



## MKEA zon-PV en wind op land

Vergelijking kosten en maatschappelijke effecten

	Projected Cost	Actual Cost
HOUSING	€ 1,500.00	€ 1,400.00
Mortgage or rent	€ 60.00	€ 100.00
Phone	€ 50.00	€ 60.00
Electricity	€ 200.00	€ 180.00
Gas	€ 50.00	€ 48.00
Water and sewer		



# MKEA zon-PV en wind op land

## Vergelijking kosten en maatschappelijke effecten

Dit rapport is geschreven door:

Geert Warringa (CE Delft)

Robert Vergeer (CE Delft)

Martijn Blom (CE Delft)

Luuk Beurskens (ECN)

Delft, CE Delft, december 2016

Publicatienummer: 16.7J46.125

Windenergie / Zonne-energie / Economische factoren / Maatschappelijke factoren / Kosten

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Geert Warringa (CE Delft).

© copyright, CE Delft, Delft

### **CE Delft**

#### **Committed to the Environment**

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

# Voorwoord

In opdracht van het ministerie van EZ hebben CE Delft en ECN de kosten en maatschappelijke effecten van zon-PV en wind op land met elkaar vergeleken. Het onderzoek is ondersteund door de volgende klankbordgroep:

- Gerbert Romijn (CPB);
- Tina Leguijt (RVO);
- Niek Mouter (TU Delft);
- Pieter Boot (PBL);
- Karel Zeldenrust, Frans Duijnhouwer (ministerie van I&M);
- Ronald Schillemans, Marcel Klok en Jan Hendriks (ministerie van EZ, opdrachtgever).

Daarnaast zijn twee stakeholderbijeenkomsten georganiseerd waarbij de volgende personen input hebben geleverd:

- Karen Kooi (NWEA);
- Peter Eecen (ECN);
- Allard van der Steege (Ventolines);
- Wim Sinke (ECN/TKI);
- Wijnand van Hooff (TKI Urban energy);
- Ando Kuypers (Solliance);
- Rob Kuilboer (Siemens wind power);
- Nick Hubbers (Eneco);
- Joris Wijnhoven (Greenpeace);
- Rob Rietveld (Vereniging Nederlandse Omwonenden Windturbines);
- Theo Elfrink (Vereniging Eigen Huis);
- Lennert Goemans (ministerie van Economische Zaken).

Wij willen iedereen danken voor hun waardevolle inbreng in het project. Dit heeft de kwaliteit in onze ogen sterk verhoogd. De inhoud en conclusies van de rapportage zijn geheel voor rekening van de auteurs.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Aanleiding	8
1.2	Centrale vraagstelling	8
1.3	Scope	8
1.4	Aanpak in vogelvlucht	9
1.5	Uitgangspunten	10
1.6	Leeswijzer	10
<b>2</b>	<b>Projectalternatieven</b>	<b>11</b>
2.1	Inleiding	11
2.2	Projectalternatieven	11
2.3	Locatiespecifieke afwegingen bij vormgeving alternatieven	13
<b>3</b>	<b>Kosten</b>	<b>16</b>
3.1	Inleiding	16
3.2	Historische kostenontwikkeling	17
3.3	Investeringskosten	17
3.4	Jaarlijkse O&M-kosten	21
3.5	Vergelijking kosten per projectalternatief	23
<b>4</b>	<b>Maatschappelijke effecten</b>	<b>24</b>
4.1	Inleiding	24
4.2	Profiel- en onbalanskosten	24
4.3	Effecten op omwonenden	26
4.4	Recreatie en toerisme	31
4.5	Impact op werknemers	34
4.6	Werkgelegenheidseffecten	34
4.7	Ecologische effecten	36
4.8	Externe veiligheid	36
4.9	Conclusie	37
<b>5</b>	<b>MKEA-resultaat</b>	<b>38</b>
5.1	Doorkijk naar 2030	39
5.2	Verdelingseffecten	40
5.3	Conclusie	40
<b>6</b>	<b>Gevoeligheidsanalyse</b>	<b>41</b>
6.1	Woningwaardeverlies	41
6.2	Invloed op de resultaten	42
6.3	Conclusie	43
6.4	Tot slot	43
<b>7</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>44</b>

<b>Bijlage A</b>	<b>Overzicht waarderingsmethoden in recente MKBA's</b>	<b>47</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Ontwikkeling aantal vollasturen wind op land</b>	<b>48</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Berekening kosten per kWh</b>	<b>51</b>

# Samenvatting

## Aanleiding en doel

Zon-PV en wind op land zijn beide belangrijke technieken in de energietransitie. Voor zowel zon-PV als windenergie op land is de voorspelling dat de kostprijs in de toekomst zal dalen door innovaties en leereffecten.

De motie Smaling C.S. (Tweede Kamer, 2016) heeft de regering verzocht om een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uit te voeren naar de huidige en de te verwachte ontwikkelingen van energieopwekking uit zon en wind op land.

In deze studie zijn de kosten en maatschappelijke effecten bepaald voor de jaren 2015, 2020 en 2023. Hierbij hebben we alleen de maatschappelijke effecten in kaart gebracht als deze verschillen tussen zon (PV) en wind op land. Inzicht krijgen in de verschillen staat immers centraal in deze studie. De methode wordt ook wel een Maatschappelijke Kosteneffectiviteitsanalyse (MKEA) genoemd.

Bij de bepaling van de effecten is een breed welvaartsbegrip aangehouden. Het gaat niet alleen om de financiële kosten voor de ontwikkelaar van de parken, maar ook om bredere maatschappelijke effecten zoals hinder voor omwonenden en werknemers, ecologie, toerisme, werkgelegenheid en externe veiligheid. Om de effecten vergelijkbaar te maken, zijn deze waar mogelijk in euro's uitgedrukt.

## Projecten

Om de kosten en maatschappelijke effecten te bepalen, zijn (fictieve maar realistische) projecten geformuleerd. Voor windenergie op land gaan we uit van 45 moderne turbines met een vermogen van 4 MW elk (in totaal 180 MW). Dit park is vergelijkbaar met de grootste geplande windparken in Nederland. Een zonnepark dat evenveel elektriciteit levert, bestaat uit zo'n 3,7 miljoen m<sup>2</sup> panelen, heeft een vermogen van 560 MW en neemt een ruimte in van zeven vierkante kilometer (inclusief ruimte tussen de panelen voor looppaden etc). In Europa zijn zonneparken van deze omvang nog niet gerealiseerd. Het project zou meer dan een factor 5 groter zijn dan het grootste zonnepark in Nederland waarvoor momenteel plannen bestaan (bij Sappemeer, gepland vermogen 103 MW).

## Resultaat

Het resultaat van de analyse is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Resultaat (maatschappelijke kosten in €ct per kWh)

Projectalternatief	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
<b>Kwantitatief gewaardeerde effecten</b>						
Investeringskosten	8,8	6,4	5,1	3,7	3,0	2,5
O&M-kosten	2,3	1,9	1,7	1,0	0,8	0,7
Profiel- en onbalanskosten	0,5	0,9	1,2	0,5	0,7	0,7
<b>Totaal (€ct per kWh)</b>	<b>11,6</b>	<b>9,2</b>	<b>7,9</b>	<b>5,2</b>	<b>4,5</b>	<b>3,9</b>
<b>Kwalitatief gewaardeerde effecten</b>						
Effecten op omwonenden	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Recreatie en toerisme	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief
Effecten op werknemers	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Werkgelegenheidseffecten	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
Ecologische effecten	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Externe veiligheid	Nul	Nul	Nul	Negatief	Negatief	Negatief

Opmerking: Opbrengsten staan niet in deze tabel weergegeven omdat ze niet verschillen tussen de alternatieven. Het gaat dan bijvoorbeeld om opbrengsten uit de verkoop van elektriciteit en vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot.

De tabel laat zien dat de (in geld uitgedrukte) kosten van zon-PV tot 2023 meer dan een factor twee hoger zijn dan de kosten van windenergie. Alhoewel de investerings- en O&M-kosten bij zon-PV sterker afnemen dan bij wind op land, nemen de profiel- en onbalanskosten juist sterker toe, door een scherper productieprofiel van zon-PV.

Hierbij tekenen we aan dat veel van de maatschappelijke effecten in deze studie niet in geld zijn uitgedrukt. Van de kwalitatief beoordeelde effecten verwachten we dat het effect op omwonenden potentieel een grote impact kan hebben op het resultaat van de analyse. Afhankelijk van de locatie kunnen er immers veel woningen in de nabijheid staan van een wind of zon project. De overige effecten daarentegen zijn, naar onze inschatting, waarschijnlijk beperkt. Het effect op de externe veiligheid is nihil of zeer klein vanwege de Nederlandse wetgeving op het dit gebied. Hetzelfde geldt voor ecologische effecten. Ook geven de meeste studies aan dat het effect op recreatie en toerisme op nationale schaal klein of nihil is. De welvaartseffecten door werkgelegenheid zijn op langere termijn nihil.

### Hinder voor omwonenden

Om de invloed van hinder voor omwonenden op het eindresultaat te bepalen, hebben we deze in de gevoeligheidsanalyse in euros uitgedrukt. We hebben alleen het effect kunnen bepalen op omwonenden door een windpark. Er zijn geen studies bij ons bekend die het effect van een zonnepark hebben bepaald. We gaan in de gevoeligheidsanalyse uit (op basis van VU, 2014) van een effect van -4,5% op de waarde van huizen binnen een straal van 2.000 meter van een windturbine en veronderstellen de hinder van zon-PV op nul.

Uitgaande van het huidige Nederlandse gemiddelde 182 woningen per turbine binnen een straal van 2.000 meter (gebaseerd op een GIS-analyse van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland), en een gemiddelde woningprijs van 230.000 euro, bedraagt het woningwaardeverlies voor een park met

45 turbines zo'n 85 mln euro. Omgerekend per kilowattuur zijn de maatschappelijke kosten dan 1,3 eurocent per kWh in 2015, 1,1 eurocent in 2020 en 0,9 eurocent in 2023. Het woningwaarde effect per kWh neemt af door de hogere elektriciteitsproductie van de technieken in 2023, waardoor het woningwaardeverlies over meerdere eenheden elektriciteit uitgesmeerd kan worden.

Wanneer we het effect op woningwaarde vergelijken met het verschil in kosteneffectiviteit tussen de twee technieken, dan zien we dat een eventuele woningwaardedaling geen invloed heeft op het eindresultaat van de analyse: de maatschappelijke kosten van wind op land blijven binnen de zichtjaren lager dan van zon-PV. Het effect van woningwaarde is immers niet groot genoeg om het resultaat te doen omslaan.

Tabel 2 Effect woningwaarde (€ct per kWh)

Projectalternatief	Wind op land		
	2015	2020	2023
Effect woningwaarde (€ct per kWh)	1,3	1,1	0,9
Minimaal verschil kosteneffectiviteit (ondergrens zon - bovengrens wind) (€ct per kWh)	4,2	2,8	2,4

Uitgaande van een woningwaardevermindering van 4,5% wordt het omslagpunt bereikt bij een aantal woningen per windturbine van 590 in 2015 en 480 in 2020 en 2023. Dan is het woningwaardeverlies gelijk aan de lage schatting van het verschil in kosteneffectiviteit van beide technieken. Voor alle drie de bovengenoemde grenswaarden geldt dat meer dan 91% van de huidige windturbines in Nederland op een locatie staat met minder woningen binnen een straal van 2.000 meter. Bij de parken waar er *meer* dan een dergelijk aantal woningen in de nabijheid liggen, betreft het parken op locaties bij steden of dorpen. Dit onderstreept dat het verlies aan woningwaarde met name afhankelijk is van de locatie van de te plaatsen windturbines.

### Conclusie

We concluderen dat het resultaat robuust is. Als we aannemen dat alleen wind op land een negatieve impact heeft op de waarde van omliggende woningen, zijn de maatschappelijke kosten van wind op land voor meer dan negen op de tien locaties in Nederland lager dan zon-PV. Hier komt bovenop dat de mogelijke hinder van zonneparken, met een ruimtebeslag van zeven vierkante kilometer, niet is meegenomen in de gevoeligheidsanalyse. Als deze impact gekwantificeerd zou worden, is het aantal locaties mogelijk nog groter dan negen op de tien waarbij wind gunstiger scoort.

### Tot slot

In deze studie is een vergelijking gemaakt tussen de technieken. We merken echter op dat de profiel- en onbalanskosten minder sterk toenemen als zowel in wind als zon wordt geïnvesteerd, omdat de technieken aanvullend zijn (als de zon schijnt waait het vaak minder hard en vice versa). Dit zijn ook belangrijke afwegingen om te komen tot een optimale energiemix.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Zon-PV en wind op land zijn beide belangrijke technieken in de energie-transitie. Zij leveren dan ook een grote bijdrage om de hernieuwbare energie-doelen te realiseren. Het gaat dan bijvoorbeeld om de 14%-doelstelling voor 2020 (Europese hernieuwbare richtlijn) en de 16%-doelstelling die voor 2023 is afgesproken in het SER Energieakkoord. Voor het jaar 2030 is nog geen doelstelling opgesteld voor Nederland. Wel is er een doelstelling op EU-niveau; in 2030 moet 27% van de finale vraag uit hernieuwbare bronnen komen.

Voor zowel zon-PV als windenergie op land is de voorspelling dat de kostprijs in de toekomst zal dalen door innovaties en leereffecten. De motie Smaling C.S (Kamerstuk 30 196, nr. 452, Tweede Kamer, 2016) heeft de regering verzocht om een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uit te voeren naar de huidige en verwachte ontwikkelingen van energieopwekking uit zon en wind op land. Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt hoe de kosten en maatschappelijke effecten van beide technieken zich tot elkaar verhouden.

In reactie op de motie heeft de minister van Economische Zaken toegezegd de studie uit te laten voeren. Dit onderzoek is uitgevoerd door een consortium van CE Delft en ECN. Voorliggend rapport geeft het resultaat van de studie weer.

## 1.2 Centrale vraagstelling

Wat zijn de huidige en toekomstige kosten en maatschappelijke effecten van zon-PV en wind op land?

## 1.3 Scope

In deze studie zijn de kosten en maatschappelijke effecten weergegeven voor de jaren 2015, 2020 en 2023. Het jaar 2015 is gekozen omdat dit het meest recente jaar is waarvoor statistische gegevens beschikbaar zijn. De jaren 2020 en 2023 zijn jaartallen waarvoor concrete doelstellingen zijn afgesproken op nationaal niveau. Daarnaast is een doorkijk gemaakt naar de kosten voor het jaar 2030.

De analyse heeft een nationale scope. Dit houdt in dat is weergegeven hoe de kosten en maatschappelijke effecten uitpakken voor Nederland als geheel. Dit betekent bijvoorbeeld dat niet alleen de kosten voor projectontwikkelaars van zon en wind in kaart worden gebracht. Het gaat bij de beoordeling om de kosten en effecten immers om de gehele maatschappij.

## 1.4 Aanpak in vogelvlucht

In deze studie zijn de kosten en maatschappelijke effecten van zon-PV en wind op land met elkaar vergeleken. Hiertoe zijn eerst (fictieve) projecten geformuleerd, waarvan de kosten en effecten in kaart zijn gebracht. Deze projecten worden in jargon ook wel projectalternatieven genoemd. Om de effecten zoveel mogelijk vergelijkbaar te maken, zijn zowel de financiële als maatschappelijke effecten zoveel mogelijk in geld uitgedrukt.

In de motie is verzocht om een Maatschappelijke Kosten-BatenAnalyse (MKBA) uit te voeren. Dit is een methodiek waarvoor de overheid verschillende eisen heeft opgesteld bij de uitvoering. Zo moeten de autonome ontwikkelingen, zoals de ontwikkeling van het opgestelde vermogen zon en wind en de elektriciteitsprijzen, zijn gebaseerd op de WLO (Welvaart en Leefomgeving) scenario's. Daarnaast dienen alle welvaartseffecten van zon-PV en wind op land in kaart gebracht te worden ten opzichte van het zogeheten nul-alternatief, ook als deze effecten tussen zon-PV en windenergie onderling niet verschillen.

Omdat de vergelijking van de kosten en maatschappelijke effecten van zon-PV en windenergie op land in de studie centraal staat, is na overleg met de klankbordgroep gekozen om een maatschappelijke kosteneffectiviteitsanalyse (MKEA) uit te voeren in plaats van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA). Belangrijk verschil met een MKBA is dat de maatschappelijke effecten alleen in kaart worden gebracht als deze verschillen tussen zon (PV) en wind op land. Inzicht krijgen in de verschillen staat immers centraal in deze studie. De effecten op CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn daarom bijvoorbeeld niet in kaart gebracht, omdat deze niet verschillen tussen de technieken per eenheid opgewekte elektriciteit.<sup>1</sup>

Er wordt, met instemming van het CPB en PBL, in deze studie aangesloten bij de nationale energieverkenning 2016, omdat die meer gedetailleerde (en meer recente) informatie dan de WLO-scenario's geeft over de ontwikkeling van de hoeveelheid opgestelde vermogen van windenergie op land en zon-PV en de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs op korte termijn.

In deze MKEA zijn de maatschappelijke kosten uitgedrukt per kilowattuur (kWh) opgewekte elektriciteit. Hiermee sluiten we aan bij de definitie die wordt gehanteerd bij de Europese doelstellingen. In de hernieuwbare energierichtlijn van de Europese Commissie wordt de bijdrage van hernieuwbare energie gemeten in termen van bruto finaal energieverbruik. Dit komt overeen met de energetische productie van zon-PV en wind op land.

