

Nationaal Programma RES Regionale Energie Strategie



Inhoudsopgave

Proclaimer

De factsheets zijn opgesteld op basis van vragen uit de regio's over de inzet van technologieën voor de RES-opgaves. CE Delft heeft in opdracht van NPRES op basis van de voornaamste objectieve bronnen een overzicht gemaakt van criteria per technologie of bron. NPRES heeft samen met CE Delft afgewogen keuzes gemaakt in het brongebruik op basis van RES relevante criteria. Voor warmte zijn de factsheets van ECW leidend geweest. Waar aanvullende informatie benodigd was zijn andere bronnen geraadpleegd. Alle bronnen zijn vermeld. In de huidige versie van de NPRES factsheets 'Warmte' en 'Elektriciteit' zijn opslag, conversie en flexibiliteit van energie niet meegenomen. Gezien de taakstelling van de concept-RES wordt voor nu beperkt tot opwekbronnen en -technologie. Informatie en beeldmateriaal mogen vrij geciteerd en gebruikt worden mits duidelijke bronverwijzing naar NPRES.

De factsheets zijn voorgelegd en afgestemd met Ministerie van Economische zaken, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, IPO, VNG, Unie van Waterschappen, NVDE en Netbeheerders.

1. Introductie	3	Verdieping Energiebronnen	9
2. Facts & Figures	4	Windenergie	10
3. Overzicht Energiebronnen	6	Zonne-energie	13
4. Inhoudelijke uitdagingen RES	8	Biomassa	16
		Kernenergie	18
		Waterkracht	20
		Waterstof	22
		Uitleg Criteria	24
		Begrippenlijst	25

1. Introductie

Het Nationaal Programma Regionale Energie Strategieën (NP RES) ondersteunt de 30 RES-regio's bij het maken van de RES'en. Deze factsheets hebben als doel om de RES-regio's objectieve informatie te verschaffen over de meest voorkomende energiebronnen waar in het RES-traject over wordt gesproken.

Deze factsheet over elektriciteit is onderdeel van een set van twee. Voor de factsheet over warmtebronnen, zie [de website](#). Beide factsheets hebben dezelfde indeling: allereerst gaan de factsheets in op de doelstelling van de RES en wordt de opgave toegelicht met een aantal voorbeelden. Vervolgens worden de verschillende energiebronnen voor elektriciteit of warmte met elkaar vergeleken. Per energiebron is tot slot een beknopte weergave opgenomen van de belangrijkste cijfers, kansen en aandachtspunten om deze beter te kunnen beoordelen.

De informatie in deze factsheets is beknopt, en daarmee niet uitputtend. Per energiebron zijn links opgenomen naar rapporten en websites met meer informatie.

Uiteenzetting doelen Klimaatakkoord

In het Klimaatakkoord is het doel opgenomen dat in 2030 de CO₂-uitstoot met 49% is afgenomen ten opzichte van de uitstoot in 1990. In 2050 moet de uitstoot met 95% verminderd zijn. Voor de elektriciteitssector is hiervoor het doel gesteld dat de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare bronnen wordt opgeschaald naar 70% van de totale opwek, ofwel **84 TWh in 2030**. Van de 84 TWh aan grootschalige hernieuwbare elektriciteitsproductie in 2030 wordt **49 TWh** gerealiseerd door een uitbreiding van productie van windenergie op zee. Er is dus nog **35 TWh** aan grootschalige hernieuwbare elektriciteitsproductie op land nodig. Hiervan wordt ingeschat dat **26 TWh** wordt ingevuld met de realisatie van reeds [geplande projecten](#). Bij de realisatie kunnen nog projecten wegvallen. In de RES zoeken de regio's naar locaties voor de resterende grootschalige elektriciteitsopwekking op land. Dit wordt nu ingeschat op circa **9 TWh**.

Grootschalige opwek is in het Klimaatakkoord gedefinieerd als projecten die in aanmerking komen voor Rijkssubsidie. Dit zijn projecten met een vermogen van meer dan 15 kW. Het is de bedoeling dat de vergunningen voor deze projecten uiterlijk op 1 januari 2025 zijn afgegeven.

Zie voor meer informatie de website van het [NP RES](#).

Energiebronnen in deze factsheet

In deze factsheet kijken we naar de verschillende energiebronnen oplossingen voor hernieuwbare elektriciteit. Niet alle mogelijkheden dragen bij aan de doelstelling van 35 TWh, dit wordt in deze factsheet verder toegelicht.

[Windenergie](#)

[Zonne-energie](#)

[Biomassa](#)

[Kernenergie](#)

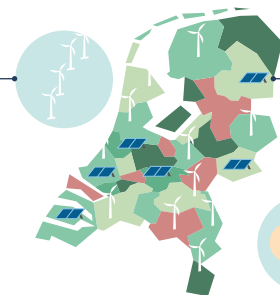
[Waterkracht](#)

[Waterstof](#)

Hoewel waterstof geen energiebron is, maar een energiedrager, wordt in het document naar al deze bronnen en dragers verwezen als energiebron.

84 TWh
in 2030

49 TWh wordt gerealiseerd door een uitbreiding van wind-op-zee



Res opgave is **35 TWh**
9TWh moet nog worden gerealiseerd

Doel is -49% CO₂ uitstoot in 2030
t.o.v. 1990

2. Facts & Figures

Om een goed beeld te kunnen vormen van de mogelijke elektriciteitsbronnen geven wij allereerst beknopt uitleg over veel voorkomende energiegrootheden.

Eenheden

Als je het over energie hebt, dan heb je het al snel over eenheden: de manier waarop energie gemeten wordt. De internationale standaard eenheid (SI) voor energie is joule. Warmte wordt vaak uitgedrukt in joule (J), en elektriciteit vaak in kilowattuur (kWh). Grote hoeveelheden energie worden bijvoorbeeld uitgedrukt in megawattuur (MWh) of gigajoule (GJ). 1 MWh is een miljoen Wh (en 1000 kWh) en 1 GJ is een miljard J. Joules en kilowattuur kunnen makkelijk onderling worden omgerekend: 1 kWh is gelijk aan 3.600.000 J (oftewel 3,6 MJ).

Watt?

Watt (W) en wattuur (Wh) lijken op elkaar, maar zijn toch verschillend. Watt is het vermogen: dit is hoeveel energie een apparaat nodig heeft om te werken per tijdseenheid. Wattuur staat voor het verbruik of opwek: dit is hoeveel energie er is verbruikt of opgewekt gedurende een periode.

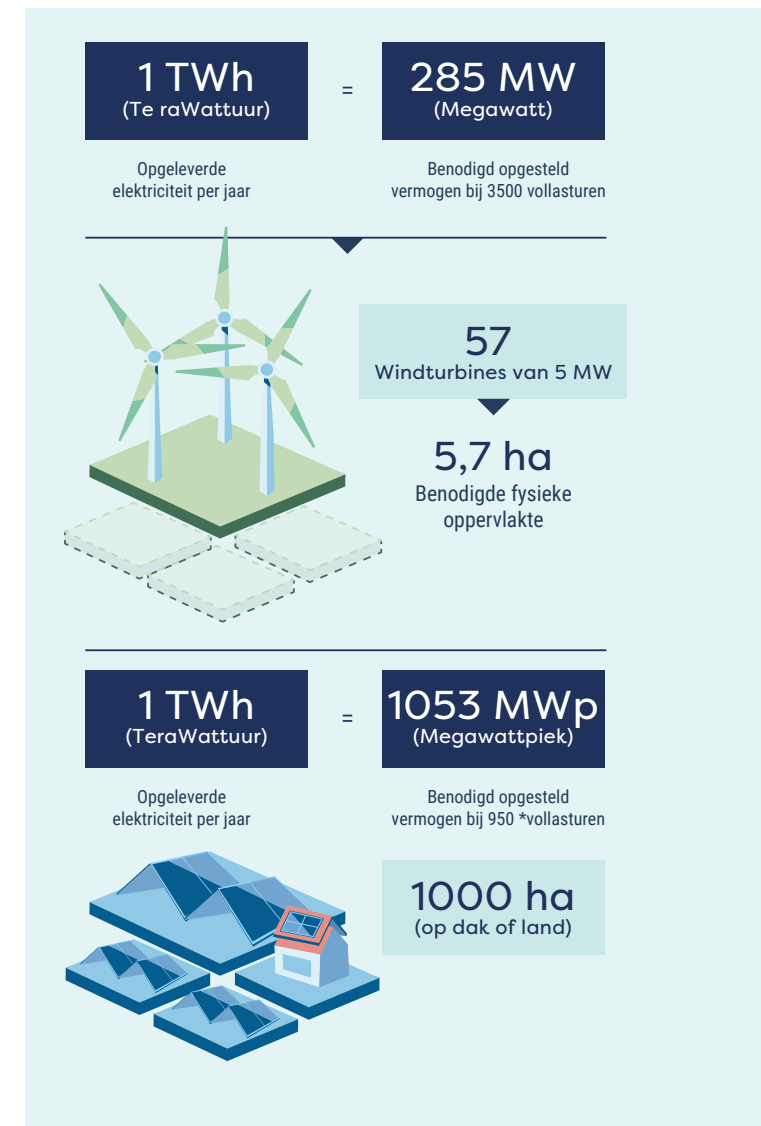
Hoeveel een apparaat verbruikt, hangt af van hoe lang het aan staat. Een elektrische kachel met een vermogen van 1 kW die een uur aan staat, heeft 1 kWh verbruikt.

