

## QuickScan duurzame energieopwekking Nijkerk

Door: Maartje Bodde, Arend van Roon & Björn Thomas

Datum: 4 juni 2021

Projectnummer: C05057.000330 / 30069171

## 1. Introductie

Deze QuickScan is opgesteld in het kader van de verkenning van duurzame energieopwekking in de gemeente Nijkerk. De QuickScan heeft als doel innovatieve technieken voor het opwekken van wind- en zonne-energie te onderzoeken en af te wegen ten opzichte van reguliere technieken. Hierbij staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Welke innovatieve vormen van duurzame opwek zijn er te vinden?
- In welke mate zijn deze vormen door de markt geaccepteerd?
- Hoe groot is de energieopbrengst van deze vormen van duurzame opwek?
- In welke mate is er sprake van een haalbare business case voor deze vormen van duurzame opwek?

De voorliggende memo beschrijft en vergelijkt de reguliere en innovatieve vormen van duurzame energieopwekking met wind- en zonne-energie. Hoofdstuk 2 beschrijft de methode en het afwegingskader voor de vergelijking. Hoofdstuk 3 beschrijft de reguliere en innovatieve technieken van windenergie. Hierbij worden eerst de technieken beschreven, welke daarna worden beoordeeld. Ten slotte volgt een conclusie over de afweging van innovatieve technieken ten opzichte van reguliere technieken voor energieopwekking met windenergie. In hoofdstuk 4 worden de technieken van opwek met zonne-energie op dezelfde wijze beschreven.

## 2. Methode

In deze QuickScan zijn innovatieve technieken voor duurzame energieopwekking op een kwalitatieve wijze onderzocht. Dit is gedaan met behulp van online zoekacties naar openbare bronnen en interviews met enkele vakspecialisten. De onderzoeksvragen zijn op de volgende wijze beantwoord:

- **Welke innovatieve vormen van duurzame opwek zijn er te vinden?**
  - Middels online zoekacties naar openbare bronnen en wetenschappelijke onderzoeken is een overzicht gemaakt van verschillende technieken van wind- en zonne-energieopwekking. De reguliere technieken worden in Nederland al toegepast of zijn in het buitenland zeer succesvol gebleken. Innovatieve vormen zijn nog niet toegepaste vormen van duurzame energieopwekking.
- **In welke mate zijn deze vormen door de markt geaccepteerd?**
  - Om deze vraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van het kader “*Technology Readiness Level (TRL)*”. TRL is een methode om de volwassenheid van technologieën in te schatten en helpt in de besluitvorming omtrent ontwikkeling van nieuwe technologie. De Europese Unie hanteert deze methode in haar subsidieprogramma’s om projecten te beoordelen, bijvoorbeeld het Europese programma Horizon 2020. De *levels* zijn ingedeeld in drie hoofdgroepen (*research, development en deployment*), met in elk daarvan weer drie subgroepen (Figuur 1). Dit leidt tot een indeling van negen groepen die wordt gehanteerd in deze QuickScan.
- **Hoe groot is de energieopbrengst van deze vormen van duurzame opwek?**
  - Een belangrijk aspect van de afweging van technieken voor duurzame opwek is de schaalgrootte en energieopbrengst. De online zoekactie heeft een focus op innovatieve vormen die kunnen concurreren met de grote schaalomvang van reguliere windparken en zonneparken. De online zoekacties tonen aan wat de gemiddelde opbrengst per eenheid of oppervlak is van de verschillende technieken.
- **In welke mate is er sprake van een haalbare business case voor deze vormen van duurzame opwek?**
  - Op basis van openbare data over kosten van de beschreven technieken, maatschappelijk draagvlak en bekende subsidies vanuit de overheid, is bepaald in hoeverre de technieken op dit moment financieel haalbaar zijn.

De resultaten van de online zoekactie zijn gespiegeld met enkele experts op het gebied van windenergie, zonne-energie en duurzaamheid middels interviews. De expertise is ingezet om het overzicht van technieken te toetsen en aan te vullen, en om de onderbouwing van afweging tussen technieken aan te scherpen.

### TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)



Figuur 1. Technology Readiness Level

### 3. Windenergie

In het klimaatakkoord is afgesproken dat er in 2030 in Nederland tenminste 35 terawattuur duurzame elektriciteit op land geproduceerd moet worden. De rijksoverheid ziet windenergie als een belangrijke vorm van duurzame energie om dit doel te halen mede door de betrouwbaarheid, betaalbaarheid en toepasbaarheid op grote schaal. [1] Behalve de 'reguliere' vorm van energieopwekking uit wind zijn er ook minder bekende alternatieven waarvan veel nog in ontwikkeling zijn.