Bij de bepaling van de kosten en de maatschappelijke effecten gaan we uit van marginale projecten. Dit houdt in dat we de kosten en effecten bepalen van één extra project aanvullend op het (verwachte) geïnstalleerde vermogen (weergegeven in de NEV 2016) in de jaren 2015, 2020 en 2023 zon en wind.

---

<sup>1</sup> Alhoewel zowel zon en wind beide hernieuwbare bronnen zijn, is er (strikt genomen) wel een (marginaal) verschil tussen de technieken in CO<sub>2</sub>-uitstoot. Er is namelijk energie benodigd om de turbines en zonnepanelen te produceren, transporten, etc., waarbij CO<sub>2</sub> vrijkomt (met name in het buitenland). IPCC (2012) heeft de resultaten van 26 studies voor zon-PV en 49 studies voor windenergie op een rij gezet waarin de CO<sub>2</sub>-uitstoot over de gehele keten in kaart is gebracht. Hieruit blijkt dat de uitstoot van zon-PV over de gehele keten groter is dan de uitstoot van wind op land. Voor beide technieken geldt echter dat de uitstoot slechts een fractie is ten opzichte van elektriciteitsopwekking met fossiele energie (gas, kolen). Omdat het om een marginaal effect gaat, zijn deze verschillen niet in kaart gebracht in deze studie.

Hierbij specificeren we niet met welk beleid de extra projecten tot stand komen. Dit kunnen zowel financiële, juridische als communicatieve prikkels zijn (of een combinatie ervan). Omdat het om een vergelijking van zon-PV en wind op land gaat, nemen we aan dat de beleidsuitvoeringskosten voor beide alternatieven niet verschillen en daarom wegvallen in de vergelijking.

Voor de bepaling van de financiële en maatschappelijke effecten is een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd en zijn verschillende interviews afgenomen. Daarbij hebben zowel CE Delft als ECN beschikking over in-house databestanden. Ook zijn tijdens het project twee externe stakeholder-bijeenkomsten georganiseerd, waarin de tussentijdse bevindingen zijn getoetst en additionele informatie is vergaard.

## 1.5 Uitgangspunten

Conform de uitgangspunten van de MKBA-systematiek, zijn de kosten en baten in dit project contant gemaakt met een reële maatschappelijke discontovoet van 4,5%.<sup>2</sup> Een reële discontovoet houdt in dat alle prijzen in hetzelfde prijspeil worden uitgedrukt. Het gehanteerde prijspeil in deze studie is 2015.

In de analyse is de technische levensduur van de technieken het uitgangspunt (niet de economische levensduur). Bij installatie in 2015 zijn deze gelijk voor beide technologieën, namelijk 20 jaar. Deze loopt door technische innovaties voor beide technieken op. De levensduur van zon-PV en wind op land stijgen naar verwachting van 20 jaar bij installatie in 2015 naar respectievelijk 25 jaar (wind op land) en 30 jaar (zon-PV) bij installatie in 2023.

## 1.6 Leeswijzer

De opzet van dit rapport is als volgt:

- in Hoofdstuk 2 geven we een beschrijving van de projectalternatieven die we in deze studie met elkaar vergelijken (zon-PV en wind op land-projecten);
- in Hoofdstuk 3 geven we een overzicht van de kosten van de projectalternatieven voor zon-PV en wind op land;
- Hoofdstuk 4 vergelijkt de maatschappelijke effecten van de projectalternatieven;
- in Hoofdstuk 5 geven we een totaaloverzicht van de kosten en het maatschappelijke saldo van beide technieken, inclusief een doorkijk van de kosten naar het jaar 2030;
- in Hoofdstuk 6 presenteren we de gevoeligheidsanalyse.

---

<sup>2</sup> Deze discontovoet is voorgeschreven voor investeringen met een relatief hoge vaste kosten (zoals energiecentrales; Werkgroep Discontovoet, 2015). Omdat de opgewekte eenheden elektriciteit representatief zijn voor de baten van het project (elektriciteitsopbrengsten), zijn deze ook gediscoteerd met 4,5%.

# 2 Projectalternatieven

## 2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de projectalternatieven. Deze zijn gepresenteerd in Paragraaf 2.2. Omdat zowel de kosten, opbrengsten als maatschappelijke effecten van zon-PV wind op landprojecten in Nederland (sterk) afhankelijk kunnen zijn van de locatie, geven we in Paragraaf 2.3 ook een overzicht van de locatie specifieke uitgangspunten bij de vormgeving van alternatieven.

## 2.2 Projectalternatieven

Bij de vormgeving van de projectalternatieven gaan we uit van een groot-schalig windpark en de equivalente hoeveelheid zonne-energie die hiermee opgewekt kan worden. Er is niet gedifferentieerd naar de grootte van het park, omdat de kosten per eenheid opgewekte elektriciteit niet tot nauwelijks verschillen tussen een kleinschalig en grootschalig windpark.

Tijdens de expertsessie met de industrie kwam naar voren dat er slechts marginale voordelen te realiseren zijn bij een grootschalig windpark. Dit beeld wordt bevestigd door de Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO), die een goed beeld heeft van de subsidieaanvragen. Er zijn schaalvoordelen bij grotere windparken, maar deze zijn relatief beperkt (ordegrootte hooguit enkele procenten). Voordelen zitten erin dat bepaalde kosten (zoals mobilisatie en demobilisatie, kranen, etc.) over een grotere hoeveelheid turbines uitgesmeerd kunnen worden. Ook zullen producenten van turbines eerder bereid zijn genoegen te nemen met een lagere marge (waarmee de investeringskosten iets kunnen dalen voor grote parken). De plankosten nemen niet of nauwelijks af met schaalgrootte, omdat de procedures en vergunningverlening navenant complexer worden.

Ook voor zon is het niet noodzakelijk om te differentiëren, omdat sowieso een grootschalig project noodzakelijk is om een vergelijkbare hoeveelheid elektriciteit op te wekken als met windenergie. Om bijvoorbeeld net zoveel elektriciteit op te wekken als één windturbine van 4 MW, is al een zonnepark noodzakelijk dat twee keer zo groot is als het huidige grootste park in Nederland (Ameland).

Voor windenergie op land gaan we uit van 45 moderne turbines met een vermogen van 4 MW elk (in totaal 180 MW). Dit park is vergelijkbaar met de grootste geplande windparken in Nederland.

Een zonnepark dat evenveel elektriciteit levert, bestaat uit zo'n 3,7 miljoen m<sup>2</sup> panelen en heeft een vermogen van 560 MW. In Europa zijn zonneparken van deze omvang nog niet gerealiseerd. Het Copper Mountain-zonnepark in de VS is enigszins vergelijkbaar in termen van vermogen (totaal vermogen 458 MW). Het projectalternatief zou meer dan een factor 5 groter zijn dan het grootste Zonnepark in Nederland waarvoor momenteel plannen bestaan (bij Sappemeer gepland vermogen 103 MW).

Figuur 1 Indicatie projectalternatieven wind (links) en zon (rechts)<sup>3</sup>



In de periode 2015 tot 2023 neemt de hoeveelheid opgewekte elektriciteit per windturbine en zonnepaneel toe. De reden is dat zowel de levensduur van de technieken toeneemt, als de productie per eenheid opgesteld vermogen. Binnen deze MKEA is een prognose gemaakt van de ontwikkeling van de levensduur en de energieopbrengst. Hiertoe is allereerst een uitgebreide literatuuranalyse uitgevoerd, een eigen analyse gemaakt door CE Delft en ECN en aanvullend een werksessie met experts georganiseerd. Een nadere onderbouwing van de energieproductie van wind op land is weergegeven in Bijlage B.

Voor wind op land is het uitgangspunt een marginaal project met een opgesteld vermogen van 180 MW in 2015, 2020 en 2023. Omdat de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit per zonnepaneel naar verwachting sterker toeneemt dan per windturbine, daalt het noodzakelijke opgesteld vermogen zon-PV ten opzichte van 2015 (om een vergelijkbare hoeveelheid elektriciteit op te wekken als wind op land).<sup>4</sup> Het opgestelde vermogen neemt daarom af tot 525 MW in 2023. Het aantal m<sup>2</sup> zonnepanelen daalt naar 3,5 miljoen in 2023. Dit effect wordt vooral veroorzaakt door de sterkere toename van de verwachte levensduur van zonnepanelen in vergelijking met windturbines.<sup>5</sup> Tabel 3 geeft een samenvatting van de specificaties per projectalternatief.

<sup>3</sup> De rechter afbeelding is het Copper Mountain-zonnepark in de Verenigde Staten. Dit park heeft een totaal vermogen van 458 MW.

<sup>4</sup> Hierbij is het uitgangspunt de productie over de gehele levensduur. De jaarlijkse productie van wind op land neemt weliswaar sterker toe dan zon-PV, maar zal minder ver in de toekomst doorgaan. Gegeven de ambitieuze lange termijn doelstellingen op EU-niveau (80 tot 95% emissiereductie in 2050), hebben we productie over de gehele levensduur als uitgangspunt voor de vergelijking gehanteerd en niet alleen de jaarlijkse productie. Als we alleen de jaarlijkse productie in beschouwing zouden nemen, doen we geen recht aan de langere levensduur van zon-PV in 2020 en 2023.

<sup>5</sup> Wanneer we naar de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit kijken, zien we bij zon-PV een daling ten opzichte van wind op land. Om de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit uit zon op jaarbasis gelijk te laten zijn met de jaarproductie uit wind is in 2020 606 MW zon-PV benodigd en in 2023 630 MW.

Tabel 3 Specificaties projectalternatief

Projectalternatief	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Vermogen (MW)	560	534	525	180	180	180
Miljoen m <sup>2</sup> zonnepanelen/aantal turbines	3,7	3,6	3,5	45	45	45
Levensduur	20	25	30	20	22	25
Productie (kWh/kW)	900	950	1.000	2.800	3.200	3.500
Opgewekte hoeveelheid elektriciteit over de levensduur fysiek (TWh)	10	13	16	10	13	16
Opgewekte hoeveelheid elektriciteit per jaar (GWh)	504	507	525	504	576	630

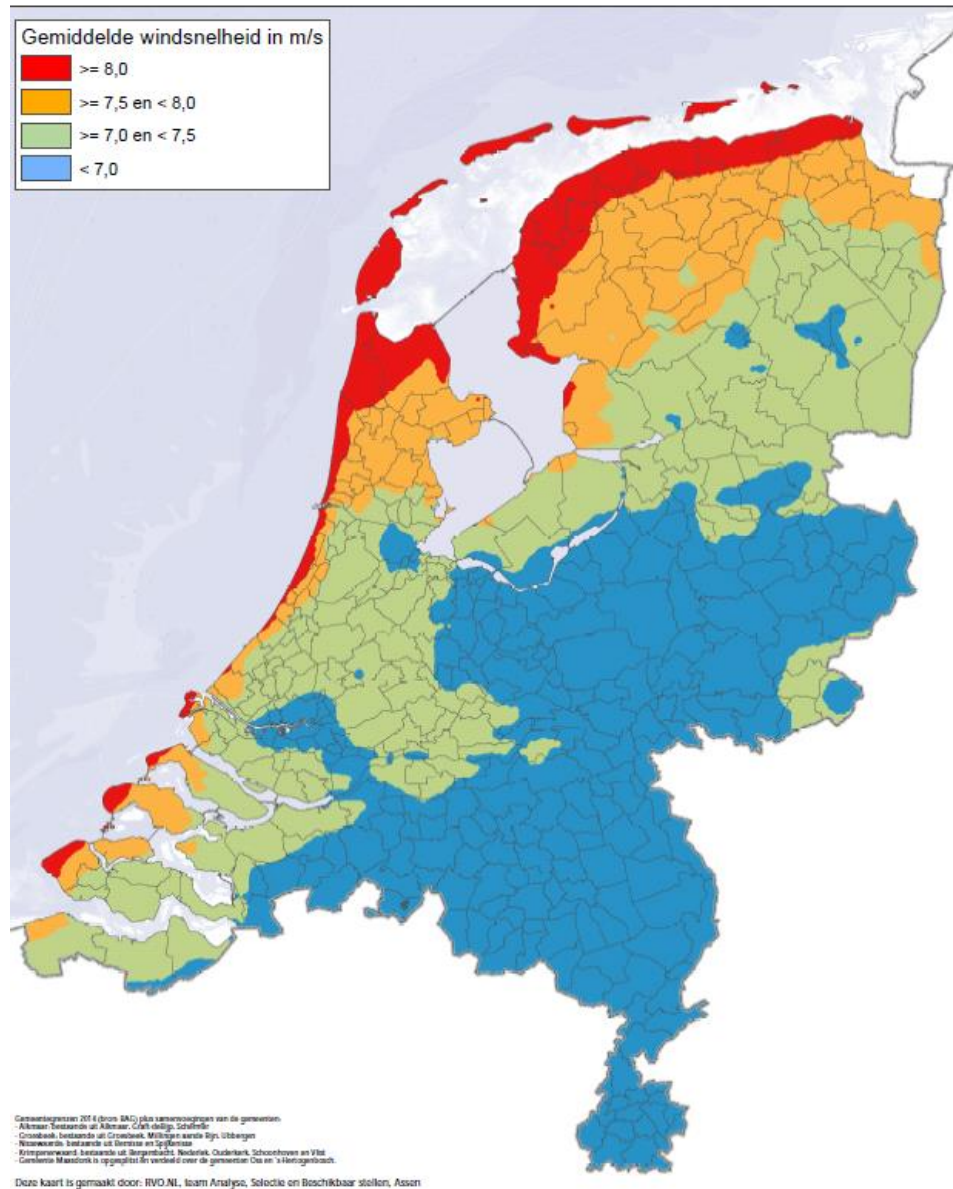
Bron: CE Delft en ECN.

## 2.3 Locatiespecifieke afwegingen bij vormgeving alternatieven

Omdat het uitgangspunt een nationaal schaalniveau is (zie ook Paragraaf 1.3), hebben we gekozen voor projecten die willekeurig in Nederland kunnen worden gestart.

Zowel voor zon-PV als wind op land geldt echter dat zowel de kosten als maatschappelijke effecten (sterk) afhankelijk kunnen zijn van de regio in Nederland waar het project plaatsvindt. Zo geldt dat de kosten per eenheid opgewekte elektriciteit afhankelijk zijn van de windsnelheid (meest aantrekkelijk aan de kust) en instraling van zon. Bij een lagere windsnelheid zijn de kosten om één MWh elektriciteit op te wekken relatief hoger dan bij een hoge windsnelheid. Er wordt immers minder elektriciteit geproduceerd, waardoor de investeringskosten en vaste O&M-kosten over minder eenheden elektriciteit uitgesmeerd kunnen worden.

Figuur 2 Gemiddelde windsnelheid in Nederland



Ook de kosten van ruimtebeslag variëren per regio, omdat deze onder andere afhankelijk zijn van de grondprijs. Daarbij wordt de maatschappelijke impact sterk beïnvloed door factoren zoals de afstand tot de bebouwing, het landschap, de aanwezigheid van achtergrondgeluid, voorkomen van kwetsbare soorten, aanwezigheid toeristische functies, etc. Deze kunnen sterk verschillen per regio en zijn daarbij situatie afhankelijk.

De verschillen kunnen ook tot uiting komen in kosten voor inpassing. Planprocessen en vergunningenprocedures zullen relatief meer tijd kosten en meer middelen vergen in gebieden waarin meer complexe afwegingen noodzakelijk zijn. Dit uit zich in relatief hogere kosten voorafgaand aan de installatie.

Bij de vormgeving van de projectalternatieven gaan we zoveel mogelijk uit van gemiddelde waarden voor Nederland (zie Tabel 3 voor de aannames over de gemiddelde productie per eenheid geïnstalleerd vermogen).

We hebben ervoor gekozen lokale parameters niet nader te specificeren.

Het gaat bijvoorbeeld om de aanwezigheid van bebouwing, aanwezigheid van achtergrondgeluid, het type landschap en natuur, voorkomen van toeristische functies, etc. Deze factoren verschillen sterk per locatie en zijn binnen Nederland te groot om uit te gaan van nationale gemiddelden. Daarbij geldt dat factoren die te maken hebben met hinder, zoals de afstand tot de bebouwing, afhankelijk zijn van keuzes die per project kunnen verschillen.

Alhoewel we deze facetten niet kunnen specificeren in een nationale analyse, zullen we wel per projectalternatief weergeven welke maatschappelijke effecten zouden kunnen optreden en waar deze van afhankelijk zijn. Het gaat dan bijvoorbeeld om de impact van windturbines op woningwaarden (gegeven de afstand van de turbines tot de bebouwing) de ecologische impact, de toeristische impact, etc. We zullen deze effecten waar mogelijk kwantificeren.



# 3 Kosten

## 3.1 Inleiding

Voor zowel wind op land als zon-PV geldt dat de kosten per project variëren. Ontwerpkeuzes bepalen de benodigde componenten en de kwaliteit en kosten ervan, en onderhandeling met leveranciers en aannemers kunnen verschillen wegens andere richtwaarden voor marges. Lokale omstandigheden zoals eventuele afspraken met omwonenden zijn ook overal anders.

