



De effecten van zonneparken op vegetatie

Onderzoek in dertien Nederlandse zonneparken naar vegetatie, bodem en microklimaat

Door de toenemende vraag naar duurzame energie verschijnen er steeds meer grondgebonden zonneparken in Nederland. Dit leidt tot bezorgdheid over de mogelijke ecologische effecten. Ten behoeve van de publieke discussie is het belangrijk om de effecten op de lokale vegetatie zo goed mogelijk te kwantificeren. Dit artikel beschrijft de resultaten van een veldstudie naar de effecten van Nederlandse zonneparken op lokale vegetatie, bodem en microklimaat.

De energietransitie is in volle gang. De inzet van fotovoltaïsche (PV) zonnepanelen neemt hierbij sterk toe. In 2019 was het geïnstalleerde vermogen aan zonnepanelen in Nederland al 70 keer zo hoog als in 2010 (CBS, 2020), en hoewel de panelen voornamelijk op daken worden geplaatst zijn ook grondgebonden zonneparken in het landelijk gebied in opkomst. Het is nog onduidelijk wat de effecten van deze zonneparken zijn op de lokale biodiversiteit. Nederlandse literatuurstudies over dit onderwerp zijn vooral gebaseerd op internationale literatuur, waarin de abiotische factoren licht (Kok *et al.*, 2017; Klaassen *et al.*, 2018) en water (Klaassen *et al.*, 2018), de vóór plaatsing aanwezige natuurwaarden en het huidige landbeheer (Klaassen *et al.*, 2018; Van der Zee *et al.*, 2019) naar voren worden gebracht als belangrijke factoren. Nederlandse veldstudies om effecten te kwantificeren zijn klein in aantal en kleinschalig van opzet, waardoor statistische toetsing ontbreekt (zie bijvoorbeeld Frambach *et al.*, 2018).

Enkele internationale studies naar vegetatie in zonneparken laten zien dat er verschillen optreden in het microklimaat onder en tussen de panelen (Marrou *et al.*, 2013; Armstrong *et al.*, 2016; Suuronen, 2017; Hassanpour Adeh *et al.*, 2018). Zo bleek 's zomers de temperatuur onder de panelen lager dan in een onbedekte referentiesituatie en waren de fluctuaties in zowel temperatuur als luchtvochtigheid kleiner (Armstrong *et*

al., 2016; Suuronen, 2017; Hassanpour Adeh *et al.*, 2018). Dit suggereert een milder microklimaat onder de panelen dat gunstig kan zijn voor vegetatieontwikkeling. De zonnepanelen kunnen de vegetatie beschermen tegen te felle instraling, uitdroging en weersinvloeden zoals wind of hevige regenval (Parker & McQueen, 2013; Sinha *et al.*, 2018).

Studies naar conventionele zuidopstellingen in gebieden met een gematigd klimaat rapporteren een variabele impact op vegetatie. Regelmatig werd een reductie in vegetatiegroei en/of soortenrijkdom aangetoond onder of tussen de paneelrijen (Herden *et al.*, 2009; Armstrong *et al.*, 2016; Beatty *et al.*, 2017). Uit andere rapportages, vaak geïnitieerd door de PV-sector, blijkt dat de biodiversiteit wel kan toenemen in parken met lage initiële natuurwaarden, zoals intensief beheerd grasland met een lage soortenrijkdom. Dit is mogelijk met behulp van het inzaaien van het terrein met zaadmengsels (Dupraz *et al.*, 2011; Armstrong *et al.*, 2016; Sinha *et al.*, 2018), een goed aangepast maaieregime (Peschel *et al.*, 2010; Parker & McQueen, 2013; Montag *et al.*, 2016) of extensieve of roterende begrazing (Parker & McQueen, 2013; Hassanpour Adeh *et al.*, 2018; Sinha *et al.*, 2018). Deze studies evalueren echter meestal alleen de soortenrijkdom tussen de rijen en niet de invloed van de zonnepanelen op de vegetatie direct eronder.