#### 3.1 (Reguliere) Horizontale as windturbines (HAWT)

De reguliere vorm van opwek bestaat uit horizontale, naar de wind toe draaiende turbines. Dit zijn horizontale as windturbines (HAWT). De energieopwekking is direct afhankelijk van de oppervlakte aan opgevangen wind en bovenal windsnelheid. Daarom zijn hoge turbines met een grote rotordiameter de meest gebruikte manier om windenergie om te zetten naar bruikbare elektriciteit. Deze vorm van opwek is zeer beproefd en wordt nog continue verbeterd. Windturbines op land hebben een gemiddeld vermogen van ongeveer 4-7 MW per turbine. Moderne windturbines op land zijn tussen de 150 en 250 meter hoog met rotordiameters tot ongeveer 170 m [2].



Figuur 2: Horizontale as windturbine Haliade x

##### 3.1.1 Dorpsmolen

'Dorpsmolen' of 'buurtsmolen' is een term voor een vaak kleinere windturbine die geheel of gedeeltelijk wordt gefinancierd door de directe omgeving. Qua techniek is deze turbine vergelijkbaar met de reguliere turbines. Echter, over het algemeen zijn dit kleinere varianten tot ongeveer 100 m met een vermogen tot 0,9 MW [3] [4]. Vooral in het oosten en noorden van Nederland wordt deze methode al vaker toegepast. Deze vorm van windenergie heeft als voordeel dat het meer draagvlak heeft onder omwonenden vanwege de beperkte hoogte. Deze beperkte hoogte zorgt echter dat de businesscase in sommige gevallen niet haalbaar is, doordat subsidies dalen en de energieopbrengst relatief laag is [5].



Figuur 3: vergelijking Dorpsmolen met reguliere turbine [4]

### 3.2 Verticale as windturbines (VAWT)

Verticale windturbines bestaan uit turbines die draaien om een verticale mast (as). Deze methode bestaat al zeer lang en heeft bekende voor- en nadelen. In verhouding tot horizontale windmolens loopt de ontwikkeling echter achter. Dit heeft te maken met een belangrijk gegeven: de efficiëntie van verticale windturbines ligt lager dan horizontale variant doordat niet alle bladen tegelijk wind kunnen vangen [6]. Bij een verticale windturbine zit de generator aan de onderkant. Doordat bij opschaling grote torsiekrachten op de turbine optreden, is deze lastiger op hoogte te plaatsen [7]. Omdat de windsnelheden dicht bij de grond lager zijn, heeft dit echter een groot effect op de energieopbrengst. De, in dit onderzoek gevonden, grootste variant die commercieel beschikbaar is heeft een vermogen van 1,5 MW bij een tiphoogte van 66 m geproduceerd door Anew Institute [8]. Enkele bedrijven die VAWT ontwikkelen zijn Fairwind, Wind Harvest International, Anew insitute en Arbor Wind.



Figuur 4: Verticale as windturbines [9]

### 3.3 Urban Wind Turbines

De categorie Urban Wind Turbines bestaat veelal uit een combinatie van de eerdergenoemde categorieën HAWT en VAWT. Het verschil is de schaal. Deze zijn namelijk kleiner, zodat ze toepasbaar zijn in de bebouwde omgeving. In sommige gevallen zijn de turbines geïntegreerd in gebouwen, zoals in de nok van een dak [10]. Dit brengt echter risico's met zich mee, doordat de trillingen van de windturbine schade kunnen aanrichten aan zwakkere gebouwen. Urban Wind Turbines vallen in de categorie van ongeveer 100 W tot 100 kW vermogen, met een tiphoogte tot ongeveer 15 m. Er zijn zeer veel verschillende varianten beschikbaar van innovatieve prototypes tot beproefde ontwerpen. Enkele fabrikanten zijn Oy Windside, Proven, Eurowind, EAZwind, RidgeBlade en HomeEnergy.



Figuur 5: Urban Wind Turbines [11]

### 3.4 Vortex Bladeless

Vortex Bladeless is een methode van opwekking in ontwikkeling door een Spaanse startup die gebruik maakt van enkel een mast. Deze methode gebruikt een aerodynamisch fenomeen genaamd 'Vortex shredding' om in oscillatie te komen. Deze oscillatie wordt vervolgens omgezet in elektriciteit. De methode is in de ontwikkelingsfase waarbij de kleinere varianten tot 100 W (2,75 m) het einde van de ontwikkelingsfase naderen. De methode is minder efficiënt dan reguliere opwekking; het levert ongeveer 30% t.o.v. de reguliere opwek voor een turbine van gelijke oppervlakte. [12] Theoretisch neemt de Vortex Bladeless minder ruimte in en kunnen ze dichter op elkaar geplaatst worden. De kosten van de vortex Bladeless zijn nog niet duidelijk. De basis van de generator moet op een zeer stabiele ondergrond geplaatst worden.



