeurt onder andere in de Regionale Energiestrategieën (RES'en).

Vanaf 2020 is het mogelijk in Noord-Holland Noord losstaande kleine windmolens tot 15 meter bij agrarische bedrijven te bouwen. Het rendement van dit soort kleine windmolens verschilt nog van molen tot molen. Energie moet 'achter de meter' gebruikt worden. Het directe verbruik van energie is belangrijk voor de salderingsregeling.

Momenteel loopt er in de Wieringermeerpolder een project met een waterstofmolen. Deze windmolen gaat waterstof produceren en moet zorgen voor een groene en goedkope brandstof. Het project wordt 'Van wind tot wiel' genoemd. De keten bestaat uit:

- Geïntegreerde waterstofproductie in een windturbine;
- Geïntegreerde hogedruk opslag, transport en distributiesysteem over de weg, van wind naar minimaal vijf waterstoftanklocaties;
- Bundeling van inkoop en het beheer van 100 waterstofvrachtwagens³⁰.

Dit project is gedeeltelijk gefinancierd d.m.v. het participatiefonds Duurzame Economie Noord-Holland (PDENH).

4.2 Zonne-energie

Met behulp van zonne-energie kan zowel elektriciteit worden opgewekt (zonnepanelen ofwel PV-panelen) of warmte worden geleverd ten behoeve van procesverwarming, ruimteverwarming of warm tapwater (zonnecollectoren met zonneboiler). Zonnepanelen kunnen worden geplaatst op daken en variëren dan van heel klein (een paar kW bij huishoudens) tot meer dan 1 MW. Grootschalige

³⁰ HYGRO, DUWAAL, z.d.

veldopstellingen (zonneweides) zijn veel groter, vanaf circa 1 MW tot tientallen MW. De financiële aantrekkelijkheid van zonnepanelen is afhankelijk van schaalgrootte (hoe groter hoe kostenefficiënter, ook als je rekening houdt met extra kosten voor een netaansluiting) en de vraag of er wel of niet aan het net geleverd wordt (in verband met energiebelasting). Financieel gezien is voor een grootverbruiker grijze elektriciteit nog lucratiever in opbrengst omdat de energiebelasting regressief loopt. Dit verschil wordt voor grootverbruikers opgevangen door de subsidieregeling SDE++.

Potentie van zonne-energie voor 2030–2050 in provincie Noord-Holland

De RES'en van Noord-Holland Noord en Noord-Holland Zuid geven overzicht van de mogelijkheden voor grootschalige opwek van hernieuwbare energie, waaronder zonne-energie in de regio.

Noord-Holland Noord

De concept-RES van Noord-Holland Noord bevat plannen voor de realisatie van 1235 hectare zonnedaken, 20 hectare zon boven parkeerplaatsen, 6 hectare zon op geluidsschermen e.d. en 1086 hectare zon op land. Momenteel bestaat de bestaande opwek bestaat voor 0,3 terawattuur uit zonnestroom; dit betreft gerealiseerde en beschikte SDE+-projecten. De potentiële opwek bij zon op grote daken, zon op parkeerplaatsen, zon op geluidsschermen e.d. en zon op land komt al neer op 1.327–2.329 GWh in 2030.

Noord-Holland Zuid

De concept-RES van Noord-Holland Zuid bevat plannen voor de realisatie van 2071 hectare zonnedaken, 137 hectare zon boven parkeerplaatsen, 25 hectare zon op geluidsschermen e.d. en 460–497 hectare zon op land. De gecombineerde potentiële opwek bij zon op grote daken, zon op parkeerplaatsen, zon op geluidsschermen e.d. en zon op land komt al neer op 1.962 GWh in 2030.

Stand van de techniek

De omzetting van zonlicht in elektriciteit (m.b.v. fotovoltaïsche cellen ook wel PV genoemd) en warmte (m.b.v. thermische panelen) zijn inmiddels geen nieuwe duurzame energietechnieken meer te noemen, er is sprake van wereldwijde grootschalige toepassing. De afgelopen decennia heeft zonne-energie zich enorm ontwikkeld waardoor het nu een efficiënte en betaalbare optie is met vele toepassingsmogelijkheden. Een publicatie van het Internationaal Energieagentschap IEA bevestigde in 2020 dat zonne-energie wereldwijd de goedkoopste bron is van hernieuwbare elektriciteit en dat de kostendaling nog door zal zetten³¹. In Nederland geldt dat grootschalige zonnestroom 5 tot 8 cent per kWh zal kosten in 2023. De elektriciteitsprijs is dan 4,2 cent per kWh volgens PBL³². Verdere prijsdalingen in PV panelen per opgewekte eenheid energie zijn te verwachten. Dit komt o.a. door slimmere toepassingsvormen van de technologieën, bijvoorbeeld PVT panelen die zowel elektriciteit als warmte genereren, tweezijdige zonnepanelen, zonnepanelen die

³¹ IEA, World Energy Outlook 2020, 2020.

³² Ecofys, Kostprijs van Zon-PV en Wind in 2030. 2018.

gedurende de dag met de zon meebewegen en simpelweg doordat verschillende partijen het rendement uit de zonnecellen zelf continue verder proberen te perfectioneren. Daardoor wordt zonnestroom nu door velen gezien als een belangrijke bouwsteen of zelfs de hoeksteen van het mondiale duurzame en klimaat neutrale energiesysteem van de toekomst³³.