Voor het bepalen van de kosten van wind op land en zon-PV zijn de volgende stappen genomen:

1. Op basis van literatuuronderzoek is in kaart gebracht welke kosten er voor de twee technieken gerapporteerd worden. De overgenomen kosten zijn gebaseerd op *inputparameters* uit deze studies, dus zonder aannames over afschrijving en zonder de resulterende elektriciteitsproductiekosten, en ze zijn vergelijkbaar gemaakt door de waarden uit te drukken in euros van het jaar 2015. Ook netwerkaansluitingskosten zijn buiten beschouwing gebleven, omdat deze sterk afhankelijk zijn van de afstand tot het elektriciteitsnetwerk en bovendien nauwelijks verschillen voor de twee technieken. Bij dit literatuuronderzoek is de meestal internationale context vertaald naar de Nederlandse situatie. Documenten waarin de twee technieken door eenzelfde redactie beschreven zijn, verhogten verder de interne consistentie en vergelijkbaarheid.
2. De resulterende ontwikkeling van de beschrijvende parameters is in een stakeholderworkshop voorgelegd aan experts, die de voorgestelde gegevens van commentaar en wijzigingsvoorstellen voorzien hebben.
3. In de derde stap hebben we de kosten bepaald.

De hiernavolgende paragrafen tonen de uiteindelijke resultaten van de derde stap. De rapporten die geanalyseerd zijn worden in Tabel 4 opgesomd.

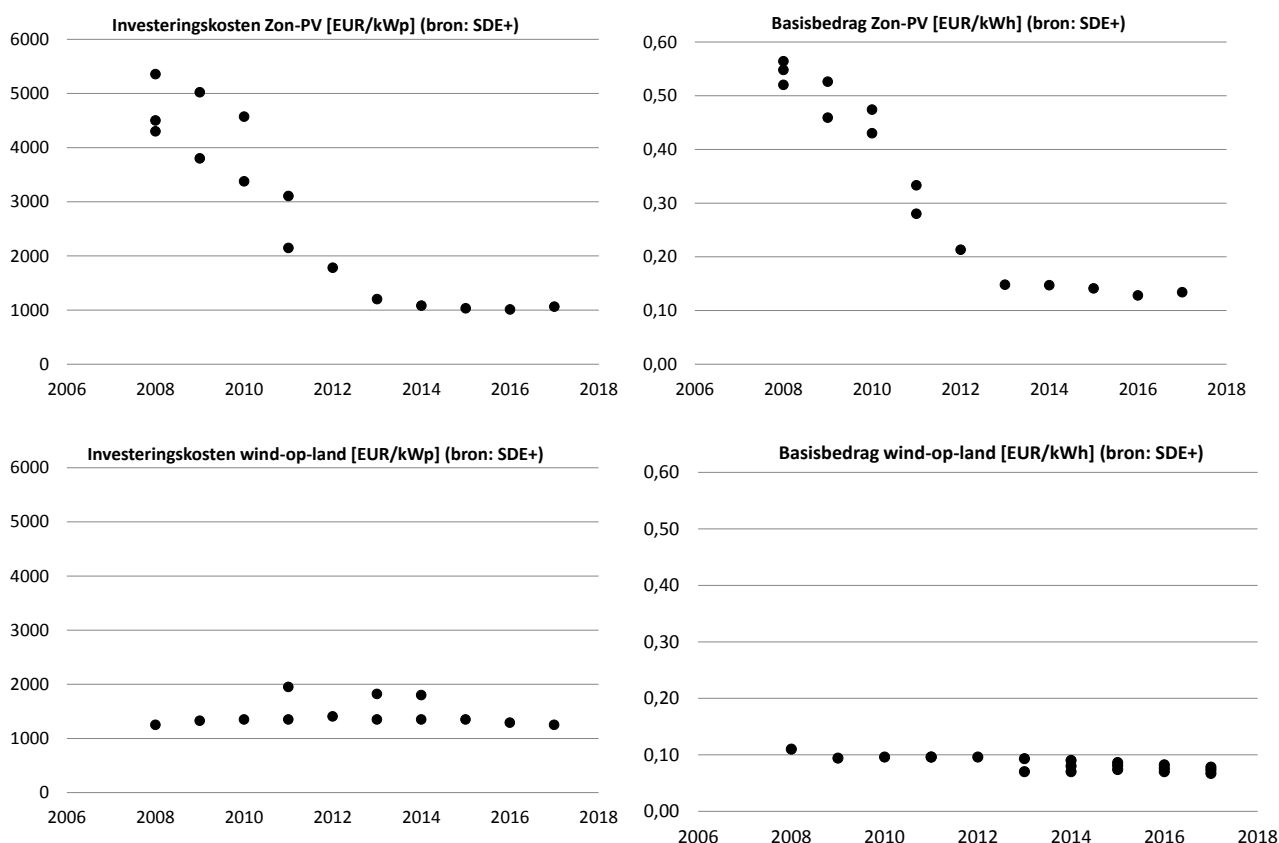
Tabel 4 Rapporten waaruit kosteninformatie verwerkt is tot een schatting voor de MKEA

Instituut/auteur	Jaartal	Titel	Wind	PV
IRENA	2016	The Power To Change: Solar And Wind Cost Reduction Potential to 2025	Ja	Ja
IEA	2014	Energy Technology Perspectives (PV)		Ja
JRC	2014	Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050	Ja	Ja
Agora Energiewende/ FhG-ISE	2015	Current and Future Cost of Photovoltaics		Ja
TKI URBAN ENERGY	2015	Kennis- en Innovatieagenda		Ja
Ryan Wiser et al.	2016	Forecasting Wind Energy Costs and Cost Drivers: The Views of the World's Leading Experts	Ja	
KIC InnoEnergy	2016	Future renewable energy costs: solar photovoltaics		Ja
KIC InnoEnergy	2014	Future renewable energy costs: onshore wind	Ja	
EUPVTP	2015	PV LCOE in Europe 2014-2030		Ja

### 3.2 Historische kostenontwikkeling

Voor Nederland is er een openbare dataset beschikbaar die op consistente wijze inzoomt op de kostenontwikkeling: de SDE+-parameters voor de bepaling van de basisbedragen. Daarbij is de grootste meerwaarde van deze set de ontwikkeling in de opeenvolgende jaren. Het gaat om de trend, en niet zozeer om het absolute niveau. De in de figuur genoemde kosten gelden voor het betreffende jaar (nominale waarde). De datapunten voor 2017 zijn gebaseerd op het conceptadvies van ECN en DNV-GL (ECN, 2016).

Figuur 3 Historische kostenontwikkeling zon-PV en wind op land



Bron: Analyse CE Delft en ECN.

Het beeld dat uit deze figuren spreekt: voor zon-PV blijken de investeringskosten zeer sterk gereduceerd, en daarmee ook de basisbedragen. Voor wind op land zijn de investeringskosten ongeveer gelijk gebleven maar zorgt een toenemende energieopbrengst toch voor een in de loop van de tijd lager wordend basisbedrag.

### 3.3 Investeringskosten

Voor zowel wind op land als voor zon-PV geven alle geraadpleegde studies aan dat de investeringskosten naar verwachting zullen dalen; alleen bij wind-energie kunnen de specifieke investeringen als gevolg van ontwerpkeuzes toenemen. Sommige van de rapporten geven tot in detail aan welke mechanismen daaraan ten grondslag liggen, en in welke deelcomponenten deze effecten zich naar verwachting het sterkst zullen doen gelden.

Voor zon-PV heeft de systeemgrootte een belangrijke invloed op de specifieke investeringskosten.<sup>6</sup> Om aan te sluiten bij de projectalternatieven zoals gedefinieerd in Paragraaf 2.2, is voor de analyse steeds uitgegaan van groot-schalige grondgebonden PV-systemen, die een andere kostenstructuur kennen dan bijvoorbeeld de duurdere dakgebonden systemen op woonhuizen.

Investeringskosten voor zon-PV zullen naar verwachting op alle fronten dalen: de module wordt goedkoper, de inverter ook, evenals de voor de installatie benodigde systeemapparatuur (*balance-of-system*: materialen, bekabeling, installatiekosten, enz.). Door toenemende concurrentie zullen naar verwachting ook de marges in de keten dunner worden. Ook door het modulaire karakter van PV en toenemende ervaring en optimalisatie bij het ontwerp en het effect ervan op de arbeidskosten kunnen PV-centrales efficiënter en goedkoper worden.

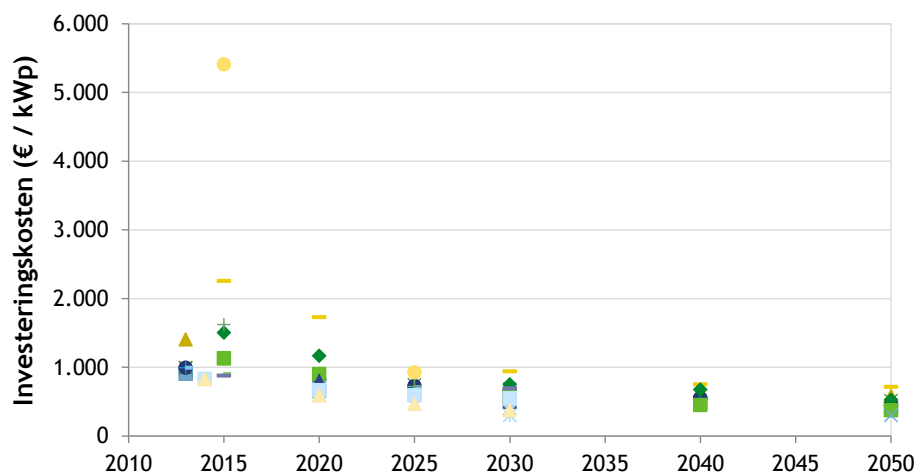
Voor wind op land is de kostenreductie terug te voeren op het ontwerpproces, maar daarbij kan opgemerkt worden dat sommige ontwerpkeuzes juist leiden tot hogere specifieke kosten, zoals bijvoorbeeld bij langere en/of meer geavanceerde rotorbladen en hogere en/of meer geavanceerde masten. Ook worden, door toenemende concurrentie, de marges in de keten kleiner (net als bij zon-PV). In alle deelcomponenten van wind op land is kostenreductie mogelijk: in de turbine zelf, de rotorbladen en in de mast.

Figuur 4 en Figuur 5 geven de kostenontwikkeling uit de geraadpleegde bronnen weer voor de periode t/m 2050.

---

<sup>6</sup> Met het verschil in systeemgrootte bedoelen we in dit verband het verschil tussen kleinschalige systemen (zoals enkele panelen op particuliere daken) en grootschalige systemen (die in deze studie zijn beoordeeld).

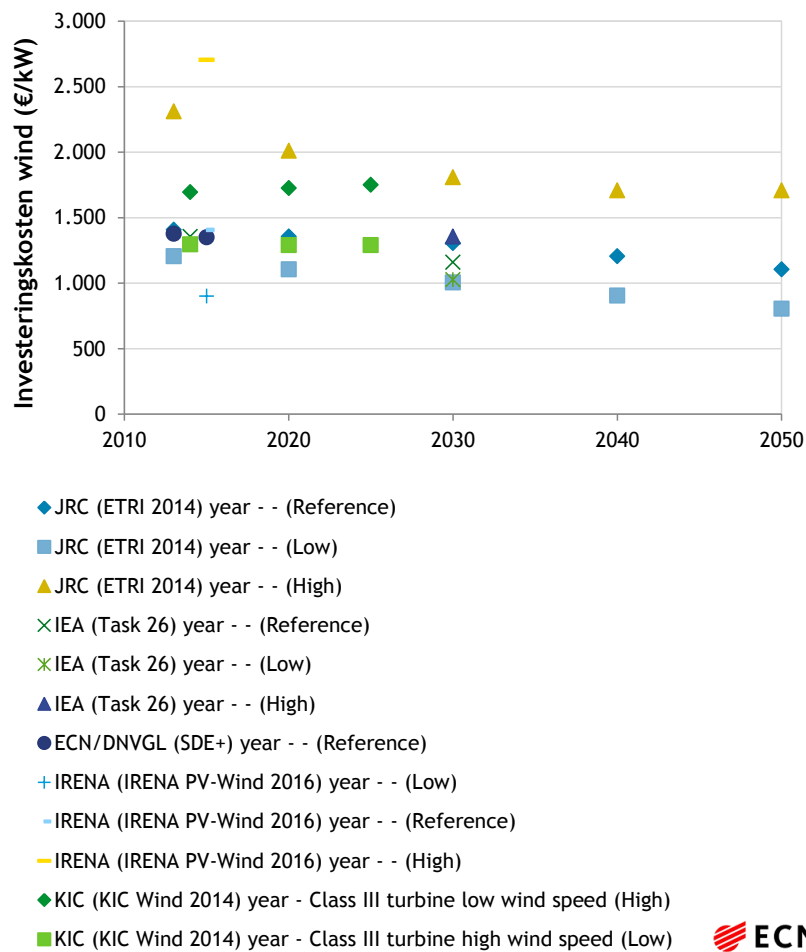
Figuur 4 Ontwikkeling investeringskosten zon-PV (€/kWp)



- ◆ JRC (ETRI 2014) Commercial solar PV >2 MW without tracking (Reference)
- JRC (ETRI 2014) Commercial solar PV >2 MW without tracking (Low)
- ▲ JRC (ETRI 2014) Commercial solar PV >2 MW without tracking (High)
- × FhG-ISE (CFCPV 2015) Utility Scale (Reference)
- × FhG-ISE (CFCPV 2015) Utility Scale (Scenario 1)
- FhG-ISE (CFCPV 2015) Utility Scale (Scenario 2)
- + FhG-ISE (CFCPV 2015) Utility Scale (Scenario 3)
- FhG-ISE (CFCPV 2015) Utility Scale (Scenario 4)
- IEA (IEA ETP 2014) Utility Scale (High)
- ◆ IEA (IEA ETP 2014) Utility Scale (Reference)
- IEA (IEA ETP 2014) Utility Scale (Low)
- ▲ TKI (TKI UE 2015) Turn-key systemen (High)
- × TKI (TKI UE 2015) Turn-key systemen (Reference)
- × TKI (TKI UE 2015) Turn-key systemen (Low)
- IRENA (IRENA PV-Wind 2016) Utility Scale PV system costs (High)
- + IRENA (IRENA PV-Wind 2016) Utility Scale PV system costs (Reference)
- IRENA (IRENA PV-Wind 2016) Utility Scale PV system costs (Low)
- KIC (KIC PV 2016) Ground based (Reference)
- ◆ EUPVTP (EUPVTP) Ground based 50 MWp (Reference)
- EUPVTP (EUPVTP) Ground based 50 MWp (Slow growth)
- ▲ EUPVTP (EUPVTP) Ground based 50 MWp (Fast growth)

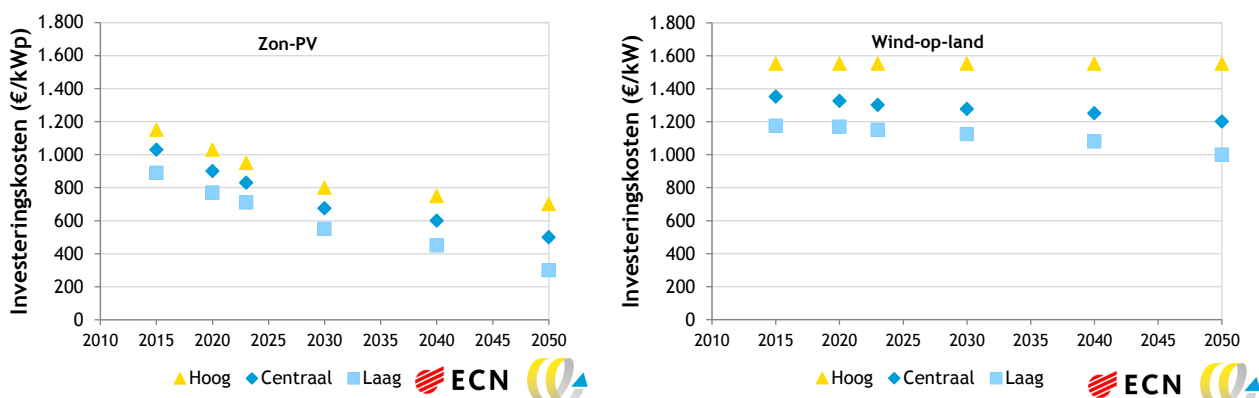


Figuur 5 Ontwikkeling investeringskosten wind op land (€/ kW)



Uit deze gegevens is voor beide technieken een kostenpad ontwikkeld, inclusief een hoge en een lage schatting, om uitdrukking te geven aan gunstige ontwikkelingen zoals doorbraaktechnieken of tegenzittende omstandigheden (zoals een tegenzittende markt). Dit pad is weergegeven in Figuur 6.

Figuur 6 Investeringskosten zon-PV (linker diagram) en wind op land (rechter diagram)



De investeringskostenprognoses zijn voorgelegd aan vertegenwoordigers uit de Nederlandse branches voor wind op land en zon-PV. Dit heeft geleid tot enkel kleine wijzigingen die in bovenstaande figuren reeds verwerkt zijn. Door de investeringskosten (in €/kW) te vermenigvuldigen met het opgestelde vermogen per projectalternatief zijn investeringskosten per projectalternatief bepaald. Door deze vervolgens te delen door de elektriciteitsproductie, zijn de kosten per kWh berekend. Deze dalen voor zon-PV van 8,8 eurocent per kWh in 2015 naar 5,1 eurocent per kWh in 2023. De investeringskosten van wind op land zijn lager per eenheid opgewekte elektriciteit, en dalen van 3,7 eurocent per kWh in 2015 naar 2,5 eurocent per kWh naar 2023. De berekening van de kosten per kWh is nader uitgelegd in Bijlage C.