Figuur 6: Vortex Bladeless [13]

### 3.5 Windenergie op grote hoogte

Een in ontwikkeling zijnde tak van windenergie is die op grote hoogte doormiddel van vliegers, (zweef)vliegtuigjes of zwevende windturbines [14]. Hierbij is het doel om energie op te wekken door gebruik te maken van hogere windstromen op hoogtes tussen de 200 m en 10 km. Deze vorm van opwekking is opgedeeld in twee subtypes. Een type produceert energie in een grondstation dat aangedreven wordt vanuit de lucht en de andere wekt de elektrische energie op in de lucht waarna het via een kabel overgebracht wordt naar de grond.

#### 3.5.1 Vliegende windenergie: opwek op de grond

Deze methode maakt gebruik van een lier of generator op de grond die wordt aangedreven vanaf grote hoogte. Sommige bedrijven maken gebruik van zweefvliegtuigjes en andere van vliegers. Een aantal bedrijven dat aan deze technologie werken zijn: Kitegen, Kite Energy, Skysails en Ampyx Power. Hierbij gaat het om prototypes van 250 kW op een hoogte van 200-450 m door Ampyx Power tot lucratievere projecten van 3 MW [15] op een hoogte van 800m door Kitegen. Prijzen van de prototypes zijn nog niet bekend.



Figuur 7: KiteGen prototype [16]

#### 3.5.2 Vliegende windenergie: opwek op hoogte

In deze vorm van vliegende windenergie wordt de elektrische energie opgewekt op grote hoogte en via een kabel naar een grondstation geleid. Een veelzeggend voorbeeld hiervan is Altaeros Energies die een kleine windturbine op grote hoogte brengen door middel van een helium ballon. Een ander voorbeeld is Makani Power dat energie opwekt tijdens duikvluchten van een vliegtuigje met behulp van propellers die als generators dienen. Bedrijven die prototypes ontwikkelen voor deze vorm van opwek zijn: Makani Power, Altaeros Energies, Joby Energy en Sky Windpower.



Figuur 8: Altaeros Energies [17]



Figuur 9: Makani Power



### 3.6 Beoordeling technieken windenergie

Vorm van opwek	Marktacceptatie	Energieopbrengst	Business case
<b>Windenergie</b>			
Regulier Horizontaal (HAWT)	9. Veelgebruikt	4-5 MW per turbine Tiphogtes tot ± 220m	Haalbaar, SDE++ subsidies beschikbaar. Bewezen rendabel. Weinig draagvlak door grote omvang en aantasting landschap.
'Dorpsmolen'	9. Voornamelijk toegepast in noorden/ oosten van het land.	Tot 0,9 MW per Turbine Tiphogtes tot ±100m	In verleden bewezen rendabel echter de business case komt in gevaar door afnemende subsidies per geleverd vermogen windenergie. Meer draagvlak dan regulier door kleinere omvang.
Verticale turbines (VAWT)	9. Gebruikt voor specifieke doeleinden (variabele wind kleine vermogens)	100W-1,5 MW per turbine [9] [8] Hoogte tot 66m	Ingeschat als veelal niet rendabel. Met name door lagere hoogtes en vermogens. SDE++ subsidies beschikbaar. Meer draagvlak dan regulier door kleinere omvang.
Urban wind Turbines	1-9 veel verschillende varianten, vooral consumentenproduct	100W-100kW Tiphogtes tot ± 15 m	Ingeschat als niet rendabel. De prijzen per vermogen liggen veel hoger dan reguliere turbines, mede doordat hoogte zeer bepalend is voor windklimaat. Meer draagvlak dan regulier door kleinere omvang, maar mogelijke schade aan zwakke gebouwen.
Vortex Bladeless	5-6. Prototype	100 W per vortex Hoogte ± 2,75 m [12]	Nog niet te bepalen, maar vermoedelijk niet schaalbaar voor grote projecten i.v.m. hoogte en windklimaat. Meer draagvlak dan regulier door kleinere omvang.
Vliegend opwek op de grond	5-7. Prototypen eerste test projecten aangekocht [18]	250kW [19] tot 3 MW [15] Hoogte 200-800 m	Nog niet te bepalen. Geen prijzen bekend. Werkhoogtes mogelijk lastig voor vliegverkeer. Meer draagvlak dan regulier doordat het in de lucht is.
Vliegend opwek op hoogte	5-6. Prototypen	100 kW [20] tot 600 kW* [21]	Niet te bepalen. Een mogelijke indicator is het stopzetten Makani Power. Werkhoogtes mogelijk lastig voor vliegverkeer. Meer draagvlak dan regulier doordat het in de lucht is.