Een windmolen van 5 MW produceert bij goede wind elk uur 5 MWh.

Wat is 1 TWh

1 TWh staat gelijk aan een miljard kWh (kilowattuur), ofwel aan de opwek van 57 windmolens van 5 MW of 1000 hectare aan zonnepark. Het is ongeveer 1% van de jaarlijkse elektriciteitsvraag in Nederland.

Zie [hier](#) voor aanvullende informatie over veelvoorkomende termen en eenheden in deze factsheet.



Hoeveel verbruikt een huishouden?

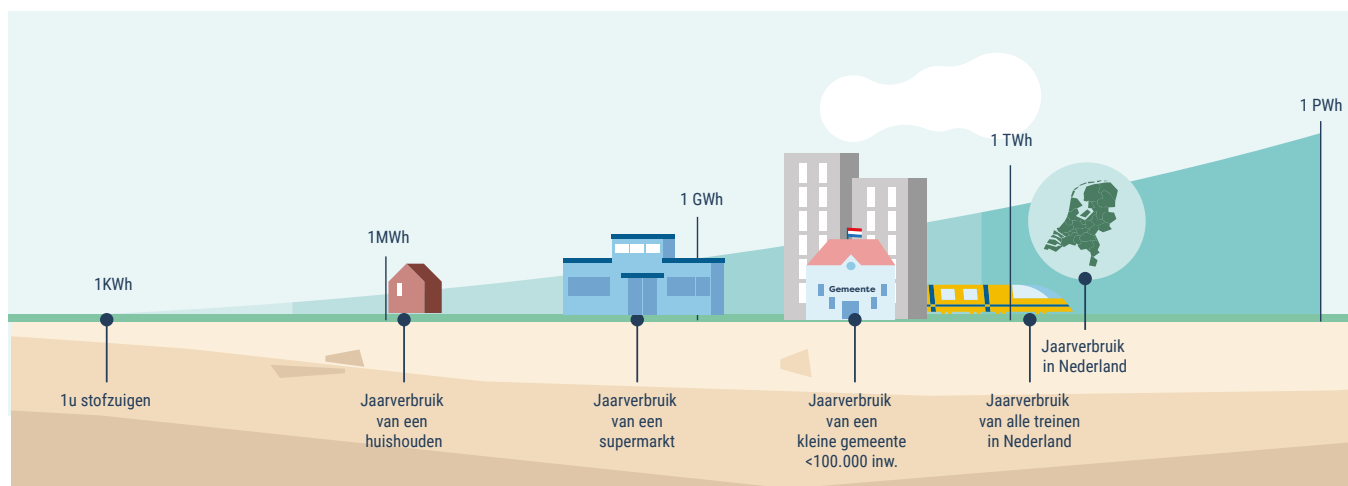
Om een beter beeld te krijgen bij de orde van grootte van 1 TWh, maken we een vergelijking met de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte van een gemiddeld huishouden in Nederland. Deze is [2.790 kWh per jaar](#). 1 TWh staat daarmee gelijk aan de elektriciteitsvraag van ongeveer 360 duizend huishoudens.

Het elektriciteitsverbruik van huishoudens in Nederland is een stuk lager dan het warmteverbruik. Een gemiddeld Nederlands huishouden gebruikt jaarlijks 1270 m³ aardgas voor verwarming en warm water. Omgerekend is dit 12.400 kWh.

Stijgend elektriciteits-gebruik

De gegevens over elektriciteitsverbruik van huishoudens zijn het huidige verbruik. De warmtevoorziening is nu nog grotendeels gebaseerd op aardgas, maar om te verduurzamen zullen hier duurzame warmtebronnen voor gevonden moeten worden. Sommige warmtetechnieken, zoals een warmtepomp, maken gebruik van een warmtebron die vervolgens 'opgevaardeerd' wordt met elektriciteit.

Dit zal leiden tot een stijging van de vraag naar elektriciteit, en dus ook tot meer gebruik van het elektriciteitsnet. Om de klimaatdoelen te halen, zal deze elektriciteit (uiteindelijk) ook duurzaam opgewekt moeten worden.



3. Overzicht Energiebronnen

Om de doelstellingen van de RES te halen, kunnen verschillende energiebronnen worden ingezet. Er zijn grote verschillen tussen deze bronnen. De tabel geeft een beknopt overzicht van een aantal criteria van de zes energiebronnen in deze factsheet. Deze tabel gaat uit van de huidige kennis en stand der techniek. Meer informatie per energiebron kunt u [hier](#) terugvinden.

	Windenergie	Zonne-energie	Biomassa
	Windmolen van 5 MW	Zonne-installatie op land of grote daken, met een minimaal vermogen van 15 kWp	Back-up-centrale (100% biomassa)
Bijdrage aan 35 TWh doelstelling RES	Ja	Ja	Nee
Bijdrage aan CO ₂ -reductie 2050	Ja	Ja	Ja
Maatschappelijke Aandachtspunten	Landschapsgebruik, zichtbaarheid, overlast door geluid en slagschaduw	Landschapsgebruik, zichtbaarheid Extra kosten voor infrastructuur	Duurzaamheid biomassa, beschikbaarheid, luchtkwaliteit
Technische realisatie voor 2030	 Niet te realiseren Zeker te realiseren	 Niet te realiseren Zeker te realiseren	 Niet te realiseren Zeker te realiseren Technische haarkbaarheid is 100%, maar een back-up centrale op biomassa is in 2030 wellicht nog niet nodig.
Doorlooptijd projectontwikkeling	Gemiddeld 5,5 jaar	2 tot 3 jaar	2 tot 3 jaar
Kosten (€/MWh)	60	80	57-190
Ruimtelijke impact	Er is circa 450 ha nodig voor een windmolenpark van 10 molens van elk 5,0 MW (totaal 50 MW)	Voor 1 MWp zon-PV is circa 0,95 ha nodig	Er is circa 6 ha nodig voor een centrale van 900 MW
Mogelijkheid tot meervoudig ruimtegebruik	Ja, onder meer landbouw, veeteelt, zonne-energie, wegen en zelfs bos.	Ja, vele mogelijkheden (kleinvee, natuur, waterberging, windenergie, biomassateelt)	Nee

	Kernenergie	Waterkracht	Waterstof
	Splijtingsreactor	Waterkracht bij bestaande stuwen in rivieren en beken	Gasturbine op waterstof. NB: Waterstof is geen energiebron, maar een energiedrager.
Bijdrage aan 35 TWh doelstelling RES	Nee	Nee	Nee
Bijdrage aan CO ₂ -reductie 2050	Ja	Ja	Ja
Maatschappelijke Aandachtspunten	Duurzaamheid, veiligheid, afvalproblematiek	Ecologische effecten, kansrijkheid, beperkt potentieel	Beschikbaarheid, toekomstig kostprijs
Technische realisatie voor 2030	<p>Niet mogelijk: bouwtijd >10 jaar</p>		<p>Technisch haalbaar, maar waterstof is in 2030 nog onvoldoende beschikbaar en te duur</p>
Doorlooptijd projectontwikkeling	13 jaar	2 tot 5 jaar	2 tot 3 jaar
Kosten (€/MWh)	90	80-210	Onbekend
Ruimtelijke impact	Er is circa 6 ha nodig voor een centrale van 1650 MW	Waterkracht bij bestaande stuwen kost geen extra ruimte	Er is circa 6 ha nodig voor een centrale van 900 MW
Mogelijkheid tot meervoudig ruimtegebruik	Nee	Bij bestaande stuw vindt dit al plaats	Nee

