

NOTITIE

Onderwerp	Vermeden emissies voor Energieproject A6 Zon Lelystad
Project	Energieproject A6 Zon Lelystad
Opdrachtgever	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Projectcode	140781
Projectleider	W. Claus MSc
Status	Definitief
Datum	29 augustus 2025
Referentie	140781/25-013.154

Auteur(s)	F.S.B. Beumer BSc
Gecontroleerd door	S.A. van den Berg MSc
Goedgekeurd door	W. Claus MSc
Paraaf	

Bijlage(n)	I	Netcongestie, aftopping en capaciteitsreductie
	II	Berekening jaarlijks energieopbrengst
	III	Toelichting economische levensduur fotovoltaïsche panelen
	IV	Toelichting 55,1 kg CO ₂ -equivalenten pv-mix
	V	Toelichting A6 Zon varianten

Aan	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Kopie	-

1 VERMEDEN EMISSIES VOOR ENERGIEPROJECT A6 ZON LELYSTAD

Energieproject A6 zon Lelystad is een project gericht op het opwekken van zonne-energie langs de A6 snelweg. Dit project heeft als doel om duurzame energieoplossingen te integreren in de infrastructuur van Nederland, waarbij gebruik wordt gemaakt van de beschikbare ruimte langs snelwegen. Energieproject A6 zon Lelystad is een voorbeeld van hoe infrastructuurprojecten kunnen bijdragen aan de energietransitie door hernieuwbare energieoplossingen te implementeren die zowel ecologisch als economisch voordelig zijn.

Het Energieproject A6 zon Lelystad maakt gebruik van fotovoltaïsche zonnepanelen die langs de snelweg worden geïnstalleerd. Deze zonnepanelen zetten zonlicht om in elektriciteit via het fotovoltaïsch effect. Het streef piekvermogen van Energieproject A6 zon Lelystad bedraagt tussen de 55 en 75 megawattpiek (MWp). Dit vermogen vertegenwoordigt de maximale output van de zonnepanelen onder ideale omstandigheden. Hoewel de daadwerkelijke energieproductie kan variëren afhankelijk van factoren zoals weersomstandigheden en daglengte, draagt het hoge piekvermogen van het project aanzienlijk bij aan de opwekking van hernieuwbare energie en de vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen.

Een van de belangrijkste voordelen van Energieproject A6 zon Lelystad is de vermindering van CO₂-uitstoot door de opwekking van schone energie. Zonne-energie produceert geen directe CO₂-uitstoot tijdens de elektriciteitsproductie, in tegenstelling tot conventionele energiebronnen zoals kolen en aardgas.

De emissies die bespaard worden door hernieuwbare stroom op te wekken ten opzichte fossiele elektriciteit worden vermeden emissies genoemd. Dit wordt uitgedrukt in de term 'CO₂-equivalenten' hierna te noemen CO₂e, verwijst naar een gestandaardiseerde maat die wordt gebruikt om de impact van verschillende broeikasgassen op de opwarming van de aarde te vergelijken. CO₂-equivalenten drukken de relatieve bijdrage van een broeikasgas uit in termen van de hoeveelheid CO₂ die dezelfde opwarmingsimpact zou hebben.

2 METHODIEK EN UITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk worden de toegepaste methodiek en de aangenomen uitgangspunten toegelicht.

2.1 Bepaling van het piekvermogen van de installatie

Piekvermogen, vaak aangeduid met de term 'wattpiek' (Wp) of megawattpiek (MWp), is een maat voor de maximale elektrische output die een zonnepaneel kan leveren onder standaard testomstandigheden (STC). Dit betekent dat het piekvermogen de theoretische maximale capaciteit van een zonnepaneel weergeeft wanneer de omstandigheden optimaal zijn.

Bijvoorbeeld, een zonnepaneel met een piekvermogen van 300 Wp kan onder ideale omstandigheden maximaal 300 watt elektriciteit genereren. Het werkelijke vermogen kan echter variëren afhankelijk van factoren zoals de hoeveelheid zonlicht, de hoek en oriëntatie van het paneel, de temperatuur, schaduw, en de efficiëntie van de omvormer.

Piekvermogen is belangrijk bij het vergelijken van zonnepanelen, omdat het helpt om te bepalen hoeveel energie een zonnepaneel kan produceren en hoeveel zonnepanelen nodig zijn om aan de energiebehoeften van een huishouden of bedrijf te voldoen.

De doelstelling van het OER is een piekvermogen voor dit project met een range tussen de 55 en 75 MWp.

2.2 Uitgangspunt vollasturen en netaansluiting

De jaarlijkse vollasturen van een fotovoltaïsche (PV) systeem is afhankelijk van de oriëntatie, locatie en technologie van de systemen. Vollasturen geven een indicatie van de efficiëntie en opbrengst van een PV-systeem en worden gebruikt om de energieproductie over een jaar te berekenen.