zonneparken
vegetatie
microklimaat
bodem
biodiversiteit

C.G.M. (Charlotte) Knegt

Masterstudent Bio Inspired Innovation, Universiteit Utrecht

K. (Klaske) van Wijngaarden

Masterstudent Environmental Biology, Universiteit Utrecht

P.A. (Pita) Verweij

Energy & Resources, Copernicus Institute of Sustainable Development, Universiteit Utrecht, Princetonlaan 8a, 3584 CB Utrecht
p.a.verweij@uu.nl

M.B. (Merel) Soons

Ecologie & Biodiversiteit, Departement Biologie, Universiteit Utrecht

Foto: Mark van Veen.
Voederwikke naast zonneveld.

Door de grote variatie in klimaatomstandigheden, vegetatietypen en onderzoeksmethodes in bovengenoemde studies zijn de ecologische effecten van gangbare zonneparken op lage, open vegetaties (voornamelijk grasland) in Nederland moeilijk in te schatten. Daarom kwantificeert onze studie de effecten van zonnepanelen op het functioneren van het lokale grasland aan de hand van zowel het absolute aantal plantensoorten (vanaf nu: soortenrijkdom), de evenredigheid van deze soortenrijkdom (vanaf nu uitgedrukt in Shannon-index) en vegetatiestructuur in Nederlandse zonneparken. Deze variabelen geven onder meer een indicatie van de beschikbaarheid van habitat en foerageermogelijkheden voor insecten, vogels en overige fauna en geven daarom een goede eerste indruk van de gezondheid van het ecosysteem.

De vegetatieontwikkeling is naar verwachting sterk afhankelijk van lichtinval, temperatuur en bodemvocht. Daarom zijn ook deze factoren direct onder de zonnepanelen gemeten en vergeleken met de situatie daarbuiten. Tot slot is voormalig landgebruik van het zonnepark meegenomen in de analyse.

Deze studie is een eerste baseline-onderzoek voor dertien zonneparken verspreid door het land. Voor zover de auteurs konden nagaan is een dergelijk onderzoek nog niet eerder op deze schaal uitgevoerd in Nederland. De resultaten van dit onderzoek zijn relevant voor actoren die betrokken zijn bij de energietransitie; in het bijzonder voor beleidsmakers, bedrijven in de energiesector en groenbeheerders van grondgebonden zonneparken.

Methodie

Gedurende de maanden mei, juni en juli 2019 is veldwerk uitgevoerd in dertien Nederlandse zonneparken van nul tot drie jaar oud, die variëren in configuratie en beheer (zie figuur 1). De zonneparken waren aangelegd op braakliggend terrein, conventioneel intensief beheerd grasland, terrein vooraf ingezaaid met bloemrijk kruidmengsel of terrein ingezaaid met graslandsoorten. Er zijn metingen gedaan aan vegetatie, bodem en microklimaat, op verschillende afstanden tot de zonnepanelen. Per zonnepark werden 5 à 6 transecten uitgezet, bestaande uit drie proefvlakken en een bijbehorend controleproefvlak, alle 1 m² in omvang. De proefvlakken lagen in het midden onder de rij zonnepanelen (PV), direct ten noorden van dezelfde rij (R1), direct ten zuiden van de volgende rij (R2) en in een onbedekte controlesituatie zonder schaduwval buiten het paneelveld (C) (zie figuur 2). In elk proefvlak is eenmalig het percentage aan vegetatiebedekking en de gemiddelde vegetatiehoogte gemeten. Vervolgens zijn vegetatie-opnames gemaakt volgens een gemodificeerde Braun-Blanquetschaal met