4. Inhoudelijke uitdagingen RES

In de concept-RES worden de zoekgebieden voor duurzame opwekking van elektriciteit op land aangegeven. Nu verschuift de discussie naar de vraag hoe richting gegeven kan worden aan de wenselijke ontwikkeling van deze zoekgebieden. Hierin ziet het NP RES momenteel twee belangrijke uitdagingen:

1) In balans brengen van landschappelijke kwaliteit, draagvlak en maatschappelijke kosten

De keuze voor type en locatie van duurzame opwekking wordt bij voorkeur gemaakt in een goede balans tussen maatschappelijk draagvlak, ruimtelijke kwaliteit en maatschappelijke kosten van het energiesysteem. Wanneer er veel nieuwe infrastructuur moet worden gebouwd om zoekgebieden te kunnen ontsluiten, leidt dit tot extra kosten voor de energietransitie. Dit geldt voor het ontsluiten van gebieden zonder bestaande infrastructuur, maar ook voor het aanleggen van zonneparken. Zonneparken hebben in vergelijking met wind een kortere levensduur en leveren relatief meer piekvermogen. Hierdoor hebben zonneparken twee tot drie keer meer infrastructuur nodig. De netimpactanalyse van de regionale en landelijke netbeheerders biedt inzicht in de kosten en knelpunten van de zoekgebieden in de concept-RES.

2) Verankering zoekgebieden in ruimtelijk beleid

De uitwerking van de zoekgebieden in de RES is vaak nog niet verankerd in ruimtelijk beleid. Hierdoor is het nog lastig voor decentrale overheden om te sturen op de wenselijke ontwikkeling in de zoekgebieden. Om invulling te geven aan de inhoudelijke randvoorwaarden van de zoekgebieden, is het nodig dat decentrale overheden richting en versnelling kunnen geven aan de benodigde investeringen van markt- en systeempartijen. Op deze manier kan geborgd worden dat gewenste locaties en de gewenste verhouding tussen zon en wind kan plaatsvinden. Ook kan er zo adequate ondersteuning geboden worden om eventueel benodigde vergunningstrajecten voor installaties en infrastructuur te verkorten. De Omgevingswet biedt handvaten voor de verankering van zoekgebieden in ruimtelijk beleid.



Verdieping Energiebronnen

De volgende pagina's gaan dieper in op de zes energiebronnen. We gaan in op de energiebron, de stand van zaken en ontwikkelingen in de markt. Onder het kopje criteria geven we een onderbouwing voor de hoofdtabel in deze factsheet.

Hier bespreken we de belangrijkste randvoorwaarden en criteria die noodzakelijk zijn voor de realisatie van de energiebron. Tot slot hebben we in de factsheets verwijzingen opgenomen naar websites en rapportages waar meer informatie gevonden kan worden over de specifieke energiebron.

[Windenergie](#)

[Zonne-energie](#)

[Biomassa](#)

[Kernenergie](#)

[Waterkracht](#)

[Waterstof](#)



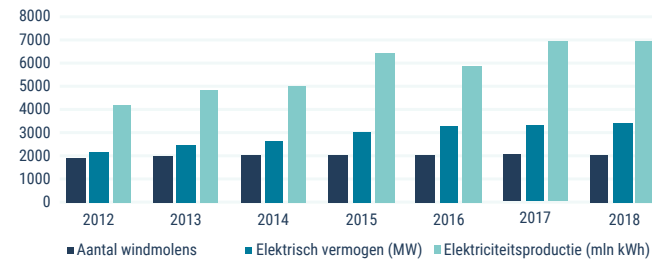
Windenergie

Windturbines zetten energie uit wind om in elektriciteit. Windturbines kunnen zowel op land als op zee worden geplaatst. Alleen 'wind op land' valt binnen de RES en zal daarom de focus zijn van deze factsheet. Windturbines op land bestaan in allerlei afmetingen en bijbehorende vermogens. De afgelopen jaren is de gemiddelde afmeting en het vermogen van windmolens steeds verder toegenomen. Eind 2018 stond er in totaal in Nederland 3.400 MW vermogen aan wind op land, gelijk aan een jaarlijkse opwek van 6.6 TWh. De doorlooptijd van initiatief tot het plaatsen van een windmolen of windmolenpark kan lang duren, omdat er niet altijd maatschappelijke acceptatie is.

Ontwikkelingen en relevantie

Sinds 2012 is het aantal windmolens op land met slechts 100 molens gegroeid, maar het totaal vermogen en de elektriciteitsproductie zijn wel enorm toegenomen. Dit is het gevolg van het plaatsen van steeds grotere en hogere windturbines met meer vermogen en het uit gebruik nemen van kleinere windturbines.

Ontwikkeling windenergie op land



Bron: [CBS](#)

Op dit moment staan er in Nederland voornamelijk molens met een vermogen van 3 MW. De windsector geeft aan dat de businesscase van windparkexploitanten met dergelijke turbines tegenwoordig **niet meer zal rondkomen**. De standaard voor nieuwe molens is 4 of 6 MW. Deze turbines hebben een veel hogere opbrengst. De opbrengst van windenergie is namelijk afhankelijk van de rotordiameter en de hoogte. Wanneer wiken 2x zo groot worden, verviervoudigt de opbrengst.

Er zijn ook kleinere typen windmolens:

• Buurtmolens (<1 MW)

Dit is een kleinere lokale windmolen die ongeveer 10 keer minder stroom opwekt dan een molen van 5 MW. Deze kan bijvoorbeeld op een boerenerf worden geplaatst of in een buurt worden gerealiseerd met behulp van een buurtcollectief.

• Mini-windturbines

Mini-windturbines kunnen op daken van huizen worden geplaatst. De aanschafkosten zijn echter zo hoog dat de investering zich vaak **niet terugverdient**. Daarnaast leveren mini-windturbines alleen op locaties waar het voldoende waait meer energie dan ze hebben gekost bij de productie ervan. De energieopbrengst is vaak groter wanneer wordt gekozen voor zonnepanelen in plaats van mini-windturbines.



Criteria

Criteria voor de plaatsing van windmolens van 5 MW:

- **Ruimtebeslag** windmolenpark:
 - De optimale afstand tussen twee windturbines is ongeveer 5 keer de diameter van de rotor.
 - Het ruimtegebruik op de grond is beperkt. Gebied onder windmolens kan voor andere functies worden gebruikt, zoals landbouw, veeteelt, wegen en zelfs bos.
- **Projectrealisatie duurt gemiddeld 5,5 jaar.** Vergunning-verlening en aansluiting op netinfrastructuur zijn hierin de kritieke factoren. Ook is er soms maatschappelijke weerstand tegen windmolens. Daarnaast is er op sommige locaties geen capaciteit op het elektriciteitsnet beschikbaar. Netbeheerders hebben [congestiegebieden](#) aangewezen waar de capaciteit beperkt is.
- **Kostprijs van wind op land:** 60 €/MWh (SDE-tarief)
- **Opbrengst:** 17,5 GWh per jaar
- **Energiedichtheid** (park van 10 molens met elk een vermogen van 5 MW):
 - Bruto (contour): 450 ha/50 MW
 - Netto (alleen voet windmolen): 1 ha/50 MW
- **Levensduur turbine:** [gemiddeld 25 jaar](#)
- **Interessante locaties:**
 - Daar waar het ruimtelijk inpasbaar is, alle andere belangen in acht nemend
 - Gebieden met lage grondprijs
 - Repoweren van oude windparken, door oude windturbines te vervangen door een kleiner aantal grotere turbines. De totale opbrengst is dan hoger.
- **Locatiebelemmeringen:**
 - Niet dicht bij bebouwing i.v.m. geluid en slagschaduw
 - Er kunnen hoogtebeperkingen zijn door luchtvaart en radar
 - Er kunnen beperkingen zijn bij natuurgebieden door mogelijke effecten op vogels en vleermuizen.
 - Voor meer inzicht in locaties met (mogelijke) belemmeringen voor windturbines, zie [NP RES viewer](#)



Meer lezen?