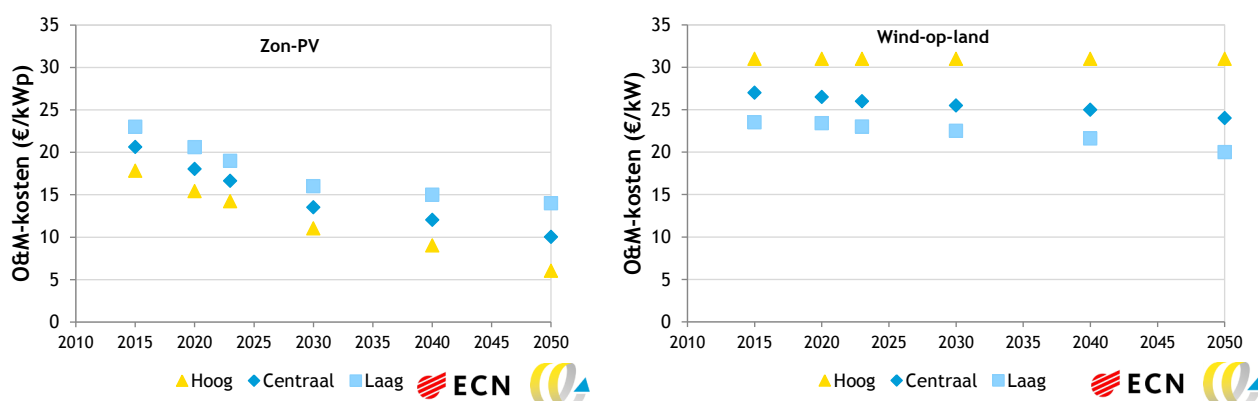
Tabel 5 Investeringskosten per projectalternatief<sup>7</sup>

Projectalternatief	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Vermogen (MW)	560	534	525	180	180	180
Investeringskosten (€ mln)	577	480	436	243	238,5	234
Investeringskosten (€ct per kWh)	8,8	6,4	5,1	3,7	3,0	2,5

### 3.4 Jaarlijkse O&M-kosten

Uit de geanalyseerde bronnen blijkt dat de jaarlijkse kosten voor *operation & maintenance* (O&M) voor zowel wind op land als voor zon-PV variëren tussen een jaarlijks bedrag ter hoogte van 1,7 tot 3,5% van de initiële investeringskosten. Voor de MKEA is voor beide technieken een aandeel O&M-aandeel van jaarlijks 2,0% van de investeringskosten aangenomen. Deze aanname is voorgelegd aan vertegenwoordigers uit de Nederlandse branches voor wind op land en zon-PV en akkoord bevonden.

Figuur 7 Vaste jaarlijkse O&M-kosten zon-PV en wind op land (€/kWp)



De O&M-kosten per projectalternatief zijn weergegeven in Tabel 6.

<sup>7</sup> In de onderste rij is het investeringskostengerelateerde deel van de productiekosten van elektriciteit gepresenteerd (discontovoet 4,5% en levensduur conform Tabel 3).

Tabel 6 Vaste O&M-kosten jaarlijks per projectalternatief (bovenste rij) en als component in de productiekosten van elektriciteit (onderste rij)<sup>8</sup>

Projectalternatief	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
O&M-kosten per jaar (€ mln)	11,5	9,6	8,7	4,9	4,8	4,7
O&M-kosten (€ct per kWh)	2,3	1,9	1,7	1,0	0,8	0,7

#### Kosten voor direct grondgebruik

De maatschappelijke kosten voor het direct grondgebruik hangen samen met het verlies aan functie van de grond (denk aan landbouwgrond dat niet meer voor die functie kan worden gebruikt) of aantasting van de waarde van het landschap vanuit esthetisch oogpunt (denk aan natuurbeleving). Het verlies aan functie van de grond komt tot uitdrukking in de pachtkosten van de grond. Die hangen namelijk samen met de 'opportunity costs', de opbrengsten uit mogelijk alternatief direct grondgebruik. Stel dat landbouwgrond wordt ingezet voor een zon- of windpark, dan zal de eigenaar als compensatie minimaal het gederfde rendement van die landbouwgrond verlangen. De waardering van het functieverlies dat samenhangt met het direct grondgebruik is meegenomen in de jaarlijkse O&M-kosten. We gaan hierbij uit van pachtkosten op basis van alternatief gebruik van de grond met een agrarische functie (ECN, 2014); (ACCRES, 2015); (CE Delft, 2013)<sup>9</sup>. De pachtkosten bedragen zo'n € 1.000 per hectare bij agrarisch gebruik<sup>10</sup>.

Voor een windpark is het direct grondgebruik waarover pachtkosten moet worden betaald zo'n 1.700 m<sup>2</sup> per turbine ECN (2014). Het direct grondgebruik omvat de ruimte voor de fundering, de toegangsweg en de platen ten behoeve van het opstellen van de kraan. Voor 45 turbines bedragen de pachtkosten (opportunity kosten) voor het ruimtegebruik € 7.650 per jaar, uitgaande van € 1.000 per hectare (agrarisch gebruik). Dat is minder dan 1% van de totale O&M-kosten. Ook als we uitgaan van significant hogere pachtkosten voor bouwgrond voor niet agrarisch gebruik (€ 30.000 per jaar, ECN 2014), is het aandeel pachtkosten in de totale O&M-kosten met € 230.000 per jaar (5% van de totale O&M-kosten) nog steeds relatief beperkt.

Voor het zonnepark gaan we uit van een direct grondgebruik van zo'n 12 m<sup>2</sup> per kWp<sup>11</sup>. Dat is direct grondgebruik nodig voor de panelen, inclusief schaduwvlak en de toegangswegen. We komen dan op een oppervlakte van een kleine 7 km<sup>2</sup>. De pachtkosten liggen dan op een kleine € 700.000 per jaar<sup>12</sup>, zo'n 7% van de O&M-kosten.

Aantasting van de waarde van het landschap is een zogenaamd extern effect. Extern houdt in dat de effecten niet tot uitdrukking komen in de kosten voor de eigenaar. Dit geldt bijvoorbeeld voor negatieve gevolgen voor omwonenden en toeristen. We waarderen deze maatschappelijk effecten bij de secties 'effecten voor omwonenden' (Paragraaf 4.3), 'recreatie en toerisme' (Paragraaf 4.4) en 'ecologie' (Paragraaf 0).

<sup>8</sup> Discontovoet 4,5% en levensduur conform Tabel 3.

<sup>9</sup> We gaan er hierbij van uit dat er geen sprake is van dubbel grondgebruik. In de praktijk komt het in sommige gevallen voor dat functies gecombineerd worden. We doen hier dus een conservatieve aanname.

<sup>10</sup> Dit bedrag ligt lager dan de vergoeding waarmee in het SDE+-advies voor de basisbedragen wordt gerekend. De SDE-subsidie wordt echter niet vastgesteld op dit basisbedrag, maar op basis van proces waarbij aanvragers concurreren om subsidie onder een vast subsidieplafond. De daadwerkelijk aangevraagde subsidie ligt hierdoor gemiddeld lager dan wat verwacht mag worden uitgaande van het basisbedrag.

<sup>11</sup> Bron: berekening door CE Delft op basis van praktijkcijfers van zonneparken, getoetst in een mailwisseling met ontwikkelaars van zonne-projecten.

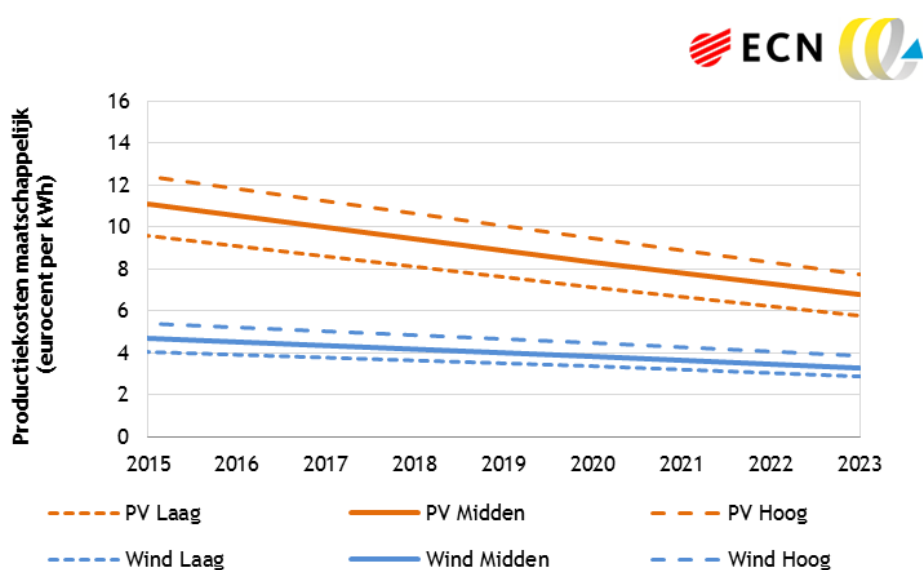
<sup>12</sup> 7 km<sup>2</sup> komt overeen met 700 hectare. Bij € 1.000 per hectare bedragen de pachtkosten € 700.000 jaarlijks.

### 3.5 Vergelijking kosten per projectalternatief

Op basis van literatuuronderzoek en raadpleging van experts kunnen we vaststellen dat zowel voor wind op land als voor zon-PV de investeringskosten en O&M-kosten naar verwachting zullen dalen; voor zon-PV sterker dan voor wind op land. De elektriciteitsopbrengst per hoeveelheid geïnstalleerd (piek)vermogen neemt naar verwachting toe: voor wind op land sterker dan voor zon-PV. Voor beide technieken neemt ook de verwachte levensduur toe.

Alhoewel de productiekosten van zon-PV sterker afnemen dan wind op land, blijft wind op land voor de onderzochte periode een goedkopere technologie dan zon-PV. De productiekosten (vanuit een maatschappelijk perspectief) bedragen in 2023 zo'n 7 eurocent per kWh voor zon-PV. De kosten van wind op land zijn naar verwachting zo'n 3 eurocent per kWh. Het verschil in kosten blijft tot 2023 significant.

Figuur 8 Maatschappelijke productiekosten zon-PV en wind op land<sup>13</sup>



Tabel 7 Productiekosten, maatschappelijk perspectief (€ct per kWh)

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Investeringskosten (€ct per kWh)	8,8	6,4	5,1	3,7	3,0	2,5
O&M-kosten (€ct per kWh)	2,3	1,9	1,7	1,0	0,8	0,7
<b>Totaal kosten</b>	<b>11,1</b>	<b>8,3</b>	<b>6,8</b>	<b>4,7</b>	<b>3,8</b>	<b>3,2</b>

<sup>13</sup> Discontovoet 4,5%, levensduur volgens Tabel 3.



# 4 Maatschappelijke effecten

## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we de overige maatschappelijke effecten (overige effecten dan de kosten) van zon en wind.<sup>14</sup> We onderscheiden de volgende maatschappelijke effecten:

- profiel- en onbalanskosten (Paragraaf 4.2);
- effecten op omwonenden (Paragraaf 4.3);
- effecten op recreanten en toeristen (Paragraaf 4.4);
- impact op werknemers van nabijgelegen locaties (Paragraaf 4.5);
- werkgelegenheidseffecten (Paragraaf 4.6);
- ecologische effecten (Paragraaf 0);
- externe veiligheid (Paragraaf 4.8).

Om de effecten in kaart te brengen en te waarderen, is allereerst een literatuurstudie uitgevoerd. Hierbij is een overzicht gemaakt van de bestaande MKBA's en MKEA's die in Nederland zijn uitgevoerd voor wind op land en zon-PV. In Bijlage A is een overzicht opgenomen. Aanvullend is de internationale literatuur bestudeerd. Op basis van de eerste bevindingen is een bijeenkomst georganiseerd met verschillende stakeholders om inzichten te toetsen en te inventariseren of de effecten compleet zijn. De effecten zijn waar mogelijk gekwantificeerd. Als een kwantitatieve waardering niet mogelijk is, hebben we de effecten kwalitatief beoordeeld.

## 4.2 Profiel- en onbalanskosten

Zon en wind zijn variabele elektriciteitsbronnen. Met deze variabiliteit hangen verschillende kosten samen:

1. Ten eerste is er sprake van extra kosten voor balanceringsvermogen. Dit zijn kosten voor de capaciteit die noodzakelijk is om continu de balans tussen vraag en aanbod in stand te houden. Hoe hoger het aandeel zon en wind in de elektriciteitsvoorziening, hoe meer capaciteit noodzakelijk is.
2. Ten tweede zijn er kosten door het zogenaamde profieffect. Dit zijn kosten die samenhangen met het feit dat zon en wind produceren op momenten dat het aanbod relatief hoog is, omdat de zon uitbundig schijnt of het hard waait. Door het overaanbod zal de elektriciteitsprijs op die momenten zakken, waardoor zon en wind een lagere elektriciteitsopbrengst kennen dan de gemiddelde elektriciteitsprijs. Het profieffect uit zich in een gemiddeld lagere betalingsbereidheid van de afnemers van de elektriciteit op de momenten waarop deze door hernieuwbare bronnen wordt geleverd.

---

<sup>14</sup> Strikt genomen zijn kosten (zie Hoofdstuk 3) van wind en zon ook een maatschappelijk effect. Vanuit maatschappelijk perspectief gaat het om zogenaamde opportunity kosten. Dit zijn de misgelopen maatschappelijke opbrengsten van projecten die anders met de middelen waren gerealiseerd.

Bij een grotere hoeveelheid geïnstalleerd vermogen van zon en wind, nemen ook de profiel- en onbalanskosten toe. De fluctuaties van zon en wind kunnen immers minder goed worden opgevangen in het bestaande elektriciteits-systeem. Hierbij geldt dat de profiel- en onbalanskosten van zon sterker toenemen met het geïnstalleerde vermogen dan die van wind. De reden is dat zonne-energie een scherper productieprofiel heeft. Zonne-energie wordt alleen overdag geproduceerd, terwijl het zowel 's nacht als overdag kan waaien.

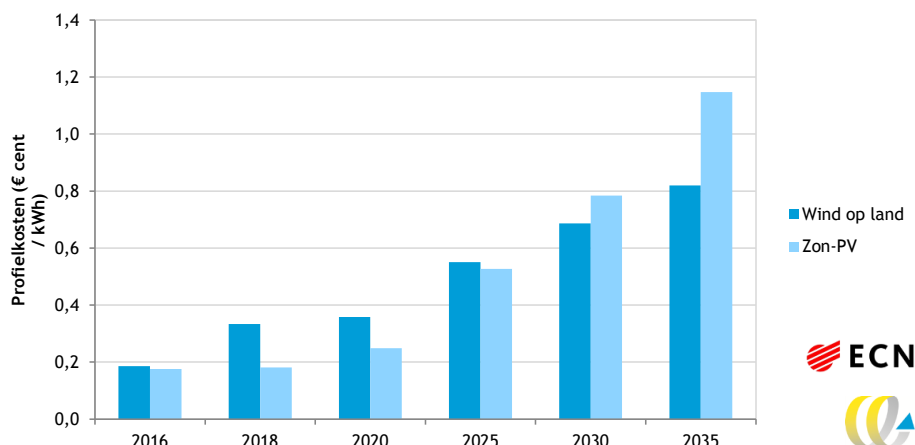
In deze MKEA zijn de profielkosten gebaseerd op modelberekeningen van het ECN voor de Nationale Energieverkenning 2016.<sup>15</sup> De jaarlijkse kosten voor het profieffect zijn weergegeven in Tabel 8 (afgerond tot één cijfer achter de komma) en Figuur 9 (zelfde waarden als in Figuur 9, maar dan grafisch weergegeven).

Tabel 8 Kosten profieffect (afgerond, €ct per kWh)

	2016	2018	2020	2025	2030	2035
Gemiddelde groothandelsprijs elektriciteit (A)	3,2	3,1	3,2	5,2	6,3	6,5
Gemiddelde prijs wind (B)	3,0	2,8	2,9	4,6	5,6	5,7
Gemiddelde prijs zon (C)	3,1	2,9	3,0	4,6	5,5	5,4
Profieffect wind (A-B)	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8
Profieffect zon (A-C)	0,2	0,2	0,2	0,5	0,8	1,1

Bron: ECN (2016).

Figuur 9 Kosten profieffect(€ct/kWh)



De resultaten laten zien dat de kosten van het profieffect voor zon in de totale elektriciteitsmarkt tot ongeveer 2025 lager zijn dan de profielkosten voor windenergie. Dit komt omdat het opgestelde vermogen windenergie in de energiemix naar verwachting groter zal zijn dan zon-PV.<sup>16</sup> Vanaf 2025, als het

<sup>15</sup> Onbalanskosten zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze niet significant verschillen tussen zon-PV en wind op land.

<sup>16</sup> Omdat het om een marginale analyse gaat in dit onderzoek (een extra project ten opzichte van het geïnstalleerde vermogen), zijn de profielkosten van zon kleiner dan de profielkosten van wind. Als er evenveel zon als wind geïnstalleerd zou worden, zouden profielkosten van zon-PV echter beduidend hoger zijn dan wind.

vermogen van zon verder toeneemt, zijn de profielkosten van zon echter groter dan de profielkosten van wind.

