



ONDERZOEK IN OPDRACHT VAN ENPULS

MKBA inpassing zon-en-wind-op-land

Maatschappelijke kosten-batenanalyse
(MKBA) van alternatieven voor zon-en-
wind-op-land

63354-II | 19 maart 2021



ONDERZOEK IN OPDRACHT VAN ENPULS

MKBA inpassing zon-en-wind-op-land

Maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA)
van alternatieven voor zon-en-wind-op-land

Joachim Schellekens
Max Coenen
John Kerkhoven
Tuuli Tiihonen

63354-II | 19 maart 2021

Management-samenvatting

Inleiding

Het ontwikkelen van hernieuwbare opwek is van cruciaal belang voor de ontwikkeling van een duurzame energievoorziening. In dertig Regionale Energie Strategieën wordt momenteel gezocht naar geschikte locaties om opgeteld ten minste 35TWh wind en/of zon-op-land te realiseren voor 2030 (hierna: RES1.0). Er zijn echter serieuze uitdagingen bij de inpassing van wind en zon-pv-projecten, onder andere vanwege schaarste aan beschikbare ruimte, impact op de natuur en omwonenden en het verkrijgen van het benodigde draagvlak. Bij de ontwikkeling van deze vormen van hernieuwbare energie op land is dan ook een afweging – waarbij alle effecten van een project meegenomen worden – belangrijk.

Een analyse door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) van de concept-RES-sen leert ons dat in de RES sterk ingezet wordt op nieuwe zon-pv-projecten om het huidige ‘tekort’ aan duurzame elektriciteit mee op te wekken. Hierdoor ontstaat in 2030 naar verwachting een bijna gelijke verdeling in totale opwek uit zon en wind. Vanuit maatschappelijk oogpunt kent de opwek van energie uit wind en zon-op-land een aantal positieve en een aantal negatieve effecten, die zichtbaar worden door zowel naar de businesscase, vanuit het perspectief van de investeerder, als vanuit een breder maatschappelijk perspectief naar de mogelijke alternatieven voor opwek te kijken. Om de verschillende typen effecten, die bijvoorbeeld eerder/later in de tijd plaatsvinden of een andere levensduur hebben, in kaart te brengen is een maatschappelijke kosten- en batenanalyse uitgevoerd (hierna: MKBA). In een MKBA worden alle effecten verdisconteerd en zijn hierdoor goed met elkaar te vergelijken.

Doel van deze MKBA is om alle effecten van acht alternatieven voor het opwekken van wind- en zonne-energie inzichtelijk te maken, waardoor algemene inzichten over de wenselijkheid (in de tijd) vanuit businesscase perspectief en maatschappelijk perspectief verkregen kunnen worden. Deze inzichten maken het mogelijk om onderbouwde keuzes te maken en een constructieve discussie te voeren over welk type duurzame opwek waar en wanneer in de tijd in te passen in de ruimte.

Wij merken op dat niet alle maatschappelijk effecten van een investering in zon- of wind-op-land goed kwantificeerbaar zijn. Desondanks kan dat wat wel kwantificeerbaar is helpen in de maatschappelijke discussie over de bijdrage die zon- en wind-op-land kunnen leveren aan de energietransitie. De grafieken waarin de verschillende alternatieven in dit rapport worden vergeleken dienen dan ook met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

Dit rapport kent als bijlage een rekenmodel in Excel waarmee de resultaten voor de verschillende alternatieven zijn berekend. Dit rekenmodel kan worden gebruikt om de maatschappelijke kosten en baten van echte projecten te berekenen, hiervoor dient een aantal indicatoren wel aangepast te worden naar lokale omstandigheden. Additioneel aan de NCW-berekening (netto contante waarde) is ook de LCOE (*levelised cost of energy*) berekend. De LCOE geeft aan vanaf welke elektriciteitsprijs een project rendabel elektriciteit kan produceren.

Aanpak en meegenomen effecten

In deze MKBA zijn in totaal acht projectalternatieven met elk een totaal vermogen van 7,5 MW met elkaar vergeleken, namelijk:



1. zonneweide (op agrarisch grondgebied)



2. zonne-installatie op een aaneengesloten bedrijventerrein met een percentage eigenverbruik

3. zonne-installatie op een aaneengesloten bedrijventerrein met een hoog percentage eigenverbruik



4. sommatie van zonne-installaties op verspreide woningen



5. greenfield windproject nabij stedelijk gebied



6. greenfield windproject in landelijk gebied



7. repowering windproject nabij stedelijk gebied



8. repowering windproject in landelijk gebied.

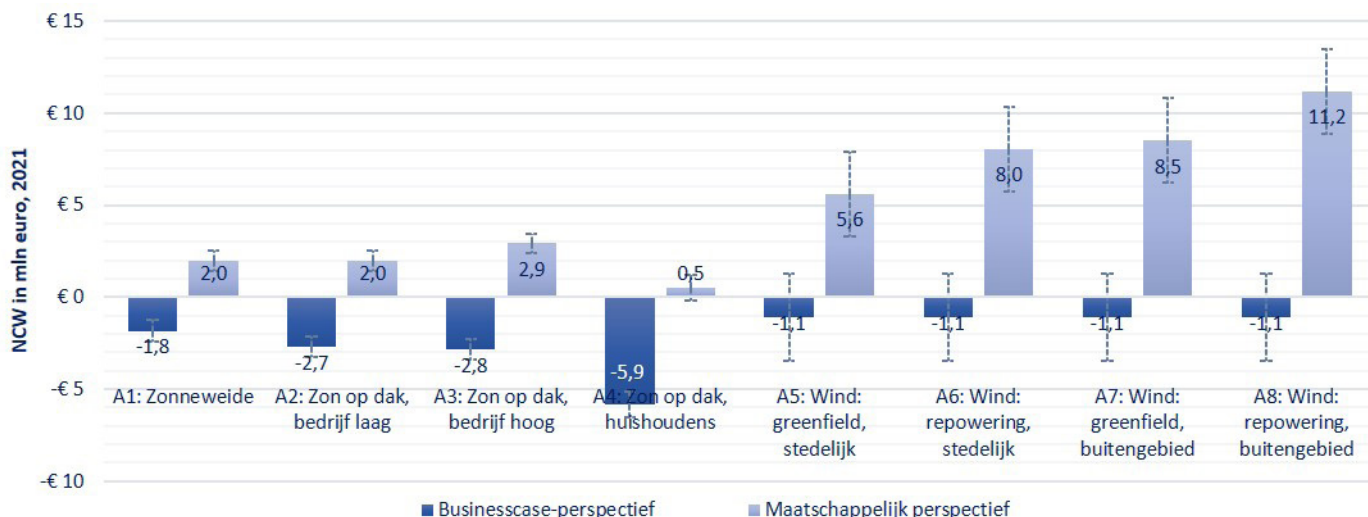
Voor elk van de projectalternatieven zijn de voornaamste directe, indirecte en externe effecten geïdentificeerd. De definities van deze effecten worden gegeven in hoofdstuk 3. Voorname directe effecten zijn de kosten van installatie, exploitatie en financiering en verkoop van elektriciteit. Voorname indirecte effecten zijn de kosten van (vervroegde netverzwaring), verlies van woningwaarde en additionele werkgelegenheid. Voorname externe effecten (die ook gemonetariseerd zijn) zijn vermeden CO₂-uitstoot, verbetering van luchtkwaliteit, en verbetering van de bodemkwaliteit. Overige externe effecten die ook optreden, maar niet in monetaire waarde zijn uit te drukken – in elk geval op dit moment – zijn zaken zoals burgerparticipatie, (verlies) van landschapskwaliteit/-leefkwaliteit, energieonafhankelijkheid, polarisatie in de samenleving en kennisontwikkeling. In het businesscase-perspectief worden alleen de directe effecten meegenomen. In het maatschappelijk perspectief zijn alle directe, indirecte en externe effecten meegenomen.

De verschillende resultaten zijn middels de Netto Contante Waarde (NCW)-methodiek met elkaar vergeleken. De NCW van een project toont de waarde van een project indien alle kosten en baten naar het jaartal 2021 verdisconteerd zijn. Hierdoor zijn kosten en baten met een verschillende levensduur-/discontovoet goed met elkaar te vergelijken. Belangrijk om hierbij op te merken is dat in een MKBA subsidies en belastingen (denk aan: de Stimuleringsregeling Duurzame Energie, salderen, Opslag Duurzame Energie, Energiebelasting, etc) buiten beschouwing blijven, aangezien deze de totale maatschappelijke waarde die in Nederland gerealiseerd wordt niet beïnvloeden. In de praktijk hebben belastingen en subsidies wel impact op de businesscase van de alternatieven en leidt het tot een herverdeling van welvaart en sturing van bestedingen.

Voornaamste resultaten

Van elk van de drie alternatieven is voor 2021 en 2030 de netto contante waarde uitgerekend voor het businesscase-perspectief (investeerdopersperspectief) en het maatschappelijk perspectief (beide zijn exclusief subsidies en belastingen). Een indicator die het resultaat voor een deel bepaald is de verwachting van de elektriciteitsprijsontwikkeling. De ontwikkeling van de elektriciteitsprijs is van vele factoren afhankelijk, denk aan: ontwikkeling gasprijs, import-/export en aandeel hernieuwbare opwek (en het weer) in het systeem. De KEV2019 ging bijvoorbeeld uit van een gemiddelde prijs voor respectievelijk zon en wind van € 44 en € 43 per MWh over de periode 2020-2034. In de KEV2020 is deze afgenomen tot (afgerond) € 36 en € 31 per MWh. Voornaamste reden voor deze daling is een lagere elektriciteitsprijs in het voorgaande jaar en verwachte impact van toename in hernieuwbare opwek die de elektriciteitsprijs tijdens veel zon en/of wind drukt.

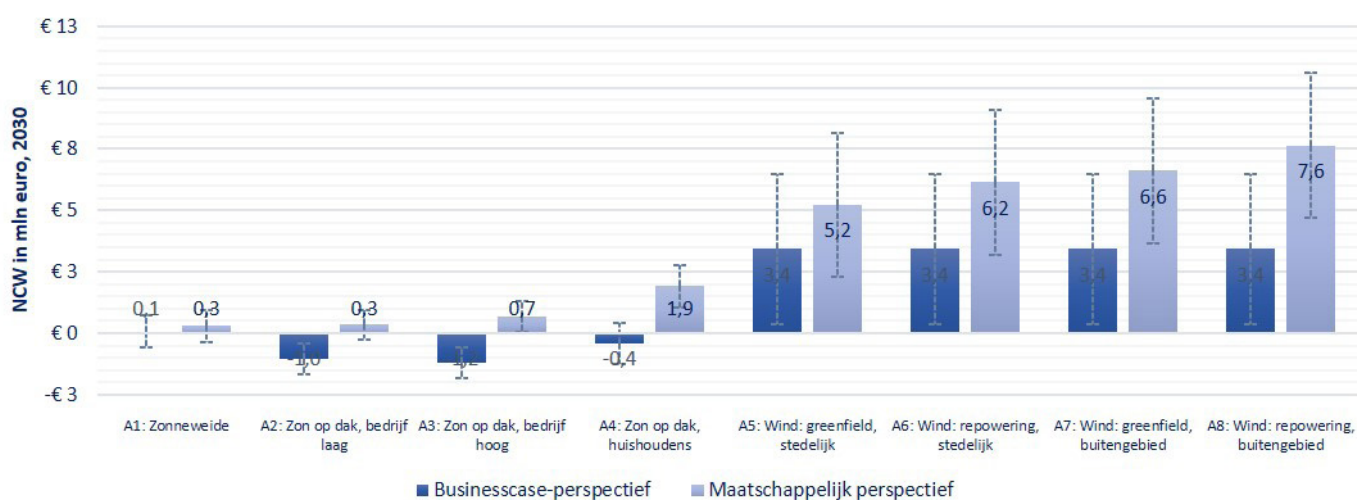
In deze MKBA is uitgegaan van het gemiddelde voor de verwachting van de elektriciteitsprijs uit de KEV2019 en KEV2020 en zijn de KEV2019 en KEV2020 elektriciteitsprijzen gehanteerd om de boven- en onderwaarde van de NCW-berekeningen voor de acht alternatieve vormen van duurzame opwek mee te bepalen (zie figuur 1). De gemiddelde elektriciteitsprijzen voor zon- en windenergie zijn berekend door het PBL door profiel- en onbalanskosten op de gemiddelde elektriciteitsprijs in mindering te brengen.



Figuur 1. **NCW-resultaat 2021 voor acht alternatieven. Stippellijn geeft resultaat boven- en onderwaarde weer.**

Navolgend zijn de voornaamste resultaten weergegeven voor 2021:

- In 2021 is de businesscase (exclusief belastingen en subsidies) van alle alternatieven negatief. Dit betekent dat het investeren in zon- en wind-op-land zonder subsidies niet rendabel zou zijn. Vanuit maatschappelijk perspectief zijn al deze investeringen wel positief – met name vanwege de maatschappelijke waarde die we aan een vermeden ton CO₂ toekennen. Daarom is het toekennen van subsidies aan zon en wind-op-land maatschappelijk verantwoord.
- Zoals vermeld hebben alle acht de alternatieven een positieve maatschappelijke waarde. De maatschappelijke waarde van wind-op-land stijgt met een factor 2 tot 5 fors uit boven de maatschappelijke waarde van grootschalig zon-op-land. Hierbij merken we wel op dat de impact van windmolens op het landschap op dit moment niet goed kwantitatief is uit te drukken en dat dit, afhankelijk van de subjectieve beleving daarvan, de maatschappelijke waarde van windmolens naar beneden kan doen bijstellen.



Figuur 2. **NCW-resultaat 2030 voor acht alternatieven. Stippenlijn geeft resultaat boven- en onderwaarde weer.**

Navolgend zijn de voornaamste resultaten weergegeven voor 2030:

- In 2030 verbetert het businesscase-resultaat van alle acht de alternatieven en alleen de alternatieven die uitgaan van zon-op-(bedrijfs)dak hebben nog een negatieve businesscase. Dit betekent dat zonneweides en wind-op-land-projecten voor 2030 zonder subsidie rendabel zijn (hierbij is geen rekening gehouden met eventuele belastingen). Twee voornaamste oorzaken zijn de dalende investeringskosten en een hogere opbrengst als gevolg van technologische ontwikkelingen.
- De meerwaarde vanuit maatschappelijk oogpunt voor projecten neemt in de tijd af. Dit komt voornamelijk doordat de baten van een ton vermeden CO₂-uitstoot afnemen. Voor zon-op-daken van particulieren neemt de maatschappelijke waarde nog wel toe. Dit komt voornamelijk door de verwachte (sterke) daling in installatiekosten.
- Zon-op-woningen heeft in 2021 een slechte businesscase. In vergelijking met de andere alternatieven leunt dit alternatief vandaag flink op belastingvoordelen, zoals onder andere de salderingsregeling. De businesscase, zonder belastingvoordelen, zal echter sterk verbeteren richting 2030. Bovendien zijn de maatschappelijke baten van zon-op-woningen zeer groot, vergeleken met de andere alternatieven (in 2030). Hierdoor wordt de relatief slechtere businesscase vanuit maatschappelijk perspectief volledig gecompenseerd.

Voornaamste indicatoren/onzekerheden

Voor een aantal indicatoren geldt dat er veel onzekerheid is in hoe deze zich ontwikkelen in de tijd, voor andere indicatoren geldt dat ze per projectlocatie sterk kunnen verschillen.

Hiernavolgend geven we de belangrijkste onzekerheden weer:

- *Ontwikkeling elektriciteitsprijs:* De langetermijnelectriciteitsprijs (het gemiddelde) voor zon en wind wordt bepaald op basis van twee factoren, namelijk de marktprijs en een afslag vanwege profiel- en onbalans(kosten). Het PBL berekent in de KEV voor de komende vijftien jaar hoe de elektriciteitsprijs zich gaat ontwikkelen. De resultaten verschillen tussen de KEV2019 en de KEV2020 sterk, en komt voor een groot deel vanwege nieuwe inschattingen over het aandeel hernieuwbare opwek in het elektriciteitsstelsel. Hoe hoger het aandeel hernieuwbare opwek hoe lager de gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsprijs.
- *De ontwikkeling van de waarde van Garanties van Oorsprong (hierna: GvO's):* bij verkoop van duurzame elektriciteit aan het net heeft een leverancier de mogelijkheid om GvO's aan derden te verkopen, zodat deze administratief hun verbruik kunnen vergroenen. De waarde van een GvO hangt net als de elektriciteitsprijs af van vraag en aanbod. Echter, de waarde van een GvO zal richting 2050 waarschijnlijk steeds minder waard worden, aangezien dan een steeds groter deel van de elektriciteitsvoorziening duurzaam is/wordt opgewekt.
- *Impact op woningwaarde:* de (mogelijke) komst van een windmolenpark waar dan ook doet meestal stof opwaaien; men is van mening dat de woning met zicht op de windmolen in waarde afneemt. Uit onderzoek blijkt dit tot op zekere afstand (tot 2 a 2,5 km vanaf dichtstbijzijnde turbine) het geval te zijn. De daadwerkelijke impact hangt echter sterk af van het aantal woningen in de buurt van het park en de gemiddelde WOZ-waarde van de woningen. In de MKBA is uitgegaan van een aantal gestileerde hypothetische locaties, waarbij de waardedaling (combinatie afstand tot het windpark en het aantal woningen maal hun WOZ-waarde) lastig was om goed in te schatten. Uit onderzoek blijkt namelijk dat 'slechts' 25 turbines voor meer dan de helft aan het totale verlies van woningwaarde te relateren is. Er zijn dus grote uitschieters naar boven. In deze MKBA is daarom uitgegaan van enerzijds het gemiddelde voor woningwaardedaling stedelijk en anderzijds de mediaan voor impact landelijk.

Bij een daadwerkelijk project dient gerekend te worden met lokale factoren en zal over het algemeen gelden dat hoe dichter bij bebouwing, hoe lager de maatschappelijke waarde van een project is.

- *Ontwikkeltermijn zon/wind project (in jaren vanaf start RES):* Voor zowel zon als wind-op-land geldt dat er een aantal jaren overheen gaan voordat een project daadwerkelijk elektriciteit aan het net kan leveren. Dit komt omdat eerst met betrokken partijen nagedacht wordt over de vragen, wat (zon of wind), waar (locatie) en hoe (bijvoorbeeld de eigendomsvorm); vervolgens dienen plannen nader uitgewerkt te worden, moeten vergunningen en/of subsidies aangevraagd worden; en tenslotte vindt er nog constructie plaats. Door het gegeven dat reductie van CO₂-uitstoot vandaag een hogere maatschappelijke waarde heeft dan CO₂-uitstoot morgen, maakt de ontwikkeltermijn veel uit voor hoe de verschillende alternatieven zich tot elkaar verhouden.¹ In de MKBA is men ervan uitgegaan dat zon-op-dak (van particulieren of met een hoog percentage eigen gebruik) het snelst te realiseren is, gevolgd door zonneweides en zon op dak met een laag percentage eigen gebruik. Het realisatietraject van wind-op-land neemt meerdere jaren in beslag, waar over het algemeen een repowering-project dat in landelijk gebied (niet zijnde natuurgebied) gerealiseerd wordt het snelst operationeel is en een stedelijk greenfield project het minst snel.

Niet te waarderen/monetariseren effecten:

Tenslotte merken we op dat niet alle effecten in geld zijn uit te drukken en daarmee geen onderdeel van de MKBA-berekening zijn. Dit zijn onder andere: polarisatie van de bevolking, (verlies) van landschapskwaliteit, burgerparticipatie en sociale cohesie, energieonafhankelijkheid en kennisontwikkeling, de voornaamste hiervan zijn:

- Voor de zon-pv-alternatieven geldt dat ze overwegend een positief effect hebben op participatie van burgers in de algehele energietransitie, al is momenteel onbekend in welke mate financiële participatie van omwonenden in zonneweides daadwerkelijk plaatsvindt. Hierbij merken we wel op dat het risico bestaat dat de huidige belasting- en subsidieregels ervoor zorgen dat polarisatie tussen de bevolking kan optreden. Het is namelijk niet voor elk huishouden even gemakkelijk om bijvoorbeeld zelf in een zonne-installatie te investeren of op andere wijze financieel te participeren.
- Wij schatten in dat voor alle alternatieven geldt dat het effect op energieonafhankelijkheid en kennisontwikkeling overwegend positief is.
- Voor wind-op-land (en meestal ook voor zonneweides²) geldt dat de komst waarschijnlijk een negatieve impact heeft op de natuurlijke kwaliteiten van het landschap. Nieuwe windmolens hebben een tiphoogte tot wel 250 meter en zijn van veraf goed zichtbaar. De mate van impact heeft onder andere te maken met hoe windparken ingepast worden. Volgens een Handreiking over inpassing van windparken in het landschap uit 2013 is het belangrijk om bij het ontwerp en de beoordeling van een locatie voor een windturbine de kenmerkende kwaliteiten van het landschap centraal te stellen. Mocht dit niet (meer) mogelijk zijn – bijvoorbeeld vanwege onvoldoende geschikte locaties³ – dan luidt de aanbeveling om windmolens te clusteren en bijzondere landschappen van formaat te vrijwaren van de effecten van windturbines. Hierdoor blijft de totale landschapskwaliteit die Nederland rijk is zo veel als mogelijk gewaarborgd en kan toch invulling gegeven worden aan de opgave van de energietransitie.

¹ Voor het bepalen van de maatschappelijke waarde van vermeden emissies werken we met profielen, zowel voor de hoeveelheid vermeden emissies (in ton emissies per MWh elektriciteit) als voor de prijs van de vermeden emissies (in euro per ton emissies). De waarde van de vermeden emissies in euro per MWh elektriciteit is dan het product van bovenstaande. Tussen 2020 en 2030 neemt de emissiefactor van Nederlandse stroom af, maar nemen de prijzen van de emissies toe. Het netto resultaat is dat de maatschappelijke waarde van vermeden emissies afneemt. Met andere woorden, het is meer waard om CO₂ nu te vermijden in 2021 dan in bijvoorbeeld 2024. In deze aanpak zit impliciet de aanname dat in 2050 het Nederlandse elektriciteitssysteem CO₂ neutraal is. Omdat er dan dus geen CO₂-emissies meer vermeden worden (de Nederlandse elektriciteitssector stoot namelijk geen CO₂ meer uit), zijn de baten ook nihil.

² Voor zonneweides is een positief effect waarneembaar op de biodiversiteit. Dit effect is ook meegenomen in de MKBA, dit effect is anders dan effect van 'zicht op een zonneweide'.

³ Denk dan aan een forse dijk aan het water; deze locatie leent zich vanuit landschappelijk oogpunt nog wel voor plaatsing van zeer hoge turbines. Dit gaat voor de meeste andere locaties niet (meer) op.

Geïnterviewde experts stellen voor om (met spoed) te werken aan kennis- en visievorming over de ontwikkeling van nieuwe (wind)energielandschappen. Bij besluitvorming over locatiekeuze speelt het goede bestuurlijke gesprek tevens een belangrijke rol.