Windenergie in de RES:

[Hernieuwbare energiebronnen op land in de regionale energiestrategie](#)

Stand van zaken windenergie op land:

[Monitor Wind op Land 2018](#)

Algemene informatie van de branchevereniging van de windsector: www.NWEA.nl

Algemene informatie windenergie: www.windenergie.nl

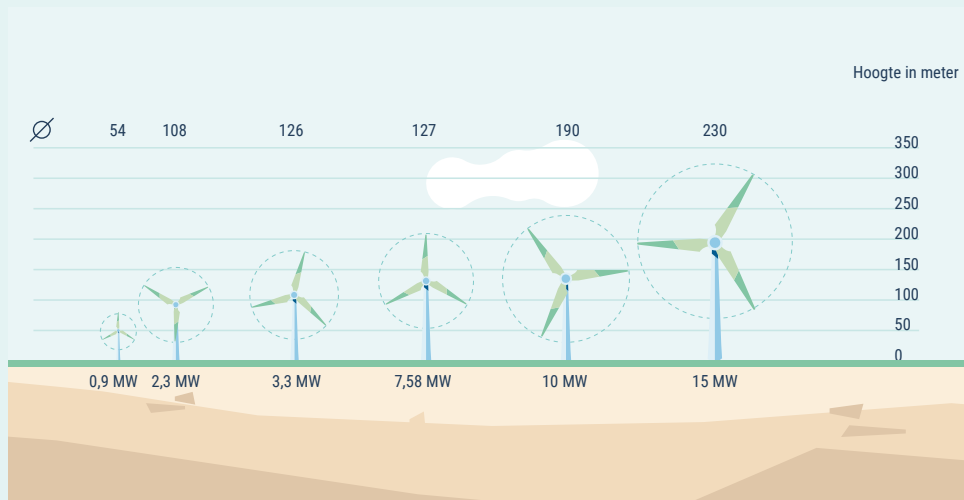
Voorbeeldprojecten wind op land:

www.windopland.info

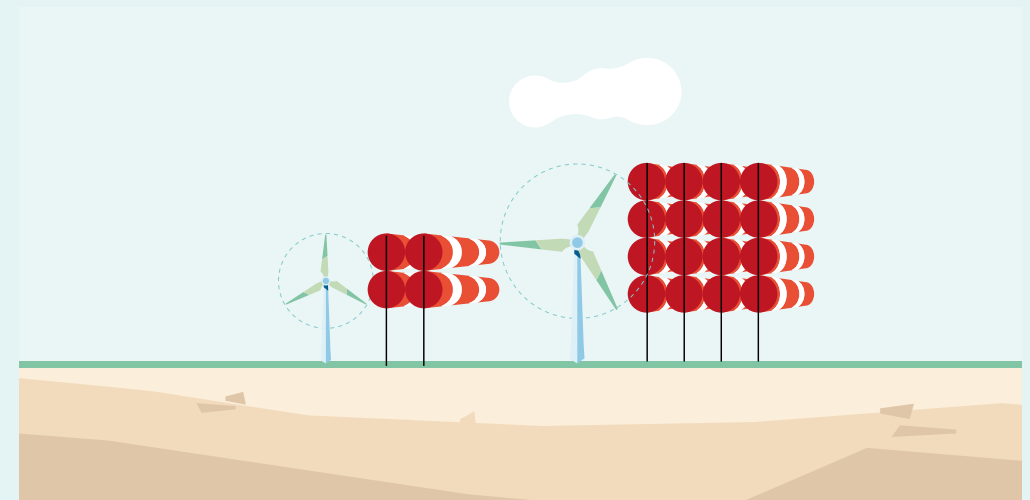
Mogelijke locaties windmolens:

[NP RES viewer](#)

Voorbeeld:
Windenergie



Kenmerken van verschillende typen windmolens
Bron: Ruimtelijke verkenning energie en klimaat



Hoe groter de diameter van de wieken, hoe hoger de opbrengst.
Bron: afbeelding: NVDE



Zonne-energie

Zonnepanelen (ook wel fotovoltaïsche of PV-panelen) zetten zonne-energie om in elektriciteit. Zonne-energie kan ook worden gebruikt voor de opwek van warmte. Deze factsheet richt zich op elektriciteitsopwekking uit zon, en specifiek op grootschalige opwek door installaties van meer dan 15 kWp. Deze installaties vallen binnen de scope van de RES-doelstelling. Grootschalige opwek van elektriciteit uit zon vindt plaats via zonprojecten op grote daken of in zogeheten zonneparken op land.

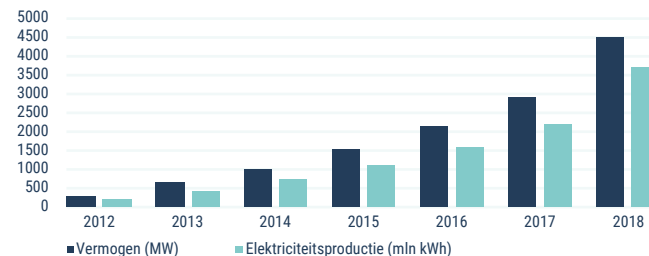
Eind 2018 was er in Nederland 2.100 MWp aan zonnepanelen in grootschalige installaties operationeel, goed voor een jaarlijkse productie van 1,5 TWh. Dit is, ter vergelijking, bijna net zoveel als de 2.300 MWp aan geïnstalleerd vermogen van kleinschalig zon op dak voor dat jaar. De Rijksoverheid heeft in haar zonneladder een voorkeursvolgorde voor de opwek van zonne-energie uitgewerkt: de voorkeur gaat uit naar zon op daken en gevels, daarna op onbenutte terreinen in bebouwd gebied en tot slot in landelijk gebied.

Ontwikkelingen

De groei van grootschalige zon-PV gaat exponentieel, het totaal van zon op daken en velden is sinds 2012 vijftienvoudig van 290 MWp naar 4.400 MWp, waarvan bijna 90% op daken.

- Was er eind 2012 nog nagenoeg geen grootschalige zon-PV, inmiddels is dit met 2.100 MWp bijna evenveel als kleinschalig zon op dak.
- Van deze 2.100 MWp aan grootschalige zon-installaties, is bijna 80% geplaatst op daken en ruim 20% op land.

Ontwikkeling energie uit zonnepanelen



De efficiëntie van zonnepanelen kan worden uitgedrukt in vermogensdichtheid. De ontwikkeling in vermogensdichtheid van zonnepanelen van de afgelopen jaren en de verwachte ontwikkeling naar 2030 toe is voor schuine daken met een optimale ligging:

- 2015: 105 Wp/m²
- 2020: 145 Wp/m²
- 2030: 180 Wp/m²

Voor zonneparken en platte daken ligt de vermogensdichtheid momenteel lager, maar naar verwachting zal deze in 2030 op het niveau van zon op schuine daken liggen.

Criteria

Criteria voor de plaatsing van zonne-installaties van meer dan 15 kWp.

- **Ruimtebeslag installatie zon-PV van 15 kWp:**
 - 140 m² (op dak of land)
 - Zon op land kan worden gecombineerd met verschillende functies, zie voorbeeld.
- **Doorlooptijd afhankelijk van vergunning en netaansluiting:**
 - Zon op dak behoeft geen vergunning
 - Vergunningverlening zon op land duurt ongeveer 2-3 jaar.
 - Aansluiting op netinfrastructuur is een beperkende factor voor zon op land. Op sommige locaties is er geen extra capaciteit op het elektriciteitsnet beschikbaar. Netbeheerders hebben [congestiegebieden](#) aangewezen waar de capaciteit beperkt is.
- **Levensduur zonnepanelen:** 25 jaar
- **Kostprijs:** 80 €/MWh
- **Energiedichtheid:** voor 1 MWp zon-PV is 0,95 ha nodig.
- **Interessante locaties:**
 - Gebieden met lage grondprijs
 - Gebieden met zo min mogelijk schaduw
 - Door het volgen van de [Gedragscode Zon op Land](#) kunnen gebieden met zon op land vergeleken met agrarisch grondgebruik een meerwaarde bieden op gebied van natuurontwikkeling.
- **Locatiebelemmeringen:**
 - Niet in Nationale Parken en Natura2000 gebieden
 - Niet in andere natuurgebieden, tenzij aantoonbare meerwaarde voor gebied
- **Aandachtspunt:**
 - Met zonneparken wordt vooral in de zomer veel elektriciteit opgewekt. In de overige seizoenen zijn ook andere energiebronnen nodig.