Voor grondgebonden systemen groter dan 1 MWp, die optimaal geplaatst zijn zonder significante schaduwwerking en met een net capaciteit van 50 %, wordt bij de start van het project uitgegaan van een jaarlijkse productie van 855 MWh/MWp. Door degradatie van de panelen neemt de jaarlijkse vermogens- en productieafname gemiddeld toe met 0,64 %. Deze afname is verwerkt in de opbrengstperiodes. Voor de eerste opbrengstperiode van 1 tot en met 15 jaar is de opbrengst daarom 855 MWh/MWp. Voor de jaren 16 tot en met 20 is de opbrengst 800 MWh/MWp.

In Nederland worden zonneparken vaak aangelegd met een net-capaciteitsbeperking van 50 % om verschillende redenen die verband houden met de beperkingen van het elektriciteitsnet en de efficiëntie van energieopwekking en -distributie. Deze redenen worden verder toegelicht in bijlage I (Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2024, n.d.).

2.3 Jaarlijkse energieopbrengst

Hieronder in tabel 2.1 wordt de jaarlijkse energieopbrengst van de verschillende piekvermogens weergegeven. Deze jaarlijkse energieopbrengst wordt als uitgangspunt genomen voor de berekeningen in deze notitie. De berekening wordt verder toegelicht in bijlage II

Voor een piekvermogen van 55 MWp een totale productie van 925.000 MWh/voor de periode van 1 tot en met 20 jaar. Met een piekvermogen van 75 MWp is er een totale opbrengst van 1.262.000 MWh/voor de periode van 1 tot en met 20 jaar.

Tabel 2.1 Totale opbrengst Energieproject A6 zon Lelystad in MWh/periode van 20 jaar voor piekvermogen 55 & 75 MW

Piekvermogen MWp	Periode	Periode (jaren)	Vollasturen MWh/MWp	Opbrengst MWh/Jaar	Totale opbrengst MWh/periode
55	1 tot en met 15	15	855	47.000	705.000
55	16 tot en met 20	5	800	44.000	220.000
75	1 tot en met 15	15	855	64.000	962.000
75	16 tot en met 20	5	800	60.000	300.000

2.4 Bepaling vermeden CO₂-Emissies

De vermeden emissies worden berekend op basis van de hoeveelheid opgewekte elektriciteit door Energieproject A6 zon Lelystad. Hierbij wordt aangenomen dat de elektriciteit die A6 op duurzame wijze opwekt, anders zou zijn opgewekt door een mix van Nederlandse energieleveranciers. De keuze voor de deze varianten vergelijking wordt verder toegelicht in bijlage III. Deze Nederlandse energiemix is voortdurend in verandering, waardoor het nodig is een prognose te maken van de samenstelling over de levensduur van de zonnepanelen. Deze prognose is opgebouwd met behulp van de Witteveen+Bos elektriciteitsmix prognose tool. Deze tool geeft een gemiddelde waarde voor de geselecteerde periode in dit geval 2025 tot en met 2045. Deze waarde bedraagt 109 kg CO₂-equivalenten (CO₂e) per MWh elektriciteit.

Voor de economische levensduur van de zonnepanelen wordt momenteel uitgegaan van 20 jaar, conform de SDE++ regeling waar de berekeningen op gebaseerd zijn (Bijlage IV). Echter, door de voortdurende technische vooruitgang op het gebied van zonne-energie, zou het verlengen van deze economische levensduur overwogen kunnen worden.

Energieproject A6 zon Lelystad maakt deel uit van de transitie van de Nederlandse elektriciteitsmix. Dit betekent dat de vermeden emissies mogelijk anders uitvallen dan zoals opgesteld in de prognosesheet.

3 RESULTATEN

In dit hoofdstuk wordt voor de productie van 925 duizend MWh (55 MWp vermogen) en de productie van 1.262 duizend MWh (75 MWp vermogen) de vrijgekomen emissies toegelicht. Als laatste worden de vermeden emissies door de elektriciteit opwekking met Energieproject A6 zon Lelystad behandeld.

Beide vermogens hebben een emissiefactor van 55,14 kg CO₂e per MWh opgewekte energie volgens de NMD milieuverklaring zie bijlage V. Dit betekent dat ondanks de hogere energieopbrengst bij een grotere installatie, de CO₂-emissies in verhouding gelijk blijven. Dit overzicht helpt bij het inzichtelijk maken van de milieu-impact van verschillende groottes van zonne-energie-installaties over een lange termijn.

3.1 Emissies A6-Zon

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de energieopbrengst en de bijbehorende CO₂-emissies voor A6-Zon met verschillende piekvermogens over een periode van 20 jaar, afgerond op duizendtallen.

Voor een piekvermogen van 55 MWp wordt verwacht dat deze in de periode van 20 jaar een totale energieopbrengst van 925 duizend MWh zal genereren. De bijbehorende CO₂-emissies bedragen 51.000 ton CO₂e.