Ook is momenteel onduidelijk in hoeverre de ambitie van 50% lokaal eigendom (Klimaatakkoord) voldoende wordt nagestreefd. Inzetten op nastreven van deze doelstelling kan bijdragen aan het draagvlak voor de energietransitie.

Conclusies

- De huidige systematiek van de SDE, die voornamelijk vanuit het perspectief van de businesscase kijkt, houdt onvoldoende rekening met alle effecten van zon- en wind-op-land-projecten. Hierdoor worden projecten geprioriteerd welke de laagste subsidie-intensiteit hebben per vermeden ton CO₂, en wordt onvoldoende rekening gehouden met maatschappelijke effecten. Indien de SDE-systematiek ook rekening zou houden met indirecte en externe effecten worden projecten met een hogere maatschappelijke waarde concurrerender en krijgen daardoor prioriteit.
- Afhankelijk van de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs op lange termijn kunnen zonneweides en mogelijk ook zon-op-bedrijfsdaken na afloop van de SDE++ (2025) subsidieloos gerealiseerd worden. Mocht de elektriciteitsprijs zich volgens de KEV2019 ontwikkelen dan verwachten we voor zonneweides dat dit in de tweede helft van het huidige decennium het geval is. Voor zon-op-bedrijfsdaken gaat dit dan aan het eind van het decennium pas op en voor zon-op-dak van particulieren wordt dit in het begin van het volgend decennium pas gerealiseerd. Echter, in de situatie dat de elektriciteitsprijs de KEV2020-prognose volgt, is het zeer de vraag of zon-pv-projecten (in 2030) zonder subsidie gerealiseerd kunnen worden.
- Projecten die later in de tijd gerealiseerd worden dragen minder bij aan de maatschappij (vanwege afnemende baten van CO₂-reductie die later in de tijd plaats vindt). Bij het toekennen van de SDE++ kan men hier in de beoordeling van projecten meer rekening mee houden. De toevoeging van de verplichte transportindicatie in de SDE-najaarsronde van 2019 is hier een goed voorbeeld van. Zon-op-daken van particulieren kennen over het algemeen nauwelijks vertraging.
- Niet iedereen heeft momenteel in gelijke mate toegang tot de bestaande financiële instrumenten (bijvoorbeeld investeren in zon-op-dak). Hierdoor neemt de kloof tussen wel-/niet vermogende huishoudens toe. Dit kan weerstand tegen de energietransitie in de hand werken.

Implicaties voor beleid

1. Verhouding opwek wind en zon in de RES

maatschappelijk niet optimaal: volgens het PBL wordt de verhouding tussen de elektriciteitsproductie (in MWh) uit wind-op-land- en zonne-energie in 2030 circa 1:1 wanneer uit wordt gegaan van de concept-RES-biedingen. Bij twee derde van de RES-regio's wordt zelfs een verschuiving richting 1:2 verwacht. Het PBL stelt dat een verhouding van ongeveer 4:1 gedurende het jaar gemiddeld voor de beste balans op het netwerk zorgt op nationale schaal. De ontwikkeling naar een 1:1-verhouding maakt dat de totale systeemkosten hoger zullen uitvallen dan wanneer een groter aandeel met wind wordt gerealiseerd. Daarnaast speelt ook dat de inkomsten die een projectontwikkelaar ontvangt voor verkoop van elektriciteit opgewekt uit zon hierdoor waarschijnlijk lager zullen zijn. Kijkend naar de resultaten uit de MKBA – welke geen rekening houdt met een aantal zeer lastig te kwantificeren effecten zoals verlies van landschapskwaliteit – blijkt dat meer inzet in de RES op wind-op-land maatschappelijk een verantwoorde keuze is.

2. Kijk bij inpassen van een windpark naar meer

dan alleen direct financiële factoren: men dient bij ontwikkeling van wind-op-land dan goed te kijken in welke mate landschappen met een hoge waarde, natuur- en broedgebieden en gebieden met hoge woondichtheid ontzien kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld bewerkstelligd worden door juist wind-op-land te clusteren op locaties waar de negatieve externe effecten het kleinst zijn. Met omwonenden dient dan wel goed nagedacht te worden over hoe financiële participatie vormgegeven wordt, aangezien men een 'probleem' op een andere locatie 'oplost'.

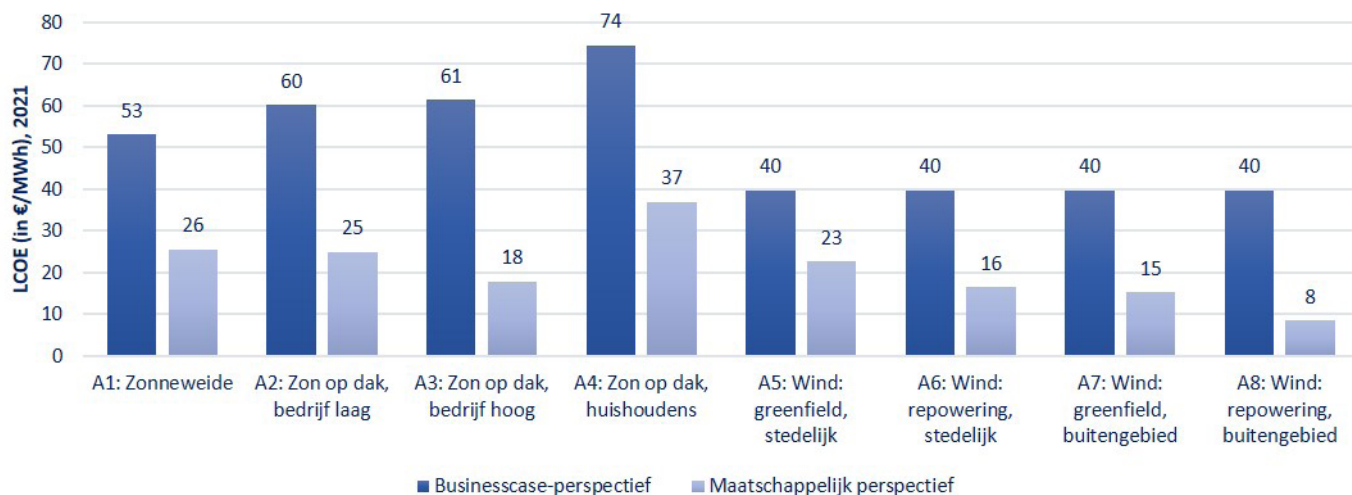
- 3. Kort ontwikkeltijd van projecten in:** eventuele vertraging van een project heeft grote gevolgen voor de maatschappelijk waarde van een project, aangezien de waarde van een vermeden ton CO₂ in de tijd afneemt. Het Rijk, provincies, gemeenten en overige betrokken organisaties kunnen de maatschappelijke waarden van projecten vergroten door zich in te spannen om de totale ontwikkeltijd van zowel zon als wind te verkleinen.
- 4. Opwek moet ook na 2025 kunnen:** in het Klimaatakkoord is opgenomen dat de SDE voor zon en wind stopt na 2025. Om in de periode 2025-2030 zonneweides en zon-op-bedrijfsdaken rendabel te ontwikkelen, moeten kosten sneller dalen dan nu aangenomen (in geval van wind dient daling zoals beoogd daadwerkelijk plaats te vinden) of moet de gemiddelde elektriciteitsprijs hoger uitvallen dan nu voorspeld. Indien kosten niet (tijdig) voldoende dalen, kan ervoor gekozen worden om langer subsidies beschikbaar te stellen dan nu voorgenoemen. Dit kunnen zowel subsidies op prijs als vraagstimulerend beleid zijn (bijvoorbeeld door het stimuleren van of wegnemen van barrières voor flexibilisering van de vraag, opslag en conversie (P2X)). Ook beleid dat de vraag naar elektriciteit laat verschuiven naar momenten met bijvoorbeeld veel zon- /winduren (denk aan opladen van EV, wasmachines, maar ook industriële processen) levert een bijdrage aan de rentabiliteit van projecten na 2025 en verlaagt totale uitgaven van de SDE.
- 5. Zon-op-dak (van particulier/hog eigen gebruik) blijven stimuleren:** de businesscase van zon-op-daken van particulier is waarschijnlijk in de periode vlak na 2030 ook zonder subsidies of belastingvoordelen positief. Het argument om dit alternatief van opwek van zonne-energie te stimuleren vanuit kwantitatief oogpunt neemt daarmee af. Desondanks kan het – vanwege het in vergelijking met bijvoorbeeld zonneweides of wind-op-land overwegend grotere draagvlak – vanuit kwalitatief oogpunt toch relevant zijn om zon-op-dak ook na 2030 met bijvoorbeeld belastingvoordelen aantrekkelijker te maken. Hierdoor wordt een groter deel van de totale elektriciteitsvoorziening dicht bij de eindgebruiker opgewekt.

6. Na 2030 (mogelijk) indirecte kosten internaliseren:

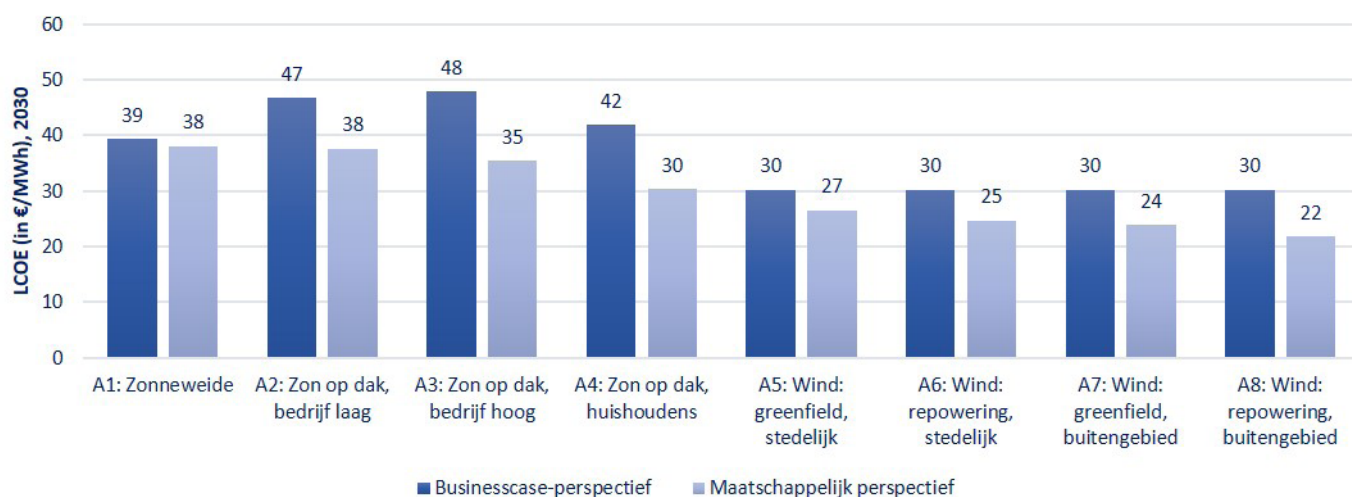
Na 2030 nemen de kosten voor realisatie van duurzame opwek verder af. Indien ook de maatschappelijke baten van alternatieven afnemen (bijvoorbeeld vanwege afnemende baten van CO₂-reductie) kan in de periode 2030-2050 de situatie ontstaan dat het businesscase-resultaat van een project groter is dan de maatschappelijke waarde. Dit is een ongewenste situatie. Met betrokken instanties moet daarom tijdig nagedacht worden over hoe, wanneer en welke kosten – die momenteel op de maatschappij afgewenteld worden – opgenomen kunnen worden als kostenpost in een businesscase (het zogenaamde internaliseren van indirecte en externe effecten, zoals bijvoorbeeld kosten van netverzwaring en/of impact op woningwaarde).

Addendum: break-even prijs van inpassing zon en wind-op-land (LCOE)

Naast de NCW is ook van elk alternatief de break-even elektriciteitsprijs (de zogenaamde de Levelised Cost of Electricity of LCOE) berekend. Deze indicator geeft weer voor zowel de businesscase als het maatschappelijk perspectief wat de hoogte van de elektriciteitsprijs moet zijn om alle kosten (exclusief belastingen) en baten in een project te kunnen initiëren. Resultaten van de LCOE zijn met name relevant voor ontwikkelaars/investeerders en maken het mogelijk om beide perspectieven met alternatieve vormen van elektriciteitsopwekking te vergelijken, zoals bijvoorbeeld kernenergie of een biomassacentrale.



Figuur 3. LCOE resultaat 2021 voor acht alternatieven.



Figuur 4. LCOE resultaat in 2030 voor acht alternatieven.

Inhoudsopgave

MANAGEMENTSAMENVATTING.....3

1. INLEIDING12

1.1 Aanleiding12

1.2 Onze opdracht14

1.3 Leeswijzer15

2. AANPAK16

2.1 Waarom een (kengetallen) MKBA?16

2.2 Algemene uitgangspunten16

2.3 Beschrijving projectalternatieven18

3. EFFECTEN20

3.1 Directe effecten20

3.2 Indirecte effecten22

3.3 Externe effecten25

4. RESULTATEN ZON-EN-WIND-OP-LAND.....30

4.1 Resultaat 202130

4.2 Doorkijk naar 203031

4.3 Gevoeligheidsanalyse34

4.4 Beschouwing van resultaten35

BIJLAGEN37

B1. Resultaten LCOE37

B2. Kengetallen38

HOOFDSTUK 1.

Inleiding

1.1 Aanleiding

Partijen hebben met ondertekening van het Klimaatakkoord zichzelf gecommitteerd aan een forse toename van het aantal zon-pv- en wind-op-land-projecten (35 TWh opwek duurzame elektriciteit op land in 2030) om zo een reductie in CO₂-uitstoot te realiseren. Om investeringen in duurzame opwek te stimuleren is de SDE(++) subsidie in het leven geroepen. Deze subsidie prioriteert (zon- en wind)projecten die tegen de laagste kosten voor de overheid CO₂-reduceren. Projecten met de laagste CO₂-subsidieintensiteit krijgen voorrang over projecten met een hogere CO₂-subsidieintensiteit totdat het totale beschikbare budget beschikt is. De hoogte van de subsidie hangt onder andere af van de techniek en financiële parameters. Achterliggende gedachte hierbij is dat de verduurzaming tegen zo laag mogelijk nationale kosten gerealiseerd wordt. De SDE++ bijdrage aan bijvoorbeeld een windpark ligt lager dan de SDE++ bijdrage aan een zonneweide vanwege de overwegend gunstigere businesscase in 2020.⁴

Momenteel werkt men in dertig regio’s aan de Regionale Energie Strategie versie 1.0 (hierna: RES 1.0). In de RES 1.0 komt te staan wat de ambitie van een regio is voor opwek van wind- en zonne-energie in 2030 in TWh. Een eerste analyse van de concept-RES-sen (hierna: RES 0.8) toont aan dat in het komend decennium voornamelijk ingezet wordt op nieuwe zon-pv-projecten om duurzame elektriciteit op te wekken. Indien de gehele ambitie van de RES 0.8 gerealiseerd wordt⁵, wordt in 2030 voor ten minste 23 TWh zon-pv en 24 TWh wind duurzame energie op land opgewekt.⁶ (zie Tabel 1).

Realisatie van de concept-RES-ambities betekent dan ook een flinke verschuiving ten opzichte van huidig opgesteld- en SDE-beschikt zon en wind vermogen.

Thema	Plannen wind	Plannen zon	Totale productie
Huidig opgesteld	7,4	2,5	9,9
Pijplijn (SDE-beschikt)	11,0	5,9	16,9
Ambitie	5,8	14,6	20,4 + 5,2 ⁷
Totale bod RES 0.8	24,2	23,0	47,2 + 5,2

Tabel 1. **Overzicht huidig opgesteld, pijplijn (SDE-beschikt), en ambitie betreffende opwek wind en zon-op-land in 2030 (in TWh).**

Onlangs heeft het PBL een appreciatie uitgevoerd van de RES 0.8.⁸ Hieruit blijkt dat vanwege verschillende belemmeringen (denk aan: onvoldoende capaciteit op het elektriciteitsnetwerk, uitval van projecten en variatie in het weer) het daadwerkelijk opgesteld vermogen in 2030 zeer waarschijnlijk lager uitvalt. PBL verwacht dat van de totale productie wind in elk geval 1,4 TWh en mogelijk zelfs 2,4 TWh gesaneerd zal worden voor 2030. Voor de pijplijn houdt het bureau een bandbreedte aan van -10% en +20%. Deze variatie is grotendeels toerekenbaar aan de onzekerheid omtrent het realisatiepercentage van zon-pv SDE-beschikte projecten en variatie in weer.

Ten slotte verwacht PBL dat van de projecten, welke nog niet gerealiseerd zijn en nog geen SDE-beschikking voor is afgegeven (zogenaamde ambitie), 50% procent afvalt. PBL hanteert voor het deel ambitie een bandbreedte van 33% tot 66%.

Hiermee komt de totale verwachte productie in 2030 neer op 38,2 TWh, met een onderwaarde van 31,2 TWh en een bovenwaarde van 45,7 TWh.

4 Voor wind-op-land ligt het basisbedrag tussen de 40 en 56 euro/MWh. Voor zonne-energie is dit tussen de 69 en 84 eur/MWh. Let op: voor wind-op-land met een windsnelheid lager dan 6,75 m/s is de CO₂-intensiteit per vermeden ton CO₂ groter dan voor zon-op-dak-systemen, in de rangschikking krijgt laatstgenoemde daarmee voorrang in subsidie toekenning (SDE conceptadvies 2020).

5 Het is onwaarschijnlijk dat de gehele ambitie van 52,5 TWh in de concept-RES-sen gerealiseerd gaat worden, volgens de NVDE valt nog een flink deel van de ambitie af. De NVDE stelt echter ook dat zelfs met uitval het doel van 35 TWh binnen bereik lijkt.

6 Op basis van de concept-RES-sen is nog onduidelijk hoe 5,2 TWh van de ambitie ingevuld gaat worden. Dit kan zowel met wind als met zon. Dit deel van de ambitie kan ook nog in z'n geheel afvallen.

7 Een deel van de ambitie is nog niet toebedeeld aan zon of wind.

8 PBL (2021), Monitor concept-RES: een analyse van de concept Regionale Energie Strategieën.

Verschillende vormen van opwek

De verdeling in opgesteld hernieuwbaar vermogen op land (dat wil zeggen zon of wind) heeft invloed op de totale kosten van de energietransitie⁹. Dit heeft onder andere te maken met het verschil in het opwek-profiel van zon en van wind. Zonne-energie wordt veelal opgewekt (afhankelijk van welke oriëntatie men kiest) op het moment dat mensen relatief gezien minder elektriciteit gebruiken, oftewel midden op de dag. Tevens vindt de piekproductie plaats in de zomer, het moment waarop de elektriciteitsvraag voor onder andere verwarmen van de woning op z'n laagst is. Wind heeft relatief gezien een minder dag/nacht- en seizoensgebonden profiel, al kenmerkt de zomer zich door een wat lagere elektriciteitsproductie ten opzichte van de andere seizoenen. Tenslotte is het zo dat zonne-energie ongeveer een derde van het aantal vollasturen heeft vergeleken met wind. Vanwege het verschil in opwek-verbruiksprofiel van wind en zon en de kosten die netverzwaring dan wel conversie/opslag met zich meebrengen is in Nederland de discussie gaande of de ambities opgenomen in de RES 0.8 (dat wil zeggen de conceptverdeling van opgesteld zon- en windvermogen) maatschappelijk optimaal zijn.

Verschillende kosten

Daarnaast is er in veel RES-regio's een stevige discussie gaande over de inpassing van wind en zon-pv-projecten, onder andere vanwege het gebruik van schaars beschikbare ruimte en de gepercipieerde overlast¹⁰. Bij de ontwikkeling van windparken of zonneweides, zeker in een dichtbevolkt land als Nederland, zijn zaken als ruimtelijke inpassing, landschapswaarden, financiële participatie, impact op woningwaarde en biodiversiteit belangrijke vraagstukken. In de huidige SDE++ toewijzingsmethodiek wordt geen rekening gehouden met eventuele indirecte kosten van projecten, zoals bijvoorbeeld de kosten die netbeheerders maken ten behoeve van netverzwaring. Dit type kosten wordt momenteel via de elektriciteitsrekening verdeeld over de elektriciteitsgebruikers c.q. de maatschappij. Ook wordt geen rekening gehouden met de maatschappelijke waarde van die aan een ton vermeden CO₂-uitstoot toegerekend wordt door de maatschappij.¹¹

Uit voorgaande blijkt dat het - vanuit maatschappelijk oogpunt - bij het maken van een keuze tussen de verschillende alternatieven voor opwek van duurzame energie mogelijk niet volstaat om alleen een afweging te maken die gebaseerd is op een businesscase. Om te bepalen welk alternatief van opwekking van duurzame energie vanuit maatschappelijk oogpunt wenselijk is, kan een MKBA uitkomst bieden. Een MKBA biedt bijvoorbeeld antwoord op de vraag of een windpark beter past in het buitengebied of nabij een stedelijk gebied. In een MKBA worden naast businesscase-indicatoren namelijk ook maatschappelijke indicatoren, zoals beslag op beschikbare ruimte, impact op landschapskwaliteit en inpassing in het elektriciteitsnet meegewogen om zo'n vraag te beantwoorden.

Enpuls is van mening dat een cijfermatige onderbouwing van de maatschappelijke effecten van varianten van inpassing van duurzame opwek meerwaarde heeft voor het voeren van een constructieve discussie bij de keuze voor de verdeling van opgesteld vermogen zon en wind. Daarom heeft Enpuls aan Berenschot en Kalavasta¹² gevraagd te onderzoeken:

1. wat de maatschappelijke waarde is van enkele alternatieven van zonne-energie op dak en land¹³
2. wat de maatschappelijke waarde is van enkele alternatieven van windenergie op land; en om
3. de maatschappelijke waarde van deze alternatieven met elkaar te vergelijken.

Dit rapport gaat in op de hiervoor vermelde vragen en vergelijkt in totaal acht hypothetische projectalternatieven, vier voor zon en vier voor wind. Om de vergelijking tussen wind en zon uit te kunnen voeren, is voor elk alternatief uitgegaan van een opgesteld vermogen van 7,5 MW. Deze hoeveelheid opgesteld vermogen komt voor bij zowel wind- als zonprojecten in de pijplijn van de SDE++.

⁹ Volgens het PBL is de totale variatie van wind en zon samen minder groot dan apart en is een verhouding van respectievelijk 4:1 optimaal voor de balans op het netwerk. De RES 0.8 ambities streven af op een verhouding van 1:1.

¹⁰ Zie onder andere Schneider, 2019 (voor link klik [hier](#))

¹¹ NB volgens het CPB ligt de efficiënte CO₂-prijs (van toepassing in een MKBA) in 2020 hoger dan de CO₂-subsidie-intensiteit die van toepassing is op zon- en wind-op-land-projecten

¹² Berenschot heeft zicht gericht binnen deze studie op de data verzameling, analyse en verslaglegging, Kalavasta op de ontwikkeling van het rekenmodel.

¹³ Zie: Berenschot & Kalavasta, 2020. Maatschappelijke kosten-batenanalyse naar toekomstige inpassing van drie alternatieven voor opwek van zonne-energie.