Innovaties

De volgende innovaties kunnen ook een bijdrage leveren aan de RES. Het zijn nieuwe toepassingen die momenteel in Nederland nog maar weinig geïnstalleerd vermogen hebben vergeleken met zon op land en op daken.

Zon-PV op water

- Zon-PV op water kan gemiddeld grootschaliger worden uitgevoerd dan zon op land
- Opbrengst van zon-PV op water kan iets hoger zijn dan op land, omdat het water voor koeling en voor reflectie van zonlicht kan zorgen
- In plaats van een fundering bij zon-PV op land, is een drijvende ondersteuning nodig

Zon-PV in daken van kassen

- Uitdaging omdat zon-PV zonlicht wegneemt dat de gewassen nodig hebben
- Door verdere ontwikkeling van de PV-systemen kan dit probleem in de toekomst mogelijk worden weggenomen

Zon-PV in wegdek

- Technische uitdaging om ervoor te zorgen dat het geen risico vormt voor weggebruikers, bijvoorbeeld door andere rolweerstand en wrijving
- Levensduur en betrouwbaarheid zijn nog niet goed aangetoond (invloed van slijtage en belasting op wegdek)

Zon-PV in overige infra-werken, zoals geluidsschermen

- Met relatief beperkte meerkosten kan een geluidswerende constructie worden uitgebreid met de functie zonnestroomopwekking
- De elektrische ontwerpaspecten zijn een uitdaging, omdat het systeem bloot staat aan dynamische beschaduwing

BI-PV

- Hierbij worden zonnepanelen geïntegreerd in de dakconstructie
- Vooral esthetisch interessant, leidt niet tot hoger opwekvermogen
- Voornamelijk interessant bij nieuwbouwwoningen
- Er zijn in de afgelopen jaren in Nederland een aantal gevallen bekend waarin BI-PV-systemen hebben geleid tot brand

PVT

- Een PVT-paneel wekt zowel elektriciteit als warmte op.
- Het totale rendement is hoger dan bij zonnepanelen die alleen elektriciteit opwekken
- Het nadeel is dat de prijs van een PVT-paneel hoger is dan een PV-paneel
- PVT is alleen interessant als er voldoende warmtevraag is

Zon-PV in gevels

- Potentieel van zon-PV in gevels is iets lager per m² dan zon-PV op daken.
- Uitdaging om de gevelelementen in allerlei verschillende vormen en maten beschikbaar te maken, om aan te sluiten op de gewenste uitstraling
- Dit is alleen interessant bij nieuwbouw of renovatie

Bifaciale PV-panelen

- Panelen die aan beide zijden van het paneel elektriciteit opwekken
- Volgens fabrikanten is een opbrengst van 25% hoger mogelijk per paneel t.o.v. standaard PV-panelen
- De configuratie is anders dan bij standaard PV-panelen, want er moet ook licht van onder op kunnen vallen.



Meer lezen?

Zonne-energie in de RES: [Hernieuwbare energiebronnen op land in de regionale energiestrategie](#)

Algemene informatie over zonne-energie van branchevereniging: www.hollandsolar.nl

Informatie over zon op land: [Gedragscode Zon op Land](#)

Innovaties zon-PV: [Roadmap PV-systemen en toepassingen](#)

Voorbeeldprojecten zon op daken: www.grotedaken.nl

Beleid omtrent zon-PV: [Beleidskaders zon-PV](#)

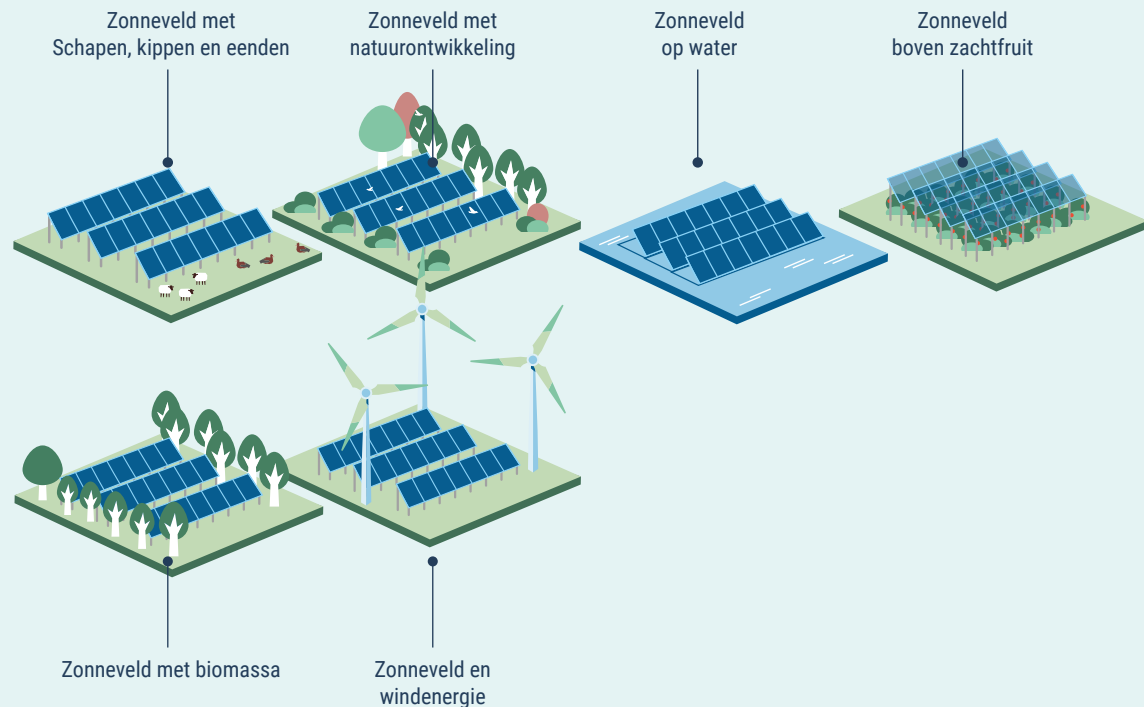
Landelijke [zonneladder](#)

Meer informatie over congestiegebieden is [hier te vinden](#)

Voorbeeld: Zonne-energie

Zonnepanelen kunnen met verschillende andere functies worden gecombineerd. Zie afbeeldingen hieronder.

In combinatie met groene daken kan [tot 6% meer elektriciteit](#) worden opgewekt.





Biomassa

Biomassa is organisch materiaal van planten en dieren. Biomassa kan worden verbrand in centrales om elektriciteit op te wekken. Als ook de vrijkomende warmte wordt benut, spreken we van warmtekrachtkoppeling (WKK). Ook kan biomassa omgezet worden in groengas en worden meeverbrand in een aardgascentrale. Er is een wijde variëteit aan biogene reststromen: o.a. resten van landbouw en bosbouw (plantenresten, mest, tak- en top hout), afvalstromen (GFT, rioolslib) en bermgras. Dit zijn duurzame maar beperkt beschikbare stromen. Energiegewassen en algenteelt kunnen op de lange termijn een hogere potentie hebben, maar de beschikbaarheid van duurzame biomassa zal beperkt blijven.

Energiegewassen op land concurreren namelijk met voedselproductie en algenteelt op zee zal niet overal rendabel zijn. Omdat biomassa ook voor andere toepassingen kan worden gebruikt, is de beschikbaarheid voor elektriciteitsproductie nog beperkter. In 2018 werd 5 TWh aan elektriciteit opgewekt met biomassa, iets meer dan een kwart van de totale hernieuwbare opwek (CBS-data). Naar verwachting zal biomassa in de toekomst alleen in back-up centrales worden ingezet, ter ondersteuning van wind- en zonne-energie. De grondstofprijzen variëren sterk per biomassa-stroom.