Voor een piekvermogen van 75 MWp wordt verwacht dat deze in dezelfde periode een totale energieopbrengst van 1.262 duizend MWh zal genereren. De bijbehorende CO₂-emissies bedragen 70.000 ton CO₂e.

Tabel 3.1 Emissies Energieproject A6 zon Lelystad

Piekvermogen MWp	Emissies per kg CO ₂ -equivalenten/MWh	Opbrengst periode 1 tot en met 20 jaar MWh/periode	Emissies ton CO ₂ -equivalenten/periode 1 tot en met 20 jaar
55	55,1	925.000	51.000
75	55,1	1.262.000	70.000

3.2 Emissies Nederlandse elektriciteitsmix

Voor het systeem met een piekvermogen van 55 MWp bedraagt de totale opbrengst over een periode van 1 tot 20 jaar 925 duizend MWh. De emissies worden berekend op basis van een emissiefactor van 109 kg CO₂-equivalenten per MWh. Dit resulteert in een totale uitstoot van 100.866 ton CO₂-equivalenten over de gehele periode van 20 jaar.

Het tweede systeem, met een piekvermogen van 75 MWp, levert over dezelfde periode een opbrengst van 1.262 duizend MWh. Bij dezelfde emissiefactor van 109 kg CO₂-equivalenten per MWh, resulteert dit in een totale uitstoot van 138.000 ton CO₂-equivalenten over 20 jaar.

Tabel 3.2 Emissie Nederlandse elektriciteitsmix

Piekvermogen MWp	Emissies per kg CO ₂ -equivalenten/MWh	Opbrengst periode 1 tot en met 20 jaar MWh/periode	Emissies ton CO ₂ -equivalenten/periode 1 tot en met 20 jaar
55	109	925.000	101.000
75	109	1.262.000	138.000

3.3 Vermeden emissies

Voor een installatie van 55 MWp zijn de vermeden emissies gelijk aan 50.000 ton CO₂-equivalenten over 20 jaar, voor een installatie van 75 MWp zijn de vermeden emissies gelijk aan 68.000 ton CO₂-equivalenten over 20 jaar.

Tabel 3.3 Vermeden emissies door opwekking Energieproject A6 zon Lelystad

Piekvermogen MWp	Emissies Energieproject A6 zon Lelystad ton CO ₂ e	Emissies elektriciteitsmix ton CO ₂ e	MWh vraag	Vermeden emissies ton CO ₂ e
55	51.000	101.000	925.000	50.000
75	69.000	138.000	1.262.000	68.000

4 CONCLUSIE

Het Energieproject A6 zon Lelystad is een belangrijke stap in de transitie naar een duurzamere energietoekomst voor Nederland. Door de installatie van zonnepanelen en het opwekken van hernieuwbare energie zal dit project een aanzienlijke bijdrage leveren aan de vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en de reductie van broeikasgasemissies in de Nederlandse elektriciteitsmix.

Naar verwachting zal het Energieproject A6 zon Lelystad tussen de 50.000 en 68.000 ton CO₂-equivalenten besparen over een periode van 20 jaar. Deze besparing is aanzienlijk en draagt bij aan de nationale en internationale klimaatdoelstellingen, zoals vastgelegd in het Klimaatakkoord van Parijs en de Nederlandse Klimaatwet.

Daarnaast draagt het zonnepark bij aan de onafhankelijke, onuitputbare energieproductie, wat bijdraagt aan een stabielere en minder afhankelijke energiesector in Nederland.

5 OPMERKINGEN EN AANDACHTSPUNTEN

Het wordt aanbevolen om de vermeden emissies periodiek opnieuw te beoordelen gedurende de looptijd van het ontwerp. Gezien de snelle ontwikkelingen in zonnepaneeltechnologie en de energiemix, kan een herziening zorgen voor een nauwkeuriger beeld van de vermeden emissies en de milieuwinst van het project.

Een van de redenen voor deze periodieke herziening is de voortdurende verbetering in de efficiëntie van zonnepanelen. Nieuwe technologieën en materialen kunnen leiden tot hogere energieopbrengsten en lagere productiekosten, wat direct invloed heeft op de totale hoeveelheid vermeden emissies.

Daarnaast verandert de energiemix voortdurend en kan dus afwijken van de prognose in deze notitie. De verhouding tussen energiebronnen zoals kolen, gas, kernenergie en hernieuwbare bronnen fluctueert door nieuwe beleidsmaatregelen, economische factoren en technologische vooruitgang. Als de energiemix verschuift naar een groter aandeel hernieuwbare energie, vermindert de koolstofintensiteit van het elektriciteitsnet. Dit betekent dat de relatieve bijdrage van zonnepanelen aan het vermijden van emissies kan variëren. Het is daarom belangrijk om periodiek de data te actualiseren op basis van de meest recente gegevens.