1.2 Onze opdracht

Het doel is om te komen tot een integrale MKBA tussen alternatieven voor het duurzaam opwekken van elektriciteit op land. Een MKBA is een integraal afwegingsinstrument dat alle welvaartseffecten vergelijkt door deze zoveel mogelijk in geld uit te drukken. Er is gekozen om een kengetallen MKBA uit te voeren. Het voordeel van deze aanpak is dat er geen projectspecifieke details nodig zijn, terwijl er wel een gekwantificeerd beeld wordt gegenereerd dat van toepassing is op nagenoeg elke locatie in Nederland. Hierdoor is het mogelijk om op basis van deze MKBA generieke uitspraken te doen. Indicatoren gehanteerd voor deze studie kunnen gebruikt worden bij het uitvoeren van een MKBA van een specifieke casus, al dient dan wel rekening gehouden te worden met lokale factoren.

In deze MKBA worden acht projectalternatieven met elkaar vergeleken. De vier alternatieven voor zon verschillen op gebied van locatie (dak of land) en in omvang (centraal of verspreid over meerdere locaties). De vier alternatieven voor wind verschillen ook op twee kenmerken. Enerzijds is er verschil in type projectontwikkeling. Het kan namelijk gaan om ontwikkeling op een geheel nieuwe locatie (hierna: greenfield) of om ontwikkeling op een locatie met een bestaande windmolen die gesaneerd wordt (hierna: repowering). Daarnaast is er verschil in locatie. Een project kan nabij stedelijk gebied of in het buitengebied gerealiseerd worden. Ten slotte is er ook een verschil in windsnelheid op een locatie. Dit heeft veel invloed op de investeringskosten en te realiseren opbrengsten. In de basissituatie gaan we ervan uit dat het windpark in een windzone met windsnelheid van 7,5 tot 8,0 m/s staat.

De acht onderzochte alternatieven zijn:

- alternatief 1: zonneweide, in het buitengebied (op agrarisch grondgebied)
- alternatief 2: zonne-installatie op dak, op daken van een bedrijventerrein, en een laag % eigen verbruik
- alternatief 3: zonne-installatie op dak, op daken van een bedrijventerrein, en een hoog % eigen verbruik
- alternatief 4: zonne-installatie op dak, verspreide woningen, installatie in eigendom woningeigenaar
- alternatief 5: wind-op-land, greenfield, nabij stedelijk gebied
- alternatief 6: wind-op-land, repowering, nabij stedelijk gebied
- alternatief 7: wind-op-land, greenfield, in het buitengebied (op agrarisch grondgebied)
- alternatief 8: wind-op-land, repowering, in het buitengebied (op agrarisch grondgebied).

De effecten van de alternatieven zijn afgezet tegen een nulalternatief. In het nulalternatief is er geen additionele opwekking van duurzame elektriciteit en afhankelijk van het gekozen alternatief kan er sprake zijn van agrarische bedrijvigheid op geselecteerde gronden. De alternatieven worden met elkaar vergeleken op basis van de verschillende directe, indirecte en externe kosten en baten die ze veroorzaken. Inzicht in deze drie effecten maakt het mogelijk om de alternatieven vanuit twee perspectieven te beoordelen, te weten het businesscase- en het maatschappelijk perspectief. In het maatschappelijk perspectief blijven subsidies en belastingen buiten beschouwing.¹⁴ Vanwege de focus van deze studie op het maatschappelijk perspectief is ook in het businesscase-perspectief geen rekening gehouden met eventuele subsidies en belastingen. Beide perspectieven zijn in de volgende tabel toegelicht.

Businesscase-perspectief (directe kosten en baten van een project)

Het businesscase-perspectief heeft betrekking op de directe kosten en baten die het gevolg zijn van investeringsbeslissingen op het niveau van een individueel project. Dit zijn bijvoorbeeld de financiële kosten en baten voor de investeerders (pacht grond), voor bedrijven (kosten onderhoud) of afdracht aan een omgevingsfonds (kosten voor projectontwikkelaar), afhankelijk van de case. Belastingen en subsidies zijn – vanwege de focus op het maatschappelijke effect van de alternatieven – niet meegenomen in de businesscase.

Maatschappelijk perspectief (directe, indirecte en externe kosten en baten van een project)

Het maatschappelijk perspectief kijkt naar de directe, indirecte en externe kosten en baten van een alternatief. Dit perspectief is van belang om de voor- en nadelen voor de B.V. Nederland van een alternatief mee te beoordelen. Zaken zoals belastingen en subsidies (bijvoorbeeld SDE++) zijn niet relevant op het niveau van de B.V. Nederland. Kosten die wel relevant zijn voor het maatschappelijk perspectief, maar niet voor de businesscase, zijn bijvoorbeeld de kosten van netverzwaring en kosten vergunningsverlening. Maar ook kosten (of baten) waar geen marktprijs voor bestaat. Dit zijn bijvoorbeeld de impact op het landschap en de biodiversiteit, kennisontwikkeling, draagvlak voor de energietransitie en vermeden CO₂-emissies (exclusief baten vanuit verkoop GvO's en ETS-rechten).

Tabel 2. Toelichting businesscase- en maatschappelijk perspectief.

¹⁴ Omdat de scope van de studie de B.V. Nederland betreft zijn belastingen en subsidies niet relevant. Belastingen zijn kosten voor een project, en baten voor Nederland. Subsidies zijn inkomsten voor een project en kosten voor de overheid. In een MKBA wordt uitgegaan van een efficiënte overheid en dat verdeling van gelden in elk geval geen negatief effect heeft op de welvaart. Het effect 'bovenwettelijke activiteiten', waar een projectontwikkelaar bijvoorbeeld geld in een buurtfonds stalt, heeft netto geen impact, maar tonen we wel op de balans (twee maal) aangezien het wel tot een verdeling van lasten en lusten leidt.

In de bijlage is een overzicht opgenomen van alle directe, indirecte en externe effecten (kosten en baten) waar in deze studie rekening mee gehouden is. In hoofdstuk 3 zijn ze nader toegelicht.

De verschillende resultaten zijn middels de Netto Contante Waarde (NCW)-methodiek, de standaardwijze om alternatieven in een MKBA met elkaar te vergelijken, met elkaar vergeleken. De NCW van een project toont de waarde van een project indien alle kosten en baten naar het jaartal 2020 verdisconteerd zijn.¹⁵ Hierdoor zijn kosten en baten met een verschillende levensduur-/discontovoet goed met elkaar te vergelijken. Navolgend is op hoofdlijnen uiteengezet hoe de uitkomsten van een NCW-analyse te interpreteren.

	Businesscase perspectief	Maatschappelijk perspectief
Resultaat NCW = positief	Project is winstgevend (exclusief belastingen). Er is geen argument voor subsidie.	Positieve directe, indirecte en externe effecten zijn groter dan eventuele negatieve effecten. Project vergroot totale welvaart.
Resultaat NCW = negatief	Project is verlieslatend en indien het maatschappelijk perspectief positief is, kan gekozen worden voor subsidiëring	Project heeft meer negatieve dan positieve effecten. Er is een argument voor additionele heffingen.

Onze verwachting is dat de NCW van het businesscase-perspectief momenteel negatief is¹⁶ en dat het maatschappelijk perspectief positief is. Indien op termijn de NCW van de businesscase positief wordt, is er geen noodzaak meer om subsidie beschikbaar te stellen. In het geval dat de NCW van de businesscase hoger wordt dan de NCW maatschappelijk, is er een argument om een deel van de indirecte kosten die nu op de maatschappij afgewenteld worden binnen de businesscase te internaliseren.

Naast de NCW is ook van elk alternatief de break-even elektriciteitsprijs (zogenaamd de Levelised Cost of Electricity of LCOE) berekend. Deze indicator geeft voor zowel de businesscase als het maatschappelijk perspectief weer wat de hoogte van de elektriciteitsprijs moet zijn om alle kosten en baten in een project te kunnen internaliseren.¹⁷ Resultaten van de LCOE zijn met name relevant voor ontwikkelaars/investeers. Beschrijving van deze indicator en de resultaten zijn daarom apart in de bijlage opgenomen.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geven we een beknopte uitleg van wat een MKBA is, gaan we in op de acht projectalternatieven en beschrijven we de algemene uitgangspunten van de studie. Vervolgens beschrijven wij in hoofdstuk 3 welke kosten- en batenindicatoren meegenomen zijn in de analyse. In dit hoofdstuk beschrijven wij achtereenvolgens onze aanpak om de directe, indirecte en externe effecten te bepalen. In hoofdstuk 4 tonen en duiden wij achtereenvolgens de resultaten voor de vier alternatieven voor zon- en wind-op-land. Eerst beschrijven wij inzichten voor de situatie in 2020, vervolgens geven wij een doorkijk naar 2030 en tenslotte zijn de resultaten van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse weergegeven. Ook hebben wij een beschouwing op de resultaten opgenomen. In de beschouwing gaan wij in op de overige factoren die van belang zijn bij het maken van afwegingen. Ten slotte is in de bijlagen voor elk effect het gehanteerde kengetal en de bron van dit kengetal te raadplegen. Ook zijn hier de resultaten van de LCOE voor 2020, 2030 en 2050 opgenomen en is de opbouw van kosten en baten voor de NCW in 2020 zichtbaar.

¹⁵ Effecten die verder in de toekomst plaatsvinden, zijn vandaag de dag minder waard. Dit komt onder andere door de afname van de waarde van geld als gevolg van inflatie. In de NCW-methodiek gebruikt men voor de afwaardering van effecten in de toekomst een discontovoet. De discontovoet is verschillend voor allerlei type effecten.

In de studie kijken we ook naar de businesscase en maatschappelijke effecten indien het startjaar 2030 of zelfs 2050 is. Resultaten voor 2050 zijn vanwege de zeer grove inschattingen over bijvoorbeeld ontwikkeling van kosten van een windpark niet in hoofdstuk 4 gerapporteerd, maar wel beschikbaar in het Excelmodel.

¹⁶ Voor wind hangt dit af van twee zaken: 1) windsnelheid, bij hogere windsnelheden is in sommige gevallen geen subsidie meer nodig en 2) hoogte van inkomsten uit verkoop van Garantie van Oorsprong certificaten. NB de SDE brengt inkomsten uit verkoop GvO's in mindering op uit te keren subsidie; in een MKBA kijk je niet naar inkomsten uit subsidies en passen we deze correctie dan ook niet toe.

¹⁷ Bij berekening van de LCOE wordt geen rekening gehouden met eventuele inkomsten uit verkoop van GvO's. Indien er inkomsten uit verkoop van GvO's zijn dienen deze in mindering gebracht te worden op de LCOE.

HOOFDSTUK 2.

Aanpak

2.1 Waarom een (kengetallen) MKBA?

Een MKBA is een methode om overzichtelijk alle effecten (kosten en baten) van een project in kaart te brengen. Naast de gebruikelijke (directe) kosten en baten van een businesscase worden in een MKBA ook de indirecte kosten en baten en externe effecten meegenomen. Eventuele effecten die buiten de directe scope van een project vallen (bijvoorbeeld CO₂-reductie of geluidsoverlast) – en dus door een projectontwikkelaar niet/minder meegenomen worden in besluitvorming, maar wel voor bijvoorbeeld een beleidsmaker relevant zijn – worden op deze wijze inzichtelijk gemaakt. In deze studie is de scope de B.V. Nederland. Naast het identificeren van alle effecten worden effecten in een MKBA veelal ook gekwantificeerd en vervolgens vertaald naar een marktwaarde (in euro's).

Indien een MKBA voor meerdere projectalternatieven wordt uitgevoerd, kan door de resultaten met elkaar te vergelijken (bijvoorbeeld door naar de netto contante waarde van elk alternatief te kijken) geïnformeerd een keuze gemaakt worden tussen de alternatieven. Projecten met verschillende ordegrrootte en/of effecten kunnen op deze manier met elkaar vergeleken worden. Een MKBA biedt inzicht en dient als hulpmiddel bij (ruimtelijke) besluitvorming vraagstukken.

Er zijn drie soorten MKBA. Ten eerste is er de multi-criteria-analyse, deze geeft een kwantitatief beeld van de directe kosten en een kwalitatief beeld van de maatschappelijke effecten. Ten tweede is er de kengetallen-MKBA. Hiermee kunnen generieke projectalternatieven met elkaar vergeleken worden. Input voor een kengetallen MKBA komt veelal uit eerder uitgevoerde studies en hierdoor kunnen de meeste van de gevonden effecten gekwantificeerd en gemonetariseerd worden. Tenslotte kan ervoor gekozen worden om een volledige MKBA uit te voeren. Hiervoor kiest men indien men voor een concreet project monetair inzicht in kosten en baten wil.

Dit onderzoek heeft als doel generieke uitspraken te kunnen doen over het effect van alternatieven voor opwek van weersafhankelijke opwek van elektriciteit op land. Daarom is gekozen voor een kengetallen-MKBA.

2.2 Algemene uitgangspunten

In de MKBA zijn enkele uitgangspunten en aannames gemaakt die gelden voor elk van de alternatieven. Ten eerste is uitgegaan van een vermogen van 7,5 MW voor alle alternatieven. Dit aantal MW is voor een gemiddeld wind-op-land-project aan de kleine kant¹⁸, maar niet ondenkbaar. Uit een analyse van SDE-beschikkingen blijkt dat turbines in de categorie 7,5-8,0 m/s windsnelheid 3.510 vollasturen¹⁹ hebben. In onze analyse gebruiken we deze windzone als standaard. In het rekenmodel kan ook gerekend worden met de laagste windsnelheid categorie (< 6,75 m/s; 2.650 vollasturen) en de hoogste windsnelheid die in Nederland voorkomt (≥ 8,5 m/s; 4.200 vollasturen). Voor zonnepanelen gaan we uit van 950 vollasturen levering voor een zonneweide, voor 900 vollasturen voor zon-op-dak grootschalig en voor 921 vollasturen voor zon-op-dak bij een particulier.²⁰ Conform de SDE++ neemt het aantal vollasturen bij zon-pv vanaf jaar 15 met gemiddeld 5 procent af.

Daarnaast geldt voor de wind-op-land-alternatieven dat de dichtstbijzijnde windmolen op een afstand van ten minste 400 meter van de woningen is gesitueerd. Volgens onderzoek van M+P (2015) is deze afstand de vertaling van de wettelijke geluidsnorm²¹ van de afstand van een woning tot een windpark.

¹⁸ Een analyse van de lijst met SDE-beschikkingen (>1 MW) voor 2019 geeft als gemiddeld vermogen van geplande projecten 12,5 MW. Volgens NWEA is dit echter eerder 15 MW, en is het verschil te verklaren doordat soms wind-op-land-aanvragen niet per park, maar per turbine worden gedaan in de SDE++.

¹⁹ Dit betekent dat projecten gemiddeld in de windsnelheidscategorie ≥ 7,5 en < 8,0 m/s vallen.

²⁰ In deze cijfers is rekening gehouden met het rendement van de omvormers, voor grootschalig zon is dit 98%, voor kleinschalig zon is dit 95%.

²¹ Het geluid van een windmolen mag gemiddeld niet meer dan 47 decibel per jaar zijn bij woningen, gemeten op de gevel. Overdag is het geluid van windmolens vaak niet te horen, doordat ook veel ander geluid aanwezig is. 's Nachts is de windmolen beter te horen. Daarom mag het geluid 's nachts niet meer dan

Deze afstand tot bebouwing is volgens onderzoek door M+P minder dan de afstand die onze buurlanden aanhouden²²; daarentegen is de afstand gelijk aan de afstand die in Nederland voor de aanleg van een nieuwe snelweg, een nieuwe spoorverbinding of een nieuw industrieterrein geldt.

Voor zowel zon als wind geldt dat we uitgaan van 3% transportverliezen.²³ De technische levensduur van een turbine is, conform inschatting van het PBL, twintig jaar. De technische levensduur van zon is langer en in deze studie gaan we uit van 25 jaar.

Start levering duurzame elektriciteit

Een laatste – maar zeer belangrijk – verschil tussen de alternatieven is de ontwikkeltermijn gezien vanaf het startjaar. De ontwikkeltermijn van een zon-pv en wind-project heeft een grote invloed op de maatschappelijke waarde van een project. Des te eerder een project gerealiseerd wordt, des te eerder kan hernieuwbare energie opgewekt worden. Eerdere opwek leidt eerder tot CO₂-reductie, vanwege de dalende meerwaarde van reductie van CO₂ in de tijd, heeft dit vanuit maatschappelijk oogpunt veel impact op het onderlinge resultaat²⁴.

In de RES-sen wordt gezocht naar geschikte locaties om additioneel zon-pv en wind-op-land-vermogen te realiseren. Daarom gaan wij er in dit onderzoek vanuit dat we nog aan de start staan van de totale ontwikkeltermijn. Als startjaar voor de zoektocht naar geschikte additionele opweklocaties hanteren we het jaar 2019. De constructieperiode voor grootschalig zon en wind-op-land is respectievelijk negen maanden en een jaar. Voor het gemak stellen we deze aan elkaar gelijk op **één** jaar. Ook duurt het voor zowel zon als wind tenminste **één** jaar voordat de SDE/financiering geregeld is. Dit maakt dat een alternatief (waarvoor onder andere geen vergunningplicht bestaat en voldoende capaciteit op het net aanwezig is) in 2021 gestart kan worden met levering van duurzame elektriciteit.

Navolgend gaan we in op de gemiddelde ontwikkeltermijn voor de alternatieven voor zon²⁵:

- De ontwikkeltermijn voor zon-op-dak (particulieren en bedrijven) is relatief kort. Wij nemen aan dat zon-op-dak-projecten van particulieren waar men in 2019 is begonnen met nadenken in 2021 gereed zijn, financiering en beschikbaarheid van een installateur zijn hier de voornaamste randvoorwaarden.
- Voor zon-op-dak van bedrijven verschilt de ontwikkeltermijn tussen het alternatief met een hoog en een laag eigen verbruik.
 - Zon-op-dak van bedrijven met een hoog eigen verbruik is snel te realiseren, net als zon-op-dak van particulieren houden we 2021 aan. Op termijn speelt hier echter wel dat er steeds minder geschikte daken beschikbaar zijn en/of dat de kosten toenemen vanwege toenemende kosten dakconstructie.
 - De ontwikkeltermijn van zon-op-dak-bedrijven met een laag eigen gebruik duurt volgens HollandSolar (de brancheorganisatie) gemiddeld genomen langer vanwege krapte op het net bij dit type projecten/locaties. Dit type projecten kent hierdoor een additionele vertraging van **één** jaar, levering kan dus vanaf 2022.
 - Voor zonneweides houden we ook een additionele ontwikkeltermijn van **één** jaar aan.²⁶ Een zonneweide kan op basis van deze uitgangspunten dus starten met leveren van elektriciteit in 2022. Afhankelijk van hoe het draagvlak van dit type duurzame opwek zich ontwikkelt, kan deze termijn nog oplopen.

De ontwikkeltermijn van een nieuw windpark bedraagt volgens NWEA tussen de vijf en tien jaar, waar vijf jaar als snel wordt gezien. De ontwikkeltermijn bestaat uit een aantal onderdelen. Ten eerste moet er gezocht worden naar een geschikte locatie in de RES. Dit is een proces waar de ontwikkelaar van het windpark een kleine rol heeft. Wij schatten in dat dit traject gemiddeld 2,5 jaar tijd in beslag neemt, al verschilt de ontwikkeltermijn sterk per alternatief (zie ook paragraaf 2.3). Vervolgens dient een ontwikkelaar de juiste vergunningen en een netaansluiting te verkrijgen, hiervoor staat gemiddeld anderhalf jaar.

gemiddeld 41 decibel zijn. Ter vergelijking: een gespreksniveau is 60 decibel, een drukke verkeersweg op 100 meter afstand 80 decibel en een opstijgend vliegtuig op 200 meter hoogte 100 decibel. Bron: <https://www.windenergie.nl/leefomgeving/geluid-van-een-windmolen>

²² <https://www.fluxenergie.nl/windmolens-mogen-in-nederland-dichter-bij-huis-staan/>
²³ RVO (2016). Grondgebonden zonneparken - Verkenning naar de afwegingskaders rond locatiekeuze en ruimtelijke inpassing in Nederland

²⁴ De efficiënte CO₂-prijs (=waarde die men toekent aan een vermeden ton CO₂ in een MKBA volgens het CPB) neemt in de periode 2020-2050 toe van een kleine € 200 tot € 600. Echter, vanwege verdiscontering (het toekennen van een lagere waarde vandaag van effecten die in de toekomst plaatsvinden) en de daling van de totale hoeveelheid CO₂-uitstoot, is de waarde van een ton vermeden CO₂-uitstoot in de toekomst minder waard.

²⁵ Wij gaan ervan uit dat de ontwikkeltermijn geen invloed heeft op de businesscase. We merken op dat uit de praktijk blijkt dat projectontwikkelaars in de businesscase een voordeel hebben bij latere investering tijdens de bouw. Dit komt met name vanwege een dalende CAPEX, OPEX en kosten van financiering. In de MKBA is hier geen rekening gehouden; in de praktijk zullen veel projecten een iets positiever resultaat kennen dan wij schetsen, al hangt dit natuurlijk af van meerdere factoren.

²⁶ In de analyse kijken we naar projecten die starten in 2020, 2030 en 2050. Voor 2030 en 2050 gelden dezelfde uitgangspunten als voor 2020, al wijken financiële parameters aan de kostenkant af vanwege technologische vooruitgang. Voor een 2030 project gaan we er dan ook vanuit dat in 2029 wordt gestart met het zoeken naar een geschikte locatie voor additionele opwek.

In een derde stap vraagt de ontwikkelaar de SDE++ aan en parallel loopt (vaak) een traject bij de Raad van State, ook een jaar. Tenslotte is er één jaar nodig voor de daadwerkelijke bouw. Een windpark waarvan de ontwikkeling in 2019 gestart is, kan op basis van deze uitgangspunten dus gemiddeld starten met leveren van elektriciteit in 2026. In paragraaf 2.3 gaan we in op de verschillen in ontwikkeltermijn voor de alternatieven voor wind.

2.3 Beschrijving projectalternatieven

Doel van de MKBA is om de maatschappelijke kosten en baten van alternatieven voor inpassing van zon-pv en wind-op-land met elkaar te vergelijken. Om de resultaten voor wind en zon goed te kunnen vergelijken komen veel van de uitgangspunten overeen, al zijn er ook verschillen. Deze paragraaf schetst de belangrijkste uitgangspunten van elk alternatief en gaat met name in op de verschillen tussen alternatieven.