Ontwikkelingen

De productie van hernieuwbare elektriciteit uit biomassa telt niet mee voor het RES-doel van 35 TWh in 2030, maar wel voor het doel van 70% hernieuwbare elektriciteitsopwekking in 2030.

Duurzame biomassa is schaars en zal op lange termijn vooral naar de industrie (als grondstof) en naar mobiliteit gaan. Bij- en meestook van biomassa in kolencentrales zal voor 2030 **stoppen**. Back-up centrales op biomassa kunnen een belangrijke rol gaan spelen bij de balancering van elektriciteitsvraag- en aanbod.

Criteria

Criteria voor de plaatsing van een back-up-centrale (100% biomassa):

- **Schaalgrootte:**
nationaal (>500 MW), regionaal (5-500 MW), lokaal (<5 MW)
- **Ruimtebeslag:**
Er is ca. 6 ha nodig voor een centrale van 900 MW
- **Realisatietijd:**
2-3 jaar
- **Investeringskosten middelgrote centrale:**
2.000-4.000 €/kW
- **Productiekosten elektriciteit:**
57-190 €/MWh

Duurzaamheid

Het Rijk stelt een integraal duurzaamheidskader biomassa vast in 2020, waarin de duurzaamheidseisen, maximale inzet en toepassingen komen te staan voor verschillende biomassa-stromen. Het streven is om biomassa zo hoogwaardig mogelijk in te zetten. Meegestookte biomassa in kolencentrales moet voldoen aan strenge duurzaamheidseisen. Biomassa wordt als CO₂-neutraal beschouwd, maar dan moeten er geen bossen verdwijnen. Het gebruik van energiegewassen kan indirect leiden tot boskap en hoge voedselprijzen. Boskap kan de biodiversiteit schaden. De verbranding van biomassa in centrales leidt tot fijnstofuitstoot, maar dit kan worden afgevangen.



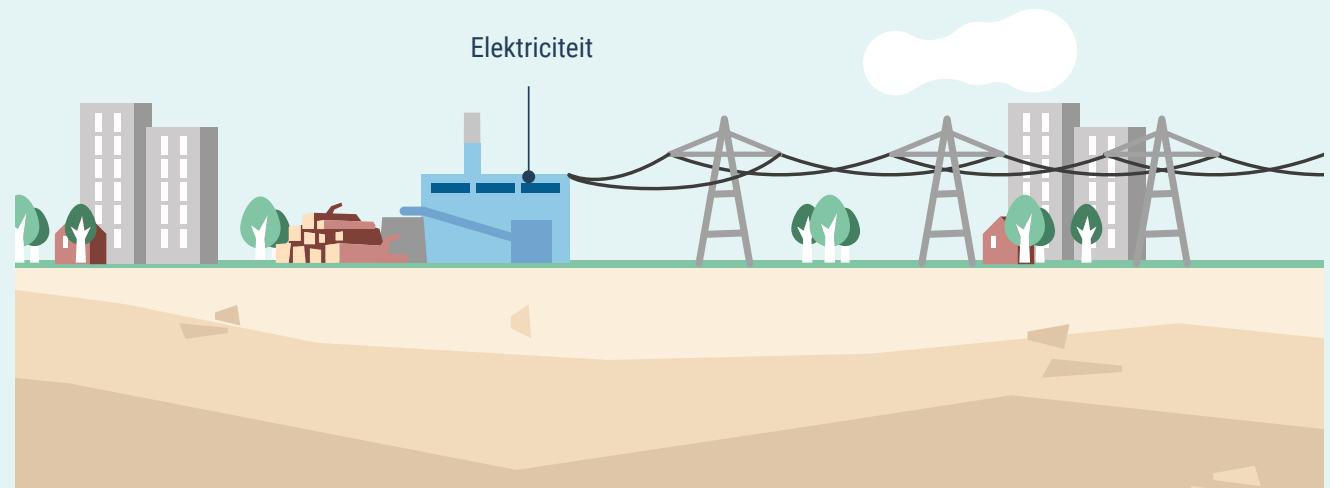
Meer lezen?

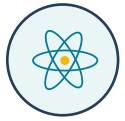
De rol en inzet van biomassa: [Klimaatakkoord](#)

Verwachting over gebruik van biomassa tot 2030:
[Klimaat- en Energieverkenning 2019](#)

Strategische visie over de rol en inzet van biomassa
richting 2030: [Visie](#)

Voorbeeld:
Biomassa (Elektriciteit)





Kernenergie

Kernenergie levert elektriciteit door verrijkt uranium te splijten in een kerncentrale. De warmte die bij de splijting vrijkomt, wordt omgezet in elektriciteit. Het bouwen van een kerncentrale vergt een hoge investering. De operationele kosten zijn echter relatief laag, wat betekent dat kerncentrales veel draaiuren moeten maken om de kosten van de bouw terug te verdienen. Kerncentrales zijn zogenaamde **must run installaties die niet (eenvoudig) uit te schakelen zijn**. Kernenergie is dus **lastig te combineren met variabele elektriciteitsopwekking** uit zon en wind. De voorraad uranium is eindig en een kerncentrale levert lastig verwerkbaar hoogradioactief afval op. Om deze reden is kernenergie geen hernieuwbare energiebron. De opwekking van elektriciteit uit kernenergie levert echter zeer weinig CO₂-uitstoot op. Nederland heeft één kerncentrale van 485 MW voor elektriciteitsopwekking in Borssele en twee onderzoeksreactoren in Petten en Delft.

Ontwikkelingen

De aangewezen zoeklocaties voor kernenergie zijn Maasvlakte II, Eemshaven, en Borssele. Er zijn **geen marktpartijen** die interesse hebben om een kerncentrale te bouwen.

Er zijn verschillende nieuwe typen reactoren in ontwikkeling. De ontwikkeling en goedkeuring van nieuwe types duurt jaren tot decennia, daarna komt de bouw nog.

Small Modular Reactors (SMR) beloven een kostenvoordeel door serieproductie van kleinere reactoren die aan elkaar kunnen worden aangesloten. Er zijn veel prototypes in ontwikkeling, **serieproductie is nog niet bereikt**.

De voordelen van thorium als brandstof zijn dat de voorraad thorium groter is dan die van uranium, het veel minder radioactief afval produceert en het lastiger is om hiermee kernwapens te maken. **Er is nog geen commercieel concept op de markt**, dit wordt op zijn vroegst **na 2030 in China verwacht**. Zowel uranium- als thoriumerts is niet aanwezig in Nederland en moet uit andere landen geïmporteerd worden.

Kernfusie laat atomen fuseren in plaats van splijten. De brandstof wordt **uit zeewater** gewonnen, dus de voorraad is bijna oneindig. De eerste demonstratiereactor die elektriciteit opwekt d.m.v. kernfusie wordt **na 2040** verwacht.