Naarmate het ontwerp van het zonnepaneelproject specifieker wordt, kunnen nauwkeurigere berekeningen worden gemaakt. In deze notitie zijn berekeningen gebaseerd op algemene aannames en schattingen. Echter komen er meer specifieke gegevens beschikbaar, zoals de exacte locatie, het type zonnepanelen, de oriëntatie en hellingshoek, en de aantallen. Dit maakt de berekening nauwkeuriger, wat resulteert in een beter begrip van de daadwerkelijke prestaties van het systeem en de exacte hoeveelheid vermeden emissies. Het regelmatig bijwerken van de berekeningen met deze gedetailleerde informatie draagt bij aan een realistischer en betrouwbaarder beeld van de milieuwinst van het project.

Ten slotte is het belangrijk om duurzaamheid op de lange termijn te waarborgen door plannen te maken voor de recycling en hergebruik van zonnepanelen aan het einde van hun levensduur. Dit kan verdere milieuwinst opleveren en bijdragen aan een circulaire economie.

Door deze aanbevelingen te volgen, kan het Energieproject A6 zon Lelystad niet alleen bijdragen aan de vermindering van CO₂-emissies, maar ook zorgen voor voortdurende verbetering en optimalisatie van de milieuprestaties gedurende zowel ontwerp als beheer.

6 BIBLIOGRAFIE

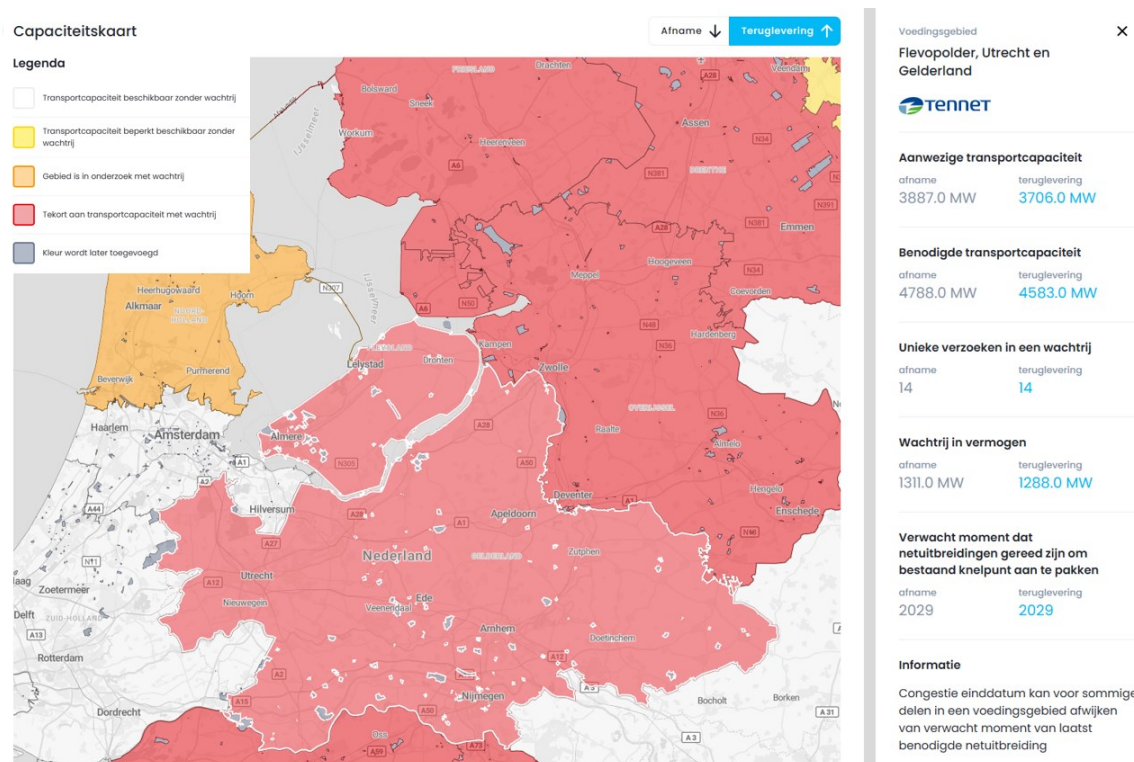
- 1 Capaciteitskaart invoeding elektriciteitsnet. (n.d.). <https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/>.
- 2 KNMI - Jaar 2024. (n.d.). <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2024/jaar>.
- 3 Mensonides Installatie. (2023, October 30). Aftoppen opbrengst zonnepanelen (Overdimensionering) - Mensonides. Mensonides. <https://www.mensonides.nl/direct-regelen/duurzaam-wonen/zonnepanelen/aftoppen-opbrengst-zonnepanelen/>.
- 4 Opbrengst zonnepanelen: bereken rendement | Greenchoice. (n.d.). <https://www.greenchoice.nl/zonnepanelen/opbrengst/>.
- 5 Subsidieregeling Coöperatieve Energieopwekking. (2024, February 1). Planbureau Voor De Leefomgeving. <https://www.pbl.nl/publicaties/subsidieregeling-cooperatieve-energieopwekking-2024>.
- 6 Trajectverkenning klimaatneutraal 2050. (2024, April 24). Planbureau Voor De Leefomgeving. <https://www.pbl.nl/publicaties/trajectverkenning-klimaatneutraal-2050>.
- 7 Van Petersen, L. (2023, August 17). Hoeveel is de opbrengst van mijn zonnepanelen? Solease. <https://www.solease.nl/blog/hoeveel-wek-ik-op/>.