De profielkosten per projectalternatief, uitgedrukt in eurocent per kWh, zijn weergegeven in Tabel 9. Dit zijn de kosten over de gehele levensduur, in tegenstelling tot de jaarlijkse kosten die zijn weergegeven in Tabel 8 en Figuur 9.<sup>17</sup> De tabel laat zien dat de profielkosten voor zon-PV meer dan verdubbelen tussen 2015 en 2023. De reden is dat de opbrengsten bij installatie in 2023 verder in de toekomst liggen, wanneer het aandeel zon in de energiemix groter is. Voor wind op land is de stijging minder fors, omdat het profieffect relatief minder stijgt bij een toenemend aandeel.

Tabel 9 Profieffect over de gehele levensduur (eurocent per kWh)

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Kosten profieffect	0,5	0,9	1,2	0,5	0,7	0,7

In deze studie zijn de effecten van zon-PV en wind op land vergeleken. Belangrijk is om te vermelden dat het profieffect van zon en wind gezamenlijk kleiner is dan bij afzonderlijke installatie. Dit komt omdat zon en wind aanvullend zijn. Als de zon schijnt waait het vaak minder hard en andersom. Vanuit dit perspectief is het dus aanbevelenswaardig om in beide alternatieven te investeren.

#### 4.3 Effecten op omwonenden

De belangrijkste welvaartseffecten voor omwonenden van windparken zijn zichthinder, geluidshinder en hinder door slagschaduw. Voor zon-PV is alleen zichthinder een bekend welvaartseffect.

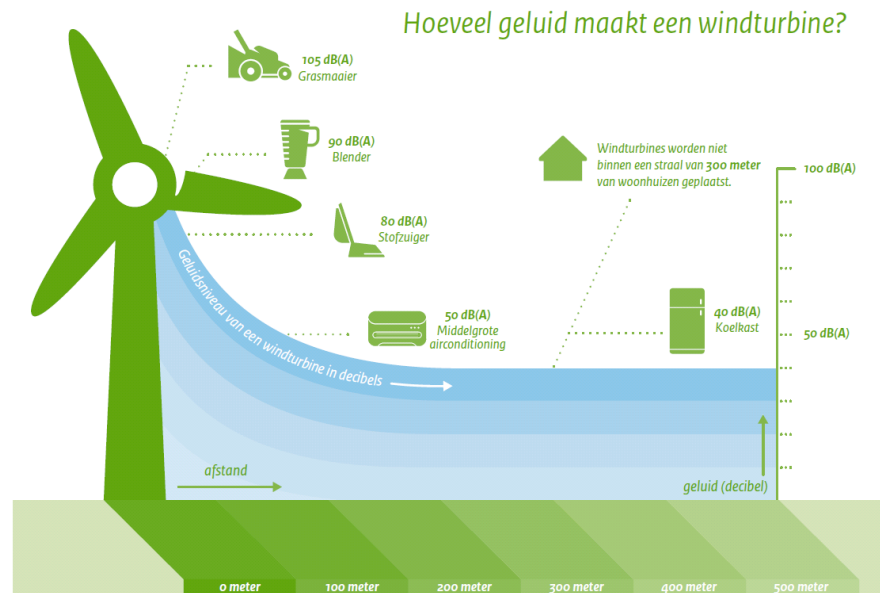
De welvaartseffecten zullen in een goed functionerende woningmarkt tot uiting komen in de waarde van omliggende woningen. Immers, de betalingsbereidheid voor woningen in de nabijheid van windparken zal afnemen als potentiële kopers goed geïnformeerd zijn over de effecten hiervan.

<sup>17</sup> In Tabel 9 gaat om het (gedisconteerde) profieffect over de gehele levensduur bij installatie van zon-PV en wind op land in respectievelijk 2015, 2020 en 2023. In Tabel 8 en Figuur 8 zijn de jaarlijkse (niet gediscoteerde) effecten in de gehele elektriciteitsmarkt weergegeven.

## Geluidshinder

Geluidshinder is een negatief welvaartseffect bij windenergie op land. Factoren die het geluidsniveau van een windpark bepalen, zijn de bronsterkte van de windturbines (hoeveel geluid maakt de turbine), de plaatsing van de turbines ten opzichte van geluidgevoelige objecten, de aard van de omgeving (hoeveel wordt het geluid afgeschermd en gereflecteerd) en het windklimaat op de locatie. De mate van hinder wordt ook beïnvloed door het aanwezige achtergrondgeluid.

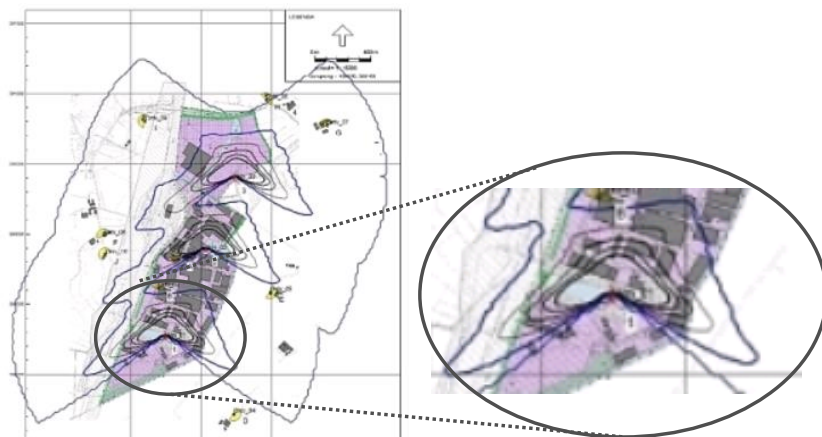
De onderstaande figuur geeft een indicatie van het geluidsniveau van een windturbine en hoe dat afneemt met de afstand tot de ontvanger van het geluid.



Bron: RVO.

## Slagschaduw

Hinder van slagschaduw treedt op bij woningen die in de directe nabijheid liggen van een windpark. Bij zonparken treedt het niet op. De mate waarin slagschaduw optreedt en daarvan hinder wordt ondervonden, hangt af van zonneschijn, oriëntatie van de windturbines als gevolg van de windrichting en de locatie en nabijheid van woningen. Op basis van een wettelijke norm (activiteitenregeling milieubeheer) is er een stilstandsverplichting. Vanwege die norm zal er bij een woning in de nabijheid van een windturbine nooit meer dan 17 dagen per jaar meer dan 20 minuten per dag slagschaduw optreden.



### Zichthinder

Onder zichthinder verstaan we blokkering of verstoring van het uitzicht. De mate waarin zichthinder wordt veroorzaakt, hangt af van een aantal factoren, zoals de locatie (past het bij de morfologie van het landschap), het aantal turbines of zonnepanelen, de opstelling (lijn, carré, cirkel) en de omtrek van het park. Omwonenden rond een straal van 2.000 meter van een windpark ondervinden daarvan hinder (zie verderop in deze paragraaf). Voor de mate waarin hinder wordt ondervonden van een windpark speelt ook de hoogte van de turbines een rol. De omtrek van een energiepark hangt sterk samen met de oppervlakte die wordt ingenomen door het park. Het oppervlak dat wordt ingenomen komt deels tot uitdrukking in de grondkosten (zie Paragraaf 3.4) en veroorzaakt deels externe effecten die niet tot uitdrukking komen in de grondkosten (zie deze paragraaf en Paragraaf 4.4). Zie hierover ook de Paragrafen 3.4 en 4.4.

Zowel voor wind op land als zonneparken geldt dat de impact op het landschap afhangt van de wijze van inpassing. Als deze worden geïntegreerd met infrastructuur zoals spoorlijnen of dijken, is de impact kleiner dan in een landbouwgebied zonder functiecombinaties. Zie de volgende voorbeelden.



Wandelpark met zonnepanelen

Combinatie met agrarische functie

Voor wind op land-projecten zijn verschillende studies uitgevoerd waarin de impact op de woningwaarde is gekwantificeerd. Zowel CE Delft (2013) als VU (2014) bespreken de resultaten van eerdere onderzoeken naar het effect op de huizenprijs. Tabel 10 geeft een overzicht.

Tabel 10 Overzicht van andere onderzoeken naar het effect van een windpark op de woningwaarde

Auteur	Scope	Methode	Effect
Jordal-Jorgenson (1996)	Denemarken	Stated preferences	Daling
Ladenburg en Dubgard (2007)	Denemarken	Stated preferences	Daling
Haughton e.a. (2004)	Massachusetts, V.S.	Stated preferences	Forse daling
Sims en Dent (2007)*	Cornwall, V.K.	Revealed preference	Lichte daling
Sims en Reed (2008)*	Cornwall, V.K.	Revealed preference	Geen
Hoen e.a. (2009)	10 windparken in de V.S.	Revealed preference	Geen
Canning en Simmons (2010)	Ontario, Canada	Revealed preference	Geen
Laposa en Mueller (2010)	Colorado, V.S.	Revealed preference	Geen
Hoen e.a. (2011)	10 windparken in de V.S.	Revealed preference	Geen
Carter (2011)	Illinois, V.S.	Revealed preference	Geen
Heintzelman en Tuttle (2011)	New York, V.S.	Revealed preference	Forse daling
Sunak en Madlener (2012)	Noordrijn-Westfalen, Duitsland	Revealed preference	Forse daling
Gibbons (2014)	V.K.	Revealed preference	Forse daling
Ecorys (2013)	Nederland	Stated preference	Geen of kleine daling
Vu (2014)	Nederland	Revealed preference	Daling

Bron: CE Delft (2013) en VU (2014).

\* Sims en Reed (2008) is een vervolgonderzoek op Sims en Dent (2007).

Uit de tabel blijkt dat de wetenschappelijke literatuur aangeeft dat het effect op de huizenprijzen niet significant afwijkt van 0, of dat er sprake is van een significant negatief effect.

Het overzicht laat verder zien dat voor Nederland twee specifieke studies zijn uitgevoerd. Ecorys (2013) is een onderzoek op basis van een enquête onder makelaars naar aanleiding van een gepland windmolen park in Lage Weide (Utrecht). Dit windpark komt in de nabijheid van een bedrijventerrein. De bevraagde makelaars doen zaken in wijken in de nabijheid van bestaande windmolenparken in de nabijheid van een bedrijventerrein, en hebben de komst van die parken meegemaakt. Het onderzoek van de VU (2014) is een econometrisch onderzoek op basis van cijfers over de woningwaarde in de periode voor en na plaatsing van windturbines in de nabijheid van woningen in Nederland. Zie Tabel 11.

Tabel 11 Overzicht van twee studies impact Nederlands windpark op woningwaarde

Kenmerk	Studies	
	Ecorys (2013)	VU (2014)
Scope	Nederland, windparken in de nabijheid bedrijventerrein	Nederland
Type studie	Inschattingen makelaars op basis van enquête	Revealed preferences op basis huizenprijzen
Maximale afstand effect	Tot ongeveer 2.000 meter van dichtstbijzijnde windturbine	Tot 2.000 m van dichtstbijzijnde windturbine
Grootte effect	Gemiddeld daling <1% van waarde huis	Gemiddeld daling met 1,4 tot 2,3% van waarde huis
Effect neemt toe met aantal windturbines?	Onduidelijk	Nee
Effect neemt af met afstand?	Ja	Ja
Effect neemt toe met hoogte windturbine?	Niet onderzocht	Ja
Effect neemt toe met diameter turbine?	Niet onderzocht	Ja

Het onderzoek van Ecorys (2013) heeft als resultaat dat het effect van de plaatsing van een windmolenpark binnen een straal van 2.000 meter leidt tot een waardedaling van hooguit -1%. Volgens Ecorys (2013)(...) is de waardedaling (...) zeer beperkt: *“vrijwel alle makelaars geven aan dat de realisatie van de betreffende windmolenparken niet of een te verwaarlozen effect heeft gehad op de prijzen van de omliggende koopwoningen. Dit effect is doorgaans minder dan 1%.”*

VU (2014) komt op een effect van gemiddeld -1,4 tot -2,3% van de waarde van het huis voor woningen binnen een straal van 2.000 meter van een windpark. Dat effect hangt alleen samen met de plaatsing van de eerste windturbine; de waarde van het huis neemt niet verder af als er meerdere windturbines geplaatst worden.

De studie van de VU (2014) is een goed opgezette econometrische studie, waarin wordt gecontroleerd voor de kenmerken van huizen, de autonome daling/stijging van de huizenprijzen en voor lokale verschillen in huizenprijzen (zogenaamde difference-in-difference schatting). Door deze controles kunnen de resultaten geïnterpreteerd worden als een schatting van het effect van de plaatsing van windmolens op de huizenprijzen. De studie is gebaseerd op transactiedata over de huizenprijzen (in totaal meer dan 2 miljoen transactie-prijzen waarvan zo'n 90.000 transactie-prijzen binnen een straal van 2 km van een windmolenpark). Zoals Ecorys (2013) aangeeft, staat een windmolenpark in hun studie vaak in de nabijheid van andere verstorende omgevingsinvloeden, zoals een kassengebied, industriegebied, snelweg of zendmast, waarvan omwonenden 'veel meer last hebben'. Met dit soort verstorende factoren die samenhangen met de locatie en/of de conjunctuur, wordt in de studie van de VU rekening gehouden. Daarnaast is die studie representatief voor een gemiddeld effect in Nederland, terwijl Ecorys (2013) betrekking heeft op locaties in de nabijheid van een industriegebied.

VU (2014) gaat over de periode 1985-2011. In de nabije toekomst worden waarschijnlijk relatief meer grote windparken neergezet dan in de onderzoeksperiode - hoewel ook in de onderzoeksperiode grote parken voorkomen (bijvoorbeeld het 'Geen Windpark' in Schagen met 103 turbines).

Als de waardedaling bij een groot park aanmerkelijk groter zou zijn dan bij een klein park, dan geeft het resultaat van de VU-studie een onderschatting van de daling van huizenprijzen.<sup>18</sup> Maar wanneer er daadwerkelijk een grotere daling van de huizenprijzen ontstaat bij grotere windparken, dan zou in de VU-studie een significant effect gevonden moeten zijn voor de grootte van het park. Dat effect is niet significant.

Omdat het aantal woningen in de nabijheid van een windmolenpark sterk afhankelijk is van de locatie, kunnen we het effect op omwonenden moeilijk kwantificeren via de huizenprijzen. We waarderen het effect van de projecten voor hernieuwbare energie op omwonenden kwalitatief. In de gevoeligheidsanalyse (Hoofdstuk 6) geven we een kwantitatieve indicatie van de gevoeligheid van onze resultaten voor een eventueel woningwaardeverlies.

Voor zon-PV zijn er geen studies bij ons bekend waarin de negatieve effecten op omwonenden zijn berekend.

We waarderen het effect van beide technieken als negatief.

Tabel 12 Effect op omwonenden

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Effect op omwonenden	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief

#### 4.4 Recreatie en toerisme

Zowel zon-PV als wind op land kunnen een invloed hebben op recreanten en toeristen. Ook hier gelden vergelijkbare hinder effecten als voor omwonenden: het gaat vooral om aantasting van het landschap, maar dan vanuit het perspectief van de toerist. Bij zon-PV gaat het alleen om landschappelijke impact. Aanvullend kan bij windenergie hinder optreden in de vorm van geluidsoverlast en/of slagschaduw als de verblijfslocaties in de nabijheid van de windturbines zijn geplaatst.<sup>19</sup> Hier staat tegenover dat toeristen windenergie- of zonne-energie-installaties ook positief kunnen beoordelen, door positieve associaties met duurzame ontwikkeling.

Voor wind op land (en zee) zijn verschillende studies uitgevoerd naar de toeristische impacts. Een overzicht van studies waarin de impact van wind op land is gemeten is weergegeven in Tabel 13. Dit overzicht is gebaseerd op een uitgebreide internationale literatuurstudie die is uitgevoerd in het kader van de PlanMER voor het windpark op meer Fryslan door het European Tourism Futures Institute (EFTI, 2014). Voor wind op land zijn alleen buitenlandse studies opgenomen. De Nederlandse studies in het literatuuroverzicht beperkten zich tot wind-op-zee.

<sup>18</sup> In de nabijheid van een windmolenpark van de grootte van het in de onderhavige analyse geformuleerde projectalternatief.

<sup>19</sup> Bij zon zijn geluidshinder en slagschaduw niet aan de orde.



Tabel 13 Toeristische impacts wind op land per studie

Auteur	Land	Bevindingen
Upsalla Universitet (2013)	Zweden	Ex-post surveyonderzoek. 96% van de ondervraagde toeristen geeft aan dat de aanwezige turbines niet van invloed zijn op eventuele terugkeer.
Frantal en Kunc (2011)	Tsjechië	On-site questionnaire, focused semi-structured interviews. Absolute meerderheid van de toeristen heeft geen bezwaren.
IFRM (2012)	Duitsland	Kwantitatief ex-post surveyonderzoek naar de acceptatie van windturbines in de Duitse Eifel; 91% geeft aan dat een uitbreiding van het huidige aantal turbines geen invloed zal hebben op mogelijke terugkeer.
Project M (2012)	Duitsland	Kwalitatief literatuur onderzoek op nationaal niveau. Baseert zich op longitudinaal surveyonderzoek van SOKO Instituut (2007). 84,7% zal een vakantieoord in Duitsland niet ontwijken als er een windturbine staat.
Glasgow University et al (2008)	Verenigd Koninkrijk	Kwalitatief en kwantitatief ex-ante onderzoek met gebruik van enquête, GIS, economische aantallen. Deze studie suggereert een mogelijke negatieve impact op toerisme. Op nationale schaal is deze impact verwaarloosbaar. De impact op lokale schaal dient verder te onderzocht te worden.
Mori (2002)	Verenigd Koninkrijk	Ex-ante enquête naar de beleving van windparken en mogelijke terugkeer. Uit het onderzoek komt naar voren dat een windpark niet doorslaggevend is voor wel of geen terugkeer.
PolEcon(2013)	Verenigde Staten	Impacts van windparken op tourisme in New Hampshire onderzocht. Geen effect op regionale toeristische bestedingen waargenomen. Daarbij wel een groei van de sector waar dit in andere gebieden zonder windturbines niet het geval was (oorzaak niet per se windturbines maar toont afwezigheid negatieve effecten).