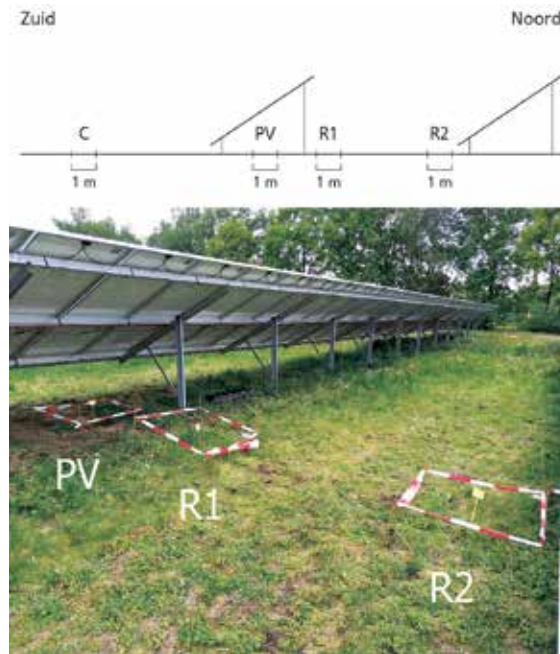


Figuur 1 Overzicht van bezochte zonneparken in het kader van veldwerk.

Figure 1 Map of the solar parks visited for fieldwork.

14 klassen. Bij een bedekking van < 10% werd deze getoed als 1, 2-5, 6-50 of >50 individuen, volgens de standaard Braun-Blanquetschaal (Braun-Blanquet, 1932 via Moore, 1962). Bij een bedekking meer dan 10% werd gewerkt met klassebreedtes van 10%. Het gemiddelde van deze klassen werd vervolgens gebruikt als gemiddelde werkelijke bedekking (GWB) per soort om de Shannon-index voor elk proefvlak te bepalen (Shannon, 1948). Om het microklimaat in kaart te brengen werden per proefvlak ook het bodemvochtgehalte, het bodemorganischestofgehalte (OS) en de fotosynthetisch actieve straling (PAR) gemeten. De bodemvariabelen werden voor elk proefvlak bepaald aan de hand van een bodemonster gestoken tot een diepte van 20 cm. Met een droogstoof en een verassingsoven zijn respectievelijk het bodemvochtgehalte en bodem-OS bepaald. Met een AccuPAR PAR/LAI Ceptometer, Model LP-80, is in elk proefvlak de fractie geabsorbeerde PAR (fAPAR) en de bladoppervlakte-index (LAI) van de vegetatie berekend (Decagon Devices Inc., 2016).

In totaal zijn 312 bodemanalyses uitgevoerd en 288 vegetatieopnames gemaakt, inclusief bijbehorende metingen aan het microklimaat. In de zonneparken werden per bezoek gedurende gemiddeld 7 uur en 48 minuten



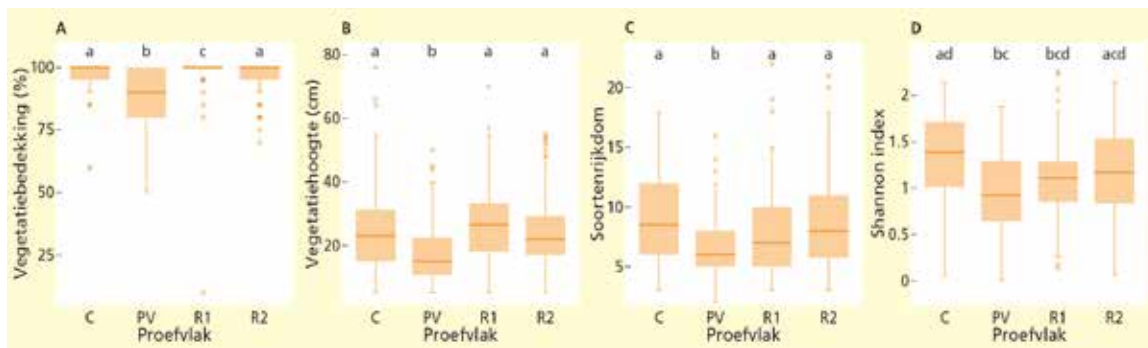
Figuur 2 Locatie van proefvlakken PV, R1 en R2. Proefvlak C ligt aan de rand van het zonnepark op locaties met zo min mogelijk schaduwval. Foto gemaakt in zonnepark RWZI de Bilt.