BIJLAGE: NETCONGESTIE, AFTOPPING EN CAPACITEITSREDUCTIE

In veel gebieden in Nederland is het elektriciteitsnet bijna vol (netcongestie). Dit komt doordat de vraag naar elektriciteit en het aanbod ervan sneller toenemen dan de uitbreiding van het elektriciteitsnetwerk. De regering neemt maatregelen om het netwerk sneller uit te breiden en efficiënter te benutten. Dit gebeurt onder andere zodat huishoudens en bedrijven de komende jaren door kunnen gaan met verduurzamen. In Nederland kennen we laagspanning, middenspanning en hoogspanning. Met laagspanning worden wisselspanningen tot 1.000 volt en gelijkspanningen tot 1.500 volt bedoeld. Vanaf 1.000 volt tot aan 25.000 volt spreken we van middenspanning. Boven de 25.000 volt noemen we hoogspanning.

Zo is ook het voedingsgebied Flevopolder, Utrecht en Gelderland ver vol. In afbeelding I.1 hieronder is de congestie in het elektriciteitsnet zichtbaar voor het hoogspanningsniveau van TenneT. In het voorkeursalternatief van 28 november 2024 zijn hier verschillende oplossingsmethodes voor gegeven zoals cable-pooling, lokaal verbruik en aansluiting op bestaande onderstations.

Afbeelding I.1 Congestie hoogspanningsnet van netbeheerder TenneT (*Capaciteitskaart Invoeding Elektriciteitsnet, n.d.*)