Alternatief 1: zonneweide (buitengebied)



In Nederland worden in veel regio's zonneweides in het buitengebied ontwikkeld. De sector (Holland Solar) heeft samen met natuur- en milieufederaties de Gedragscode zon-op-land

opgesteld. Hierin is opgenomen dat een zonneweide in principe niet op natuurgrond wordt ontwikkeld en bij voorkeur op braakliggend terrein. Men geeft ook aan dat – om de doelstellingen uit het Klimaatakkoord te kunnen halen – zon-op-land op agrarisch grondgebied ontwikkelen onvermijdelijk is. Aangezien in deze studie elk alternatief een vermogen van 7,5 MW heeft, is er voor zon-op-land van uitgegaan dat het project op agrarische grond ontwikkeld wordt. Ontwikkelen van alternatief 1 heeft dus verlies van landbouwgrond als gevolg. Tevens gaan we ervan uit dat voor de opgewekte elektriciteit een 5,4 MW aansluiting op het elektriciteitsnet aangevraagd wordt²⁷ en dat het zonne-park een eigen gebruik van 5% heeft²⁸. Er is gerekend met een rendement van 98% van de omvormers²⁹. Ten slotte wordt uitgegaan van een technische levensduur van 25 jaar van de zonnepanelen³⁰. In deze studie is verder geen rekening gehouden met de kosten en mogelijke voordelen van curtailment (bijvoorbeeld lagere onbalans kosten) op opslag en levering op een later/gunstiger tijdstip.

Alternatief 2 en 3: zon-op-dak (bedrijventerrein), laag en hoog percentage eigen gebruik



Het alternatief zon-op-bedrijfsdaken staat hoog op de zonneladder. Ook voor dit alternatief geldt dat men in het net moet investeren en dat er effectief een 5,4 MW aansluiting nodig is. Kosten

van netverzwaring vallen echter (gemiddeld genomen) iets lager uit, omdat bedrijven een deel van de opgewekte elektriciteit zelf gebruiken. Er zijn hier twee varianten.³¹

- Alternatief 2: er wordt op grote distributiecentra een zonnepark aangelegd. Uit een analyse van PBL blijkt dat het percentage eigen gebruik dan zo'n 30% bedraagt.
- Alternatief 3: er wordt verspreid op één bedrijventerrein zon-op-dak geplaatst. Volgens het PBL is het aandeel eigen verbruik dan zo'n 60%.

Er is gerekend met een rendement van 98% van de omvormers en een technische levensduur van 25 jaar. In deze studie is verder geen rekening gehouden met de kosten en mogelijke voordelen van curtailment (bijvoorbeeld lagere onbalans kosten).

Alternatief 4: zon-op-dak (woonwijk)



Alternatief 4 betreft het plaatsen van zonnepanelen op daken van meerdere eengezinswoningen (tien per woning). In totaal wordt een vermogen geïnstalleerd verspreid

over heel Nederland dat gelijk is aan het vermogen van de andere alternatieven, namelijk 7,5 MW. De zonnepanelen zijn in eigendom van de woningeigenaar. De woningeigenaar voorziet voor 30% in zijn eigen elektriciteitsbehoefte en levert de rest terug aan het net.³² Voor alternatief 3 verwachten we dat de huidige netcapaciteit van een gemiddelde woning aansluiting voldoende is, hierdoor zijn er geen extra kosten voor netverzwaring.³³ Er is uitgegaan van een rendement van 95% van de omvormers³⁴. Het rendement voor een micro-omvormer is namelijk lager dan voor grootschalige omvormers. Tenslotte, wordt uitgegaan van een technische levensduur van 25 jaar van de zonnepanelen. Eventuele subsidies (denk aan: SDE en salderingsregeling) vallen buiten de scope van dit onderzoek (we richten ons op het maatschappelijk perspectief) en zijn niet opgenomen.

²⁷ Er wordt vaak de volgende relatie genoemd: bovenste 30% van vermogen zonnepark levert slechts 3% van de productie (kWh) op. Volgens Holland Solar is de DC/AC ratio momenteel 1,4. In de toekomst kan dit toenemen richting 1,8, waardoor benodigde netaansluiting in de tijd (op basis van 7,5 MW) afneemt tot 4,2 MW.

²⁸ PBL, 2019 basisbedragen SDE+. De term eigen verbruik verwijst naar lokaal gebruik. Het betreft gebruik van opgewekte elektriciteit welke niet over het net naar elders getransporteerd hoeft te worden.

²⁹ IRENA, 2016. The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025.

³⁰ PBL, volgens het PBL is de technische levensduur van zon-pv-projecten 25 jaar. De economische levensduur hangt in de praktijk af van met name de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs en is daarmee variabel.

³¹ PBL, 2019. Conceptadvies SDE+. Voor de categorie 5 – 10 MW betreft het eigen verbruik 25-30% (n=3). Gemiddeld gaat SDE uit van een eigen gebruik (=niet-net-levering) van 60%. Het percentage eigen gebruik heeft grote invloed op de rangschikking SDE beschikking.

³² TNO, 2020. Effect afbouw salderingsregeling op de terugverdientijd van investeringen in zonnepanelen.

³³ Indien woningeigenaren naast een zonne-installatie ook bijvoorbeeld een warmtepomp installeren en elektrisch gaan rijden, gaat dit argument mogelijk niet meer op.

³⁴ Fraunhofer ISE, 2015. Current and Future Cost of Photovoltaics.

Alternatief 5: greenfield-locatie nabij stedelijk gebied



Dit windpark wordt ontwikkeld nabij stedelijk gebied. Hierdoor staan er relatief veel woningen in de buurt van het windpark. Het windpark maakt zelf geen noemenswaardig gebruik van elektriciteit; alle opgewekte elektriciteit wordt dan ook aan het net geleverd. De technische levensduur van het windpark bedraagt twintig jaar. Wij gaan uit van een relatief lange ontwikkeltermijn van zeven jaar (inclusief bouwperiode), levering van elektriciteit start dan in 2026. Voor een greenfield-windpark nabij stedelijk gebied verwachten wij – gezien de berichtgeving hierover in de media en uit gesprekken met NWEA – namelijk de meeste weerstand en zowel het noodzakelijke participatieve proces als vergunningverlening leidt tot enige vertraging.

Alternatief 6: repowering nabij stedelijk gebied



Dit windpark wordt ontwikkeld nabij stedelijk gebied. Hierdoor staan er relatief veel woningen in de buurt van het windpark. Het oude windpark wordt gesloopt en er komt een nieuw windpark met minder maar hogere windmolens voor in de plaats. Het windpark maakt zelf geen noemenswaardig gebruik van elektriciteit. Alle opgewekte elektriciteit wordt dan ook aan het net geleverd. De technische levensduur van het windpark bedraagt twintig jaar. Volgens NWEA neemt het aantal MW van een repowering-project wel toe. Hierdoor zijn de kosten voor verzwaren van de bestaande HS/MS-station gelijk aan de kosten van een greenfield-locatie. Een repowering-project kent overwegend een groter lokaal draagvlak dan een greenfield-windpark. Wij schatten in dat de ontwikkeltermijn in zijn totaliteit hierdoor **één** jaar korter is dan het greenfield-alternatief. De totale ontwikkeltijd bedraagt daarmee zes jaar.

Alternatief 7: greenfield-locatie in het buitengebied



Dit windpark wordt ontwikkeld in landelijk gebied op agrarische grond. Hierdoor staan er relatief weinig woningen in de buurt van het windpark. Het windpark maakt zelf geen noemenswaardig gebruik van elektriciteit, alle opgewekte elektriciteit wordt dan ook aan het net geleverd. De technische levensduur van het windpark bedraagt twintig jaar. Wij gaan uit van een ontwikkeltermijn van zes jaar (inclusief bouwperiode), de levering van elektriciteit start dan in 2025. Ook voor een greenfield-windpark in het buitengebied verwachten we dat het vinden van een 'geschikte' locatie een uitdagende opgave is, al zal het wel gemakkelijker zijn dan het vinden van een locatie nabij stedelijk gebied.

Alternatief 8: repowering in het buitengebied



Dit windpark wordt ontwikkeld in landelijk gebied op agrarische grond, hierdoor staan er relatief weinig woningen in de buurt van het windpark. Het oude windpark wordt gesloopt en er komt een nieuw windpark met minder, maar hogere windmolens voor in de plaats. Alle opgewekte elektriciteit wordt aan het net geleverd. De technische levensduur van het windpark bedraagt twintig jaar. Volgens NWEA neemt het aantal MW van een repowering project wel toe. Hierdoor zijn de kosten voor verzwaren van de bestaande netaansluiting gelijk aan de kosten van een greenfield-locatie. Wij schatten in dat een repowering-project in het buitengebied overwegend het meeste draagvlak kent. Wij schatten in dat de ontwikkeltermijn vijf jaar bedraagt.

HOOFDSTUK 3.

Effecten

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de effecten die zijn geïdentificeerd voor de verschillende alternatieven. Voor elk niveau (directe effecten (businesscase-perspectief), indirecte effecten en externe effecten (maatschappelijk perspectief)) worden de voornaamste effecten beschreven en de kengetallen gepresenteerd. In de bijlage is de (rekenkundige) aanpak om tot kengetallen te komen uiteengezet en zijn bronnen opgenomen.

Voor de effecten op de drie verschillende niveaus zijn kengetallen verzameld met behulp van beschikbare studies, gesprekken met verschillende belanghebbenden en de brancheorganisaties NWEA en HollandSolar, en expertise van Berenschot en Kalavasta. Waar mogelijk zijn effecten gekwantificeerd en vervolgens gemonetariseerd. Echter, niet alle effecten zijn uit te drukken in geld. Deze effecten zijn kwalitatief meegenomen in deze MKBA.

3.1 Directe effecten

Directe effecten zijn in een MKBA de effecten (kosten en baten) die direct gekoppeld kunnen worden aan het project. De gebruikers, eigenaren en exploitanten ondervinden hier direct de gevolgen van. Voor bepaling van de directe effecten zijn de PBL SDE++ waarden gehanteerd als voornaamste input. Indien we afwijken van PBL (Eindadvies SDE++, 2021) in de directe effecten is dat aangegeven en toegelicht.

3.1.1 Directe effecten zon

Onder directe kosten vallen de investerings-, financierings- en exploitatiekosten van opwek van zonne-energie.

- De investeringskosten zijn verder uit te splitsen in kosten voor de fotovoltaïsche modules, omvormers, overige materiaal- en installatiekosten, profiel- en onbalanskosten en kosten voor recyclen. De verwachte investeringskosten in euro/Wp hebben grote impact op de businesscase. Voor alternatief 1 en 2/3 is uitgegaan van de cijfers van PBL, kosten per wattpiek zijn respectievelijk 0,54 euro/Wp en 0,57 euro/Wp. De kosten voor alternatief 4 (zon-op-dak woonwijk) zijn significant hoger en bedragen volgens TNO³⁵ 1,22 euro/Wp in 2020 (uitgaande van een 'standaard' installatie van tien panelen). Voor 2021 gaan we uit van een kostprijs van 1,18 euro/Wp, deze waarde komt uit het TNO rekenmodel indien uitgegaan wordt van een jaar-op-jaar prijsdaling van 5% in plaats van 3,5%. Wij gaan uit van een snellere daling van de kostprijs. Dit sluit namelijk aan bij de snelle daling van kostprijs grootschalig zon (welke in de periode 2019-2021 zo'n 11% bedraagt). Het verschil in kostprijs per wattpiek komt voornamelijk door het ontbreken van schaalvoordeel, meer of minder panelen heeft een relatief groot effect op de gemiddelde euro/Wp prijs^{36/37}.
- De exploitatiekosten bestaan uit twee componenten. Enerzijds zijn er de 'gewone' jaarlijkse O&M-exploitatiekosten ten behoeve van de brutoproductiemeter/prestatiecheck, verplichte verzekeringen, beveiligingsdiensten, de netwerkaansluiting (deel ondernemer) en assetmanagement. Anderzijds maakt een projectontwikkelaar kosten voor vervanging van delen van de installatie als gevolg van variërende afschrijvingstermijnen (omvormers) en moet hij rekening houden met variabele kosten (al zijn die voor zon laag).

³⁵ TNO, 2020. Effect afbouw salderingsregeling op de terugverdientijd van zonnepanelen (betreft waarde voor 2021)

³⁶ Milieucentraal, 2020. Salderingsregeling.

³⁷ In deze wattpiek prijzen is daarnaast geen rekening gehouden door het PBL met zaken zoals grondhuur en ontwikkelkosten (deze zijn in de NCW berekening apart opgenomen) en dienen daarom niet een-op-een met de euro/Wp prijs van zon-op-daken vergeleken te worden.

- Ten slotte, zijn er kosten vanwege het aantrekken van vermogen, de zogenaamde financieringskosten. Voor alternatief 1, 2 en 3 is ervan uitgegaan dat projecten voor respectievelijk 10% met eigen vermogen en voor 90% met vreemd vermogen gefinancierd worden. In 2020 bedraagt de rendementseis op vreemd vermogen (uitgaande van groenfinanciering³⁸) 1,0% en is de rendementseis op eigen vermogen voor zon-pv 9%. De WACC komt hiermee uit op 1,8%. Voor alternatief 4 is aangenomen dat de investering volledig wordt bekostigd uit eigen vermogen (spaatgoeden). Momenteel is het rendement op spaatgoeden verwaarloosbaar. Daarom stellen we de rendementseis voor zon-op-dak voor huishoudens op 0%.³⁹ Eventuele belastingen en subsidies vallen buiten de scope van dit onderzoek en zijn niet opgenomen.

Onder directe baten vallen de exploitatieopbrengsten. De exploitatieopbrengsten bestaan uit het leveren van elektriciteit en inkomsten uit verkoop GvO's⁴⁰. Voor zowel de elektriciteitsprijs als de inkomsten uit verkoop van GvO's geldt dat er jaar op jaar grote verschillen zijn in de verwachte prijsontwikkeling op de lange termijn. Het PBL heeft in de KEV2019 berekend dat de langetermijnelektriciteitsprijs in de periode 2020-2034 voor zon-pv 44 euro/MWh bedraagt. Het PBL gaat in de KEV2020 uit van een lagere waarde en hanteert voor de periode 2021-2035 een elektriciteitsprijs van gemiddeld 35,6 euro/MWh. Deze daling wordt veroorzaakt door een daling in de gemiddeld EPEX ten opzichte van een jaar eerder en door een verwachte daling van het langetermijnprofiel- en de langetermijnnonbalansfactor. Met andere woorden: het PBL verwacht dat door een toename in hernieuwbare opwek de inkomsten uit verkoop van zon- en windelektriciteit lager zijn.

Bovenop de prijs van stroom kunnen groencertificaten (GvO's) worden verkocht. Volgens het PBL is de waarde van een GvO 4 euro/MWh.⁴¹ Voor 2030 hanteren we een constante GvO-waarde. Voor 2050 nemen we aan dat de waarde van een GvO afgenomen is naar 0 euro, de totale energievoorziening is namelijk CO₂-neutraal.

Uit voorgaande blijkt dat de langetermijnelektriciteitsprijs een grote invloed heeft op het resultaat. Om hier in de analyse voldoende recht aan te doen is ervoor gekozen om voor alle alternatieven drie waarden uit te rekenen. Een bovenwaarde (uitgaande van de KEV2019), een onderwaarde (uitgaande van de KEV2020) en een middenwaarde (gemiddelde langetermijnelektriciteitsprijs KEV2019-KEV2020).

3.1.2 Directe effecten wind

Onder directe kosten vallen de investerings-, financierings- en exploitatiekosten van opwek van windenergie.

- De investeringskosten zijn verder uit te splitsen in kosten voor de windturbine (inclusief transport en installatie), overige materiaal- en installatiekosten (fundering, elektrische infrastructuur, netaansluiting, civiele infrastructuur, bouwrente, CAR-verzekering tijdens de bouw, grondkosten tijdens de bouw, bouwmanagement en verwijderingskosten). De verwachte investeringskosten in euro/kWe hebben grote impact op de businesscase. Voor alle varianten wordt uitgegaan van de cijfers van PBL en zijn gelijk gesteld aan 1.170 euro/kWe.
- De exploitatiekosten bestaan uit twee componenten. Enerzijds zijn er de jaarlijkse variabele operationele kosten, zoals de grondkosten, profiel- en onbalanskosten en kosten voor garantie- en onderhoudscontracten. Anderzijds zijn er vaste operationele kosten. Hieronder vallen kosten voor land- en wegenonderhoud, beheer, netinstandhoudingskosten verzekeringen: WA, machinebreuk, stilstand en variabele kosten ten aanzien van garantie- en onderhoudscontracten. In het kostenoverzicht is door PBL ook een inschatting voor OZB opgenomen, aangezien deze waarde zeer laag is en sterk per regio verschilt is er voor gekozen om hiervoor niet te corrigeren.
- Tenslotte zijn er kosten vanwege het aantrekken van vermogen, zogenaamde financieringskosten. Er wordt uitgegaan dat projecten voor respectievelijk 20% met eigen vermogen en voor 80% met vreemd vermogen gefinancierd worden.⁴² In 2020 bedraagt de financieringsrente (exclusiefuitgaande van groenfinanciering) 1,0% en is de rendementseis op eigen vermogen voor windenergie 11,0%.⁴³ De WACC komt hiermee uit op 3,0%. Eventuele belastingen vallen buiten de scope van dit onderzoek en zijn niet opgenomen.

38 Indien een projectontwikkelaar geen gebruik maakt van groenfinanciering is de rendementseis op vreemd vermogen 0,5% hoger. De WACC komt dan afgerond neer op 2,3%. Voor wind komt de WACC op 3,4% neer indien geen gebruik wordt gemaakt van de groenfinanciering.

39 Indien de rendementseis toeneemt (in 2012 was de rendementseis op obligaties en depositos volgens het CPB bijv. 0,7%), nemen de totale kosten van een project toe. Dit omdat een woningeigenaar bij een lager rendement zijn geld niet van de bank zal halen.

40 GvO's worden uitgekeerd door CertiQ. GvO's die gekoppeld zijn aan elektriciteit die op het net verkocht worden mogen aan derden doorverkocht worden; GvO's gerelateerd aan eigen verbruik kunnen niet verkocht worden en leiden niet tot inkomsten.

41 De waarde van een GvO fluctueert sterk en hoeft zelfs niet gelijk te zijn voor wind en voor zon (bijv. vanwege schaalvoor- of nadelen in contracten).

42 Het aandeel eigen vermogen is hoger bij wind dan bij zon vanwege o.a. hogere CAPEX en daarmee grotere risico.

43 De rendementseis voor wind is hoger dan voor zon vanwege o.a. hogere ontwikkelkosten, afdracht aan een buurtfonds, en enkele overige financieringscomponentkosten.

Ontwikkelaars van een windpark maken naast de hiervoor vermelde kosten ook kosten die niet door PBL worden meegenomen. Dit zijn financiering van de bouwperiode, ontwikkelkosten voor zowel gerealiseerde als niet gerealiseerde windparken, een bijdrage aan het buurtfonds (conform NWEA-gedragscode bedraagt dit 0,5 euro/MWh), kosten vergunningverlening en overige financiële kosten. Hierdoor is de return on equity volgens NWEA in 2021 niet 11%, maar 6% voor de windcategorie 7,5-8,0 m/s. Middels het PBL OT-model is dit om te rekenen naar kosten in euro per MWh. Afgerond komt dit neer op 3,5 euro/MWh. Een deel van de hier gemaakte kosten worden gemaakt binnen de Nederlandse landsgrenzen en komen ten goede aan omwonenden (buurtfonds) en de gemeente (vergunning⁴⁴). Daarom zijn een deel van deze kosten een transfer van geld binnen de MKBA en opgenomen als indirecte baat. We gaan uit van een indirecte baat van 2,0 euro/MWh⁴⁵.

Onder directe baten vallen de exploitatieopbrengsten. De exploitatieopbrengsten bestaan uit het leveren van elektriciteit en inkomsten uit verkoop van GvO's⁴⁶. Voor zowel de elektriciteitsprijs als de inkomsten uit verkoop van GvO's geldt dat er jaar-op-jaar grote verschillen zijn in de verwachte prijsontwikkeling op de lange termijn. Het PBL heeft in de KEV2019 berekend dat de langetermijnelectriciteitsprijs in de periode 2020-2034 voor wind-op-land 43 euro/MWh bedraagt. Het PBL gaat in de KEV2020 uit van een lagere waarde en hanteert voor de periode 2021-2035 een elektriciteitsprijs van gemiddeld 30,9 euro/MWh. Deze daling wordt veroorzaakt door een daling in de gemiddeld EPEX ten opzichte van een jaar eerder en door een verwachte daling van het langetermijnprofiel- en de langetermijnnonbalansfactor. Met andere woorden: het PBL verwacht dat door een toename in hernieuwbare opwek de inkomsten uit verkoop van zon- en windelectriciteit lager zijn.

Bovenop de prijs van stroom kunnen groencertificaten (GvO's) worden verkocht. Volgens het PBL is de waarde van een GvO 4 euro/MWh⁴⁷. Voor 2030 hanteren we een constante GvO waarde. Voor 2050 nemen we aan dat de waarde van een GvO afgenomen is naar 0 euro, de totale energievoorziening is namelijk CO2-neutraal.

Uit voorgaande blijkt dat de langetermijnelectriciteitsprijs een grote invloed op het resultaat. Om hier in de analyse voldoende recht aan te doen is ervoor gekozen om voor alle alternatieven drie waarden uit te rekenen. Een bovenwaarde (uitgaande van de KEV2019), een onderwaarde (uitgaande van de KEV2020) en een middenwaarde (gemiddelde langetermijnelectriciteitsprijs KEV2019-KEV2020).

3.2 Indirecte effecten

Indirecte effecten ontstaan doordat directe effecten invloed uitoefenen op andere markten (oftewel: voor indirecte effecten bestaat een marktprijs). Indirecte effecten kunnen zowel positief (baten) als negatief (kosten) zijn. Relevante indirecte effecten van inpassing van windenergie zijn de kosten gerelateerd aan (vervroegde) netverzwaring, inkomsten bijdrage aan lokale economie en buurtfonds, verlies van woningwaarde en werkgelegenheidsbaten. Als discontovoet is een percentage van 2,25% gehanteerd. Dit percentage is voorgeschreven door de werkgroep MKBA van het Ministerie van Financien.⁴⁸ De aanpak om de kosten van netverzwaring, effect op woningwaarde en baten van werkgelegenheid te bepalen zijn hieronder toegelicht.

Kosten netverzwaring (investeringen in HS/MS-stations)

De gezamenlijke netbeheerders hebben een belangrijke rol in de energietransitie. Onder andere vanwege hun taak om het elektriciteitssysteem te verzwaren of te bouwen zodat nieuwe wind- en zonneparken in Nederland op het net aangesloten kunnen worden. Deze kosten worden verdeeld over alle gebruikers (zogenaamd gesocialiseerd). De kosten voor investeringen in het systeem zijn voor een wind- of zonnepark ontwikkelaar nihil (exclusief kosten van aansluiting van het park tot aan het net). In het geval dat een nieuw windpark ertoe leidt dat het elektriciteitssysteem in een regio verzaamd moet worden, zijn dit kosten die de maatschappij via de energierekening bekostigt, indirecte kosten dus. In het geval dat er nog capaciteit op het net 'over' is, zijn de kosten van aansluiten voor een netbeheerder nihil⁴⁹, een netbeheerder maakt dan geen extra kosten. Indien een zon- of windproject opgewekte elektriciteit lokaal gebruikt en dus geen of minder gebruik maakt van de capaciteit op het net, zijn de kosten van netverzwaring lager. Het bepalen van deze indirecte kosten voor de verschillende alternatieven gemiddeld voor Nederland is hierdoor geen eenvoudige opgave.