Figure 2 Lay-out of treatment plots PV, R1 and R2. Plot C is placed on the outskirts of the park, where shadow is minimal. Picture was taken at solar park RWZI de Bilt.

de relatieve luchtvochtigheid en luchttemperatuur gelogd met hygrothermometers (Lascar EL-USB-2-LCD, model IP67; Lascar electronics, 2016) in de PV- en R2-proefvlakken.

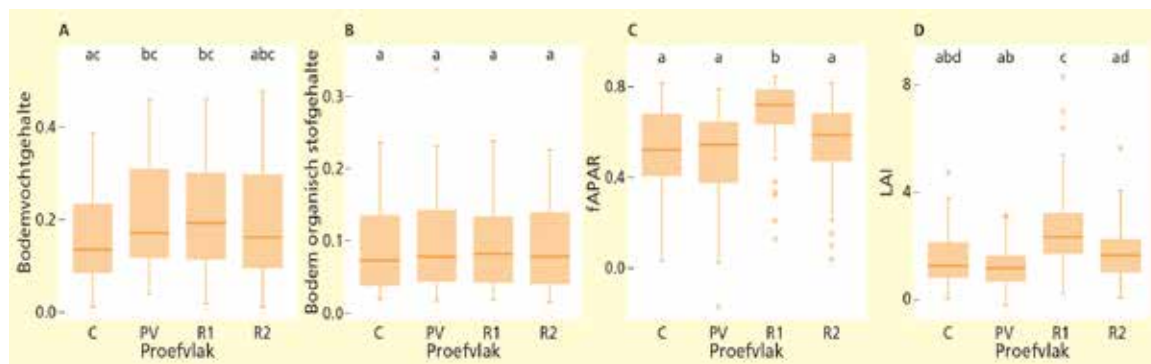
Figuur 3 Boxplots met vergelijkingen tussen proefvlakken. A) Percentage vegetatiebedekking (%), Kruskal-Wallis met Dunn's post hoc test. B) Vegetatiehoogte (cm), ANOVA met Tukey's post hoc test. C) Soortenrijkdom, ANOVA met Tukey's post hoc test. D) Shannon index, ANOVA met Tukey's post hoc test. Significant ($p < 0.05$) verschillende groepen zijn aangegeven met letters a,b,c,d.

Figure 3 Boxplots with comparisons between treatments. A) Percentage vegetation cover (%), Kruskal-Wallis with Dunn's post hoc test. B) Vegetation height (cm), ANOVA with Tukey's post hoc test. C) Absolute species richness, ANOVA with Tukey's post hoc test. D) Shannon index, ANOVA with Tukey's post hoc test. Groups with significant differences ($p < 0.05$) are marked with letters a,b,c,d.



Figuur 4 Boxplots met vergelijkingen tussen proefvlakken. A) Bodemvochtgehalte, Kruskal-Wallis met Dunn's post hoc test. B) Bodem organische stofgehalte, ANOVA met Tukey's post hoc test (N.S.). C) fAPAR, Kruskal-Wallis met Dunn's post hoc test. D) LAI, ANOVA met Tukey's post hoc.

Figure 4 Boxplots with comparisons between treatments. A) Soil moisture content, Kruskal-Wallis with Dunn's post hoc test. B) Soil organic matter content, ANOVA with Tukey's post hoc test (N.S.). C) fAPAR, Kruskal-Wallis with Dunn's post hoc test. D) LAI, ANOVA with Tukey's post hoc.



Resultaten

De vegetatiebedekking, -hoogte, soortenrijkdom en Shannon-index verschilden tussen de proefvlakken (figuur 3). Het percentage vegetatiebedekking in PV, dus onder de zonnepanelen, was significant lager dan in alle andere proefvlakken ($p < 0.005$, $X_2 = 48.099$) en ten minste -17% ten opzichte van R1, R2 en C. Ook de vegetatiehoogte (cm) was significant lager in PV dan in alle andere proefvlakken ($p < 0.0005$, $F = 8.463$), namelijk -30 tot -34%. De soortenrijkdom was in PV significant lager dan in R1, R2 en C ($p < 0.005$, $F = 7.449$); namelijk -20% ten opzichte van R1, -27% ten opzichte van R2, en -31% ten opzichte van C. De waarde van de Shannon-index in PV was significant lager dan in R2 (-18%) en in C (-28%) ($p < 0.05$, $F = 7.43$). Voor alle gemeten vegetatievariabelen waren de waarden in PV significant lager dan in C. Voor geen van de variabelen was er een significant verschil tussen R2 en C. De waarden van R1 lagen vrijwel altijd tussen die van C en R2 in.