\* Makani power project is gepauzeerd.



### 3.7 Conclusie technieken windenergie

Van de, in deze QuickScan, toegelichte innovatie technieken van energieopwekking met windenergie zijn er geen alternatieven gevonden die zich kunnen meten aan de prestaties en toepasbaarheid van reguliere windturbines. De meeste innovatieve technieken bevinden zich in de ontwikkelingsfase en hebben zich (nog) niet kunnen meten met bestaande technieken. De verwachting is niet dat deze binnen de komende 5 jaar competitief worden met reguliere opwekmethodes. Het bepalen van de business case is niet mogelijk, doordat de kosten van methodes in ontwikkeling nog niet bekend zijn.

Één van de innovatieve technieken is al wel uitvoerig getest: de verticale as turbine (VAWT). Dit type turbine is wel door de markt geaccepteerd, maar wordt niet als een concurrent gezien van reguliere wind, doordat VAWT-opwekking natuurkundig gezien inefficiënter is dan reguliere opwek. Door het ontwerp is deze lastiger op grote hoogte te plaatsen wat ook een groot effect heeft op rendabiliteit. In specifieke omstandigheden kan een VAWT wel voordelen hebben ten opzichte van reguliere opwek. Dit geldt voor situaties waarbij sterk variërende windrichtingen van invloed zijn.

'Dorpsmolens' en Urban Wind Turbines opereren in veel gevallen naar dezelfde principes als VAWT en HAWT. Echter, door de (veel) kleinere schaal nemen de kosten per opgewekt vermogen vaak sterk toe. Daarbij komt wederom dat, doordat de turbines op (veel) lagere hoogtes geplaatst worden, het windklimaat op deze hoogtes niet kan concurreren met reguliere turbines. Dit geldt ook voor het zeer interessante concept van Vortex Bladeless. Doordat subsidies op windenergie jaarlijks mede bepaald worden aan de hand van de energieprijzen in de sector, heeft reguliere opwek hier grote invloed op. Doordat reguliere turbines steeds beter en rendabeler worden is de verwachting dat de subsidies per geleverd vermogen af blijven nemen. Hierdoor worden de kleinere inefficiëntere vormen van windenergie ook steeds minder rendabel.<sup>1</sup>

De technieken van windenergie op grote hoogte zijn erg interessant en maken gebruik van een constant aanwezig zeer gunstig windklimaat. Op dit moment staat de techniek nog in de kinderschoenen en lijkt concurrentie met reguliere opwek nog ver weg. Daarnaast zouden de werkhoogtes in een druk luchtruim, zoals boven Nederland, voor problemen kunnen zorgen.

Om een definitieve uitspraak te kunnen doen over de business case per methode is meer onderzoek nodig. Hiervoor moeten prijzen van prototypes bekend zijn en moet gerekend worden aan opbrengsten door het windklimaat op specifieke locaties en hoogtes te gebruiken. Hoewel deze QuickScan uitgaat van inschattingen, is het niet de verwachting dat deze berekeningen een groot verschil in het eindoordeel zullen geven.

---

<sup>1</sup> Er zijn soms wel aparte subsidies beschikbaar voor innovatieve vormen van energie opwek.

## 4. Zonne-energie

Zonne-energie speelt een grote rol in de energietransitie in Nederland. Het aanschaffen van zonnepanelen is de afgelopen jaren betaalbaarder geworden, maar blijft nog steeds prijzig. Daarom ondersteunt de overheid de aanschaf met subsidies en belastingvoordelen voor particulieren en bedrijven. De kosten zullen de komende jaren echter flink dalen [22]. De overheid gaat daarom ook minder subsidies verstrekken. Het stimuleren van zonne-energie blijft wel belangrijk.

### 4.1 Reguliere zonne-energie

De 'reguliere vorm' van het opwekken van zonne-energie maakt gebruik gemaakt van fotovoltaïsche cellen (PV-cellen). Deze cellen zetten het zonlicht direct om in elektriciteit. Hiermee ontstaat zonnestroom [23]. Deze elektriciteit kan worden opgeslagen en getransporteerd naar eindgebruikers [24]. Zonneparken komen veel voor in Nederland. Een belangrijk element bij het opzetten van deze zonneparken is de richting en hellingshoek. Opstellingen in oost-west richting kunnen tot wel 10% meer energie opwekken, doordat de zonnestraling beter verdeeld is door de dag heen. Hierdoor kunnen de zonnepanelen met een lagere hoek worden aangelegd wat bovendien ervoor zorgt dat ze minder wind vangen en het zicht minder belemmeren. De lagere hoek zorgt er echter wel voor dat er meer vuil op blijft liggen, waardoor dat dus vaker moet worden gecontroleerd.