44 Kosten van vergunningsverlening bedragen voor een projectontwikkelaar 5% van de CAPEX. Volgens het PBL OT-model komt dit neer op afgerond 1,5 euro/MWh.

45 Het verschil van 1,5 euro/MWh is een verlies aan maatschappelijke waarde en komt bijv. vanwege ontwikkelkosten die gemaakt worden voor projecten die uiteindelijk niet gerealiseerd gaan worden.

46 GvO's worden uitgekeerd door CertiQ. GvO's die gekoppeld zijn aan elektriciteit die op het net verkocht worden mogen aan derden doorverkocht worden; GvO's gerelateerd aan eigen verbruik kunnen niet verkocht worden en leiden niet tot inkomsten.

47 De waarde van een GvO fluctueert sterk en hoeft zelfs niet gelijk te zijn voor wind en voor zon (bijv. vanwege schaalvoor- of nadelen in contracten).

48 Rapport werkgroep discontovoet, 2020.

49 Eventuele aansluitkosten worden doorbelast door de netbeheerder aan een projectontwikkelaar.

Om toch tot een gedegen kengetal te komen voor de gemiddelde kosten die netbeheerders maken vanwege toename duurzame elektriciteit is samengewerkt met experts van Enexis Netbeheer. Op basis van een inschatting van Enexis Netbeheer van de investeringskosten voor de concept RES-sen is een kengetal bepaald voor het aantal euro per MW aan netinvesteringen voor zon en wind. Gemiddeld zijn de kosten circa 120.000 euro per MW, variërend tussen de 100.000 – 140.000 euro/MW⁵⁰. Deze kosten bevatten alleen de kosten op het niveau van het HS/MS station, en niet voor de onderliggende midden- en laagspanningsnetten. Dit betekent dat de gepresenteerde cijfers een onderschatting zijn van de totale indirecte kosten van netverzwaring. Per afzonderlijke project kunnen de kosten nog sterker fluctueren en dus zelfs nul zijn indien er nog voldoende capaciteit beschikbaar is of een veelvoud van de gemiddelde 120.000 euro/MW.

In de volgende tabel zijn de netverzwarkosten voor zon- en wind weergegeven. In deze tabel is voor de verschillende alternatieven een variatie opgenomen vanwege het gegeven dat bepaalde typen verzwaring een deel van de opgewekte elektriciteit zelf gebruiken. Aangenomen is dat dit percentage eigen verbruik gelijktijdig verbruik en opwek reflecteert. Hierdoor hoeft dit deel van de productie niet op het net gebracht te worden. Indien een groter deel aan het net geleverd wordt (vanwege niet gelijktijdig verbruik/opwek) zijn kosten netverzwaring groter.

Type	Zon-op-dak (huishoudens)	Zon-op-dak bedrijfsdak, laag	Zon-op-dak bedrijfsdak, hoog	Zonneweide	Wind-op-land
Percentage eigen gebruik in 2020	30%	30%	60%	5%	0%
Indirecte kosten netverzwaring onderwaarde, in euro per MW	n.v.t	70.000	40.000	95.000	100.000
Indirecte kosten netverzwaring middenwaarde, in euro per MW	n.v.t	84.000	48.000	114.000	120.000
Indirecte kosten netverzwaring bovenwaarde, in euro per MW	n.v.t	98.000	56.000	133.000	140.000

Tabel 3. Indirecte kosten netverzwaring per alternatief (afgerond), inschatting Berenschot o,b,v, input Enexis en PBL.

⁵⁰ Dit cijfer is lager dan vermeld in de studie MKBA zon-en-wind-op-land, deze daling komt vanwege een nieuwe verfijnde rekensystematiek toegepast door Enexis.

Bovenstaande waarden worden over een periode van veertig jaar afgeschreven. In de analyse is ervan uitgegaan dat na de sanering van het opgestelde wind-/zonnepark het verzwarde net in gebruik blijft, bijvoorbeeld voor een nieuw zon-pv- of wind-project of een alternatieve bron van hernieuwbare elektriciteit. In de gevoeligheidsanalyse is getoetst wat het effect is indien de kosten over een periode van 25 jaar afgeschreven moet worden, bijvoorbeeld omdat de verzwaring van het net grotendeels overbodig is geworden. Wij hanteren conform het ACM Methodenbesluit 2017-2021 een WACC van 2,8%⁵¹ voor investeringen door een netbeheerder. Wij schatten in dat de toename in operationele kosten 5% van de investeringskosten bedraagt.

Impact op woningwaarde

Het plaatsen van een windpark (en zonneweide) heeft impact op de waarde die men aan een woning (en leefomgeving) toekent. Om de impact van een windpark op een woonwijk te meten, wordt gebruik gemaakt van de hedonische prijsmethode. Deze methode kijkt naar de waarde van verkochte woningen in twee vergelijkbare gebieden, in het ene gebied is 'iets' (hier dus een windpark) in de omgeving aangepast en in het andere gebied niet. Het verschil in (ontwikkeling van) woningwaarde geeft het effect van de komst van een windpark aan.

De impact van de komst van windmolens nabij een woonwijk is volgens verschillende onderzoeken negatief en leidt tot een daling van nabijgelegen woningen. Uit recent grootschalig onderzoek door de VU en UVA in 2019 naar het effect van windmolens en zonneparken op de woningwaarde van nabijgelegen woningen blijkt dat vooral de plaatsing van de eerste windturbine een aantoonbaar effect heeft op de woningwaarde.⁵² Daarnaast toont het onderzoek aan dat woningen die verder dan twee kilometer van het windpark af staan geen of een zeer geringe daling in de woningwaarde hebben.⁵³ Uit dit onderzoek komt verder naar voren dat er zeer grote verschillen zijn in de impact van een windmolenpark op de woningwaarde. In totaal zorgen namelijk 'slechts' 25 turbines voor meer dan de helft aan het totale verlies van woningwaarde dat aan de komst van alle windmolens in Nederland toerekenbaar is.

⁵¹ ACM, 2019. Methodenbesluit voor periode 2017-2021. Waarde betreft investeringen in 2021.

⁵² <https://www.uva.nl/binaries/content/assets/subsites/amsterdam-business-school/research/onderzoek-windturbines-2019-gecomprimeerd.pdf>, zie paragraaf 3.2 voor bewijs dat aantal windmolens geen rol speelt en paragraaf 3.7 voor bewijs van gemiddelde en mediane woningwaardedaling in euro.

⁵³ Bijna 50 % van de totale woningwaardedaling komt ten conto van woningen op 1,5 tot 2 kilometer afstand. Dit betekent dat men niet alleen rekening moet houden met woningen die het dichtst nabij een windpark staan, maar ook met woningen die bijvoorbeeld hinder ondervinden vanwege horizonvervuiling.

Daarnaast merken de onderzoekers op dat het gemiddelde verlies aan woningwaarde 570.000 euro per turbine/windpark bedraagt, en dat de mediaan met een verlies aan woningwaarde van 97.000 euro hier ver vanaf staat. Dit verschil in waardedaling heeft logischerwijs voor een groot deel te maken met het aantal woningen in de nabijheid van het windpark en de gemiddelde woningwaarde van deze woningen.

Om de negatieve impact van een windpark⁵⁴ op de woningwaarde te minimaliseren wordt in samenspraak met omwonenden vaak gezocht naar een 'passende' locatie. Het realiseren van een windpark op deze locatie is vaak duurder dan de voorkeurslocatie vanuit perspectief van de ontwikkelaar. Deze investering doet de negatieve impact op het landschap echter maar gedeeltelijk teniet en is niet altijd van toepassing.

In de MKBA gaan we voor alternatief 5 en 6 (windpark nabij stedelijk gebied) uit van een woningwaardedaling van 570.000 euro voor het gehele project, dit is het gemiddelde verlies aan woningwaarde en bedraagt ongeveer 1/9 van de initiële investeringssom van het windpark. Voor de alternatieven 7 en 8 (windpark in landelijk gebied) gaan we uit van een woningwaardedaling van 97.000 euro, dit is de mediaan en net iets meer dan de jaarlijkse O&M kosten van het windpark.

Let op: De in deze MKBA gehanteerde waarden betreffen gemiddelden en bij het beoordelen van verlies in woningwaarde van een daadwerkelijke zoeklocatie dient in meer detail onderzocht te worden om hoeveel woningen het gaat en op welke afstand ze staan van de dichtstbijzijnde windturbine. Per project kan de impact namelijk fors verschillen, dit hangt met name af van het aantal woningen binnen een radius van 2,5 kilometer en de WOZ-waarde.

Het plaatsen van een zonneweide heeft impact op de waarde die men aan een landschap toekent. Men meet de toe-/afname van de waarde die men aan een landschap toekent middels de toe-/afname van de omliggende woningwaarde, de zogenaamde hedonische prijsmethode. De impact van alternatief 1 (zonneweide) is volgens verschillende onderzoeken negatief en leidt tot een daling van nabijgelegen woningen. De negatieve impact van een nieuw zonnepark is echter wel zeer lokaal en alleen woningen binnen een range van 1 á 2 kilometer zien een waardedaling. Om de daling in woningwaarde te moneteriseren gaan we er vanuit dat binnen een straal van 1 km rondom de zonneweide tien woningen per km² staan⁵⁵.

Deze woningen hebben een gemiddelde WOZ-waarde van circa 206.000 euro⁵⁶. Door de komst van een zonneweide neemt de waarde van een woning met 1,5% af. De gemiddelde waardedaling van alternatief 1 komt daarmee uit op 14.500 euro per MWp.

Voor alternatief 4 (zon-op-dak, huishoudens) kan de toename in woningwaarde bij verkoop van de woning als mogelijk relevante directe baat gezien worden. Echter, de door de TIAS gevonden gemiddelde waardestijging van 2,5%⁵⁷ is grotendeels toe te schrijven aan de som van de investeringswaarde van zonnepanelen en het zogenaamde imago-effect. Aangezien het eerste deel van de waardestijging al meegenomen is in de MKBA (dit betreft namelijk de restwaarde van de investeringskosten) wordt deze niet meegenomen. Voor het imago effect bestaat onvoldoende bewijs en de waardestijging van pakweg 1.000 euro per woning is daarom ook niet mee meegenomen als een baat⁵⁸.

Werkgelegenheidsbaten

Het inpassen van elk van de drie alternatieven leidt tot werkgelegenheid. In een MKBA is alleen een toename van de totale werkgelegenheid op nationaal niveau van waarde. Additionele werkgelegenheid betekent dat er werk wordt gecreëerd voor werklozen, waardoor op nationaal niveau meer mensen een baan hebben. Wanneer iemand van werkgever wisselt kan er niet over additionele werkgelegenheid gesproken worden. Er is slechts sprake van een verplaatsing van werkgelegenheid. Eén additionele fte komt neer op 15.000 euro aan welvaartsbaten per jaar.⁵⁹

De werkgelegenheidsbaten gerelateerd aan het inpassen van zonne-/windenergie bestaan uit twee onderdelen, te weten additionele werkgelegenheid vanwege installatie en structurele additionele werkgelegenheid vanwege de operationele fase van zon-pv.

geveer veertig woningen per km². Ook worden over het algemeen zonneweides niet gebouwd vlakbij dorpskernen waardoor de gecorrigeerde waarde vier keer zo laag ligt

56 CBS Statline (2020). Regionale kerncijfers Nederland

57 Zie o.a. TIAS, 2016. De waarde van zonnepanelen bij woningverkoop.

58 Dastrup, Samuel R. and Graff Zivin, Joshua and Costa, Dora L. and Kahn, Matthew E., Understanding the Solar Home Price Premium: Electricity Generation and "Green" Social Status (2011).

59 Royal Haskoning DHV (2015), MKBA wind- en zonne-energie Stadskanaal

54 Zo is er binnen vijf maal de mastlengte mogelijk sprake van geluidsoverlast en tot 1 kilometer mogelijk ook slagschaduw. Tot 2 kilometer zijn er mogelijke zicht-effecten (i.e. horizonvervuiling).

55 De gemiddelde huizendichtheid van dunbevolkte gebieden in Nederland is on-

Hiernavolgend is weergegeven welke waarden zijn gebruikt om de tijdelijke en structurele (additionele) werkgelegenheid per alternatief mee te bepalen:

- Voor alternatief 1 is gerekend met 0,25 tijdelijke fte per MW en 0,13 permanente fte per MW.
- Voor alternatief 2 en 3 is gerekend met 0,5 tijdelijke fte per MW en 0,13 permanente fte per MW. Hierbij is de aanname gedaan dat er tweemaal zoveel tijdelijke additionele werkgelegenheid wordt gecreëerd door zon-op-daken van bedrijven vergeleken met zonneweides..
- Voor alternatief 4 is gerekend met 1,8 tijdelijke fte per MW en 0,09 permanente fte per MW.
- Voor windenergie is gerekend met 0,1 tijdelijke fte per MW en 0,01 permanente fte per MW⁶⁰. Het effect is hetzelfde voor de vier verschillende alternatieven voor wind.

Verlies van landbouwgrond

Nederland is een relatief klein land met veel conflicterende belangen in de fysieke ruimte. Indien een boer kiest om zijn land te verpachten en/of zelf een zonneweide of windpark wenst te ontwikkelen gaat veelal vruchtbare grond verloren.⁶¹ Op deze grond kan als gevolg hiervan minder vee of gewas komen. De opportuniteitskosten van realisatie van een zonneweide of windpark leidt dus ook tot een afname van toegevoegde waarde gerealiseerd op agrarische grond. Om de indirecte kosten hiervan te bepalen is gebruik gemaakt van de volgende kengetallen:

- Het gemiddeld inkomen van het inkomen uit bedrijf per onbetaald arbeidsuur (hierna: aje) betreft 37.000 euro.⁶²
- Per bedrijf werken er gemiddeld 2,9 aje.⁶³
- De gemiddelde bedrijfsgrootte van een akkerbouwer is 60 ha.⁶⁴
- De gemiddelde toegevoegde waarde van een hectare landbouwgrond komt daarmee neer op ongeveer 1.800 euro per ha.⁶⁵ Eventuele indirecte toegevoegde waarde in de keten is niet meegenomen in deze analyse.
- De omvang van een zonneweide met een vermogen van 7,5 MW komt neer op 7,8 ha.
- De omvang van één windturbine met een vermogen van 7,5 MW inclusief aangrenzende installaties komt neer op 0,1 ha.⁶⁶

3.3 Externe effecten

Tenslotte moet voor bepaling van het maatschappelijk perspectief van de alternatieven ook naar de externe effecten gekeken worden. Externe effecten zijn niet-beprijste neveneffecten (zowel kosten als baten) van een project op derden. Externe partijen worden hiervoor niet gecompenseerd (of in geval van een baat, betalen niet mee aan realisatie van een project). Externe effecten als gevolg van de opwek van duurzame elektriciteit zijn (afhankelijk van welk alternatief je onderzoekt) de impact op landschapskwaliteit, landgebruik, kennisontwikkeling, reductie CO₂-uitstoot, polarisatie, burgerparticipatie, sociale cohesie, etc. Als discontovoet is een percentage van 2,25% gehanteerd, deze discontovoet is vastgesteld door de werkgroep discontovoet van het ministerie van Financien.

Vermeden CO₂-uitstoot

Een belangrijke reden om te investeren in duurzame opwek van elektriciteit betreft de reductie van CO₂-uitstoot. CO₂ is een broeikasgas dat voor een groot deel verantwoordelijk is voor de verwachte opwarming van de aarde. Sinds 1990 zijn er vele studies uitgevoerd naar wat de juiste aanpak is om de waarde van een vermeden ton CO₂ in euro's in een MKBA mee te bepalen. Grofweg zijn er twee uitgangspunten. Enerzijds kan de waarde van een ton CO₂ beprijsd worden door naar de marktwaarde te kijken. Hiervoor kan de ETS-prijs worden genomen. Kritiek op deze aanpak is echter dat de ETS-prijs niet de maatschappelijke waarde van CO₂ reflecteert (hij is te laag). Anderzijds kan men de schaduwprijs van een ton CO₂ berekenen, dit is de zogenaamde efficiënte CO₂-prijs. De efficiënte CO₂-prijs corrigeert voor imperfecte marktprijzen en is toepasbaar in een MKBA voor ETS en niet ETS-sectoren. De efficiënte CO₂-prijs kijkt naar de herstelkosten die vermeden worden indien in een bepaald jaar CO₂-reductie plaatsvindt.

In 2016 heeft de Begeleidingscommissie werkwijzer MKBA milieubeleid, het CPB en het PBL opdracht gegeven om onderzoek te doen naar de hoogte van de ETS-prijs van een vermeden ton CO₂ en naar de hoogte van de efficiënte CO₂-prijs voor drie scenario's. Elk van deze drie scenario's heeft een verschillend percentage CO₂-reductie in 2050, respectievelijk: 45% CO₂-reductie (WLO-laag); 65 procent CO₂-reductie (WLO-hoog); en 80% CO₂-reductie (2 graden temperatuurstijging). Het CPB/PBL hebben voor elk van deze scenario's het tijdpad voor ontwikkeling van de CO₂-prijs bepaald⁶⁷.

60 CE Delft (2013). MKBA Windenergie Lage Weide

61 Volgens de branchevereniging Holland Solar komt multifunctioneel gebruik van grond steeds vaker voor. In dit geval is het verlies van landbouwgrond lager of mogelijk zelfs nihil.

62 <https://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?themaID=2272&indicatorID=2046&subpubID=2232§orID=2233>

63 <https://www.agrimatie.nl/PublicatiePage.aspx?subpubID=2525&themaID=2264§orID=3534>

64 <https://www.agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2272&indicatorID=2100>

65 Het oppervlak van een zonneweide is circa 78.000 m², wat overeenkomt met 0,96 MW/ha of 7,2 ha in totaal voor alternatief 1.

66 NVDE, hernieuwbare energiebronnen op land. <https://www.regionale-energiestrategie.nl/Nieuws/1572221.aspx>

67 CPB/PBL, 2016. WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO₂-uitstoot in MKBA's

Volgens het CPB/PBL dient in een MKBA met de efficiënte CO₂-prijs gerekend te worden, dit advies is door de minister van Financiën in 2015 overgenomen⁶⁸.

Nederland streeft ernaar om in 2050 een CO₂-reductie van 95% te realiseren. Het 2-graden scenario van het CPB/PBL komt hierbij het dichtst in de buurt. Daarom zijn de cijfers van het CPB/PBL voor het 2-graden temperatuurstijging scenario gehanteerd in deze studie. Voor elk jaar is het gemiddelde als kengetal gekozen. Onderstaande tabel toont de resultaten van het CPB/PBL en onze inschatting voor te hanteren waardes als referentiegetal voor de jaren 2020, 2030 en 2050.

Scenario	ETS-prijs CO ₂ in jaar:				Efficiënte prijs CO ₂ in jaar:			
	2015	2020	2030	2050	2015	2020	2030	2050
Laag	5	9	15	40	12	15	20	40
Hoog	5	22	40	160	48	60	80	160
2°C	5	50 - 200	100-500	200-1000	60-300	75 - 300	100-500	200-1000
2°C - ref	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	187,50	300	600

Tabel 4. **Inschatting van CO₂-prijzen (€/ton) volgens CPB/PBL,** inschatting referentiewaardes Berenschot.

Voor het bepalen van de NCW in 2030 is rekening gehouden met de verwachte daling van de totale CO₂-uitstoot in de elektriciteitsmix en verdiscontering van CO₂-baten in de toekomst.⁶⁹

Luchtkwaliteit

Investeren in zon-/windenergie leidt tot een verbetering van de luchtkwaliteit Nederland. De verschillende alternatieven hebben impact op de totale uitstoot van SO₂, NO_x en fijnstof. Door de reductie van deze voor de mens schadelijke emissies zijn alternatieve maatregelen – waarvoor een marktconforme prijs te bepalen valt – niet of in mindere mate nodig. In hoofdstuk 5 zijn de indirecte baten als gevolg van een reductie in uitstoot weergegeven.

Bodemkwaliteit en biodiversiteit

Uit een onderzoek van de Wageningen Universiteit blijkt dat de komst van een zonneweide een positief effect kan hebben op de bodemkwaliteit indien het agrarisch landgebruik vervangt. Dit effect is grotendeels afhankelijk van de dichtheid van de zonneweide.⁷⁰ Voor het bepalen van de toename in bodemkwaliteit en biodiversiteit – wat als externe baat bij alternatief 1 is meegenomen – zijn de kosten van extensief vruchtbaar grasland (dus grond onder een zonneweide met voldoende ruimte tussen panelen) in mindering gebracht op de kosten voor intensieve gewassen. De kosten per m² per jaar voor intensieve gewassen zijn 0,033 euro, en de kosten per m² per jaar voor extensief vruchtbaar grasland zijn 0,017 euro.⁷¹ Het verschil bedraagt 160 euro/ha/MW/jaar en is als baat opgenomen. De oppervlakte van de zonneweide is circa 78.000 m². Andere alternatieven veroorzaken geen verandering in landgebruik.

⁶⁸ Minister van Financiën, 2015. Betreft Kabinetsreactie bij eindrapport werkgroep discontovoet. Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. 13 november 2015. IRF/2015/866.

⁶⁹ Mede omdat de fossiele opwe per geproduceerde MWh in Nederland in de tijd daalt (0% in 2050) neemt de totale waarde van een extra ton vermeden CO₂ (en NO_x, SO₂ en fijnstof) in de tijd af. Zie ook paragraaf 4.2 voor toelichting.

⁷⁰ WUR (2019). Zonneparken Natuur en Landbouw

⁷¹ CE Delft, 2017. Handboek Milieuprijzen 2017

Overige externe effecten: (verlies van) landschapskwaliteit, polarisatie, burgerparticipatie, energie-onafhankelijkheid, leefkwaliteit (geluidshinder en slagschaduw) en kennisontwikkeling

Tenslotte heeft elk alternatief voor inpassing van zon- en wind ook effect op een aantal lastig te kwantificeren thema's. Voornamelijk externe effecten zijn (verlies van) landschapskwaliteit, polarisatie van de samenleving, mate van burgerparticipatie (zowel in besluitvorming als financiële participatie) en impact op leefkwaliteit. Eerst wordt elk effect kort beschreven. Vervolgens zijn overige externe effecten kwalitatief beoordeeld (zie tabel 5. De in deze paragraaf opgenomen effecten bepalen voor een aanzienlijk deel of er voldoende draagvlak voor of tegen een alternatief is. Indien er op een specifieke locatie geen draagvlak voor een alternatief is dan leidt dit in het minste geval tot uitstel; keuze voor een ander alternatief; of zelfs afstel⁷².

Latere oplevering van een project heeft als gevolg dat de verwachte CO₂-reductie (en overige maatschappelijke effecten - al zijn deze minder tijdsafhankelijk) - later in de tijd optreden. In de bestuurlijke afweging zijn de hier genoemde effecten - ondanks dat ze (op dit moment) niet goed te kwantificeren zijn - dan ook belangrijk om mee te nemen in de te maken afweging.