In zowel PV als R1 was de bodem vochtiger dan in C (figuur 4A; $p < 0.05$, $X_2 = 9.4412$). Er waren geen significante verschillen in bodem-organischstofgehalte tussen de proefvlakken (figuur 4B). Er bleek een significant

verschil in fAPAR te zijn tussen R1 en de andere proefvlakken (figuur 4C; $p < 0.05$, $X_2 = 56.097$), waarbij in R1 23-33% meer van de inkomende PAR werd geabsorbeerd door de vegetatie. Tot slot was LAI significant hoger in R1 dan in de andere proefvlakken (figuur 4D; $p < 0.05$, $F = 20.17$) en was LAI tevens hoger in R2 dan in PV.

De gemiddelde temperatuur in PV was lager dan die in R2 (figuur 5): gemiddeld 5.3 °C lager dan in R2 ($p < 0.05$, $T = -5.4992$). Ook het verschil tussen minimum- en maximumtemperatuur was in PV kleiner: gemiddeld 9.4 °C ($p < 0.05$, $T = -4.9077$).

De relatieve luchtvochtigheid verschilde ook tussen PV en R2 (figuur 6). Gemiddeld bleek de relatieve luchtvochtigheid in PV 9.4% hoger dan in R2 ($p < 0.05$, $T = 3.0604$). Ook de gemiddelde dagelijkse fluctuaties tussen minimum- en maximumluchtvochtigheid was in PV 17.4% kleiner dan in R2 ($p < 0.05$, $T = -5.4355$).

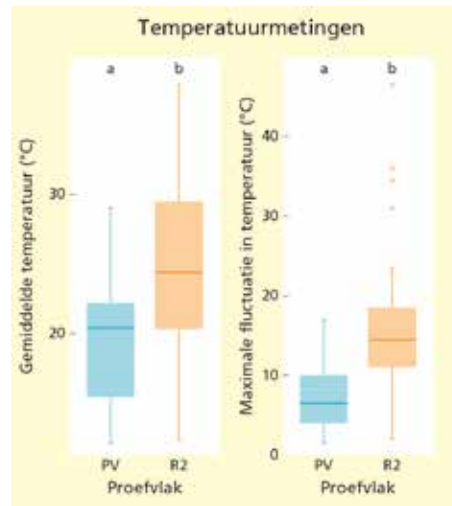
Op zes locaties zijn de dataloggers 's nachts blijven liggen. Er zijn tijdens de nacht geen significante verschillen gevonden in temperatuur of luchtvochtigheidsgehalte tussen PV en R2. Figuur 5 en 6 laten daarom alleen de gegevens zien die overdag zijn verzameld.

De variatie in soortenrijkdom van de proefvlakken kan voor een groot deel verklaard worden door het voorma-

lig landgebruik (figuur 7). Ook de impact van de zonnepanelen op de soortenrijkdom was sterk afhankelijk van het landgebruik bij aanleg (two-way ANOVA met TukeyHSD post hoc test, $p < 0.005$, $F = 2.738$). In zonneparken aangelegd op voorheen braakliggend terrein was de soortenrijkdom voor alle proefvlakken substantieel hoger dan in conventioneel en ingezaaid grasland ($p < 0.0005$, +62% tot +145%). De soortenrijkdom in het zonnepark dat werd ingezaaid met een bloemrijk mengsel was voor alle proefvlakken significant hoger dan in conventioneel en ingezaaid grasland ($p < 0.005$), met uitzondering van PV. De tendens van afname van soortenrijkdom in PV ten opzichte van C was consistent voor de vier typen landgebruik, maar de afname was het sterkst in ingezaaid bloemrijk grasland (-52%, $n = 5$, $p < 0.05$, $F = 9.742$). In conventioneel grasland (-31%, $n = 39$, $p < 0.05$, $F = 6.054$) en in braakliggend land (-29%, $n = 16$, $p < 0.05$, $F = 5.364$) was deze afname minder sterk. In ingezaaid grasland was de invloed van de panelen op de soortenrijkdom minder sterk en niet significant (-13%, $n = 12$, $p > 0.05$, $F = 1.351$).