Figuur 10. Een zonnepark met oost-west gerichte zonnepanelen (Trouw)

#### 4.1.1 Zonnebloem

Een nieuwe creatieve twist op de reguliere zonnepanelen zijn zonnebloemen. Een zonnebloem (of *Smart Flower*) bestaat uit zonnepanelen in de vorm van bloembladen. Samen gevoegd lijken ze op een grote zonnebloem wat een prettige afwisseling kan zijn van de monotone zonnevelden. Een zonnebloem heeft enkele voordelen ten opzichte van reguliere zonnepanelen. Dankzij nieuwe technologie kan de zonnebloem detecteren wanneer de zon opkomt en ondergaat, zodat hij op het juiste moment open en dicht kan klappen [25]. Nog veel handiger is het toegepaste *Suntracing*. Hiermee kan de zonnebloem meedraaien met de zon, waardoor hij de hele dag zonlicht op kan vangen. Dit levert tot wel 40% extra zonne-energie op in vergelijking met reguliere zonnepanelen. Als laatste is er ook een dun laagje vuilafstotende nanotechniek in aangebracht die de panelen schoonhoudt [26]. Schone panelen kunnen tot wel 10% meer zonne-energie opwekken en daarbij scheelt het in schoonmaakkosten. Het nadeel van de zonnebloemen is dat ze duurder zijn dan de reguliere zonnepanelen. Daarbij is het nog nauwelijks op grote schaal toegepast.



*Figuur 11. Een zonnebloem in privégebruik (Smartflower)*

## 4.2 Thermische zonne-energie

Een andere vorm is thermische zonne-energie (ook wel zonthermie genoemd). Thermische zonne-energie is anders dan de reguliere vorm, omdat er gebruik wordt gemaakt van zogeheten zonneboilers (of zonnecollectoren). Dit leidt tot een andere vorm van energie: warmte. Waarbij reguliere zonne-energie leidt tot elektriciteit, zetten de zonneboilers bij thermische zonne-energie de energie van het zonlicht direct om tot warmte [27]. Thermische zonne-energie is naast biomassa en geothermie een van de weinige bewezen vormen van duurzame warmte dat op grote schaal kan worden toegepast. Het heeft bovendien een relatief hoge duurzame energieopbrengst per m<sup>2</sup> oppervlakte [28].



*Figuur 12. Zonnecollectoren op dak (MSG Energie Zakelijk)*

## 4.3 Zonnetoren

Zonnetorens zijn een relatief nieuwe vorm van duurzame energieopwekking. Bij zonnetorens wordt zonlicht door grote spiegels opgevangen om een speciale (zout)vloeistof in de toren te verwarmen. De stoom die hierdoor ontstaat wordt vervolgens gebruikt om een stoomgenerator aan te drijven, waardoor energie ontstaat [29]. Doordat de zoutoplossing lang warmte kan vasthouden, kan de zonnetoren ook na zonsondergang stroom blijven genereren. Zonnetorens worden al op een aantal (zonnige) locaties in het buitenland toegepast, maar er wordt nog steeds sterk doorontwikkeld [30]. Een aantal internationale samenwerkingen hebben al veelbelovende projecten opgeleverd. Zonnetorens functioneren echter het beste in gebieden met veel zonuren en hebben bovendien een grote ruimteclaim. In Nederland zouden ze mogelijk goed kunnen functioneren als er extra spiegels worden gebruikt om de zonnestralen op te vangen.





Figuur 13. Zonnetoren in Israël (Change Inc.)

#### 4.4 Geïntegreerde zonne-energie

Het opwekken van duurzame energie neemt meestal veel ruimte in beslag. Vanwege de beperkte ruimte in Nederland zou het daarom wenselijk zijn als die ruimtevrage zou verkleinen of zelfs helemaal zou verdwijnen. Er zijn verschillende projecten die precies daarmee bezig zijn. In het buitenland zijn diverse pilots en grootschalige projecten bezig met het verwerken van zonne-energieopwekking in en om infrastructuur heen, met name autowegen [31]. Ook in Nederland wordt er gewerkt aan diverse projecten om zonne-energieopwekking in snelwegen, fietspaden, geluidswallen, vangrails en ramen te realiseren [32] [33]. Zoals aangegeven bevindt deze vorm van zonne-energieopwekking zich nog in een ontwikkelingsfase met enkele tientallen pilots in Nederland. Doordat deze vorm nog zo nieuw is en de materialen dusdanig sterk moeten zijn dat er o.a. auto's en fietsers overheen kunnen rijden, zijn de kosten momenteel nog zeer hoog in vergelijking met andere vormen van zonne-energie. Het verwerken van energieopwekking in bestaande of geplande ruimtelijke ontwikkelingen is echter wel zeer gewild en kan tegenstanders van zonne-energieopwekking vanwege de grote ruimteclaim overtuigen.