(Verlies) van landschapskwaliteit

Door de omschakeling van de huidige fossiele energievoorziening naar decentrale duurzame opwek komt energie dicht bij de mens te staan. Energieopwekking wordt steeds zichtbaarder en inpassing van windparken en in mindere mate ook zonneweides is van grote invloed op de kwaliteit en/of waarde die we aan een landschap toekennen⁷³. Met name windparken met een tiphoogte tot wel 250 meter zijn van veraf goed zichtbaar en hebben invloed op de bestaande kwaliteiten van een landschap. De mate van impact heeft onder andere te maken met hoe windparken ingepast worden. Volgens de enigszins gedateerde 'Handreiking waardering landschappelijke effecten windenergie'⁷⁴ heeft de komst van een windpark invloed op *'de leesbaarheid van de aanwezige landschapsstructuur, de openheid van het gebied, de schaal van het landschap (= de verhouding tussen de ruimtes en ruimtevormende elementen) en zichtlijnen in het landschap'*.

Het advies in de Handreiking luidt dan ook om bij ontwerp en beoordeling van een locatie voor een windturbine de kenmerkende kwaliteiten van het landschap centraal te stellen. Mocht dit niet (meer) mogelijk zijn - bijvoorbeeld vanwege onvoldoende geschikte locaties⁷⁵ - dan luidt de aanbeveling om windmolens te clusteren en bijzondere landschappen van formaat te vrijwaren van de effecten van windturbines. Hierdoor blijft de totale landschapskwaliteit die Nederland rijk is zo veel als mogelijk gewaarborgd en kan toch invulling gegeven worden aan de energietransitie-opgave. Experts⁷⁶ met wie we hebben gesproken, stellen voor om (met spoed) te werken aan kennis- en visievorming over de ontwikkeling van nieuwe (wind) energielandschappen. Bij besluitvorming over locatiekeuze speelt het goede bestuurlijke gesprek tevens een belangrijke rol.

Op basis van onze discussie met deze experts stellen we vast dat op dit moment nog onvoldoende kwantitatieve informatie beschikbaar is om de monetaire impact van windturbines (en ook zonneweides) op de waarde van landschapskwaliteit in een MKBA op te nemen. Uit de gevoerde gesprekken komt naar voren dat nader onderzoek naar de kwantitatieve en vervolgens monetaire impact op de landschapskwaliteit wel wenselijk is. De algehele verwachting is dat de komst van een windpark een negatieve impact heeft op het landschap en daarmee een negatief effect heeft op het resultaat van een MKBA. Men schat in dat de impact van een zonneweide een kleinere impact heeft op het landschap. Belangrijke nuancering hierbij is dat er een groot verschil is in appreciatie van het landschap tussen verschillende leeftijdscategorieën. Met name jongeren staan positiever tegenover de komst van zowel zonneweides als windparken⁷⁷.

Toename van tegenstellingen in de bevolking: polarisatie

Het is niet voor iedereen mogelijk om op gelijke voet financieel mee te participeren in de energietransitie. Uit de praktijk blijkt in elk geval dat een flink aantal zonneweides en windparken uiteindelijk weinig tot geen lokale participatie kent⁷⁸. Dit druist enigszins in tegen de sectorplannen om streven naar het realiseren van projecten met 50% lokale participatie. Er zijn legio redenen te bedenken waarom het doel van lokale financiële participatie ogenschijnlijk niet lukt.

⁷⁵ Denk dan aan een forse dijk aan het water; deze locatie leent zich vanuit landschappelijk oogpunt nog wel voor plaatsing van zeer hoge turbines. Dit gaat voor de meeste andere locaties niet (meer) op.

⁷⁶ In het kader van deze studie is contact geweest met de secretaris van de werkgroep NP RES Economie en Natuur, Martin Goossens (WUR) en Frank Stroeken (Bureau Wing) om de paragraaf verlies van landschapskwaliteit af te stemmen.

⁷⁷ I&O research (2020). Jongeren en de energietransitie
⁷⁸ Volgens onderzoek door het AD blijkt bijvoorbeeld dat van de 33 grootste windparken in Nederland 79% in buitenlandse handen is. Dat dit ook het geval is voor veel van de fossiele elektriciteitscentrales lijkt in de publieke opinie niet zo veel uit te maken. Mensen zijn hier aan gewend (ook aan het uitzicht) en/of gaat het vaak niet om nieuw te realiseren projecten in het landschap. Ook is de afstand tot woningen van fossiele centrales mogelijk groter.

⁷² In de factsheet zon-pv en wind-op-land van het NPRES gaat men uit van een realisatiegraad van SDE+ beschikte projecten van 'slechts' 50%. Er zijn meerdere redenen waarom men uit gaat van 'slechts' 50% realisatie, denk aan netcapaciteit, vergunningverlening, maar ook onvoldoende draagvlak. In hierbij is nog geen rekening gehouden met eventuele latere oplevering van projecten.

⁷³ Ter referentie: Voor 1 TWh opwek zijn 57 windturbines van 5 MW of 1000 hectare aan zonnepark nodig.

⁷⁴ H+N+S Landschapsarchitecten, 2013

Het gevolg ervan in elk geval is dat er lokaal veel weerstand ontstaat tegen nieuwe plannen en dat de komst van een nieuw zon-of windpark de verdeeldheid tussen groepen kan vergroten, een effect dat momenteel in veel RES-sen via de media tot uiting komt.

Burgerparticipatie en sociale cohesie

Het betrekken van burgers bij projecten leidt tot een toename van legitimiteit van de overheid en toename van sociale cohesie. Daarnaast leidt burgerparticipatie ook tot een toename in kwaliteit van projecten en vergroot het de kennis van burgers⁷⁹. Burgerparticipatie leidt aan de andere kant tot kosten (bijvoorbeeld het organiseren van insprekavonden), risico (conflict) en mogelijk heeft het een langere looptijd van projecten als gevolg.

Navolgend zetten we kort uiteen hoe elk alternatief impact heeft op burgerparticipatie:

- Voor alternatief 1 wordt een positieve impact op het gehele project verwacht indien men proactief burgers de mogelijkheid biedt om in het project (ook financieel) te participeren. Het streven van de sector is dan ook om zonneweides veelal in samenwerking met omwonenden te realiseren⁸⁰. Het is op dit moment niet bekend in welke mate financiële participatie van omwonenden in zonneweides, en voor welk percentage, daadwerkelijk plaatsvindt.
- Voor alternatief 2 en 3 geldt dat, mede vanwege het bestaan van de postcoderoosregeling, burgerparticipatie (onder andere financieel) goed geregeld is. Dit vergroot de sociale cohesie.
- Tenslotte geldt voor alternatief 4 dat veel burgers vanwege salderen financieel aantrekkelijk zelf duurzaam elektriciteit op kunnen wekken⁸¹. Een vergelijkbare optie bestaat voor VVE's, die kunnen gezamenlijk zon-pv-installaties aanschaffen en zo gebruik maken van belastingvoordelen. Zoals vermeld bij polarisatie hangt voor zowel woningeigenaren en huurders dit wel af van ieders persoonlijke (financiële) situatie. Een ander effect dat bij alternatief 4 optreedt, is dat van de sneeuwbal: mensen zien zonnepanelen op het dak van hun buurman/-vrouw, raken met elkaar in gesprek en willen vervolgens zelf ook zonnepanelen, etc.

- We verwachten dat de burgerparticipatie voor repowered windparken (alternatief 6 en 8) hoger is, dan voor greenfield-windparken (alternatief 5 en 7). De omgeving is namelijk gewend geraakt aan het nabijgelegen windpark. De omvang en vooral hoogte van het nieuwe windpark is wel van belang, omdat er met name weerstand is tegen zeer hoge windturbines. Wanneer het nieuwe windpark niet uit veel hogere windturbines bestaat, zal dit effect beperkt zijn.
- De komst van een greenfield-windpark leidt in veel gevallen tot weerstand vanuit de omgeving. Vroegtijdig de dialoog aangaan is noodzakelijk. Het participatieproces neemt – zo blijkt uit de praktijk – een lange periode in beslag en betekent niet dat alle betrokkenen het met elkaar eens worden. Of een greenfield project bijdraagt aan sociale cohesie is dan ook heel erg context afhankelijk; zaken zoals eigenaarschap of financiële compensatie via bijvoorbeeld een buurtfonds, spelen hier naar verwachting een rol.

Energieonafhankelijkheid (eigen verbruik)

De energieonafhankelijkheid neemt voor alternatief 2, 3 en 4 toe. Eigenaren kunnen in grotere mate in hun eigen energieverbruik voorzien en dit is (naast het hierdoor verkregen lagere verbruikstarief) een van de argumenten om zon-op-dak te installeren. Zonneweides hebben volgens PBL enig eigen verbruik. Voor wind-op-land is geen eigen verbruik en het volledig opgewekte vermogen gaat het net op. Op het niveau van de B.V. Nederland dragen alle alternatieven bij aan energieonafhankelijkheid ten opzichte van buitenlandse leveranciers.

Kennisontwikkeling

De impact van alle acht de alternatieven op innovatiegerelateerde kennisontwikkeling wordt als positief beoordeeld. Enerzijds komt dit doordat Nederland bijdraagt aan de globale vraag naar zonnepanelen en windmolens. Het effect is daarmee niet zeer groot. Anderzijds verwachten we dat de arbeidsproductiviteit stijgt. Dit komt omdat meer installateurs ervaring opdoen gedurende de installatie- en onderhoudsfase.

⁷⁹ Involve (2005). The True Costs of Public Participation

⁸⁰ Holland Solar, 2019. Gedragscode zon-op-land.

⁸¹ TNO, 2020. Effect afbouw salderingsregeling op de terugverdientijd van zonnepanelen

Leefkwaliteit (geluidhinder en slagschaduw)

Weerstand tegen windturbines richt zich vaak op geluidsoverlast en slagschaduw. Voor beide milieuaspecten geldt dat toetsing van milieueffecten plaatsvindt bij vergunningverlening. Voor geluid geldt dat een berekening van geluidniveaus wordt uitgevoerd met behulp van een gevalideerd rekenmodel. Voor slagschaduw geldt dat met een rekenmodel de schaduwduur op een object wordt berekend op basis van langjarige zogenaamde ‘meteogegevens’. Zowel voor geluid als voor slagschaduw vindt toetsing plaats aan grenswaarden die zijn vastgelegd in het Activiteitenbesluit en de bijbehorende regeling. De landelijke grenswaarden voor geluid van windturbines zijn 47 dB L_{den} (level-day-evening-night) en 41 dB L_{night} (nachtelijk geluid niveau) en worden bemeaten op de gevels van woningen. Deze grenswaarden gelden in iedere situatie ongeacht de locatie en/of het omgevingsgeluidniveau.

Hoe groter de richtafstand tot woningen hoe lager het jaargemiddelde geluidniveau. Hierbij wordt in enkele gevallen verwezen naar een advies van de WHO. De WHO beveelt aan om geluidniveaus afkomstig van windturbines te reduceren tot onder 45 dB (L_{den})⁸². Het aanhouden van richtafstanden tot woningen is overigens alleen doelmatig voor het milieuaspect geluid.

Voor slagschaduw is het aanhouden van een afstand niet nodig omdat schaduwduur kan worden beperkt of voorkomen met behulp van stilstand.

Het RIVM heeft berekeningen uitgevoerd om de verdeling en de omvang van de ziektelast door geluid in Nederland te bepalen. Uit deze berekeningen blijkt dat mensen ook negatieve gezondheidseffecten ondervinden bij lagere geluidniveaus dan de WHO-advieswaarden en de Nederlandse voorkeurswaarden, en buiten de geluidzones of geluidaandachtsgebieden⁸³. De grootste omvang van de ziektelast komt voor bij personen blootgesteld aan geluidniveaus tussen 45 en 55 dB (L_{den}).

Hoewel de invloed van geluidhinder gereduceerd kan worden door de afstand van woningen tot windturbines te vergroten, zal geluidhinder altijd een negatief aspect zijn van windturbines. Dit geldt eveneens voor slagschaduw. Door tijdens de ontwikkeling van een windpark voldoende rekening te houden met beide factoren kunnen beide milieuaspecten tot een minimum gereduceerd worden. Desondanks stellen we dat een windpark een negatief effect veroorzaakt op de leefkwaliteit.

De volgende tabel geeft een overzicht van de kwalitatieve beoordeling van de besproken effecten.

Externe effecten Zon	Zonneweide	Zon-op-dak, laag	Zon-op-dak, hoog	Zon-op-dak particulieren
Landschapskwaliteit	Negatief, tenzij..	Neutraal	Neutraal	Neutraal
Polarisatie	Negatief, tenzij..	Positief	Negatief, tenzij..	Negatief, tenzij..
Burgerparticipatie en sociale cohesie	Neutraal, tenzij..	Positief	Positief	Positief
Energieonafhankelijkheid	Neutraal	Positief	Positief	Positief
Kennisonwikkeling	Positief	Positief	Positief	Positief
Leefkwaliteit	Neutraal	Neutraal	Neutraal	Neutraal
Totaal	Negatief, tenzij..	Positief	Positief, tenzij..	Positief, tenzij..
Externe effecten Wind	Greenfield, stedelijk gebied	Repowering, stedelijk gebied	Greenfield, buitengebied	Repowering, buitengebied
Landschapskwaliteit	Negatief	Negatief, tenzij..	Negatief	Negatief, tenzij..
Polarisatie	Negatief, tenzij..	Negatief, tenzij..	Negatief, tenzij..	Negatief, tenzij..
Burgerparticipatie en sociale cohesie	Neutraal	Positief, tenzij..	Neutraal	Positief, tenzij..
Energieonafhankelijkheid	Neutraal	Neutraal	Neutraal	Neutraal
Kennisonwikkeling	Positief	Positief	Positief	Positief
Leefkwaliteit	Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Totaal	Negatief, tenzij..	Neutraal, tenzij	Negatief, tenzij..	Neutraal, tenzij

Tabel 5. Beoordeling overige externe effecten zon.
NB Bovenstaande effecten zijn niet meegenomen in de NCW-berekeningen

⁸² De WHO doet deze aanbeveling voor alle bronnen van omgevingslawaai (dus naast windturbines ook voor bijvoorbeeld industriellawaai en wegverkeerslawaai). Dit past bij het streven van de EU om het aantal geluidgehinderden in stedelijke agglomeraties te reduceren (EU richtlijn omgevingslawaai 2002/49/EG).

⁸³ Kempen, E. van, Breugelmans, O., Houthuijs, D., Nieuwe gezondheidkundige richtlijnen voor omgevingsgeluid. Nadere gezondheidkundige analyses.

HOOFDSTUK 4.

Resultaten zon-en-wind-op-land

Dit hoofdstuk toont de resultaten van de analyse naar de maatschappelijke kosten en baten van de alternatieven voor inpassing van zon-en-wind-op-land. De projectalternatieven worden vergeleken vanuit twee perspectieven, te weten het businesscase-perspectief en het maatschappelijk perspectief (beiden exclusief belastingen en subsidies). Effecten die niet vertaald zijn in monetaire waarden, zoals (verlies) van landschapskwaliteit en burgerparticipatie zijn niet meegenomen in dit hoofdstuk. De vergelijking is daarmee informatief maar niet op zichzelf voldoende voor een complete afweging van de alternatieven. Het hoofdstuk is opgedeeld in vier paragrafen:

- In paragraaf 4.1 zijn de alternatieven voor 2020 met elkaar vergeleken. Eerst wordt ingegaan op het businesscase-perspectief en vervolgens op het maatschappelijk perspectief.
- Paragraaf 4.2 geeft een doorkijk naar hoe we verwachten dat de businesscase en het maatschappelijk perspectief richting 2030 ontwikkeld.
- In paragraaf 4.3 worden de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse gegeven.
- Paragraaf 4.4 geeft een beschouwing van de resultaten.

In de figuren is telkens de middenwaarde weergegeven, voor respectievelijk zon en wind is uitgegaan van een langetermijnelektriciteitsprijs van afgerond 40 euro/MWh en 37 euro/MWh. De onderwaarde gaat respectievelijk uit van 35,6 euro/MWh en 30,9 euro/MWh, de bovenwaarde van 44 euro/MWh en 43 euro/MWh. In de hiernavolgende discussie is voornamelijk ingegaan op de middenwaarde resultaten.

4.1 Resultaat 2021

Inzichten alternatieven zon

Uit de analyse blijkt dat de businesscase voor alle zon-pv-alternatieven – exclusief belastingen en subsidies – negatief is. Deze uitkomst is niet verrassend, aangezien momenteel voor elk van de alternatieven verschillende vormen van subsidie beschikbaar zijn. De businesscase voor zonneweides is met een NCW van -1,8 miljoen euro het beste. Dit alternatief wordt gevolgd door zon-op-dak(-bedrijven) met een iets slechtere uitkomst van -2,0 miljoen. Vanuit businesscase-perspectief is inpassing van zonne-energie op daken van particulieren, met een NCW van -5,9 miljoen, het slechtst. Voornaamste reden voor de slechte businesscase voor zon-op-dak van particulieren is de relatief hoge kosten van de installatie en aanschaf van een zonnepaneel, welke in 2020 een factor 2 boven die van zonneweides en zon-op-bedrijfsdaken ligt. Dit verschil is in grote mate verklaarbaar door schaalvoordelen die ontstaan bij grootschalige afname- en installatie van zonne-installaties⁸⁴.

Vanuit maatschappelijk perspectief zijn alle alternatieven voor inpassing van zonne-energie positief. De gemiddelde maatschappelijke waarde van opwek van zonne-energie komt neer op 245.000 euro per MW in 2020⁸⁵. Zon-op-dak (bedrijven) geeft maatschappelijk gezien de grootste meerwaarde, gevolgd door zonneweides en zon-op-dak (huishoudens). De maatschappelijke waarde van zon-op-dak-bedrijven met een hoog percentage eigen gebruik is hoger dan de variant met een lager eigen gebruik. Dit verschil komt doordat de variant met een lager eigen gebruik gemiddeld genomen langer duurt om te realiseren, en omdat de kosten voor de netbeheerder hoger uitvallen.

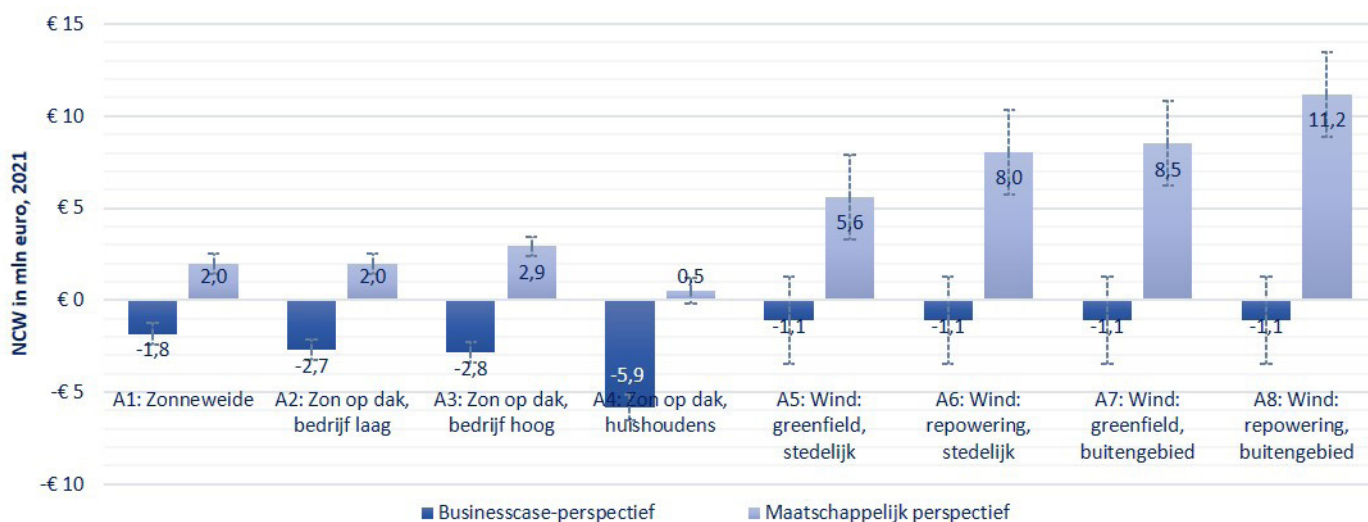
⁸⁴ In de update van de MKBA is een dubbeltelling uit het rekenmodel gehaald (de waarde van werkgelegenheid is twee maal met het vermogen van een alternatief vermenigvuldigd), ook zijn de indirecte en externe effecten met een lagere discountfactor verdisconteerd op aangeven van nieuwe resultaten van een Min. Fin. Werkgroep. Resultaten zijn daarom in deze update niet een-op-een vergelijkbaar met eerdere resultaten. Conclusies van het eerdere rapport blijven ook na bovenstaande aanpassingen aan het rekenmodel relevant.

⁸⁵ Voor bepaling van het gemiddelde zijn alle vier de alternatieven gelijk meegewogen. Indien alternatief 2 en 3 beide voor de helft meegewogen worden (het betreffen namelijk varianten op een alternatief), neemt het gemiddelde af tot 210.000 euro/MW.

Inzichten alternatieven wind

Uit de analyse blijkt dat de businesscase voor alle alternatieven – exclusief belastingen en subsidies – negatief is (NCW van 1,1 miljoen). Vanuit het businesscase-perspectief speelt de ontwikkelingstermijn geen rol, omdat is aangenomen dat de kengetallen voor het businesscase-perspectief gelijk blijven in de tijd. Het resultaat hiervan is een gelijk NCW voor alle windalternatieven. Wel moet opgemerkt worden dat het resultaat sterk afhankelijk is van de daadwerkelijke elektriciteitsprijs waarmee gerekend wordt. Dit effect is groter dan voor zon-pv, omdat er meer elektriciteit wordt geproduceerd met hetzelfde vermogen.

In het maatschappelijk perspectief zit tussen de vier alternatieven wel een groot verschil. Het alternatief met de laagste maatschappelijke waarde is alternatief 5 (wind: greenfield stedelijk). Het alternatief met de grootste maatschappelijke waarde is alternatief 8 (wind: repowering buitengebied). Dit verschil is vooral toerekenbaar aan het (verwachte) verschil in ontwikkeltermijn; een repowering project in landelijk gebied is stukken gemakkelijker te realiseren dan een greenfield-project nabij een stad. Een gevolg hiervan is dat eerder in de tijd CO₂-reductie plaats kan vinden wat van grote maatschappelijke waarde is. De gemiddelde maatschappelijke waarde van opwek van windenergie komt neer op 1,1 miljoen euro per MW in 2021.⁸⁶



Figuur 5. Netto contante waarde per alternatief voor inpassing van 7.5 MW duurzame opwek in 2021. Error-bars geven onderwaarde (op basis van KEV2020) en bovenwaarde (op basis van KEV2019) weer.

Uit bovenstaande blijkt dat in 2020 de businesscase voor wind-op-land gunstiger is dan die voor zon-pv. Eenzelfde beeld ontstaat voor het maatschappelijk perspectief, al dient hier wel opgemerkt te worden dat bij realisatie van een windpark verschillende negatieve externe effecten optreden die op dit moment niet kwantitatief meegenomen zijn in de MKBA. Ook houdt deze analyse onvoldoende rekening met het gegeven dat de uren waarop zon en wind elektriciteit produceren niet noodzakelijk dezelfde zijn en dat voor het elektriciteitssysteem als geheel er waarde is in het neerzetten van een combinatie van zon en wind.