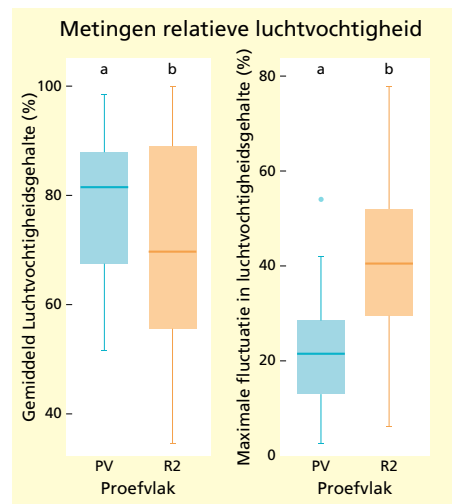
Discussie

De resultaten laten zien dat vegetatiebedekking, vegetatiehoogte, soortenrijkdom en Shannon-index significant lager zijn onder zonnepanelen (PV) dan in de controleproefvlakken (C) en de proefvlakken gelegen tussen de rijen (R2). Onder de zonnepanelen heerst een microklimaat dat gekenmerkt wordt door semipermanente schaduw, lagere temperaturen, gedempte temperatuurschommelingen en een relatief hoog bodem- en luchtvochtigheidsgehalte. De vegetatiebedekking, -hoogte, hoeveelheid bladoppervlak (LAI) en ingevangen licht (fAPAR) zijn het hoogst in de proefvlakken direct naast de panelen (R1). Tussen de proefvlakken C en R2 is weinig verschil gevonden. De soortenrijkdom op de parken



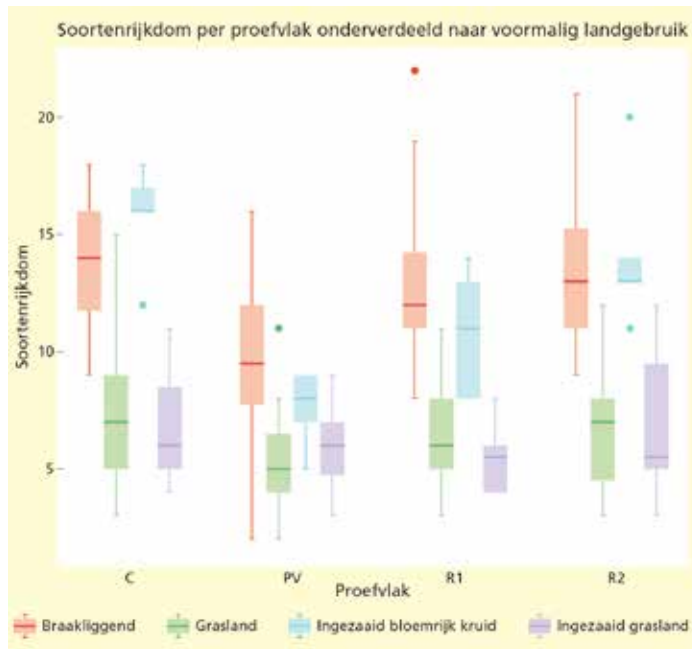
Figuur 5 Boxplots met vergelijkingen van temperatuur tussen proefvlakken. A) Gemiddelde temperatuur (°C), two-sample t-test. B) Maximale fluctuatie in temperatuur (°C), two-sample t-test.

Figure 5 Boxplots with comparisons of temperature between treatments. A) Average temperature (°C), two-sample t-test. B) Maximal fluctuation in temperature (°C), two-sample t-test.