Deze ontwikkelingen hebben ervoor gezorgd dat er een breed scala aan zonnecellen bestaat, in zeer verschillende stadia van ontwikkeling. Vrijwel alle soorten zonnecellen laten een geleidelijke, maar wel robuuste toename van het rendement met de tijd zien³⁴.

Zonnecellen worden gemaakt van allerlei (halfgeleider)materialen. Per materiaal kunnen verschillende rendementen bereikt worden. Qua materialen voor zonnecellen zijn perovskieten een nieuwe familie van materialen die in de wereld van zonne-energie veel potentie hebben. Van oudsher wordt silicium gebruikt in zonnecellen. Perovskieten is als materiaal goedkoop, gemakkelijk te maken en bijna net zo efficiënt als silicium. Daarnaast kunnen perovskieten gedeponeerd worden op plastic, metaal of glas en in korte tijd hebben perovskietcellen in het laboratorium een rendement van ruim 25% gehaald. Ter illustratie: De beste praktische laboratoriumzonnecellen komen tegenwoordig halen een rendement van rond de 25%: 26,7% voor silicium en 29,1% voor galliumarsenide³⁵. Het hoogste rendement ooit behaald staat begin 2021 op 47%. Dit gebeurde echter niet onder normale omstandigheden maar met zogenaamd geconcentreerd licht en een stapeling van maar liefst 6 verschillende cellen, respectievelijk materialen in een zogenaamde multi-junctiecel. De grootste doorbraak die de perovskieten zouden kunnen brengen ligt in de mogelijkheid om deze te combineren met andere zonnecelmaterialen. Perovskieten kunnen worden gebruikt in combinatie met silicium of met zichzelf: de optische eigenschappen kunnen per laagje worden gevarieerd zodat een stapeling van twee soorten perovskiet mogelijk is. Een perovskiet-silicium tandemcel heeft in het laboratorium al een rendement 29,5% gehaald. Volgens TNO komen Perovskieten daarom "prachtig op tijd om de trend van steeds toenemende rendementen te kunnen voortzetten, zelfs wanneer de huidige commerciële technologieën hun grens hebben bereikt" ³⁶.

Rol van de provincie Noord-Holland

Het provinciale beleid voor zonne-energie is een samenspel tussen ruimtelijk beleid en stimulerend beleid. Vanwege de schaarse ruimte in Noord-Holland zet het provinciaal beleid voor zonne-energie in op zonnepanelen op grote daken, zoals scholen en bedrijfsdaken, maar ook publieke gebouwen. Zonnepanelen op grote daken, boven parkeerplaatsen en langs infrastructuur krijgen van de partijen binnen de RES'en de meeste steun. Daarom stimuleert de provincie de toepassing van zonne-energie op deze locaties. Meervoudig ruimtegebruik met zonne-energie is ook een

³³ TNO, Zonpositief: zonne-energie op weg naar impact, 2021.

³⁴ TNO, Zonpositief: zonne-energie op weg naar impact, 2021.

³⁵ TNO, z.d.

³⁶ TNO, Zonpositief: zonne-energie op weg naar impact, 2021. P. 8.

uitgangspunt in de RES'en. Zo ziet de IJsselmeerregio kansen om zonne-energie op het IJsselmeer op te wekken en wordt er op verschillende plekken gekeken naar de mogelijkheden voor energieleverende geluidschermen langs snelwegen.

Omdat hiermee slechts een deel van de klimaatafspraken uit het Klimaatakkoord kan worden behaald, biedt de provincie onder voorwaarden ruimte aan zonneparken in landelijk gebied. Om de landschappelijke, economische en ecologische kwaliteit van het landelijke gebied in Noord-Holland te beschermen bij de aanleg van zonnepanelen zijn er regels opgesteld. Die staan in de Omgevingsverordening NH2020 en bijbehorende omgevingsregeling. De Kwaliteitsimpuls Zonneparken laat zien hoe de regels kunnen worden toegepast. En dan hier aandacht voor biodiversiteit en bodemkwaliteit als voorbeelden van de voorwaarden.

De provincie steunt ook nieuwe innovatieve toepassingen van zonne-energie. Omdat innovatie duur is, investeert de provincie in plannen en projecten. Enkele projectvoorbeelden zijn: SolaRoad (zonnepanelen geïntegreerd in wegen), een energieleverend geluidsscherm bij Alkmaar, de realisatie van zonnefietspaden in samenwerking met provincie Zuid-Holland, Noord-Brabant en Utrecht en de tool Park The Sun (een interactieve kaart waarmee iedereen voor elke parkeerlocatie in Noord-Holland de potentie van een solar carport kan inzien). Daarnaast zijn er verschillende subsidieregelingen waar initiatieven die de opwekking van zonne-energie stimuleren voor in aanmerking komen. Voorbeelden zijn: de subsidieregeling 'Duurzaamheidsinitiatieven burgercollectieven Noord-Holland' en de subsidieregeling voor jonge boeren voor verduurzamen bedrijf (De subsidie maakt het bijvoorbeeld mogelijk te investeren in zonnepanelen maar is in een bredere zin bedoelt om jonge landbouwers te helpen verduurzamen). Directe en structurele subsidieverstrekking voor de opwekking van zonne-energie is echter tot op heden primair een aangelegenheid van het Rijk.