Figuur 14. Zonne-fietspad in Krommenie (TNO)

#### 4.5 Drijvende zonnepanelen

Een andere nieuwe variant van zonne-energieopwekking is een voor Nederland zeer toepasselijke combinatie met water door drijvende zonnepanelen. Sinds enkele jaren wordt er in Nederland gewerkt aan pilots en kleinschalige projecten voor de opwek van zonne-energie op water. Ook in het buitenland zijn er al veel projecten gerealiseerd met drijvende zonnepanelen [34]. Met name in combinatie met windparken op water kunnen de drijvende zonnepanelen een toegevoegde waarde hebben. Deze vormen complementeren elkaar namelijk en leveren bovendien financiële voordelen op door benodigde elektrische infrastructuur te delen [35]. Water heeft bovendien als positieve effecten dat het voor natuurlijke koeling zorgt en een hogere instraling veroorzaakt voor de zonnepanelen. Drijvende zonnepanelen kennen echter ook uitdagingen. Golven en krachtige wind, belemmering van gebruiksfuncties en mogelijke aantasting van de waterkwaliteit zijn opgaven waar duurzame oplossingen voor moeten worden gevonden [36].



Figuur 15. Drijvend zonnepark in Zwolle (H2O Actueel)

#### 4.6 Beoordeling technieken zonne-energie

Techniek	Marktacceptatie	Energieopbrengst	Business case
<b>Zonne-energie</b>			
Regulier	9. Veelgebruikt	300-400 Wp (of 275-350 kWh) vermogen per paneel; 1-1,5 MW per hectare [37]	Rendabel, SDE++ subsidies beschikbaar, bewezen effectief. Weinig draagvlak door aantasting landschap.
Zonnebloem	8. Veel kleinschalige projecten (in het buitenland en NL)	3.800-6.200 kWh per zonnebloem [25]	Ingeschat als niet rendabel, SDE++ subsidies beschikbaar, niet gebruikt op grote schaal en relatief duur. Meer draagvlak dan regulier door uiterlijk.
Thermische zonne-energie	9. Projecten (in het buitenland, enkele in NL)	400-600 kWh thermisch vermogen per zonneboiler; 3-3,5 MW per hectare [38]	Rendabel, SDE++ subsidies beschikbaar, bewezen effectief. Weinig draagvlak door aantasting landschap.
Zonnetoren	8. Projecten (in het buitenland)	11-50 MW per toren (prototypen tot wel 150 MW); 1,5-3 MW per hectare [29]	Ingeschat als niet rendabel, SDE++ subsidies beschikbaar, miljoeneninvestering en nog geen proefprojecten in NL. Weinig draagvlak door grote omvang en aantasting landschap.
Geïntegreerde zonne-energie	7. Diverse pilots en projecten (in het buitenland en NL)	70-130 kWh per m2 zonneweg en zonnefietspad [39]	Ingeschat als niet rendabel, SDE++ subsidies beschikbaar, hoge kosten en lage opbrengsten. Veel draagvlak door integratie in infrastructuur en gebouwen.
Drijvende zonnepanelen	7-8. Pilots en projecten (in het buitenland en NL)	1,5-2 MW per hectare [34]	Ingeschat als niet rendabel, SDE++ subsidies beschikbaar, kleinschalige projecten in NL en veel uitdagingen door ander watergebruik en waterkwaliteit. Meer draagvlak dan regulier door realisatie in water.

## 4.7 Conclusie technieken zonne-energie

Wat betreft zonne-energie zijn reguliere zonnepanelen en zonthermie de meest haalbare en risico-averse opties. Deze vormen zijn bewezen effectief op grote schaal en dankzij subsidies kunnen ze relatief gemakkelijk worden toegepast. Vanwege de grote ruimteclaim en het monotone uiterlijk is er echter wel weinig draagvlak vanuit de lokale bevolking te verwachten. De andere alternatieve vormen van zonne-energie zijn momenteel nog niet haalbaar als business case.