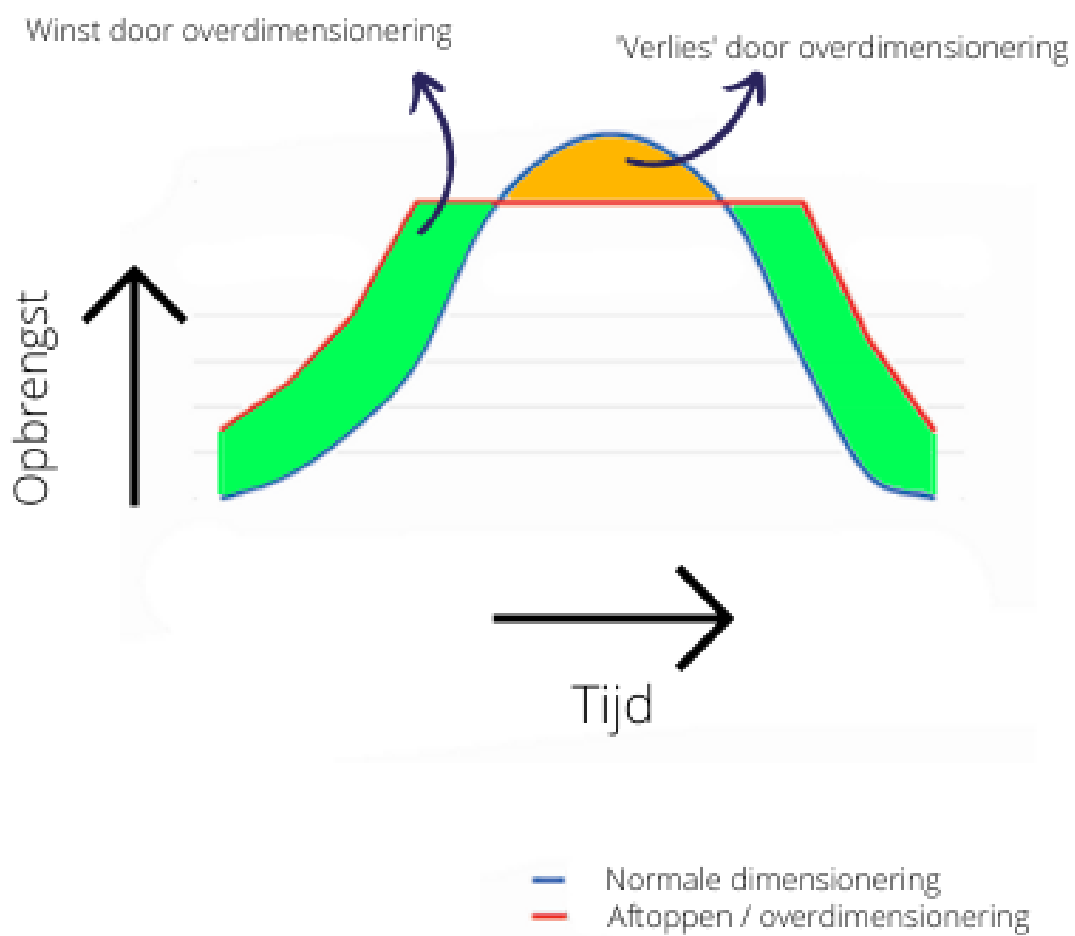


Wanneer er te veel elektriciteit wordt opgewekt door zonnepanelen en het lokale elektriciteitsnetwerk niet in staat is om al deze energie te verwerken, kan het net overbelast raken. Om dit te voorkomen, kan de opbrengst van zonnepanelen tijdelijk worden beperkt. Dit wordt ook wel aftopping of afkoppelen genoemd. Er zijn meerdere redenen voor het aftoppen van het vermogen van zonnepanelen.

Zoals eerder benoemd kan aftopping bescherming bieden tegen overbelasting van het elektriciteitsnet. Aftopping, oftewel het beperken van de maximale output van een installatie, kan voorkomen dat de netcomponenten overbelast raken tijdens piekproductiemomenten zie afbeelding I.2. Daarnaast kan het aansluiten van installaties op een lager aansluitvermogen dan hun piekvermogen ertoe leiden dat er per beschikbare netcapaciteit meer hernieuwbare energie opgewekt kan worden. Dit komt doordat het elektriciteitsnet hierdoor minder zwaar wordt belast, wat resulteert in een efficiënter gebruik van de bestaande netinfrastructuur.

Enkele voordelen van bijvoorbeeld een 50 % netaansluiting van het piekvermogen, zijn dat er een groter piekvermogen aan zon-pv aangesloten kan worden op de beschikbare netcapaciteit en dat er door het vlakkere profiel jaarlijks méér elektriciteit ingevoerd kan worden.

Afbeelding I.2 Overdimensionering (Mensonides Installatie, 2023)





BIJLAGE: BEREKENING JAARLIJKS ENERGIEOPBRENGST

In deze bijlage worden de berekeningen van de jaarlijkse opbrengst weergegeven.

Voor piekvermogen 55 MWp:

- $855 \text{ MWh/MWp} \times 55 \text{ MWp} = 47.000 \text{ MWh/jaar}$, over een periode van 15 jaar is gelijk aan circa 705.000 MWh/periode 1 tot en met 15;
- $800 \text{ MWh/MWp} \times 55 \text{ MWp} = 44.000 \text{ MWh/jaar}$, over een periode van 5 jaar is gelijk aan 220.000 MWh/periode 16 tot en met 20;
- voor een totale productie van 925.000 MWh/voor de periode van 1 tot en met 20 jaar.

Voor piekvermogen 75 MWp:

- $855 \text{ MWh/MWp} \times 75 \text{ MWp} = 64.125 \text{ MWh/jaar}$, over een periode van 15 jaar is gelijk aan 962.000 MWh/periode 1 tot en met 15;
- $800 \text{ MWh/MWp} \times 75 \text{ MWp} = 60.000 \text{ MWh/jaar}$, over een periode van 5 jaar is gelijk aan 300.000 MWh/periode 16 tot en met 20;
- voor een totale productie van 1.262.000 MWh/voor de periode van 1 tot en met 20 jaar.



BIJLAGE: TOELICHTING ECONOMISCHE LEVENSDUUR FOTOVOLTAÏSCHE PANELEN

De berekeningen in de notitie Vermeden emissies Energieproject A6 zon Lelystad zijn gebaseerd op gegevens uit het Eindadvies basisbedragen SDE++ 2024 van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). In dit advies wordt uitgegaan van een economische levensduur van 20 jaar in plaats van een technische levensduur voor zonnepanelen van 25 tot 30 jaar.

Volgens het TNO is de reden hiervoor dat voor met name grondgebonden systemen niet met voldoende zekerheid te bepalen is wat de daadwerkelijke levensduur is van zonnepanelen en andere systeemcomponenten, zoals omvormers en bekabeling. De onzekerheden rond mogelijke vervangingsmomenten en bijbehorende kosten maken het moeilijk om een betrouwbare kosten-batenanalyse te maken voor een projectlevensduur van bijvoorbeeld 25 jaar of langer.

TNO benadrukt dat deze benadering nodig is om realistische inschattingen van de rendabiliteit en subsidiehoogte te kunnen maken binnen de SDE++-regeling. Door uit te gaan van een kortere economische levensduur wordt rekening gehouden met risico's en onzekerheden die anders tot overschatting van het financieel en milieutechnische rendement zouden kunnen leiden.