Criteria

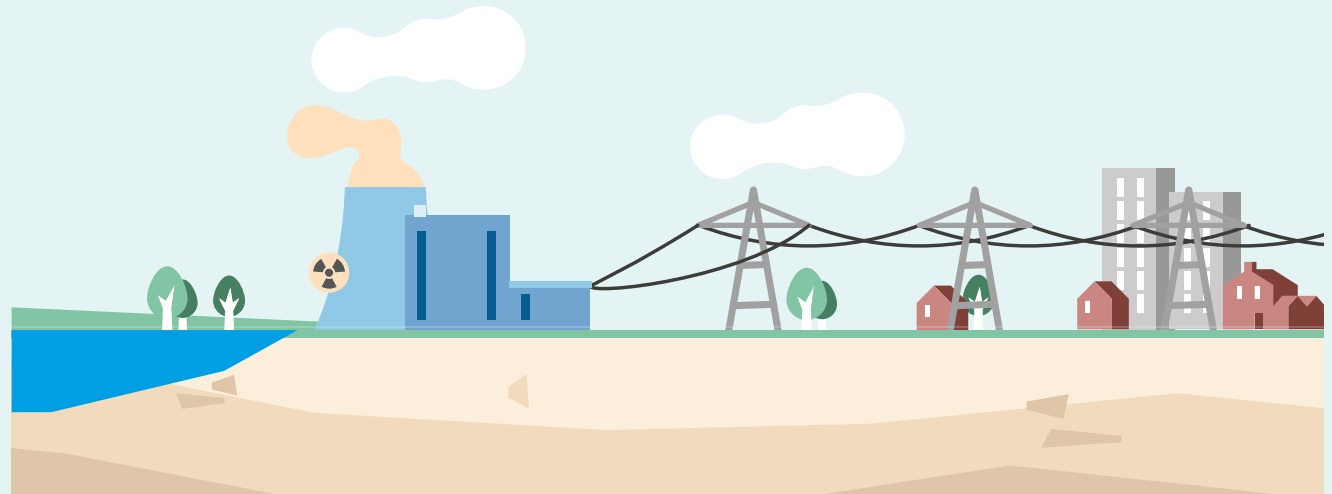
- Bouw enkel mogelijk op door het Rijk aangewezen zoeklocaties
- Vergunningstraject duurt meerdere jaren
- Bouwtijd 8-16 jaar na vergunningverlening
- Private partij nodig die de bouw financiert (ca. 7-10 miljard €/GW).
- Een typische nieuwbouwcentrale is 1650 MW en heeft 7.800 vollasturen per jaar (13 TWh/jaar) tegen **90 €/MWh**.
- Er is ongeveer **6 ha** nodig voor een kerncentrale. Na uitbedrijfname duurt het nog **meerdere decennia** voordat een reactor veilig afgebroken kan worden. De ruimte blijft dus langer bezet dan de levensduur van de centrale.
- Er is veilige langetermijnopslag nodig voor het radioactief afval.



Meer lezen?

Vele studies over kernenergie zijn terug te vinden op <https://www.world-nuclear.org/information-library.aspx>

Voorbeeld: Kernenergie



Kerncentrale in Olkiluoto (Finland)
door Hannu Huovila / TVO.
Eenheid 3 is sinds 2005 in aanbouw
en zou in 2021 gereed moeten zijn.
De centrale van 1600 MW heeft naar
schatting 11 miljard euro gekost.





Waterkracht

Waterkrachtcentrales zetten de beweging van water om in elektriciteit. De energie kan geleverd worden door stroming of verval van een rivier of beek, door golven, of door het getijde. We beschouwen hier waterkracht bij bestaande stuwen in beken en rivieren, omdat deze variant het meest relevant is voor de RES-regio's. Het potentieel voor dit soort waterkracht is in Nederland beperkt. Dit komt doordat Nederland vrij vlak is. Toch is er nog een resterend potentieel van circa 0,3 TWh per jaar bij bestaande stuwen waar elektriciteit opgewekt zou kunnen worden. Waterkracht heeft een groot aandeel kapitaalkosten en nauwelijks variabele kosten. Eenmaal geïnstalleerd moet de installatie dus zoveel mogelijk uren draaien. Nederland heeft momenteel [7 waterkrachtcentrales](#) groter dan 100 kW, met een gezamenlijk vermogen van 37 MW en een energieopwekking van zo'n 95 GWh per jaar.

Ontwikkelingen

Naast waterkracht uit stuwen bij rivieren en beken zijn er diverse andere technologieën:

Getijdenenergie bij bestaande waterkeringen heeft een beperkt aantal geschikte locaties en kost >90 €/MWh, maar is technisch al probleemloos toegepast.

Blue energy wekt elektriciteit op uit verschillen in zoet en zout water. Deze technologie kost nu nog >400 €/MWh, maar heeft kans om [na 2030](#) betaalbaar te worden. Bij zeer sterke kostendalingen zou blue energy op termijn kunnen functioneren als regelbare energiebron.

Dynamic tidal power wekt elektriciteit op uit getijdenstroming door een strekdam van tientallen kilometers te bouwen in zee. Deze technologie is ecologisch omstreden, maar eventueel op de lange termijn relevant voor rijksprojecten.

Golfenergie heeft in Nederland weinig potentie omdat de golven te zwak zijn.

Criteria

Criteria voor waterkracht bij stuwen in rivieren en beken:

- Bestaande stuw nodig, anders niet rendabel.
- Visveiligheid: nieuwe projecten mogen leiden tot maximaal 0,1% vissterfte.
- Een centrale in een rivier heeft een vermogen van circa 1-10 MW, een centrale in een beek 10-500 kW.
- De bouwtijd varieert van enkele weken voor de kleinste centrales tot meerdere jaren voor grote centrales. De vergunningverlening duurt minstens 6 maanden.
- De kosten bedragen 80-210 €/MWh. Hierbij is het gunstig om de bouw te combineren met andere werkzaamheden aan de stuw.
- Waterkracht bij bestaande stuwen kost geen extra ruimte.



Meer lezen?

[Lees deze studie](#) naar de potentie van elektriciteit uit water in Nederland

Voorbeeld: **Waterkracht**

De Dommelcentrale in aanbouw. De Dommelcentrale heeft een vermogen van 120 kW, wekt zo'n 600.000 kWh/jaar op en heeft ongeveer 1 miljoen euro gekost.

Foto: Luc van Gerrevink, @DEC Dommelstroom





Waterstof

Waterstof is geen energiebron, maar een energiedrager. Het wordt momenteel geproduceerd uit aardgas (grijze waterstof). Als de hierbij vrijkomende CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen spreken we van 'blauwe waterstof'. 'Groene waterstof' wordt gemaakt met elektriciteit uit wind- en zonne-energie m.b.v. een elektrolyser. Op dit moment wordt in Nederland ongeveer 175 PJ/jaar aan (grijze) waterstof geproduceerd. Dit wordt gebruikt als grondstof in de (petro)chemische industrie. Met waterstof kan ook elektriciteit worden geproduceerd door dit te verbranden in een elektriciteitscentrale of met een elektrochemische reactie in een brandstofcelsysteem. Overaanbod van wind- en zonne-energie kan worden omgezet in groene waterstof en langdurig (seizoenen) worden opgeslagen in lege zoutcavernes en gasvelden. Op momenten met een tekort kan deze waterstof weer in elektriciteit worden omgezet. In deze leveringsroute gaat veel van de opgewekte energie verloren (ca. 65%), maar wordt elektriciteitsvraag en -aanbod gebalanceerd en kunnen dure uitbreidingen van het elektriciteitsnet worden voorkomen. Wind- en zonneparken kunnen ook worden gebouwd met waterstofproductie als hoofddoel.

Ontwikkelingen

Waterstof is geen energiebron (want het moet eerst worden gemaakt) en kan daarmee geen onderdeel zijn van het doel om 35 TWh hernieuwbare elektriciteitsproductie op land te realiseren.

In het Klimaatakkoord heeft het Rijk de komst van een groot waterstofprogramma aangekondigd. De [Kabinetsvisie waterstof](#) van maart 2020 vormt de aanloop naar dit programma. CO₂-vrije waterstof wordt gezien als een noodzakelijke schakel in een duurzaam energiesysteem.

Blauwe waterstof kan een transitierol vervullen om waterstofproductie- en -gebruik op gang te brengen. Groene waterstof is naar verwachting niet op grote schaal beschikbaar voor 2035. De beschikbaarheid van groene waterstof wordt beperkt door de capaciteit en de directe benutting van wind- en zonne-energie. Verder kan groene waterstof o.a. als grondstof in de chemische industrie en in de mobiliteitssector worden gebruikt en zijn er alternatieve technieken om elektriciteitsvraag en -aanbod te balanceren. Op langere termijn kan groene waterstof ook worden geïmporteerd.

Er zijn nog geen gasturbines die draaien op waterstof, maar hier zijn wel plannen voor (zie voorbeeld). Brandstofcelsystemen zijn modulair en daarmee goed schaalbaar, maar zijn nog erg duur.

Criteria

Criteria voor een gasturbine op waterstof:

- **Schaalgrootte waterstofturbine:** 1-500 MW
- **Ruimtebeslag:** er is ca. 6 ha nodig voor een centrale van 900 MW
- **Doorlooptijd bouw centrale:** 2-3 jaar
- **Investeringskosten:** 1.000-3.000 €/kW
- **Productiekosten elektriciteit uit waterstof:** onbekend



Meer lezen?