Zonnetorens zijn nog te onzeker en duur om op in te zetten. Daarbij hebben ze een zeer grote ruimteclaim, zeker in combinatie met de extra benodigde spiegels. Dit kan daarom ook op veel weerstand rekenen, zeker omdat de toren zelf ook tientallen tot wel honderden meters hoog kan zijn.

Het gebruik van zonnebloemen is een creatieve oplossing. Echter is het financiële risico nog te groot om dit op grote schaal toe te passen. Vanwege het unieke uiterlijk is de verwachting dat het minder weerstand zal verwachten dan andere vormen.

Het aanleggen van zonnewegen, -fietspaden e.d. is momenteel nog erg duur. Voor kleinschalige projecten of pilots kan het een interessante optie zijn, als daar behoefte en animo voor is vanuit de overheid of een particulier initiatief. Doordat het geen extra ruimteclaim heeft en geïntegreerd wordt in bestaande of geplande infrastructuur of gebouwen zal er veel draagvlak voor zijn vanuit de bevolking.

De potentie van drijvende zonnepanelen is zeer groot en wordt veel onderzocht. Doordat er echter nog zo weinig projecten gerealiseerd zijn in Nederland is hier nog weinig ervaring mee. Vermoedelijk is hier meer draagvlak voor dan voor reguliere zonnepanelen, omdat het niet op het land wordt gerealiseerd. Het belemmeren van vaar- of recreatiewateren en aantasting van de waterkwaliteit zal echter wel tot weerstand leiden.

## Bronnen

- [1] Rijksoverheid, „Wind energie op land,” 18 05 2021. [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/windenergie-op-land>.
- [2] S. Gamesa. [Online]. Available: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services/onshore/wind-turbine-sg-5-8-170>. [Geopend 2 Juni 2021].
- [3] R. v. o. nederland, „servicepoint duurzame energie,” [Online]. Available: <https://servicepuntduurzameenergie.nl/wp-content/uploads/2020/05/Introductie-Windenergie-op-Land-RVO.pdf>. [Geopend 30 05 2021].
- [4] „Energierestrategie,” [Online]. Available: <https://energiestrategietwente.nl/bouwstenen/dorpsmolen>. [Geopend 28 05 2021].
- [5] „friesch dagblad,” [Online]. Available: <https://frieschdagblad.nl/regio/Dorpsmolen-kan-weinig-met-100-metergrens-26798235.html>. [Geopend 28 05 2021].
- [6] „luvside,” 18 05 2021. [Online]. Available: <https://www.luvside.de/en/vawt-disadvantages/>.
- [7] Luvside, „5 disadvantages of vertical axis wind turbine (VAWT),” 31 Maart 2020. [Online]. Available: <https://www.luvside.de/en/vawt-disadvantages/>.
- [8] „Anew Institute,” [Online]. Available: <https://www.energy-xprt.com/products/ane-model-b1-vertical-axis-wind-turbine-669009>. [Geopend 24 05 2021].
- [9] „arborWind,” 18 05 2021. [Online]. Available: <https://arborwind.com/our-technology/>.
- [10] T. p. collective, „Ridgeblade,” [Online]. Available: <https://thepowercollective.ca/>. [Geopend 30 05 2021].
- [11] T. Stathopoulos, H. Alrawashdeh, A. Al-Quraan, B. Blocken en A. Dilimulati, „Urban wind energy some views on potential and challenges,” *Journal of Wind engineering and Industrial aerodynamics*, pp. 146-157, 2018.
- [12] vortexbladeless, „technology-design,” 18 05 2021. [Online]. Available: <https://vortexbladeless.com/technology-design/>.
- [13] „sustainable solutions,” [Online]. Available: <https://allsustainable-solutions.com/vortex-bladeless-wind-turbine/>.
- [14] A. Cherubinina, A. Papinia, R. Vertechyba en M. Fontana, „Airborne Wind Energy Systems: A review of the technologies,” *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 51, pp. 1461-1476, 2015.
- [15] „3MW STEM,” KiteGen, [Online]. Available: <http://www.kitegen.com/en/products/stem/>. [Geopend 24 05 2021].
- [16] [Online]. Available: <http://www.kitegen.com/en/products/stem/>. [Geopend 20 05 2021].
- [17] „MIT,” [Online]. Available: <https://news.mit.edu/2014/high-flying-turbine-produces-more-power-0515>. [Geopend 20 05 2021].
- [18] RWE, „RWE,” [Online]. Available: <https://www.group.rwe/en/press/rwe-renewables/2021-05-18-rwe-to-launch-innovative-airborne-wind-energy-testing-site-in-ireland>. [Geopend 30 05 2021].
- [19] „demonstrator,” ampyx power, [Online]. Available: <https://www.ampyxpower.com/technology/demonstrator-ap3/>. [Geopend 21 05 2021].
- [20] „Kitepower,” [Online]. Available: <https://kitepower.nl/>. [Geopend 24 05 2020].
- [21] „Spectrum,” [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/renewables/alphabets-makani-tests-wind-energy-kites-in-the-north-sea>. [Geopend 24 05 2020].
- [22] Rijksoverheid, „Overheid bevordert groei zonne-energie,” [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/zonne-energie>. [Geopend 7 Mei 2021].
- [23] Wikipedia, „Solar power,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power). [Geopend 10 Mei 2021].
- [24] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. Adelodun en K. Kim, „Solar energy: Potential and future prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 894-900, 2018.
- [25] L. Van Kooten, „Zwolle ondernemer bouwt energiefabriekjes in de vorm van reusachtige zonnebloemen: 'Ze produceren waanzinnig veel energie',” *De Stentor*, 30 April 2020. [Online]. Available: <https://www.destentor.nl/zwolle/zwolle-ondernemer-bouwt-energiefabriekjes-in-de-vorm-van-reusachtige->