Bron: (EFTI, 2014).

De meeste studies concluderen dat een groot deel van de bezoekers nog steeds zal terugkomen bij de plaatsing van windturbines. Het percentage toeristen dat aangeeft terug te keren varieert van zo'n 85% (Duitsland) tot 96% (Zweden). Ook Mori (2012) en Fractal en Kunc (2011) concluderen dat een windpark voor het overgrote deel van de bezoekers niet doorslaggevend is voor de keuze van terugkeer. Glasgow University (2008) daarentegen suggereert een mogelijk negatieve lokale impact op toerisme, maar op nationaal niveau is het effect verwaarloosbaar. Geen van de studies concludeert dat er bewijs is voor economisch significante toeristische impacts op nationaal niveau.

Voor zon-PV zijn er naar ons weten nauwelijks studies uitgebracht waarin de impact op toerisme en recreatie is onderzocht. Als er negatieve impacts plaatsvinden, zal dit worden veroorzaakt door aantasting van het landschap, aangezien geluidshinder en slagschaduw niet aan de orde zijn. Daarbij zullen zonnepanelen minder zichtbaar zijn op grote afstand, maar zal het directe grondgebruik daarentegen wel veel groter zijn (zie volgende tekstbox). Hierbij geldt zowel voor zon als wind dat de impact sterk afhankelijk zal zijn van de inpassing in het landschap. Bij functiecombinaties kan het negatieve effect beperkt worden.

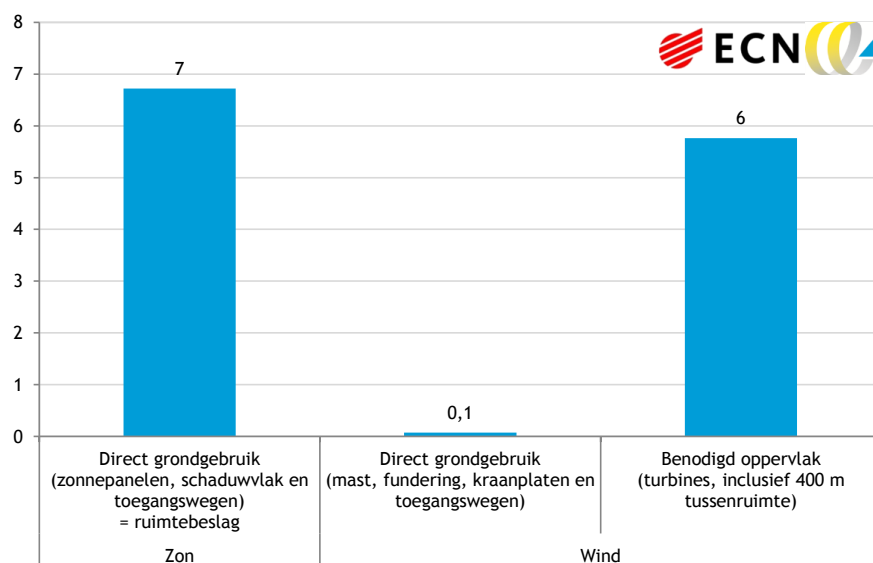
Vanwege het ontbreken van specifieke gegevens, is het niet mogelijk om een kwantitatieve beoordeling te maken van de effecten op recreatie en toerisme in de studie. Op nationaal niveau verwachten we dat de impact echter beperkt zal zijn.

Tabel 14 Effecten op recreatie en toerisme

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Recreatie en toerisme	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief

De maatschappelijke kosten voor aantasting van het landschap (recreatieve waarde) komen niet tot uitdrukking in de pachtkosten voor de grond. De (opportunity) kosten voor alternatieve aanwending van de grond wel. Het gaat bij de kosten voor alternatieve aanwending van de ruimte die nodig is voor het hernieuwbare energieproject, waardoor de grond niet meer of verminderd voor alternatieve functies kan worden aangewend. De maatschappelijke kosten in verband met zichthinder voor omwonenden komen ook niet tot uitdrukking in de pachtkosten. Die worden behandeld in Paragraaf 4.3. In Figuur 10 geven we voor de energieprojecten aan welke ruimte nodig is die niet meer kan worden aangewend voor alternatieve functies (direct grondgebruik) en welk gebied wordt 'afgebakend' door de windturbines.

Figuur 10: Direct grondgebruik en oppervlakte van de energieparken, in km<sup>2</sup>



Toelichting:

Het direct grondgebruik (7 km<sup>2</sup> voor zon-PV, minder dan 0,1 km<sup>2</sup> voor wind op land) geeft aan voor welke grondoppervlakte pachtkosten moeten worden betaald; de grond kan immers niet meer of verminderd voor andere functies worden gebruikt. De oppervlakte bij windturbines (6 km<sup>2</sup>) geeft aan welk gebied dat wordt 'afgebakend' door het windpark. In dit gebied kan nog wel gewandeld, gerecreëerd of landbouw bedreven worden. Om de oppervlakte te berekenen is uitgegaan van een carré-opstelling met 400 meter tussenruimte (conform het Prinses Alexiapark bij Zeewolde). Omwonenden rond een straal van 2.000 m van het park ondervinden hinder door aantasting van het landschap (zie Paragraaf 4.3). Voor recreanten en toeristen is deze straal niet bepaald.

De mate waarin recreanten en toeristen hinder ondervinden van een het energieproject hangt af van een aantal factoren, zoals de locatie (past het bij de morfologie van het landschap), het aantal turbines of zonnepanelen, de opstelling (lijn, carré, cirkel) en voor wind op land de hoogte van de turbines.

#### 4.5 Impact op werknemers

Ook werknemers van nabijgelegen kantoorpanden kunnen hinder ondervinden bij wind op land (geluidshinder, slagschaduw, uitzicht) en zon (uitzicht). Dit uit zich in een kleiner genot van de werkomgeving (bijvoorbeeld wanneer men even uit het raam kijkt, of tijdens de lunch een wandeling maakt), maar kan zich ook uiten door een verminderde productiviteit (concentratieverlies vanwege geluidshinder of slagschaduw). We waarderen het effect van beide technieken als negatief.

Tabel 15 Effect op werknemers

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Effect op werknemers	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief

#### 4.6 Werkgelegenheidseffecten

De hernieuwbare energieprojecten hebben een (tijdelijk) effect op de arbeidsvraag. Dit is bijvoorbeeld vraag naar werknemers voor de installatie en het onderhoud van de turbines en panelen. Ook neemt de vraag naar arbeid toe bij toeleveranciers van de wind- en zonne-industrie. Als de toegenomen arbeidsvraag leidt tot een afname van de werkloosheid in Nederland (en daarmee een toename van de productie), heeft dit positieve welvaartseffecten tot gevolg.

Welvaartseffecten door de arbeidsmarkt worden vastgesteld door te kijken naar veranderingen in productie, werkgelegenheid en inkomen (die voor een belangrijk deel de verandering in consumptie bepalen). De beschikbaarheid van vrije tijd heeft daarbij ook invloed op de welvaart. De welvaartswinst door een verhoogde productie kan worden berekend als de werkgelegenheidsverandering maal de arbeidskosten ervan, plus de verandering van arbeidskosten voor de bestaande werkgelegenheid. Deze welvaartswinst wordt gedeeltelijk tenietgedaan doordat het extra arbeidsaanbod ten koste gaat van vrije tijd en een eventuele uitkering. Het verlies aan vrije tijd dient van de productietoename te worden afgetrokken. Wat overblijft is de welvaartswinst door extra belastingafdrachten en een besparing op uitkeringen. Deze kunnen worden gewaardeerd tegen geldende belastingtarieven en uitkeringsniveaus (SEO, 2016).

Die tijdelijke stijging van de arbeidsvraag zal alleen in tijden van laagconjunctuur leiden tot een afname van de werkloosheid (en verhoogde productie) en daarmee resulteren in positieve welvaartseffecten. Bij een hoogconjunctuur zal de extra vraag namelijk niet leiden tot minder werklozen, omdat alleen het arbeidsaanbod verschuift (de werkgelegenheid door het energieproject gaat ten koste van werkgelegenheid elders). Daarbij heeft een stijging van de arbeidsvraag op lange termijn geen effect op de werkloosheid.

We hebben daarom geen welvaartseffecten opgenomen voor werkgelegenheid (zie Tabel 16).

Tabel 16 Welvaartseffecten werkgelegenheid

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Werkgelegenheid	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul

In deze box brengen we de effecten op de arbeidsvraag in beeld. Afhankelijk van de conjunctuur leidt die vraag tot een tijdelijke extra inzet van onbenut arbeidsaanbod of tot verdringing van bestaande arbeid. Bij laagconjunctuur wordt de vraag deels ingevuld door werklozen. Dan is sprake van een tijdelijk netto-werkgelegenheidseffect. De duur hiervan is zo'n 5 tot 10 jaar, daarna tendert de werkgelegenheid naar de lange termijn waarde. Bij hoogconjunctuur wordt de vraag grotendeels ingevuld vanuit bestaande arbeid. Er is dan nauwelijks een werkgelegenheidseffect, op de korte noch lange termijn.

We berekenen hieronder het effect op de directe arbeidsvraag. De indirecte arbeidsvraag (arbeidsvraag in toeleverende industrieën) nemen we niet mee. Geïnduceerde arbeidsvraag die ontstaat als gevolg van de macro-economische bestedingsimpuls die samenhangt met de consumptie van de eventueel extra ingezette arbeid nemen we ook niet mee.

Binnen de directe arbeidsvraag onderscheiden we de arbeidsvraag die ontstaat als gevolg van de investeringsimpuls (aantal eenmalige fte) en als gevolg van het lopende onderhoud en management in de exploitatiefase (aantal fte/jaar).

De (directe) arbeidsvraag die samenhangt met de investeringen is berekend op basis van investeringen per MW (ECN, 2016), de arbeidsquote die samenhangt met die investeringen<sup>20</sup> en de loonkosten van arbeid in de sector gespecialiseerde bouw (bron: CBS). De arbeidsvraag die samenhangt met de operatie is berekend op basis van de jaarlijkse O&M-kosten (ECN, 2016), de arbeidsquote van die kosten<sup>21</sup> en de loonkosten in de sector Industrie (bron: CBS).

De arbeidsvraag is in de navolgende tabel weergegeven:

Tabel 17 Effecten op de arbeidsvraag

Projectalternatief	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Arbeidsvraag investering (fte)	566	539	530	232	232	232
Arbeidsvraag O&M (fte/jaar)	152	145	143	162	162	162

De arbeidsvraag is berekend door het aantal FTE dat nodig is voor één MW installatie (investering) of O&M te vermenigvuldigen met het aantal opgestelde MW. Alhoewel de arbeidsvraag voor zon-PV groter is voor het gehele project (door het grotere benodigde vermogen), is dit niet het geval per eenheid opgesteld vermogen. Het aantal FTE/MW in de investeringsfase bedraagt namelijk 1,01 FTE/MW voor zon-PV en 1,29 FTE/MW voor wind op land. Voor de O&M-fase is de vraag 0,27 FTE/MW/jaar (zon-PV) en 0,90 FTE/MW/jaar (wind op land).

<sup>20</sup> Hiervoor is aangenomen dat dit is: 5%.

<sup>21</sup> Hiervoor is aangenomen: 80%.

## 4.7 Ecologische effecten

Ecologische effecten betreffen effecten op flora en fauna, en/of aantasting van hun leefomgeving. We kunnen hierbij nog onderscheid maken naar een bedreiging van enkele exemplaren, of bedreiging van een soort. Omdat de impact locatiespecifiek is, valt niet vast te stellen of een soort bedreigd wordt door de plaatsing van een installatie om hernieuwbare energie op te wekken. Dat laten we dus buiten beschouwing.

Voor wind op land betreft de ecologische impact met name vogels en vleermuizen. Het gaat dan om de kans op aanvaring, barrièrewerking (omvliegen) en verstoring waardoor de omgeving ongeschikt wordt als verblijfplaats.

Voor zon-PV geldt dat de ecologische impact met name ligt in aantasting van de leefomgeving van broedplaatsen van vogels en landdieren. Ook kunnen de zonneparken resulteren in een verkleining of versnippering van ecologische zones. Dit effect kan relatief groot zijn, gegeven het ruimtebeslag (zie ook Paragraaf 4.4).

Voor beide vormen van hernieuwbare energie geldt dat de impact op ecologie sterk afhangt van de wijze waarop het project is ingepast in de ruimte, maar voor zon zijn er meer mogelijkheden dan voor wind (bijvoorbeeld zon op daken, zon langs infrastructuur).

Beide technieken kunnen een negatieve ecologische impact veroorzaken. We waarderen de het ecologisch effect van beide technieken dan ook als negatief.

Tabel 18 Ecologisch effect

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Ecologische impact	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief

## 4.8 Externe veiligheid

Bij externe veiligheid gaat het om het risico dat een individu of een groep die in de omgeving van de hernieuwbare energie installatie slachtoffer wordt van een ongeluk met de installatie<sup>22</sup>.

Voor windturbines zijn de risico's:

- mastbreuk;
- afbreken gondel of blad.

Het risico hangt af van:

- hoogte en type molen;
- aantal objecten binnen werpafstand;
- aard van objecten (gevaarlijke stoffen);
- trefkans personen.

<sup>22</sup> Naast externe veiligheid zou ook gekeken kunnen worden naar de risico's die monteurs lopen. Dit risico laten we hier buiten beschouwing.

De veiligheidsrisico's van een windturbine of windpark worden berekend met rekenregels uit het Handboek Risicozonering Windturbines (HRW). Die regels geven aan hoe de kans moet worden berekend dat er een (stuk van een) blad van de windturbine afvalt, een gondel valt of een mast breekt, en tot op welke afstand dit invloed kan hebben op de veiligheid.

Om risico's te beperken gelden er minimale afstanden tot de windturbines voor verschillende gebouwen en objecten<sup>23</sup>.

Normaliter wordt de externe veiligheid in een MKBA gewaardeerd volgens de formule:

$$kans * gevolgschade$$

Omdat kwantitatieve gegevens over kansen en de bijbehorende gevolgschade ontbreekt, waardenen we dit effect kwalitatief. Voor zon-PV zijn geen risico's in het kader van externe veiligheid. We beoordelen de externe veiligheid van wind op land als negatief en die van zon-PV als neutraal.

Tabel 19 Externe veiligheid

	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Externe veiligheid	Nul	Nul	Nul	Negatief	Negatief	Negatief

## 4.9 Conclusie

Wind op land en zon-PV hebben verschillende maatschappelijke effecten tot gevolg. Belangrijke effecten zijn onder andere de profiel- en onbalanskosten en impact op omwonenden. De inventarisatie laat zien dat het voor de meeste effecten niet mogelijk is gebleken om deze in euros uit te drukken, met name omdat het een studie op nationaal niveau betreft en het daarom niet mogelijk is geweest om een specificatie te maken van de lokale omstandigheden.

Daarbij geldt dat de literatuur over de maatschappelijke impact van zon-PV relatief beperkt is. In het volgende hoofdstuk geven we het overzicht weer van alle maatschappelijke effecten, uitmondend in een resultatentabel van de MKEA. In de gevoeligheidsanalyse (Hoofdstuk 6) maken we inzichtelijk wat de omvang van het potentieel grootste maatschappelijk effect is dat we niet kunnen kwantificeren (effect op omwonenden) zou moeten zijn om het MKEA-resultaat te doen omslaan.

<sup>23</sup> Bron: Factsheet Veiligheid, RVO.

# 5 MKEA-resultaat

In deze studie zijn de kosten en maatschappelijke effecten van zon-PV en wind op land met elkaar vergeleken. Hiertoe is een windpark van 180 MW (willekeurig geplaatst in Nederland) vergeleken met een zonnepark dat een equivalente hoeveelheid elektriciteit opwekt. Om de ontwikkeling van de kosten inzichtelijk te maken, is uitgegaan van investeringen in 2015, 2020 en 2023. Om de kosten en effecten vergelijkbaar te maken, zijn deze waar mogelijk in euros uitgedrukt. Het resultaat van de MKEA is weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20 Resultaat MKEA (maatschappelijke kosten in € cent per kWh)

Projectalternatief	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
<b>Kwantitatief gewaardeerde effecten</b>						
Investeringskosten	8,8	6,4	5,1	3,7	3,0	2,5
O&M-kosten	2,3	1,9	1,7	1,0	0,8	0,7
Profiel- en onbalanskosten	0,5	0,9	1,2	0,5	0,7	0,7
<b>Totaal (€ct per kWh)</b>	<b>11,6</b>	<b>9,2</b>	<b>7,9</b>	<b>5,2</b>	<b>4,5</b>	<b>3,9</b>
<b>Kwalitatief gewaardeerde effecten</b>						
Effecten op omwonenden	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Recreatie en toerisme	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief	Nul tot negatief
Effecten op werknemers	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Werkgelegenheidseffecten	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
Ecologische effecten	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Externe veiligheid	Nul	Nul	Nul	Negatief	Negatief	Negatief

Opmerking: Opbrengsten staan niet in deze tabel weergegeven omdat ze niet verschillen tussen de alternatieven. Het gaat dan bijvoorbeeld om opbrengsten uit de verkoop van elektriciteit en vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot.