Bekijk de [Kabinetsvisie waterstof](#)

[Voorstel voor programmatische aanpak voor waterstof \(TKI Nieuw Gas\)](#)

[Productieketens voor blauwe en groene waterstof \(CE Delft\)](#)

Voorbeeld:

Waterstof

De Magnum-centrale in de Eemshaven heeft drie eenheden van 440 MW waarin aardgas wordt omgezet in elektriciteit. Vanaf 2023 zal een van de drie eenheden geheel op waterstof draaien. Dit is in eerste instantie blauwe waterstof, waarbij de CO₂ ondergronds wordt opgeslagen in Noorwegen.



Uitleg Criteria

Bijdrage aan 35 TWh-doelstelling RES

Kan de energiebron bijdragen aan het RES-doel om te komen tot 35 TWh hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land?

Bijdrage aan CO2-reductie 2050

Los van de RES-doelstelling: kan de energiebron bijdragen aan het doel van een CO2-neutrale energievoorziening in 2050?

Technische realisatie voor 2030

Is het technisch mogelijk om een project met deze energiebron uiterlijk in 2030 te realiseren als nu gestart wordt?

Aandachtspunten

Wat zijn de maatschappelijke discussies die gevoerd worden over deze energiebron? Wij gaan hierbij niet in op de feiten in deze discussies, en of de argumenten gegrond zijn. In de nadere uitwerking per energiebron staat de feitelijke informatie.

Doorlooptijd projectontwikkeling

Wat is de gemiddelde doorlooptijd van een project totdat het project operationeel is?

Kosten

Wat zijn de kosten van deze energiebron? Om een objectieve vergelijking te geven, is de prijs van energie uit een energiebron uitgedrukt in een prijs per megawattuur (MWh). Dit heet de levelised cost of energy (LCOE). Het zijn de totale kosten over de levensduur van het project gedeeld door de hoeveelheid geproduceerde energie. Dit is tevens de minimale prijs per MWh die nodig is om de installatie te bouwen en energie te produceren, inclusief de kosten benodigd voor onderhoud en personeel. Ter referentie: de gemiddelde prijs voor elektriciteit in 2019 was [41,2 €/MWh](#)

Ruimtelijke impact

Verschillende technieken hebben een verschillende ruimtelijk impact. We geven het ruimtebeslag weer van de centrale of installatie die nodig is om elektriciteit te produceren. Er is hierbij niet gekeken naar de ruimtelijke impact van materiaalgebruik, grondstoffenwinning, netinfrastructuur et cetera). Voor meer informatie over energiedichtheid: zie het boek [Energie en Ruimte](#).

Mogelijkheid tot meervoudig ruimtegebruik

Welke mogelijkheden zijn er op de productielocatie aanwezig voor ander gebruik van de grond?

Begrippenlijst

Maattermen

kilo	duizend, 1.000 (10^3)
Mega	miljoen, 1.000.000 (10^6)
Giga	miljard, 1.000.000.000 (10^9)
Tera	biljoen, 1.000.000.000.000 (10^{12})
Peta	biljard, 1.000.000.000.000.000 (10^{15})
ha	hectare, oppervlak van 100 x 100 meter

Vermogen

W	Watt: maat voor vermogen om energie te leveren
kW	kilowatt: 10 ³ Watt aan vermogen
MW	megawatt: 10 ⁶ Watt aan vermogen
GW	gigawatt: 10 ⁹ Watt aan vermogen
MWe, GWe	megawatt of gigawatt vermogen specifiek aan de elektrische zijde van een installatie, bijvoorbeeld het outputvermogen van een centrale of het inputvermogen van een elektrolyser
MW_{th}, GW_{th}	megawatt of gigawatt vermogen specifiek aan de thermische (warmte) zijde van een installatie
kWp, MWp	piekvermogen: het vermogen dat maximaal gehaald kan worden onder optimale omstandigheden.

Energie

J	Joule: maat voor energie, 1 J = 1 W vermogen gedurende 1 seconde
GJ	gigajoule: 10 ⁹ Joule aan energie
TJ	terajoule: 10 ¹² Joule aan energie
PJ	petajoule: 10 ¹⁵ Joule aan energie
Wh	Wattuur: maat voor energie, 1 Wh = 1 W vermogen gedurende 1 uur = 3.600 J
kWh	Kilowattuur: 10 ³ Wh aan energie
MWh	megawattuur: 10 ⁶ Wh aan energie
GWh	gigawattuur: 10 ⁹ Wh aan energie
TWh	terawattuur: 10 ¹² Wh aan energie

Begrippenlijst

Biogas	Biogas is gas dat verkregen wordt bij de vergisting van organisch materiaal (biomassa). Het kan worden opgewerkt tot groengas, door middel van verwijdering van CO ₂ en verontreinigende stoffen.	Groene waterstof	Waterstof geproduceerd uit hernieuwbare energie	Super-kritische vergassing	Superkritische (water)vergassing is een vorm van vergassing waarbij natte biomassa wordt opgelost in superkritisch water. Deze technologie is geschikt voor natte biomassastromen en kent een zeer hoog energierendement.
Bio-massa	Plantaardig en dierlijk (rest)materiaal, dat als grondstof kan worden gebruikt voor de productie van hernieuwbare energiedragers en direct als brandstof voor de productie van elektriciteit en warmte.	Groengas	Gas gemaakt uit organisch materiaal (biomassa) met dezelfde samenstelling en hetzelfde kwaliteitsniveau als aardgas. Hierdoor kan het direct op het aardgasnet worden ingevoerd.	Vergassing	Vergassing is een innovatieve technologie waarmee specifieke biomassastromen, zoals hout en mest, worden omgezet in synthesesgas. Dit gas kan vervolgens in groengas worden omgezet.
Blauwe waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie met toepassing van CCS	Houtpellets	Houtpellets zijn snippers hout of houtafval (zoals zaagsel), in de vorm van staafjes samengeperst. Zij kunnen worden verbrand om elektriciteit en warmte te produceren.	Vergisting	Techniek om organisch materiaal (biomassa) om te zetten in biogas
Brandstof-cel	een brandstofcel zet waterstof of een ander gas direct om in elektriciteit en warmte door middel van een elektrochemische reactie	Must-run centrale	Een elektriciteitscentrale die niet zomaar afgeschakeld worden doordat er bijvoorbeeld ook warmte geleverd moet worden of de opstartkosten erg hoog zijn, zoals bij een kerncentrale.	Vollasturen	Het aantal uren per jaar dat een elektriciteitsopwekker omgerekend op volledig vermogen draait. Dit wordt berekend als de jaarlijkse energieproductie gedeeld door het maximale vermogen. Twee uur op halve kracht telt dus ook als één vollastuur.
CCS	Carbon-capture and storage: CO ₂ opslag	Pellets	Zie Houtpellets	Warmtekrachtkoppeling (WKK)	De gecombineerde productie en benutting van elektriciteit en warmte, bijvoorbeeld een gasturbine die elektriciteit produceert waarbij de restwarmte in een warmtenet wordt geleid.
Elektrolyse	Een elektrochemisch proces waarbij waterstof wordt geproduceerd door elektriciteit door puur water te leiden. Het water wordt hierbij gesplitst in waterstof in zuurstof.	RES	Regionale Energiestrategie		
Elektrolyser	een installatie waarmee waterstof wordt geproduceerd door middel van elektrolyse	SDE++-subsidie	subsidie Stimulering Duurzame Energie-opwekking		
Grijze waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie	Synthesegas	Synthesegas is gas dat verkregen wordt bij de vergassing van organisch materiaal (biomassa). Het bestaat voornamelijk uit waterstof en koolmonoxide en kan worden omgezet in groengas door middel van methanisering.		

Waterstof	Waterstof is een gas. Bij verbranding van dit gas komt geen CO2 vrij. Waterstof moet worden geproduceerd uit andere energiebronnen, zoals windenergie of aardgas. Zie ook: groene waterstof, blauwe waterstof, grijze waterstof.
Zoekgebieden	Aangewezen gebieden in de RES waar mogelijkheden worden gezien voor zon-, wind- en/of bodemenergie.

Nationaal Programma
RES Regionale
Energie
Strategie

www.regionale-energiestrategie.nl

Factsheet Elektriciteit

Deze factsheet is een publicatie van het **Nationaal Programma RES**, en is ontwikkeld in samenwerking met [CE Delft](#).

Versie

30 april 2020

Ontwerp

Studio Duel, Den Haag