- zonnebloemen-ze-produceren-waanzinnig-veel-energie-a5ce3b9d/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F .
- [26] Homedeal, „De smartflower: het eerste super intelligente zonnepaneel,” 2021. [Online]. Available: <https://www.homedeal.nl/inspiratie/duurzaam-wonen/smartflower-eerste-super-intelligente-zonnepaneel/> .
- [27] M. Centraal, „Zonne-energie,” [Online]. Available: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/zonne-energie/?onderwerp=zonne%2Denergie>. [Geopend 7 Mei 2021].
- [28] Wikipedia, „Solar Energy,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy). [Geopend 7 Mei 2021].
- [29] Zonnepanelen-info, „Zonnepanelen,” [Online]. Available: <https://www.zonnepanelen-info.nl/zonnecollector/zonnepanelen/>. [Geopend 10 Mei 2021].
- [30] Natuurkunde.nl, „Zonnepanelen,” [Online]. Available: <https://www.natuurkunde.nl/artikelen/779/zonnepanelen>. [Geopend 17 Mei 2021].
- [31] TNO, „Optimal Deployment of the Infrastructure for Generating Solar Energy,” [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/renewable-electricity/towards-ubiquitous-solar-energy/integration-solar-energy-environment/infrastructure-generating-solar-energy/>. [Geopend 21 Mei 2021].
- [32] TNO, „Solar Energy in Road Surfaces and Crash Barriers,” [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/renewable-electricity/solar-energy/solar-energy-potential/solar-energy-in-road-surfaces-and-crash-barriers/>. [Geopend 21 Mei 2021].
- [33] TNO, „Solar Highways: Noise Barrier Produces Energy,” [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/renewable-electricity/towards-ubiquitous-solar-energy/integration-solar-energy-environment/solar-highways/#:~:text=World%20first%3A%20a%20400%2Dmetre,noise%2C%20it%20also%20generates%20energy>. [Geopend 21 Mei 2021].
- [34] H. Actueel, „Drijvende zonnepanelen op drinkwaterbekkens: (oplossing voor) een probleem?,” 14 April 2021. [Online]. Available: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/drijvende-zonnepanelen-op-drinkwaterbekkens-oplossing-voor-een-probleem>.
- [35] TNO, „Nationaal Consortium Zon op water,” [Online]. Available: <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/hernieuwbare-elektriciteit/zonne-energie/zonnepark/drijvend-zonnepark/>. [Geopend 28 Mei 2021].
- [36] H. Actueel, „Drijvende zonnepanelen en hun effect op de waterkwaliteit,” 9 December 2019. [Online]. Available: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/het-effect-van-drijvende-zonnepanelen-op-de-waterkwaliteit>.
- [37] P. Moraitis, B. Kausika, N. Nortier en W. Van Sark, „Urban environment and solar PV performance: the case of the Netherlands,” *Energies*, vol. 11, nr. 6, p. 1333, 2018.
- [38] C. Delft, „Verkennd onderzoek zonthermie Zuid-Holland: eindrapportage,” 2020.
- [39] C. McFadden, „6 Examples of Solar Powered Roads That Could Be a Glimpse of the Future,” 13 Augustus 2019. [Online]. Available: <https://interestingengineering.com/6-examples-of-solar-powered-roads-that-could-be-a-glimpse-of-the-future> .
- [40] T. delft, „windenergie,” [Online]. Available: [http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energie%20online%20reader/Static\\_pages/horizontal\\_vertical.htm](http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energie%20online%20reader/Static_pages/horizontal_vertical.htm). [Geopend 18 05 2021].