De tabel laat zien dat de (in geld uitgedrukte) kosten van zon-PV tot 2023 meer dan een factor twee hoger zijn dan de kosten van windenergie. Alhoewel de investerings- en O&M-kosten bij zon-PV sterker afnemen dan bij wind op land, nemen de profiel- en onbalanskosten juist sterker toe, door een scherper productieprofiel van zon-PV.

Hierbij tekenen we aan dat veel van de maatschappelijke effecten in deze studie niet in geld zijn uitgedrukt. Voor deze kwalitatief gewaardeerde effecten geldt dat men van mening kan verschillen over het belang van de effecten (wat weegt zwaarder: het effect op omwonenden of de ecologische effecten?). Dat geldt ook voor de afweging tussen het belang van de kwantitatief gewaardeerde effecten en de kwalitatief gewaardeerde effecten. Een totaalbeoordeling van de projectalternatieven vraagt dus om een (politieke) weging tussen de het totaal van de kwantitatieve effecten en de afzonderlijke kwalitatieve effecten.

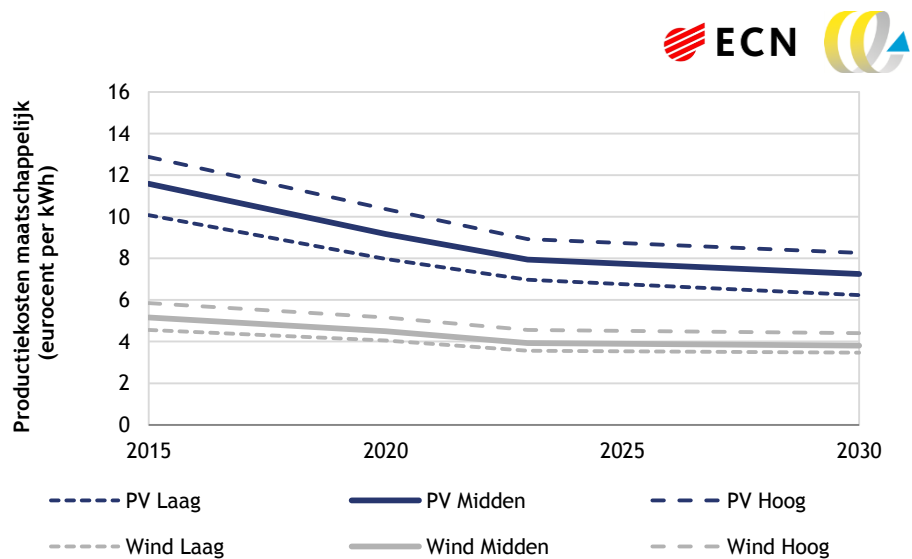
Van de kwalitatieve effecten verwachten we dat het effect op omwonenden potentieel een grote impact kan hebben op het MKEA-resultaat. Afhankelijk van de locatie kunnen er immers veel woningen in de nabijheid staan van een wind- of zon-project. We analyseren de gevoeligheid van het MKEA-saldo voor het effect op omwonenden in Hoofdstuk 6. Dat doen we door het effect op omwonenden te kwantificeren via een mogelijke waardedaling van de woning.

De overige effecten daarentegen zijn, naar onze inschatting, waarschijnlijk beperkt. Het effect op de externe veiligheid is nihil of zeer klein vanwege de Nederlandse wetgeving op het dit gebied. Hetzelfde geldt voor ecologische effecten. Ook geven de meeste studies aan dat het effect op recreatie en toerisme op nationale schaal klein is. De welvaartseffecten door werkgelegenheid zijn op langere termijn nihil.

## 5.1 Doorkijk naar 2030

Het uitgangspunt in deze studie is de middellange termijn (tot 2023). Daarnaast is het interessant om te bestuderen hoe de kosten zich ontwikkelen in de periode na 2023. Hiertoe presenteren we in deze paragraaf een doorkijk van de kosten (investeringskosten, onderhoudskosten, O&M-kosten, profiel- en onbalanskosten) tot 2030.

Figuur 11 Doorkijk financiële kosten naar 2030



De figuur laat zien dat de kosten van wind op land naar verwachting tot 2030 lager zal zijn dan zon-PV. We kunnen daarom met de huidige inzichten concluderen dat de kosten van wind op land ook op de lange termijn naar verwachting lager zullen zijn dan de kosten van zon-PV.



## 5.2 Verdelingseffecten

Uit de analyse blijkt dat de kosten van wind op land lager zijn dan van zon-PV. Dit zal zich uiten in een lagere opslag op de elektriciteitsrekening voor consumenten en bedrijven (ODE). Dit wil echter niet zeggen dat de effecten van wind op land voor iedere groep in de maatschappij gunstiger uitpakken. Voor omwonenden van windparken zal het effect bijvoorbeeld per saldo ongunstiger zijn, omdat zij geconfronteerd kunnen worden met hinder en een lagere woningwaarde. Om hen te compenseren, zijn verschillende modellen denkbaar van financiële participatie om hen mee te laten profiteren van de opbrengst van de windenergie. Globaal varieert het van het aanbieden van de windstroom tegen een gunstig tarief tot (gedeeld) eigendom van de windturbine. Met zulke instrumenten kunnen de welvaartseffecten van hernieuwbare energie eventueel op een andere manier worden verdeeld over de verschillende groepen in de maatschappij.

## 5.3 Conclusie

Het MKEA-resultaat laat zien dat wind op land gunstiger scoort dan zon-PV. Alhoewel de kosten van zon-PV sneller dalen dan wind op land, blijven de kosten van wind op land zowel op middellange termijn (2023) als lange termijn (2030) lager dan zon-PV.

# 6 Gevoeligheidsanalyse

Het MKEA-resultaat in Hoofdstuk 5 liet zien dat de maatschappelijke kosten van wind op land lager zijn dan zon-PV. Door het ontbreken van locatie-specifieke omstandigheden, is de impact op omwonenden echter niet in euros uitgedrukt. We presenteren in dit hoofdstuk daarom een gevoeligheidsanalyse, waarin we de robuustheid van het resultaat testen als de impact op omwonenden wel wordt meegenomen.

Bij een goed functionerende woningmarkt zal de hinder voor omwonenden zich uiten in de prijs van een woning. Door de hinder zal de betalingsbereidheid voor een woning namelijk afnemen (zie Paragraaf 4.3). In deze gevoeligheidsanalyse bepalen we alleen het effect op omwonenden door een windpark. Er zijn geen studies bij ons bekend die het effect van een zonnepark hebben bepaald (ook omdat zonneparken met een omvang van 7 km<sup>2</sup> in Nederland nog niet zijn gerealiseerd). De analyse laat daarmee zien hoe groot het effect van hinder door een windpark zou moeten zijn om het resultaat te doen omslaan, los van eventuele negatieve effecten van zon-PV op de waarde van omliggende woningen.

## 6.1 Woningwaardeverlies

De impact op omwonenden is sterk afhankelijk van de locatie. Als een park in de nabijheid van de bebouwde kom wordt gerealiseerd zal de impact groter zijn dan in een gebied ver buiten de bebouwde kom. Bij de berekening van die effecten voor een windpark op land gaan we in deze gevoeligheidsanalyse uit van het gemiddelde aantal woningen in de nabijheid van windturbines in Nederland. Deze gegevens zijn aangeleverd met een GIS-analyse door RVO.

Hierbij gaan we uit van een door de VU (2014) geschat effect van -4,5% op de waarde van huizen binnen een straal van 2.000 meter van de windturbine.<sup>24 25</sup> Dit is een gemiddeld effect voor woningen binnen die straal, waarbij geen onderscheid wordt gemaakt naar afstand tot de turbine (voor woningen dichterbij de turbine is het effect groter, voor woningen verder van de turbine is het effect kleiner). Uitgaande van een gemiddelde van 182 woningen per turbine binnen een straal van 2.000 meter, en een gemiddelde woningprijs van 230.000 euro, bedraagt het woningwaardeverlies voor een park met 45 turbines zo'n 85 miljoen euro. Omgerekend per kilowattuur zijn de maatschappelijke kosten dan 1,3 eurocent per kWh in 2015, 1,1 eurocent in 2020 en 0,9 eurocent in 2023 (zie Tabel 21).

---

<sup>24</sup> De 4,5% daling is groter dan de bovenwaarde van -2,4% die geschat wordt in VU (2014). De reden is dat toekomstige turbines hoger zijn dan gemiddelde turbine waarop de waardedaling is gebaseerd in VU (2014). Bij de grotere ashoogte en diameter van de rotorbladen van toekomstige turbines, is het effect, volgens de in het VU-onderzoek geschatte parameters, bijna een factor twee groter.

<sup>25</sup> Bron: [www.huizenprijzen.prijsverloop.nl/Nederland/](http://www.huizenprijzen.prijsverloop.nl/Nederland/), waarde begin 2016.

Tabel 21 Woningwaardedaling bij windpark met 45 turbines<sup>26</sup>

Projectalternatief	Wind op land		
	2015	2020	2023
Totaal aantal woningen binnen straal 2.000 m bij 45 turbines (45 turbines maal 182 woningen)	8.190	8.190	8.190
Waardedaling woningen totaal (€ mln) <sup>27</sup>	86	86	86
Elektriciteitsopbrengst gedisconteerd (TWh)	6,6	7,9	9,3
Effect (€ct per kWh)	1,3	1,1	0,9

## 6.2 Invloed op de resultaten

Wanneer we het effect op woningwaarde vergelijken met een lage schatting van het verschil in kosteneffectiviteit tussen de twee technieken (verschil tussen ondergrens kosten zon-PV en bovengrens kosten wind op land in Figuur 8, inclusief profiel- en onbalanskosten), dan zien we dat een eventuele woningwaardedaling geen invloed heeft op het eindresultaat van de analyse.

Tabel 22 Effect woningwaarde (€ cent per kWh)

Projectalternatief	Wind op land		
	2015	2020	2023
Effect woningwaarde (€ct per kWh)	1,3	1,1	0,9
Lage schatting verschil kosteneffectiviteit (ondergrens zon - bovengrens wind)	4,2	2,8	2,4

Het omslagpunt wordt bereikt bij een aantal woningen per windturbine van 590 in 2015, en 480 in 2020 en 2023.<sup>28</sup> Dan is het woningwaardeverlies gelijk aan de lage schatting van het verschil in kosteneffectiviteit van beide technieken.

Het overgrote deel van de locaties in Nederland heeft minder woningen binnen de invloedssfeer. Voor alle drie de bovengenoemde grenswaarden geldt dat meer dan 91% van de windturbines in Nederland op een locatie staat met minder woningen binnen een straal van 2.000 meter. Bij de parken waar er *meer* dan een dergelijk aantal woningen in de nabijheid liggen, betreft het parken op locaties die in de nabijheid van steden of dorpen liggen. Dit onderstreept nogmaals dat het woningwaardeverlies met name afhankelijk is van de locatie van de te plaatsen windturbines.

<sup>26</sup> De maatschappelijke kosten per kWh nemen af, omdat de opbrengst van de turbines toeneemt bij installatie in de toekomst. De waardedaling kan daarom over meer eenheden elektriciteitsopbrengst worden uitgesmeerd.

<sup>27</sup> Ondanks dat de huizenprijzen naar verwachting nominaal stijgen, blijft het waardeverlies in deze MKEA constant. De reden is dat in MKBA's en MKEA's alleen prijsstijgingen worden meegenomen die afwijken van de algemene inflatie. Er wordt namelijk gerekend met een reële discontovoet (zie Paragraaf 1.5). Een analyse van de ING (Regionale Huizenmarkt tot 2025) laat zien dat de ordegrrootte van de toekomstige stijging van de huizenprijs in lijn is met de inflatie. De landelijke verwachting voor de stijging van de huizenprijs is zo'n 2%. In veel regio's buiten de Randstad ligt de prijsstijging daar nog onder. Dit komt redelijk overeen met de historische inflatiepercentages en met het inflatiedoel van de ECB. De WLO-scenario's geven geen cijfers over het de prijsstijging van de woningen noch een inflatiepercentage.

<sup>28</sup> De afname wordt veroorzaakt door de hogere productie van de technieken in 2023, waardoor het woningwaardeverlies over meerdere eenheden elektriciteit uitgesmeerd kan worden.

### 6.3 Conclusie

We concluderen dat het resultaat robuust is. De maatschappelijke kosten van wind op land zijn lager dan van zon-PV. Dat resultaat blijft overeind als we het effect van hinder op omwonenden - de naar onze inschatting grootste niet-gekwantificeerde maatschappelijke kosten - kwantificeren (in euros uitdrukken). We kunnen het effect op omwonenden kwantificeren via een verlies in woningwaarde. Als we dat doen, dan zijn de in euros uitgedrukte kosten van wind op land voor verreweg de meeste locaties in Nederland lager dan van zon-PV.

Daar komt bij dat in de bovenstaande berekening geen rekening is gehouden met eventuele hinder van zonneparken voor omwonenden. Die zou in theorie ook via het woningwaardeverlies gekwantificeerd kunnen worden. In de praktijk ontbreken echter studies waar in het effect van zonneparken op de woningwaarde is gemeten. Als zonneparken een negatief effect op de woningwaarde hebben, dan scoort wind op land relatief nog gunstiger.

### 6.4 Tot slot

In deze studie is een vergelijking gemaakt tussen de technieken. We merken echter op de profiel- en onbalanskosten minder sterk toenemen als zowel in wind als zon wordt geïnvesteerd, omdat de technieken aanvullend zijn. Dit zijn ook belangrijke afwegingen om te komen tot een optimale energiemix.

# 7 Bibliografie

- ACCRES, 2015. *Wat levert een Zonneweide per ha op?*, Wageningen: Wageningen UR.
- Braunová, V., 2012. *Impact Study of Wind Power on Tourism on Gotland*, Upsalla: Upsalla Universitet.
- Canning, G. & Simmons, L. J., 2010. *Wind energy study-Effect on real estate values in the municipality of Chatham-Kent, Ontario*, London ; Ontario: Canning Consultants Inc ; John Simmons Realty Services Ltd.
- Carter, J., 2011. *The effect of Wind Farms on Residential Property Values in Lee County, Illinois*, Illinois: Illinois State University.
- CE Delft, 2012. *MKBA windenergie Flevoland*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2013. *MKBA Windenergie Lage Weide*, Delft: CE Delft.
- CPB; PBL, 2013. *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB) ; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- CPB, 2013. *KBA structuurvisie 6000 MW windenergie op land : Achtergrond informatie behorende bij de CPB notities*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB).
- ECN, 2014. *Wat is een "redelijke" opstalvergoeding voor de exploitatie van windturbines op land?*, Petten: ECN.
- ECN, 2016. *Conceptadvies basisbedragen SDE+ 2017 voor marktconsultatie*, Petten: ECN.
- Ecorys, 2013. *Windmolenparken en woningwaarde : Raming effecten windmolenpark Lage Weide Utrecht* , Rotterdam: Ecorys.
- Ecorys, 2015. *Hernieuwbare energie in Flevoland : Maatschappelijke kosten en baten van hernieuwbare energieopties in 2050*, Rotterdam: Ecorys.
- EFTI, 2014. *Windpark Fryslân Potentiële toeristische impact : Literatuurstudie in opdracht van Pondera Consult*, Leeuwarden: European Tourism Futures Institute (EFTI).
- Frantál, B. & Kunc, J., 2011. Wind turbines in tourism landscapes: Czech Experience. *Annals of Tourism Research*, 38(2), pp. 499-519.
- Fraunhofer ISE, 2015. *Current and Future Cost of Photovoltaics : Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems*, Berlin: Agora Energiewende.
- Gibbons, S., 2015. Gone With the Wind: Valuing the Local Impacts of Wind Turbines Through House Prices. *Journal of Environmental Economics and Management*, 72(July), pp. 177-196.
- Glasgow University, et al., 2008. *Economic impact of wind farms on Scottish tourism*, Glasgow: Glasgow Caledonian University, MoffatCentre, Cogentsi.
- Haughton, J., Giuffre, D., Barrett, J. & Tuerck, D. G., 2004. *An Economic Analysis of a Wind Farm in Nantucket Sound*, Boston: Beacon Hill Institute at Suffolk University.