4.2 Doorkijk naar 2030

Ontwikkeling relevante model parameters⁸⁶

In het verleden zijn er grote ontwikkelingen geweest op technisch gebied waardoor onder andere de kosten van een (installatie van een) zonnepaneel en constructie van een windturbine zijn gedaald. Richting 2030 en verder is de verwachting dat de kostprijs van zonnepanelen en windturbines verder daalt en dat tegelijk ook het aantal vollasturen van beide alternatieven toeneemt. Daarnaast neemt de waarde van een vermeden ton CO₂ naar 2030 (en 2050) toe. Een stijging of daling van directe, indirecte en externe effecten heeft een impact op de uitkomst van de businesscase en/of het maatschappelijk perspectief.

⁸⁶ Voor bepaling van het gemiddelde zijn alle vier de alternatieven gelijk meegewogen. Indien alternatief 2 en 3 beide voor de helft meegewogen worden (het betreffen namelijk varianten op een alternatief), neemt het gemiddelde af tot 960.000 euro/MW.

Deze paragraaf geeft een doorkijk van de businesscase en het maatschappelijk perspectief voor 2030, voor alle alternatieven. De ontwikkeltermijn is in 2030 gelijk aan de situatie in 2020. In tabel 5 en tabel 7 zijn de aanpassingen voor 2030 ten opzichte van 2021 weergegeven voor zon. In tabel 6 zijn de aanpassingen voor 2030 ten opzichte van 2021 weergegeven voor wind.

Zon	Eenheid	2020	2030
Levensduur (maximaal 50)	jaren	25	30
Oppervlakte benodigd	hectare	7,8	6,3
Capaciteit zonnepaneel (power)	Wp	320	400
Waarde vermeden ton CO ₂	€/t	187,5	300
Waarde vermeden NO _x	€/kg	41,2	58,1
Waarde vermeden SO ₂	€/kg	29,6	41,7
Waarde vermeden PM ₁₀	€/kg	53,0	74,7
Emissiefactor elektriciteit markt ⁸⁷	t CO ₂ /MWh	0,4	0,09
Waarde van Garantie van Oorsprong	€/MWh	4	4

Wind	Eenheid	2020	2030
Levensduur	jaren	20	25
Aantal vollasturen	h/jaar	3510	3861
Kosten installatie	€/MW	1170	960
Waarde vermeden ton CO ₂	€/t	187,5	300
Waarde vermeden NO _x	€/kg	41,2	58,1
Waarde vermeden SO ₂	€/kg	29,6	41,7
Waarde vermeden PM ₁₀	€/kg	53,0	74,7
Emissiefactor elektriciteit markt	t CO ₂ /MWh	0,4	0,09
Waarde van Garantie van Oorsprong	€/MWh	4	4

Tabel 6. **Algemene kengetallen die richting 2030 wijzigen ten opzichte van referentie situatie in 2021 – zon en wind.**
Bron: inschatting ontwikkeling parameters door Kalavasta en Berenschot. Hierbij is gekeken naar verschillende publicaties die ingaan op bijvoorbeeld kostprijsontwikkeling van windmolens (IRENA), waarde van een ton CO₂ (CPB) en uitspraken uit het Klimaatakkoord (o.a. relevant voor emissiefactor elektriciteitsmarkt) en interviews (PBL ogv GvO).

Voor het bepalen van de maatschappelijke waarde van vermeden emissies werken we met profielen, zowel voor de hoeveelheid vermeden emissies (welke beïnvloedt wordt door het profiel van de elektriciteitsmix, met name de CO₂-intensiteit per MWh elektriciteit) als voor de maatschappelijke waarde van de vermeden emissies (in euro per ton emissies). De waarde van de vermeden emissies in euro per MWh elektriciteit is dan het product van het hiervoor vermelde. We berekenen dit op jaarbasis, waarbij zowel de emissiefactor als de emissieprijs benaderd worden door de kengetallen voor 2020 en 2030. De tussenliggende jaren worden middels een afnemende exponentiële functie berekend.

87 Aanname dat de emissiefactor van andere emissies (NO_x, SO₂, PM₁₀) meeschaalt met die van CO₂.

Ten slotte nemen we aan dat de emissies van NO_x, SO₂ en fijnstof op eenzelfde wijze als CO₂ in de tijd afnemen.

Tussen 2020 en 2030 neemt de emissiefactor van Nederlandse stroom af, maar nemen de prijzen van de emissies toe. Het netto resultaat is dat de maatschappelijke waarde van vermeden emissies afneemt. Met andere woorden, het is meer waard om CO₂ nu te vermijden in 2021 dan in bijvoorbeeld 2024. In deze aanpak zit impliciet de aanname dat in 2050 het Nederlandse elektriciteitssysteem CO₂-neutraal is. Omdat er dan dus geen CO₂-emissies meer vermeden worden door zonne-energie (de Nederlandse elektriciteitssector stoot namelijk geen CO₂ meer uit), zijn de baten ook nihil. Bovenstaande aanpak is ook toegepast op emissies van NO_x, SO₂ en fijnstof.

Naast deze generieke parameters die voor alle projectvarianten gelijk zijn, zijn er ook project specifieke veranderingen van toepassing op de alternatieven voor zon-pv. Voor het bepalen van de NCW in 2030 is uitgegaan van de hiernavolgende ontwikkelingen voor elk alternatief. Indien een parameter niet aangepast is, is deze niet opgenomen in de volgende tabel.

	Eenheid	Land 2030	Bedrijven 2030	Huishoudens 2030
Kostprijs installatie	€/kW	390	420	743
Operationele kosten	Fractie van 2020 waarde	0,85	0,85	0,85
Kosten pacht grond	Fractie van 2020 waarde	1,25	NVT	NVT
Opportunitetskosten	Fractie van 2020 waarde	1,25	NVT	NVT
Kosten huur van dak	Fractie van 2020 waarde	NVT	1,1	NVT
Percentage eigen gebruik	Aanpassing van 2020 waarde	+0%	+10%	+10%

Tabel 7. **Specifieke kengetallen die richting 2030 wijzigen ten opzichte van referentie situatie in 2020.**
Bron: inschatting ontwikkeling parameters door Kalavasta en Berenschot

Inzichten alternatieven zon (2030)

Figuur 2 toont de ontwikkeling van de NCW voor zowel de businesscase als het maatschappelijk perspectief. Deze figuur geeft de NCW weer van een project dat in 2030 wordt gerealiseerd.

In figuur 2 is het businesscase-perspectief in 2030 positief voor zonneweides. Dit betekent dat – indien met name de elektriciteitsprijzen en de kosten van kapitaal gelijk blijven – grootschalige opwek van zonne-energie subsidievrij zou moeten kunnen. Let op: belastingen zijn niet meegenomen.

Voor zon-op-bedrijfsdaken is ook in 2030 nog (net) geen sprake van een positieve businesscase zonder subsidie. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat na 2025 de SDE voor beide alternatieven stopt. Op basis van huidige parameters is het dan niet rendabel – zonder verdere kostendaling – om zon-op-bedrijfsdaken te ontwikkelen. Voor alternatief 4 (zon-op-daken van particulieren) is nog wel subsidie nodig om tot een positieve businesscase te komen in 2030⁸⁸, al is de situatie ten opzichte van 2020 zeer sterk verbeterd en hangt het rendement sterk af van daadwerkelijke ontwikkeling eigen gebruik in dit alternatief.

Het maatschappelijk perspectief blijft ook in 2030 positief voor de vier alternatieven. Het maatschappelijk perspectief van alternatief 1 (zonneweides) is lager dan dat van alternatief 2/3 en 4. Dit komt onder andere door de hogere kosten van netverzwaring van alternatief 1 en de daling van kostprijs van de installatie van de andere alternatieven. De gemiddelde maatschappelijke waarde van investeren in zonne-energie is 110.000 per MW en is dus lager dan in 2020.

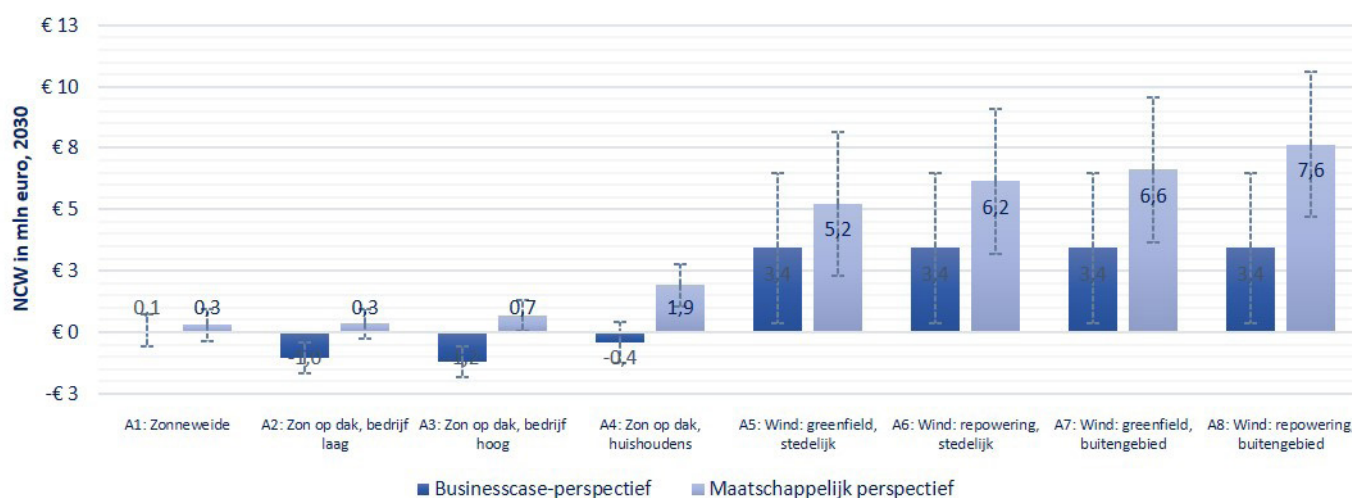
Inzichten alternatieven wind (2030)

Figuur 2 toont ook de ontwikkeling van de NCW voor wind-op-land. Deze figuur geeft de NCW weer van een project dat in 2030 wordt gerealiseerd. In 2030 is het businesscase-resultaat ten opzichte van 2020 positiever geworden.

Dit betekent dat wind-op-land-projecten indien de elektriciteitsprijzen gelijk blijven – in navolging van wind-op-zee-tenders – in de loop van dit decennium vrij zeker subsidievrij gerealiseerd kunnen worden⁸⁹.

Net als in 2021 geldt dat de maatschappelijke waarde voor elk alternatief groter is dan de businesscase. Dit betekent dat de B.V. Nederland een grotere baat heeft bij realisatie van een windpark dan een projectontwikkelaar. Hierbij merken we wederom op dat sommige negatieve effecten zoals verlies van landschapskwaliteit momenteel niet zijn meegenomen in de berekening vanwege gebrek aan cijfers over de monetaire impact. Wanneer dit en overige externe effecten wel in euro's uitgedrukt (kunnen) worden, kan het best zo zijn dat het businesscase-resultaat positiever is dan het maatschappelijke resultaat. Wanneer deze situatie zich voordoet is er sprake van een ongunstige verdeling van baten en lasten en dient er nagedacht te worden op welke wijze men indirecte- en/of externe effecten binnen de businesscase kan bepalen.

De gemiddelde maatschappelijke waarde van investeren in een windpark is 0,85 miljoen euro per MW en ten opzichte van 2020 afgenomen. In vergelijking met 2021 is het verschil in maatschappelijke waarde tussen de alternatieven een stuk kleiner geworden. Het verschil tussen alternatief 5 en 8 is meer dan gehalveerd bijvoorbeeld. Dit komt voornamelijk doordat de waarde van een vermeden ton CO₂ minder zwaar meeweegt en hierdoor heeft het verschil in ontwikkeltermijn tussen de vier alternatieven een minder grote impact.



Figuur 6. **Netto contante waarde per alternatief voor inpassing van 7.5 MW duurzame opwek in 2030. Error-bars geven onderwaarde (op basis van KEV2020) en bovenwaarde (op basis van KEV2019) weer.**

⁸⁸ In de studie van TNO is men uitgegaan van een hogere elektriciteitsprijs in 2030, ook zijn subsidies en belastingen meegenomen. Hierdoor zijn resultaten niet een-op-een met elkaar te vergelijken.

⁸⁹ Vanwege een toename in duurzame opwek komt het steeds vaker voor dat er negatieve prijzen zijn. Hoe in 2030 met deze situatie wordt omgegaan (bijvoorbeeld omzetting in waterstof of opslag) is onbekend en niet meegenomen in deze studie.

Net als in 2020 is het NCW-resultaat van alternatieven voor wind-op-land vanuit businesscase- en maatschappelijk perspectief beter dan het NCW-resultaat voor alternatieven voor zon.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

De berekening van de NCW in de referentiesituatie in 2020 is gebaseerd op een flink aantal kengetallen die in enkele gevallen ook invloed hebben op elkaar bij het berekenen van het businesscase- en het maatschappelijk perspectief. Om meer inzicht te krijgen in de invloed van een aantal voorname parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In het volgende overzicht is weergegeven op welke parameters deze analyse is uitgevoerd en op welke wijze de parameter is aangepast. In elke situatie is uitgegaan van de gemiddelde elektriciteitsprijs volgens de KEV2019 en KEV2020 voor zon en wind.

- Niet meenemen van inkomsten GvO (afname elektriciteitsprijs met 4 euro/MWh).
- De kosten van kapitaal (WACC) (toename van 0,5%/afname van 0,5%).
- Het rendement van de omvormer (toename naar 99% voor alle alternatieven).
- De (economische) levensduur (uitgaan van economische levensduur (-5 jaar)).
- Afschrijvingstermijn elektriciteitsnetten (25 jaar in plaats van 40 jaar).
- Variatie in kosten van netverzwaring verschillen per RES significant (kunnen 0 zijn of een veelvoud, ter indicatie is een factor x3 gehanteerd).
- Vertraging project met 1 jaar extra, waardoor pas later in de tijd CO₂-reductie optreedt (bijvoorbeeld vanwege onvoldoende draagvlak, vertraging vergunning of niet tijdige verzwaring van het elektriciteitsnet).

De volgende tabellen (tabel 8 en tabel 9) tonen hoe elk van deze parameters het resultaat (NCW-afgerond) van elk alternatief afzonderlijk beïnvloeden. In de tabel is opgenomen welke parameter is aangepast en welke waarde is gehanteerd. In tabel 9 is afzonderlijk het resultaat op de businesscase en het maatschappelijk perspectief weergegeven.

Effect parameter op NCW in mln euro	Zonneweide	Zon-op-dak (bedrijven-L)	Zon-op-dak (bedrijven-H)	Zon-op-dak (huishoudens)
Referentie, BC / MP	1,8 / 2,0	-2,7 / 2,0	-2,8 / 2,9	-5,8 / 0,5
GvO inkomsten 0	-2,4 / 1,5	-3,0 / 1,6	-3,0 / 2,7	-6,3 / 0,0
WACC +0,5%	-2,1 / 1,7	-2,9 / 1,7	-3,1 / 2,7	n.v.t.
WACC -0,5%	1,5 / 2,3	-2,4 / 2,2	-2,6 / 3,2	n.v.t.
Omvormer 99% (alle alt)	-1,8 / 2,1	-2,6 / 2,1	-2,8 / 3,0	-5,5 / 1,0
Econ. levensduur (30 jaar)	-1,5 / 2,4	-2,5 / 2,2	-2,6 / 3,2	-5,2 / 1,2
Afschrijving netverzwaring (25 jaar), BC is n.v.t.	1,8	1,8	2,8	0,5
Netverzwaring (min), BC is n.v.t.	2,5	2,4	3,2	n.v.t.
Netverzwaring (max), BC is n.v.t.	0,8	1,1	2,4	n.v.t.
Vertraging project (1 jaar extra), BC is n.v.t.	1,1	2,0	2,3	-0,5

Tabel 8. Gevoeligheidsanalyse: invloed parameter op resultaat businesscase en maatschappelijk perspectief.

Effect parameter op NCW in mln euro	Invoed op BC	Greenfield, stedelijk MP	Repowering, stedelijk MP	Greenfield, landelijk MP	Repowering, landelijk MP
Referentie, BC / MP	-1,1	8,0	10,7	11,2	14,1
GvO inkomsten 0	-2,6	6,5	9,1	9,5	12,5
WACC +0,5%	-1,7	7,5	10,1	10,6	13,5
WACC -0,5%	-0,5	8,7	11,3	11,8	14,8
Econ. levensduur (25 jaar)	0,3	9,9	12,6	13,0	16,1
Afschrijving netverzwaring (25 jaar)	n.v.t.	7,8	10,5	11,0	13,9
Netverzwaring (min)	n.v.t.	8,4	11,1	11,5	14,5
Netverzwaring (max)	n.v.t.	7,3	10,0	10,5	13,4
Vertraging project (1 jaar extra)	n.v.t.	5,6	6,2	8,5	11,2

Tabel 9. Gevoeligheidsanalyse: invloed parameter op resultaat businesscase en maatschappelijk perspectief.

Bovenstaande tabellen tonen dat de parameters 'vertraging van een project', 'de inkomsten vanuit verkoop GvO's, verlenging economische levensduur van een project en de 'WACC' van grote invloed zijn op het businesscase en/of het maatschappelijk perspectief. Eventuele vertraging van een project heeft grote gevolgen op het maatschappelijk perspectief omdat de waarde van een vermeden ton CO₂ in de tijd afneemt.

In de praktijk lijkt vertraging van een project (bovenop waar al vanuit gegaan is in de MKBA) vooral van toepassing op zonneweides en greenfield windparken, bijvoorbeeld vanwege (nog) niet beschikbare netcapaciteit of een conflict met omwonenden, maar vertraging kan ook optreden bij andere alternatieven. Een wijziging in de inkomsten vanuit verkoop van GvO's heeft net als de schommeling in de ontwikkeling van de langetermijnelektriciteitsprijs grote gevolgen. De gevoeligheidsanalyse geeft aan dat een kleine schommeling in de prijs van grote invloed is op de rentabiliteit. Dit laatste geldt ook voor de WACC, een kleine schommeling in de 'zekerheid dat een investering rendeert' heeft grote invloed op de kosten om een project te realiseren.

Let op: de getoonde effecten treden in de werkelijkheid in samenhang op (bijvoorbeeld vertraging van een project en ontwikkeling kosten van kapitaal), waardoor voor elk alternatief geldt dat uitschieters naar zowel boven als beneden mogelijk zijn.

4.4 Beschouwing van resultaten

Algemeen

De resultaten van de businesscase worden in de huidige analyse zeer sterk beïnvloed door de verwachte ontwikkeling van de gemiddelde elektriciteitsprijs voor de komende 10-20 jaar. Hoe de elektriciteitsprijs de komende 10-20 jaar zich zal gaan ontwikkelen is zeer lastig te voorspellen en hangt af van een scala aan factoren, denk dan aan: ontwikkeling aandeel hernieuwbaar, mate van netverzwaring, investeringen in het buitenland, de gasprijs en de internationale relatie met olie- en gas-exporteurs. Hieruit volgt dan ook dat de KEV2019 en de KEV2020 wezenlijk andere inschattingen geven. Deze grote onzekerheid aan de inkomstenkant van zon-pv en wind-op-land-projecten maakt het doen van uitspraken over de maatschappelijke waarde niet eenvoudig⁹⁰.

Desondanks kunnen we enkele inzichten destilleren uit onze resultaten wanneer de gehele bandbreedte in uitkomsten in ogenschouw genomen wordt.

- Wind-op-land-projecten kennen een hogere maatschappelijke waarde dan zon-pv-projecten. Dit is het geval voor alle vier de alternatieven voor wind-op-land. Hierbij merken we wel meteen op dat het met name voor wind-op-land ook zo is dat niet alle effecten te kwantificeren en vervolgens te monetariseren zijn. Denk dan bijvoorbeeld aan de impact van windmolens op de landschapskwaliteit, een indirect effect wat zeer waarschijnlijk een negatieve waarde heeft – al hangt dit sterk af van de gekozen locatie (bijvoorbeeld ontwikkeling op de grens maakt dat effecten 50% minder meetellen voor een MKBA met als scope de B.V. Nederland) en aan wie je het vraagt.
- De ontwikkeltermijn – oftewel vanaf de startperiode van het zoeken naar een geschikte locatie tot aan de periode van de levering van elektriciteit – van zowel een zon- als windproject heeft een grote invloed op de maatschappelijke meerwaarde. Dit komt doordat de waarde van eerder in de tijd een ton CO₂ vermijden groter is dan het vermijden van een ton CO₂ in de toekomst.
- Met betrekking tot de kosten van netverzwaring dient te worden opgemerkt dat het wellicht onterecht is dat alle kosten van de netverzwaring van een zonneweide of voor zon-op-bedrijfsdaken zijn toegerekend aan het zonproject. Je zou kunnen redeneren dat een verzwaring ten behoeve van zonneweides in het buitengebied, waarin aardgasgestookte cv-ketels wellicht vervangen worden door elektrische warmtepompen tussen nu en 2050, ook ten goede komt aan het vermijden van netverzwaring ten behoeve van die warmtepompen. En dus zou je wellicht een deel van die netverzwarkingskosten niet moeten meetellen als indirecte kosten of moeten verdelen over gebruikers. Dit effect – waarvan momenteel niet bekend is hoe groot het is – zou werken in het voordeel van zonneweides en bedrijfsdaken in het maatschappelijk perspectief.

Relevante technologische ontwikkelingen zon-pv

In de komende jaren zal in toenemende mate een situatie kunnen ontstaan waar voor gebouwen waar een nieuw dak wordt neergelegd de zonnepanelen het dak zijn. Hierdoor worden kosten van traditionele dakvernieuwing, of aanleg van een nieuw dak bij nieuwbouw, vermeden. Dit zal zeker werken in het voordeel van de businesscase en maatschappelijk perspectief voor zon-op-bedrijfsdaken en woningen. Daarnaast ontstaat in de toekomst in toenemende mate de mogelijkheid om niet alleen het dak van een gebouw te beleggen met zonnepanelen maar ook andere gebouwdelen.

⁹⁰ Zie ook paragraaf 5.1 waar de LCEO uitkomsten voor het businesscase en maatschappelijk perspectief voor 2021 en 2030 zijn opgenomen.

Met betrekking tot zonneweides dient nog te worden opgemerkt dat zon-op-water ook in opkomst is. Dit is een variant die wellicht in een volgende versie van deze berekeningen kan worden meegenomen. Waarbij zowel vanuit businesscase-perspectief als maatschappelijk perspectief andere kosten en baten ontstaan. Ook kan meegenomen worden dat zonneweides met een groot vermogen niet uitsluitend op agrarische grond gerealiseerd worden (bijvoorbeeld op braakliggende gronden). Dit zou werken in het voordeel van zonneweides in het maatschappelijk perspectief.