Daarbij geldt dat bij toekomstige inzichten over degradatie, componentvervanging en recyclingmogelijkheden de economische levensduur eventueel kan worden herzien. Dit is tot heden niet gebeurd.

IV

BIJLAGE: TOELICHTING 55,1 KG CO₂-EQUIVALENTEN PV-MIX

De emissiefactor 95,1 kg CO₂-equivalenten per MWh is gebaseerd op de milieuverklaring 'Elektriciteit, hernieuwbaar, uit PV, bij consument, per kWh' van de NMD 2024. Recentelijk is deze NMD-milieuverklaring her berekend deze nieuwe waarde 55,1 kg CO₂-equivalenten per MWh is aanzienlijk lager en deze zal opgenomen worden in versie 1.1 van de notitie vermeden emissies.

In deze NMD milieuverklaring worden de volgende onderdelen meegenomen:

- **PV-paneel** (multi-Si);
- **inverter** (omvormer);
- **elektrische installatie** van de PV-installatie;
- **bevestigingssysteem** (montagesysteem);
- **transport voor afvalverwerking** (50 km voor recycling/hergebruik, 100 km voor stort, 150 km voor verbranding);
- **afvalbewerking** van metalen (sorteren en persen);
- **finale afvalverwerking** (zoals stort en verbranding);
- **recyclingbaten in module D** (milieuwinst door materiaalhergebruik).

Alle processen zijn gebaseerd op het Ecoinvent-model 'Model Electricity, low voltage {NL}| electricity production, photovoltaic, 570 kWp open ground installation, multi-Si | Cut-off, U', met aangepaste eindelevensscenario's voor het bevestigingssysteem volgens de Nederlandse Bepalingsmethode.



BIJLAGE: TOELICHTING ENERGIEPROJECT A6 ZON LELYSTAD VARIANTEN

In de notitie wordt het Energieproject A6 zon Lelystad, een zonne-energieproject langs de A6 snelweg, geanalyseerd met betrekking tot de vermeden emissies. Het document vergelijkt de milieueffecten van verschillende piekvermogens van zonne-installaties (55 MWp en 75 MWp) over een periode van 20 jaar. Er wordt gekeken naar de totale energieopbrengst en de bijbehorende CO₂-emissies van deze zonne-installaties en hoe deze emissies zich verhouden tot de emissies van de Nederlandse elektriciteitsmix. De notitie berekent de vermeden CO₂-emissies door zonne-energie te genereren in plaats van elektriciteit uit de reguliere energiemix, die een hogere emissiefactor heeft. De resultaten laten zien dat een installatie van 55 MWp 50.000 ton CO₂-equivalenten bespaart, terwijl een installatie van 75 MWp 68.000 ton CO₂-equivalenten bespaart over de looptijd van het project.

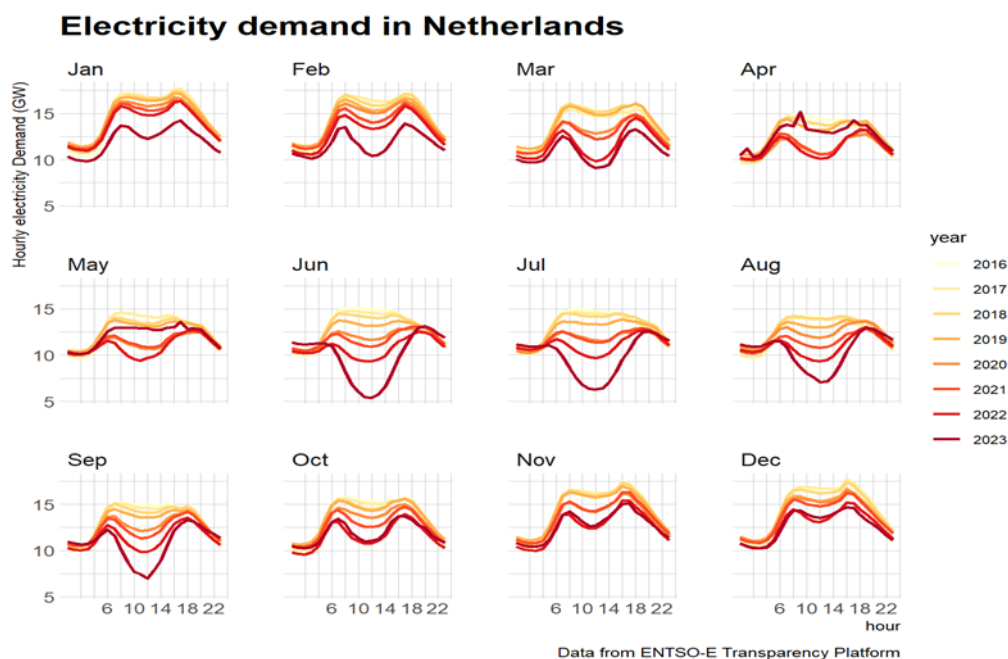
Daarnaast worden methodieken en uitgangspunten voor de berekeningen besproken, zoals piekvermogen, vollasturen, en netaansluiting. Er wordt ook aandacht besteed aan factoren zoals netcongestie en aftopping die invloed hebben op de efficiëntie van het energieproject. Tot slot worden aanbevelingen gegeven voor periodieke herzieningen en optimalisaties om de milieuprestaties van het project voortdurend te verbeteren.