- Heintzelman, M. D. & Tuttle, C. M., 2011. *Values in the Wind: A Hedonic Analysis of Wind Power Facilities*, Potsdam (NY): Clarkson University, School of Business.
- Hoehn, B. et al., 2009. *The Impact of Wind Power Projects on Residential Property Values in the United States: A Multi-Site Hedonic Analysis*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).
- Hoehn, B. et al., 2011. Wind Energy Facilities and Residential Properties: The Effect of Proximity and View on Sales Prices. *Journal of Real Estate Research*, Volume 33, pp. 279-316.
- IfR, 2012. *Besucherbefragung zur Akzeptanz von Windkraftanlagen in der Eifel*, Solms: IfR Institut für Regionalmanagement .
- IPCC, 2012. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge: Cambridge University Press.
- IRENA, 2015. *Renewable Power Generation Costs in 2014*, Bonn: The International Renewable Energy Agency (IRENA), Innovation and Technology Centre.
- IRENA, 2016. *The Power to Change : Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025*, Bonn: International Renewable Energy Agency (IRENA).
- Jordal-Jørgensen, J., 1996. *Social Assessment of Wind Power : Visual Effect and Noise from Windmills - Quantifying and Valuation*. [Online] Available at: [www.windaction.org/posts/38126-social-assessment-of-wind-power-visual-effect-and-noise-from-windmills-quantifying-and-valuation#.WEADZbuQzyw](http://www.windaction.org/posts/38126-social-assessment-of-wind-power-visual-effect-and-noise-from-windmills-quantifying-and-valuation#.WEADZbuQzyw) [Geopend 2016].
- JRC, 2014. *Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050*, Luxemburg: Publications Office of the European Union.
- KIC InnoEnergy ; BVGassociates, 2014. *Future renewable energy costs : onshore wind*, Eindhoven: KIC InnoEnergy.
- KIC InnoEnergy ; BVGassociates, 2015. *Future renewable energy costs : solar photovoltaics*, Eindhoven: KIC InnoEnergy.
- Ladenburg, J. & Dubgaard, A., 2007. Willingness to Pay for Reduced Visual Disamenities from Off-Shore Wind Farms in Denmark. *Energy Policy*, 35(8), pp. 4059-4071.
- Laposa, S. & Mueller, A., 2010. Wind Farm Announcements and Rural Home Prices : Maxwell Ranch and Rural Northern Colorado. *Journal of Sustainable Real Estate*, 2(1).
- Lawrence Berkeley National Laboratory; et al., 2016. *Forecasting Wind Energy Costs and Cost Drivers : The Views of the World's Leading Experts*, sl: The International Energy Agency (IEA).
- MORI, 2002. *Tourist attitudes towards wind farms*, sl: MORI Schotland.
- PolEcon Research, 2013. *The impact of wind farms on tourism in New Hampshire*, Dover, NH (US): Polecon.
- PROJECT M , 2012. *Windkraft oder Tourismus? - Über tatsächliche und vermeintliche Probleme der Windkraft in Erholungsräumen*, Siegen: PROJECT M GmbH.

Rebel , 2014. *Deel Maatschappelijke Kosten Baten Analyse Windplan Wieringermeer : Sociaaleconomische spin-off windenergie*, Rotterdam: Rebel Energy bv.

Rijksoverheid, 2015. *Rapport Werkgroep Discontovoet 2015*, Werkgroep Discontovoet: sn

Royal HaskoningDHV, 2015. *MKBA wind- en zonne-energie Stadskanaal*, sl: HaskoningDHV Nederland B.V..

S.Sims & Dent, P., 2007. Property stigma : Wind farms are just the latest fashion. *Journal of Property Investment and Finance* , 25(6), pp. 626-651.

S.Sims & Reed, R., 2008. Modelling the impact of wind farms on house prices in the UK. *International Journal of Strategic Property Management*, 12(4), pp. 251-269.

SEO, 2014. *Windmolens en Welvaart : De maatschappelijke kosten en baten van windenergie op de Noordzee*, Amsterdam: SEO economische onderzoek.

Sunak, Y. & Madlener, R., 2012. *The Impact of Wind Farms on Property Values : A Geographically Weighted Hedonic Pricing Model*, Aachen: RWTH Aachen University, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN) ; School of Business and Economics.

TKI Urban Energy, 2015. *Solar & Smart Energy Solutions*, sl: Topconsortium Kennis en Innovatie (TKI).

Tweede Kamer, 2016. *Duurzame ontwikkeling en beleid : Nader gewijzigde motie van het lid Smaling C.S. ter vervanging van die gedrukt onder nr. 451*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten Generaal.

VNG, 2013. *Lokaal energiek : decentrale duurzame elektriciteit : businesscase en maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Den Haag: Vereniging Nederlandse Gemeenten (VNG).

VU, 2014. *Renewable Energy and Negative Externalities: The effect of Wind Turbines on House Prices*, Amsterdam: Vrije Universiteit (VU).

# Bijlage A Overzicht waarderingmethoden in recente MKBA's

	Ecorys (2015)	CE Delft (2012)	CE Delft (2013)	VNG (2013)	CPB (2013)	Royal Haskoning/DHV (2015)	Rebel Group (2014)
<b>Zon/wind</b>	Beide	Wind	Beide	Beide	Wind	Beide	Wind
<b>Scope</b>	Flevoland, op specifieke locaties	Flevoland, op specifieke locaties	LagerWeide (Utrecht)	Initiatieven op lokaal niveau (niet gespecificeerd), voor heel NL	Diverse volumes per provincie in NL	Standskanaal	Wieringermeer
<b>Effecten wind</b>							
Woningwaarde	Monetair gewaardeerd, op basis van woningwaarde onderzoek: VU (2013)	Monetair gewaardeerd, op basis van stated preference onderzoek: Meyerhoff et al. (2010)	Monetair gewaardeerd, op basis van enquête-onderzoek onder makelaars: Ecorys (2013)	Niet meegenomen	PM post	Monetair gewaardeerd, op basis van woningwaarde onderzoek: VU (2013)	Niet meegenomen
Geluidshinder, zichthinder	via woningwaarde	via woningwaarde	via woningwaarde	kwalitatief	Via woningwaarde	via woningwaarde en kwalitatief	kwalitatief
Recreatie	kwalitatief	via woningwaarde	Niet meegenomen	Niet meegenomen	Niet meegenomen	Niet meegenomen	Niet meegenomen
Landschap	via woningwaarde	kwalitatief	kwalitatief	kwalitatief	PM post	via woningwaarde en kwalitatief	kwalitatief
Ecologie	kwalitatief	PM post	kwalitatief	kwalitatief	PM post	Niet meegenomen	kwalitatief
Externe veiligheid	Niet meegenomen	Niet meegenomen	kwalitatief	Niet meegenomen	Niet meegenomen	Niet onderscheidend	Niet meegenomen
Werkgelegenheid	Monetair gewaardeerd (onduidelijk hoe)	Monetair gewaardeerd, op basis EWEA and Accres (2009)	Monetair gewaardeerd obv EWEA (2004) en Quintel	Niet in balans welvaartseffecten, wel apart op basis van productiviteit	Nihil verondersteld	Monetair gewaardeerd op basis CE Delft (2013)	Monetair gewaardeerd (onduidelijk hoe)
<b>Effecten zon</b>							
Woningwaarde	kwalitatief		Nihil verondersteld	Niet meegenomen		kwalitatief	
Recreatie	kwalitatief		Niet meegenomen	Niet meegenomen		Niet meegenomen	
Ecologie	kwalitatief		kwalitatief	Niet meegenomen		Niet meegenomen	
Werkgelegenheid	Monetair gewaardeerd (onduidelijk hoe)		Monetair gewaardeerd obv arbeidsproductiviteit	Niet in balans welvaartseffecten, wel apart op basis van productiviteit		Monetair gewaardeerd op basis CE Delft (2013)	

Toelichting op de betekenis van de kleuren:

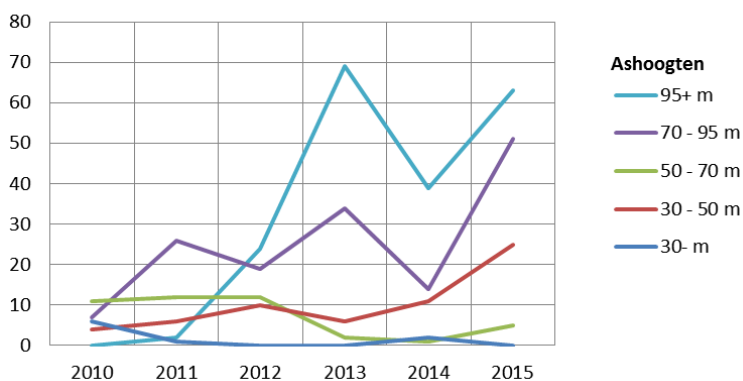
- Groen: monetair gewaardeerd;
- Geel: wel gewaardeerd, maar niet monetair (kwalitatief);
- Rood: niet gewaardeerd.



# Bijlage B Ontwikkeling aantal vollasturen wind op land

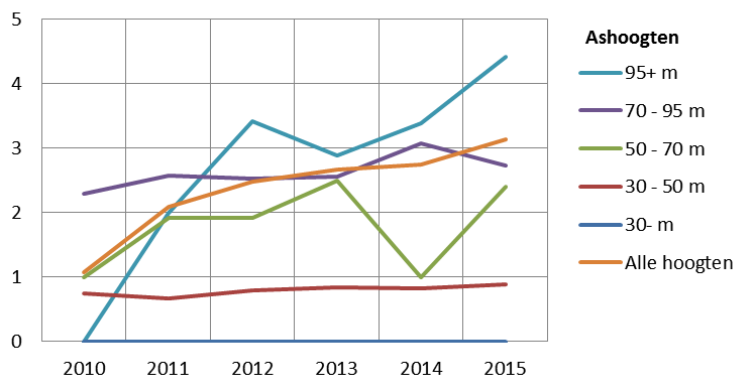
Op basis van statistiek (bron: CBS) wordt in de volgende figuren weergegeven hoe in recente jaren de ontwikkeling is geweest van de gemiddelde waarden voor de aantallen turbines, ashoogte, turbinevermogen. Volgende figuren gelden voor nieuw geïnstalleerde turbines.

**Aantal turbines [-]**



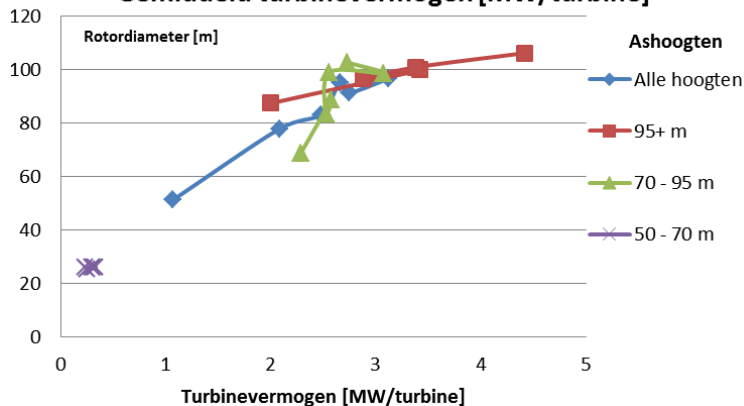
- Gemiddelde ashoogte neemt de afgelopen jaren toe.
- In 2011 is het merendeel van de nieuw geplaatste turbines hoger dan 70 meter en vanaf 2012 is de ashoogte overwegend hoger dan 95 meter.
- Het aantal nieuw geplaatste turbines neemt ook elk jaar (behalve 2014) in absolute termen toe (28 nieuwe turbines, samen 30 MW, in 2010 is toegenomen naar 144 nieuwe turbines, samen 450 MW, in 2015).

**Gemiddeld turbinevermogen [MW/turbine]**



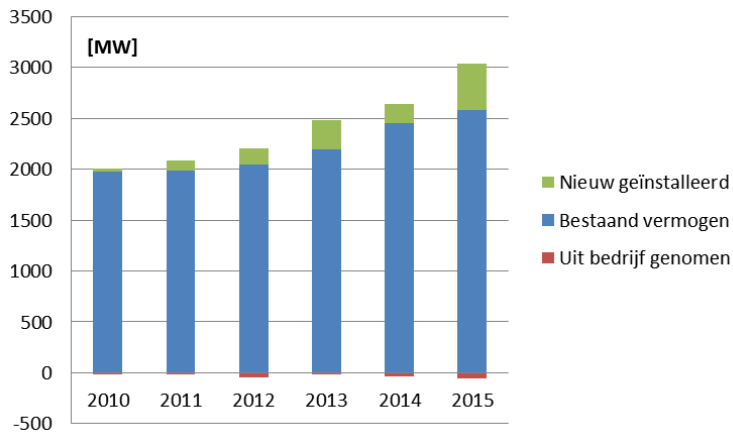
- Het gemiddeld turbinevermogen [MW/turbine] is toegenomen van 1,1 MW per turbine in 2010 naar 3,1 MW per turbine in 2015.
- De windmolens op hoge ashoogte hebben tevens het grootste gemiddelde vermogen (4,4 MW per turbine in 2015).

**Gemiddeld turbinevermogen [MW/turbine]**



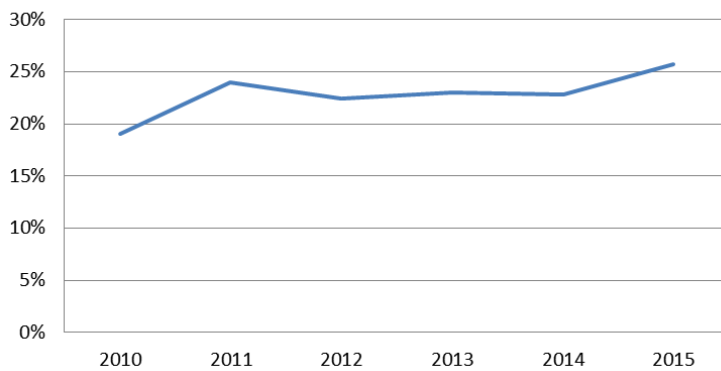
- Voor de hogere ashoogte neemt behalve het gemiddelde turbinevermogen ook de gemiddelde rotordiameter (berekend) toe: deze trend is de afgelopen jaren vrij stabiel: hogere masten met grotere rotordiameters.

De volgende figuren gelden voor het gehele windpark in een jaar, dus de mix van bestaand vermogen en nieuw geïnstalleerde turbines (CBS rapporteert namelijk niet de elektriciteitsopbrengst voor het nieuw geïnstalleerde vermogen):



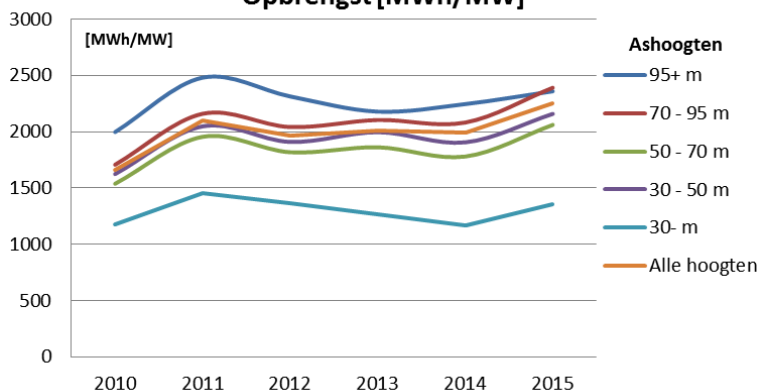
- Van 2010 t/m 2015 is het in Nederland geïnstalleerde cumulatieve windvermogen toegenomen van 2,009 MW naar 3,031 MW. In 2015 is dus een derde deel van het windpark zes jaar of jonger.
- Daarmee bestaat het merendeel nog steeds uit oudere turbines. De productie van de jongste turbines is gemiddeld hoger dan de productieprestatie van het oudere gedeelte.

### Productiefactor

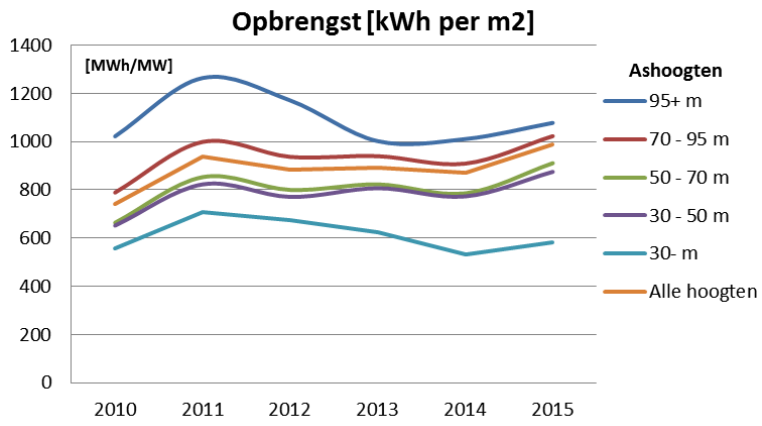


- De productiefactor geeft de gerealiseerde productie gedeeld door de maximale productie berekend op basis van de capaciteit van de molens. In perioden met meer wind is de productiefactor hoger. Bij de berekening van de maximale productie telt het vermogen van de molens naar rato van het aantal maanden in een jaar dat de molens in gebruik zijn. De productiefactor is recht evenredig met het aantal vollasturen (bron: CBS).

### Opbrengst [MWh/MW]



- Het relatieve aandeel van de turbines op ashoogten boven 95 meter neemt toe waarmee de gemiddelde opbrengst van het dan bestaande park ook steeds hoger wordt.
- De figuur hieronder geeft de opbrengst in kWh per m<sup>2</sup>.



- Vergelijkbaar met bovenstaande figuur.
- Gegevens gelden voor het dan bestaande park.

## Bijlage C Berekening kosten per kWh

De berekening van de kosten per kWh is uitgegaan van de gehele levensduur. Omdat de jaarlijkse financiële kosten worden gediscoteerd, zijn de fysieke effecten ook rekenkundig gediscoteerd in berekening (zie Tabel 23).

Tabel 23 Berekening investeringskosten per kWh (eurocent per kWh)

Projectalternatief	Zon-PV			Wind op land		
	2015	2020	2023	2015	2020	2023
Vermogen (MW)	560	534	525	180	180	180
Investeringskosten (€ mln)	577	480	436	243	238,5	234
Gedisconteerde elektriciteitsopbrengsten (TWh)	6,6	7,5	8,6	6,6	7,9	9,3
Investeringskosten per kWh (€ct)	8,8	6,4	5,1	3,7	3,0	2,5