Ook dienen we ons bewust te zijn van het feit dat nieuwe ontwikkelingen zich aandienen die op termijn een aantrekkelijk alternatief kunnen zijn voor zonnepanelen op dak of op land. Je kunt hierbij denken aan zonnepanelen die zowel elektriciteit als warmte voor huizen en bedrijven maken. Of zonnepanelen die in plaats van stroom direct 'groene moleculen' synthetiseren. Deze ontwikkelingen betekenen mogelijk wel dat nu gedane investeringen in het elektriciteitsnetwerk, met een afschrijvings-termijn van veertig jaar, deels overbodig worden indien opgewekte stroom steeds meer op eigen terrein wordt verbruikt.

Relevante ontwikkelingen wind-op-land

In de MKBA is ervoor gekozen om uit te gaan van een gelijk aantal MW voor zon-pv en wind. In de praktijk verwacht de brancheorganisatie voor wind (NWEA) dat projecten een gemiddelde omvang van 15 MW zullen hebben. Een toename in omvang (en aantal turbines) verkleint per MW de negatieve impact van windmolens. Invloeden van windmolens op de woningwaarde zijn namelijk statisch.

Daarnaast klinken er vanuit landschapsexperts geluiden over het clusteren van windparken in het landschap. Door windparken te clusteren gaat er weliswaar op een aantal plaatsen meer landschapswaarde verloren, maar hoeft men op een hoop andere locaties helemaal geen windmolens te realiseren.

Systeemontwikkelingen

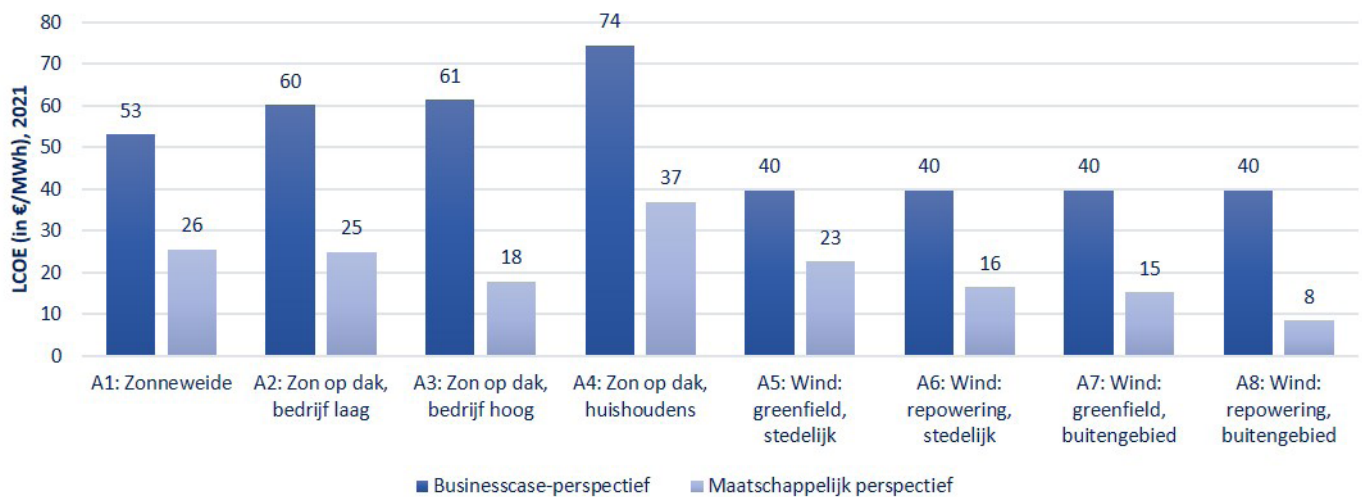
Het is waarschijnlijk dat er een ontwikkeling tot stand gaat komen waarin zon-pv-omvormers direct gaan communiceren met de 'wijkcentrale' waarop ze zijn aangesloten. Dit gaat de directe kosten iets verhogen, maar zal de indirecte kosten verlagen en de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening ten goede komen. De *social module* van E-laad is een goed voorbeeld van hoe wijkcentrales decentraal en draadloos kunnen gaan communiceren, in dit geval met laadpalen voor elektrische voertuigen, om de leveringszekerheid te bevorderen en piekbelastingen te vermijden. Een vergelijkbare ontwikkeling voor zon-pv lijkt onvermijdelijk bij hoge penetratie van zon-pv in een gebied.

Het vinden van zoeklocaties met voldoende draagvlak voor wind-op-land in de RES is een flinke opgave. Het is mede daardoor nog onduidelijk of in de komende jaren alle geplande projecten de benodigde gemeentelijke en/of provinciale vergunning gaan krijgen en/of er voldoende draagvlak is voor projectrealisatie. Er bestaat daarmee een risico dat van de toename in hernieuwbare opwek een nog groter deel uit zon-pv zal bestaan dan nu opgenomen is in de concept-RES (24 TWh wind versus 23 TWh zon). Dit maakt dat de volgens PBL de optimale verdeling van 4:1 in MWh wind ten opzicht van MWh zon verder uit beeld raakt, wat meer inspanning van netbeheerders zal vragen. Indien deze ontwikkeling zich voordoet, krijgen zaken zoals opslag, regelbare back-up (mogelijk fossiel) en conversie een (nog) grotere rol. Innovaties zoals *cable-pooling* kunnen enig soelaas bieden bij deze uitdaging.

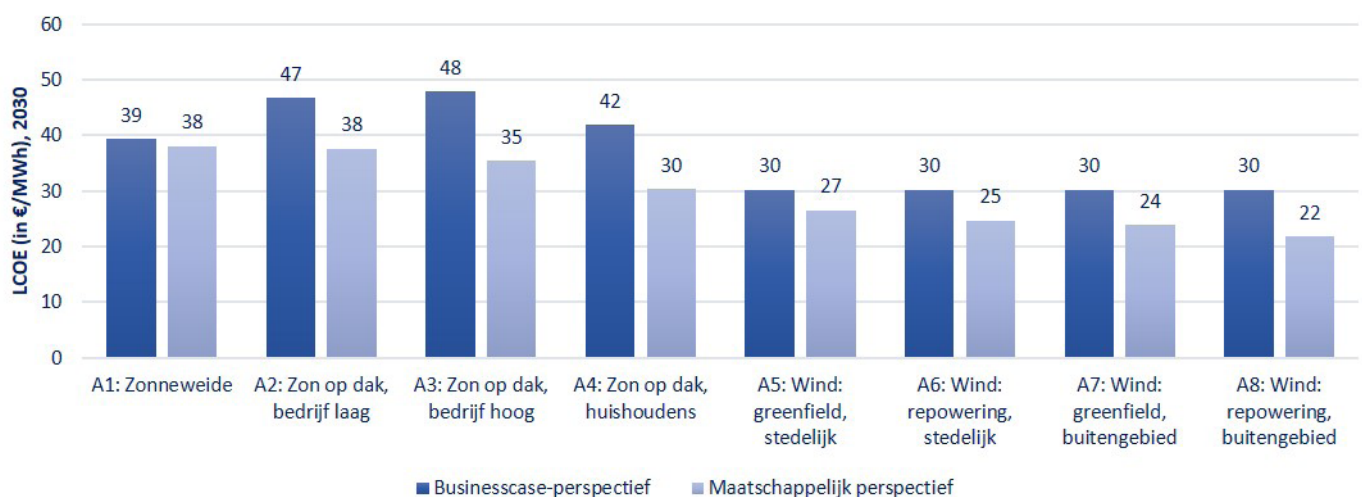
Bijlagen

B1. Resultaten LCOE

A.1) Levelised Cost of Electricity, 2021



A.2) Levelised Cost of Electricity, doorkijk naar 2030



B2. Kengetallen

Directe kosten wind

Operationele kosten installatie, vast	Hier onder vallen: O&M, verzekeringen, netinstandhoudings-kosten, eigenverbruik,OZB, beheer, land- en wegenonderhoud	5-8	€/kWe/jaar	11,4	PBL, SDE 2021
Operationele kosten installatie, variabel	Hier onder vallen: grondkosten, O&M	5-8	€/kWh	0,0103	PBL, SDE 2021
Vorbereidingskosten	Onder andere DEVEX en buurtfonds	5-8	€/kWh	0,0035	https://www.nwea.nl/gedragscode-wind-op-land/
Financieringskosten	Groenfinancierings-rente over geleend bedrag	5-8	%/jaar	3,0	PBL, SDE 2021

Directe kosten zon

Kosten	Omschrijving	#	Eenheid	Kengetal	Bron	Aannames
Kosten installatie	Kosten PV-modules incl. omvormer en installatiekosten, netwerkaansluiting	1	€/kWp	540	23	Alternatief 4: op basis van berekeningen TNO; aangenomen is een kostprijsdaling van 5% per jaar en 3,0 kWp installatie. Dit is snellere kostendaling dan ingeschat volgens TNO, maar langzamer dan daling volgens PBL in periode 2019-2021 (11,6%).
		2/3	€/kWp	570	23	
		4	€/kWp	1178	91	
Operationele kosten installatie	Hier onder vallen: O&M, Brutoproductie-meter, verzekering, Beveiligings-diensten, netwerkaansluiting, asset management, OZB	1	€/kWp*jaar	11,8	23	Alternatief 4: kosten schoonmaak zonnepanelen is 4 euro per zonnepaneel. Eenmalige prestatiecheck kost 150 euro
		2/3	€/kWp*jaar	12,1	23	
		4	€/kWp*jaar	19,8	92	
Eenmalige kosten in jaar 12	Kosten omvormer	1	€ (eenmalig)	170.000	23	Alternatief 4: eigen inschatting dat kosten meervoud zijn (2x) van alternatief 2. Dit vanwege meer manuren
		2/3	€ (eenmalig)	42.500	23	
		4	€ (eenmalig)	85.000		
Kosten grond/dak huur	Kosten voor 'huur' dak/pacht grond	1	€/ha*jaar	6000	93	Alternatief 4: dak is in beheer van particulier
		2/3	€/MWp*jaar	8000	94	
		4	€/m2*jaar	0	-	
Aanpassings-kosten ondergrond/dakconstruc-tie	Kosten dakconstructie	1		0	-	Alternatief 1: is meegenomen onder investeringskosten Alternatief 2 en 3: interview met projectontwikkelaar Alternatief 4: dak is in beheer particulier en behoefte geen aanpassingen
		2/3	% van kosten installatie	5	-	
		4		0	-	
Financieringskosten	Groenfinancieringsrente over geleend bedrag	1	%/jaar	2,7	23	Variant 1, 2 & 3: op basis van kengetallen SDE ++. Alternatief 1, 2 & 3: op basis van kengetallen SDE ++. Alternatief 4: particulier financiert met eigen middelen
		2/3	%/jaar	2,7	23	
		4	%/jaar	0	-	

91 Effect afbouw salderingsregeling op de terugverdientijd van investeringen in zonnepanelen

92 Onderhoud zonnepanelen <https://www.zonnepanelen.net/onderhoud-zonnepanelen/>

93 VLB (2018). 'Zonneparken: hoge opbrengsten maar ook hoge kosten'

94 Interview met projectontwikkelaar

Directe baten wind

Baten	Omschrijving	#	Eenheid	Ken- getal	Bron	Aannames
Opwek elektriciteit	Aantal vollasturen	5-8	Uren/jaar	3510	PBL, SDE 2021	Gebaseerd op een windsnelheid van $\geq 7,5$ en $< 8,0$ m/s.
	Vermogen	5-8	MWp/turbine	5	-	
	Verkoopprijs van elektriciteit	5-8	€/kWh	0,0365	PBL, SDE 2021	Gemiddelde van KEV2019 / KEV2020
Garantie van Oorsprong (GVO's)	Certificaat met een garantie van groene oorsprong dat kan worden verkocht	5-8	€/kWh	0,004	PBL, SDE 2021	

Directe baten zon

Baten	Omschrijving	#	Eenheid	Ken- getal	Bron	Aannames
Opwek elektriciteit	Aantal vollasturen	1	Jaar	950	PBL, SDE 2021	Het rendement van de omvormers is gelijk aan 98% voor alternatief 1 en 2. Voor alternatief 3 is het rendement gelijk aan 95%. ⁹⁵ Rendement van de omvormers is meegenomen in bepalen aantal vollasturen
		2/3	Jaar	900	-	
		4	Jaar	921	-	
	Vermogen	1	Wp/zonne-paneel	320	-	Vermogen van zonnepanelen ligt boven het gemiddelde, maar in lijn met de verwachte toename van het vermogen van zonnepanelen. Afmetingen van het zonnepaneel zijn 1650x1000mm.
		2/3	Wp/zonne-paneel	320	-	
		4	Wp/zonne-paneel	320	-	
	Verkoopprijs van elektriciteit	1-4	€/kWh	0,0398	-	Gemiddeld van KEV2019/KEV2020
	Garantie van Oorsprong (GVO's)	1-4	€/kWh	0,004	-	

Kosten indirecte en externe effecten wind

Kosten	Omschrijving	#	Eenheid	Ken- getal	Bron	Aannames
Netkosten	Aanpassingen aan het net: netverzwaring en vervroegde afschrijving	5-8	miljoen€/MW	0,12		Op basis van berekeningen van Enexis en analyse Berenschot
	Kosten voor transportverliezen	5-8	€/MWh	3%	Windmolen-parken en woning-waarde. Raming effecten wind-molenpark Lage Weide Utrecht	3% van opwek
	Oppertuni- teitskosten	5-6	€/ha*jaar	0		
Landschaps- kwaliteit	Afname woningwaarde	7-8	€/ha*jaar	1800	Zie 3.2	
		5-6	€/windpark	570,000	Martijn I. Dröes & Hans R.A. Koster (2019). Windturbines, zonneparken en woningprijzen	
		7-8	€/windpark	97000		

95 IRENA (2016). The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025.

Kosten indirecte en externe effecten zon

Kosten	Omschrijving	#	Eenheid	Ken- getal	Bron	Aannames
Netkosten	Aanpassingen aan het net: netverzwaring en vervroegde afschrijving	1	miljoen€/MW	0,12		Op basis van berekeningen van Enexis en analyse Berenschot
		2/3	miljoen€/MW	0,1		
		4	miljoen€/MW	-		
	Kosten voor transportverliezen	1-4	€/MWh	3%		
Oppertuiniteits- kosten		1	€/ha*jaar	1800	^{56, 57, 58}	Alternatief 1: Zie hfst. 3
		2/3	€/kWp*jaar	0	-	
		4	€/kWp*jaar	0	-	
Landschapskwaliteit	Afname woningwaarde	1	€/MWp	14540	^{96, 97}	Alternatief 1: op basis van 3% woningwaarde afname binnen 1 km uit onderzoek van Urban economics. Op basis van gemiddelde huizendichtheid in dunbevolkt gebied. Gedeeld door factor 4 omdat zonneweides niet worden aangelegd nabij dorpskernen.
		2/3	€/MWp	0	-	
		4	€/MWp	0	-	
Polarisatie	Toename van tegenstellingen in de bevolking	1	-	Negatief, mits		
		2/3	-	Positief		
		4	-	Negatief, mits		

Baten indirecte en externe effecten wind

Baten	Omschrijving	#	Eenheid	Ken- getal	Bron	Aannames
Nox-uitstoot	Vermeden ton NO _x	alle	€/ton NO _x	41,2	98	
SO ₂ -uitstoot	Vermeden ton SO ₂	alle	€/ton SO ₂	29,6		
fijnstof (PM10) uitstoot	Vermeden ton fijnstof	alle	€/ton PM10	53		
CO ₂ -uitstoot Efficiënte prijs		alle	€/ton CO ₂	187,5		
Werk-gelegenheid	arbeidsbaten operationele fase per jaar	alle	€/MW/jaar	145		
Werk-gelegenheid	arbeidsbaten installatie fase	alle	€/MWe	1500	Zie 3.2	

⁹⁶ Urban economics (2019). Windturbines, zonneparken en woningprijzen

⁹⁷ Statline (2020). Regionale kerncijfers Nederland

⁹⁸ CE (2015). Kengetallen voor grijze en 'niet-geoordeelde stroom' inclusief upstream-emissies

Baten indirecte en externe effecten zon

Baten	Omschrijving	#	Eenheid	Kengetal	Bron	Aannames
Nox-uitstoot	Vermeden ton NO _x	1	€/ton NO _x	41,2	99	
		2/3	€/ton NO _x	41,2		
		4	€/ton NO _x	41,2		
SO₂-uitstoot	Vermeden ton SO ₂	1	€/ton SO ₂	29,6		
		2/3	€/ton SO ₂	29,6		
		4	€/ton SO ₂	29,6		
Fijnstof (PM10) uitstoot	Vermeden ton fijnstof	1	€/ton PM10	53		
		2/3	€/ton PM10	53		
		4	€/ton PM10	53		
CO₂-uitstoot Efficiënte prijs		1	€/ton CO ₂	187,5		
		2/3	€/ton CO ₂	187,5		
		4	€/ton CO ₂	187,5		
Werk-gelegenheid	arbeidsbaten per jaar	1	€/MWp*jaar	1953		Op basis van kengetallen en berekeningen CE delft Er wordt uitgegaan van €15.000 aan welvaartseffecten per Fte 50% van de gecreëerde werkgelegenheid is additioneel
		2/3	€/MWp*jaar	1953		
		4	€/MWp*jaar	1371		
Werk-gelegenheid	arbeidsbaten installatie	1	€/MWp	3740		
		2/3	€/MWp	7479		
		4	€/MWp	27091		
Bodemkwaliteit en biodiversiteit	bodemfuncties, aantal soorten	1	€/MWp*jaar	160	^{100, 101}	Alternatief 1: op basis van een vergelijking tussen kosten van landgebruik (intensieve gewassenteelt) en kosten van extensief vruchtbaar grasland. Deze kosten zijn gebaseerd op kengetallen van CE delft. Daarnaast is een schatting gemaakt van het oppervlakte van de zonneweide op basis van het aantal zonnepanelen per vierkante meter. Deze dichtheid van zonnepanelen is gevonden in een onderzoek van de Universiteit Utrecht.
		2/3	€/MWp*jaar	0	-	
		4	€/MWp*jaar	0	-	

Doorkijk naar 2030 en 2050 wind

Alle parameters die uitgedrukt zijn als fractie van 2020 waardes zijn schattingen.

Parameter	Beschrijving	#	Eenheid	2030	2050	Bron	Aannames
Kosten installatie	Kosten investeringskosten inclusief installatiekosten, netwerkaansluiting	1,2,3,4	€/kWe	960	780		Schatting Berenschot op basis van prognose IRENA
Levensduur	Technische levensduur installatie	1,2,3,4	jaar	25	25		Schatting
Vollasturen	Uren/jaar	1,2,3,4	Wp/paneel	1,1	1,15		Schatting Berenschot op basis van prognose IRENA
Emissie-factor CO₂	De gemiddelde emissie-intensiteit van Nederlandse stroom	1,2,3,4	Ton CO ₂ /MWh	0,09	0	^{III}	2050: CO ₂ -neutraal en 2030 op basis van klimaatakkoord-scenario https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/483955

99 CE (2015). Kengetallen voor grijze en 'niet-geoordeelde stroom' inclusief upstream-emissies
100 Ce Delft (2017). Handboek Milieuprijzen 2017

101 Moon, H., Universiteit Utrecht (2019). Tradeoffs of 1GW solar PV on various landscapes in the Netherlands

Doorkijk naar 2030 en 2050 zon

Alle parameters die uitgedrukt zijn als fractie van 2020 waardes zijn schattingen.

Parameter	Beschrijving	#	Eenheid	Onder 2030	Mid-den 2030	Hoog 2030	Ond-er 2050	Mid-den 2050	Hoog 2050	Bron	Aannames
Kosten installatie	Kosten PV-modules incl. omvormer en installatie-kosten, netwerkaansluiting	1	€/kWp	309	390	758	150	246	437	I	Alternatief 2: vaste overhead tov variant 1
		2/3	€/kWp	359	440	808	200	296	487	I	
		4	€/kWp	784	917	1070	463	773	911	IV	
Levensduur	Technische levensduur installatie	1,2,3,4	jaar		25		40		11		
Capaciteit zonne-paneel	Capaciteit	1,2,3,4	Wp/paneel		400		600		23		Schatting op basis van aanname van efficiency verbetering van 16% in 2020 naar 30% in 2050
Emissie-factor CO₂	De gemiddelde emissie-intensiteit van Nederlandse stroom	1-8	Ton CO ₂ /MWh		0,09		0		III		2050: CO ₂ neutraal en 2030 op basis van klimaatakkoord scenario *

* <https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/483955>

Bronnen doorkijk 2030 en 2050:

- I. IRENA (2019): Future of solar
- II. M. Fasihi & C. Breyer (2020): Baseload electricity and hydrogen supply based on hybrid PV-wind power plants, Journal of Cleaner Production 243
- III. Kalavasta (2018): 2030 energiesysteem NL volgens ontwerp KEA v1.1. <https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/483955>
- IV. TNO, 2020: Effect afbouw salderingsregeling op de terugverdientijd van zonnepanelen

‘WIJ ZIJN BERENSCHOT, GRONDLEGGER VAN VOORUITGANG’

Wij zien een Nederland dat altijd in ontwikkeling is. Zowel sociaal als organisatorisch verandert er veel. Al meer dan 80 jaar volgen wij deze ontwikkelingen op de voet en werken we aan een vooruitstrevende samenleving. Daarbij staan we voor duurzaam advies en de implementatie hiervan. Altijd gericht op vooruitgang én echt iets kunnen betekenen voor mensen, organisaties en de maatschappij.

Alles wat we doen, is onderzocht, onderbouwd en vanuit meerdere invalshoeken bekeken. In ons advies zijn we hard op de inhoud, maar houden rekening met de menselijke maat. Onze adviseurs doen er alles aan om complexe vraagstukken om te zetten naar praktische oplossingen waar u iets mee kan. Wij geven advies en bieden digitale oplossingen waarbij we ons focussen op:

- Toekomst van werk en organisatie
- Energietransitie
- Transformatie van zorg
- Transformatie van openbaar bestuur

Berenschot Groep B.V.

Van Deventerlaan 31-51, 3528 AG Utrecht
Postbus 8039, 3503 RA Utrecht
030 2 916 916
www.berenschot.nl



Kalavasta is een strategie adviesbureau dat zich richt op het bewerkstelligen van evenwichten, die verloren zijn gegaan, in onze samenleving. We werken momenteel zowel aan het beperken van de klimaatverandering via onze bijdragen aan de energietransitie als aan de transitie die aanstaande is in het landbouw-, voedsel- en natuur'systeem'.

Onze opdrachtgevers waarderen ons om onze scherpe strategische analyses, die altijd onderbouwd worden met transparante kwantitatieve rekenmodellen. Deze rekenmodellen stellen we zo veel mogelijk open source en gratis ter beschikking voor een ieder die interesse heeft. Dit doen we zowel om onze rekensommen te kunnen laten verifiëren als om anderen in de gelegenheid te stellen hun eigen analyses te maken, door zelf de aannames ten behoeve van de rekensommen te kunnen aanpassen.