Wanneer een zonneveld wordt aangelegd, leidt dat niet automatisch tot een evenredige afname van het gebruik van fossiele brandstoffen zoals kolen en gas. Dit komt door een complex samenspel van technische, systeemmatige en markt gebaseerde factoren binnen het elektriciteitssysteem. Hoewel zonne-energie op jaarbasis een aanzienlijk aandeel in de energiemix kan leveren, is de daadwerkelijke emissiereductie sterk afhankelijk van timing, systeeminbedding en operationele omstandigheden.

Zonne-energie is intermitterend van aard: productie vindt enkel plaats bij voldoende zonlicht, met pieken overdag en niets 's nachts. Omdat het elektriciteitsnet realtime balans vereist tussen vraag en aanbod, is voortdurend regelbaar vermogen nodig. Die flexibiliteit wordt momenteel grotendeels geleverd door gascentrales, omdat zij snel kunnen op- en afregelen wanneer zonneproductie fluctueert. Daarbij blijven bepaalde kolencentrales vanwege hun must-run karakter deels in bedrijf, ook als er tijdelijk veel zonneproductie is. Hierdoor vervangt zonne-energie in de praktijk niet één op één fossiele opwekking, maar vult ze het bestaande aanbod slechts aan of leidt zelfs tot afschakeling (curtailment) bij netoverbelasting.

Een ander belangrijk fenomeen is ducking: tijdens zonnige middagen daalt de netto-vraag sterk, gevolgd door een steile stijging aan het begin van de avond wanneer zonneproductie wegvalt zie afbeelding V.1. Deze abrupte 'ramp-up' kan niet efficiënt worden opgevangen door trage centrales, waardoor snelle fossiele eenheden zoals gascentrales nodig blijven. Het beschikbaar houden van deze capaciteit veroorzaakt extra emissies, ongeacht het aandeel zonne-energie op dat moment.

Afbeelding V.1 Elektriciteit vraag Nederland per uur voor verschillende maanden



Veel analyses overschatten de klimaatimpact van zonneparken doordat ze de vermeden emissie vergelijken met die van kolen- of gascentrales. Deze benadering impliceert een directe en volledige vervanging, terwijl in werkelijkheid het systeem functioneert als een geïntegreerd geheel met een mix van opwekbronnen. Daarom is het representatiever om emissiereductie te kwantificeren op basis van de gemiddelde uitstoot van de Nederlandse stroommix. Dit houdt rekening met de daadwerkelijke samenstelling van het net op elk moment, inclusief hernieuwbare bronnen, import, en de operationele beperkingen van conventionele opwek.

Bovendien bevinden we ons midden in een energietransitie waarvan de uitkomst nog zeer onzeker is. De toekomstige verdeling tussen wind, zon, kernenergie, import en opslag hangt af van technologische doorbraken, beleidskeuzes, maatschappelijke voorkeuren en netaanpassingen. Wat een zonnepark vandaag verdringt, kan in de toekomst fundamenteel anders zijn - of zelfs helemaal geen fossiele opwek meer, bijvoorbeeld als het zonnepark in een systeem met overcapaciteit draait en tot curtailment leidt.

Het Nederlandse net loopt daarbij steeds vaker tegen zijn grenzen aan. Netcongestie is inmiddels een structureel probleem geworden, waardoor nieuwe zonnenvelden regelmatig te maken krijgen met oplever beperkingen of vertragingen in netaansluitingen. De werkelijke emissiereductie van een zonnepark hangt dan ook af van lokale netcapaciteit, marktomstandigheden en het beschikbare regelvermogen. De vraag is dus niet alleen wat zonne-energie verdringt, maar ook of en wanneer die energie effectief wordt benut.

Gezien deze systeemcomplexiteit en onzekerheden is het van cruciaal belang om bij het inschatten van klimaatimpact uit te gaan van gemiddelde emissiewaarden, gebaseerd op de stroommix gebaseerd op de huidige verwachtingen. Deze methodiek is een conservatieve keuze en voorkomt een overschatting van de bijdrage van zonneprojecten aan CO₂-reductie. Alleen op die manier ontstaat een robuust, transparant en realistisch beeld van de rol van zonne-energie binnen de energietransitie.