Figuur 6 Boxplots met vergelijkingen van relatief luchtvochtigheidsgehalte tussen proefvlakken. A) Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (%), two-sample t-test. B) Maximale fluctuatie in relatieve luchtvochtigheid (%), two-sample t-test.

Figure 6 Boxplots with comparisons of relative air humidity between treatments. A) Average relative humidity (%), two-sample t-test. B) Maximal fluctuation in relative air humidity (%), two-sample t-test.



Figuur 7 Vergelijking van soortenrijkdom per type proefvlak gesorteerd op voormalig landgebruik. Voormalig braakliggend (n = 16 transecten in 3 parken). Voormalig conventioneel intensief beheerd grasland (n = 39 transecten in 7 parken). Ingezaaid met bloemrijk kruidenmengsel (n = 5 transecten in 1 park). Ingezaaid met graslandsoorten (n = 12 transecten in 2 parken).

Figure 7 Comparison of absolute species richness per treatment, presented by the previous land-use type. Previous fallow land (n = 16 transects in 3 parks). Previous conventional intensively managed pasture (n = 39 transects in 7 parks). Sown with flower-rich herb mixture (n = 5 transects in 1 park). Sown with grassland species (n = 12 transects in 2 parks).

is meer afhankelijk van het type landgebruik bij aanleg dan van de afstand tot het paneel.

Bovenstaande bevindingen gaan gepaard met observaties van een hoog percentage kale grond en dood materiaal in PV. In tegenstelling tot een gebrek aan vocht, zoals gesuggereerd in de literatuur (Montag *et al.*, 2016; Kok *et al.*, 2017; Frambach *et al.*, 2018) duiden onze data eerder op een gebrek aan licht (figuur 4C) als de belangrijkste oorzaak van het afsterven van vegetatie; de bodem- en luchtvochtigheid zijn immers hoger in PV dan in de overige plots.

De waarden van vegetatiebedekking, -hoogte, hoeveelheid bladoppervlak (LAI) en ingevangen licht (fAPAR) waren in R1 hoger dan in C. Deze proefvlakken liggen een deel van de dag in de schaduw en vangen afgewaterd regenwater van de panelen op, wat resulteert in het significant hogere bodemvochtgehalte ten opzichte van C. De aantoonbaar hogere absorptie van licht in R1 ten opzichte van PV, R2 en C suggereert een hogere activiteit van fotosynthese, die wellicht samenhangt met een hogere biomassa. Een andere verklaring kan zijn dat R1 in de gecreëerde luwte van de panelen ligt, waardoor de vegetatie beschermd wordt tegen extremere weersomstandigheden, in lijn met Parker & McQueen (2013) en Sinha *et al.* (2018). De overeenkomst tussen de vegetatie en bodemaspecten in R2 en C doet vermoeden dat de afstand tussen de paneelrijen zodanig was dat de vegetatiegroei in R2 weinig werd beïnvloed. Omdat de hoogte van de paneeltafels varieerde tussen de bezochte zonneparken, zijn deze afstanden met elkaar vergeleken aan de hand van de ratio tussen de afstand tussen twee rijen en het hoogste punt van de constructie. In de bezochte parken varieerde deze ratio tussen 0,6 en 2,7. In drie parken waar de ratio tussen rijafstand en hoogte lager was dan 1,3, was de soortenrijkdom in R2 significant lager dan in C (one-way ANOVA en TukeyHSD posthoc test, p

< 0.05). Bij alle andere parken waar de ratio hoger lag, was er geen significant verschil tussen R2 en C. Dit suggereert dat, in conventionele parken met een zuid-opstelling, een rijafstand van circa 1,5 keer de hoogte van de paneelafstand voldoende ruimte laat voor een natuurlijke vegetatieontwikkeling tussen de rijen.

Voormalig en huidig landgebruik zijn in meerdere onderzoeken al naar voren gekomen als belangrijke verklaringen voor de vegetatieontwikkeling in zonneparken (Peschel *et al.*, 2010; Dupraz *et al.*, 2011; Parker & McQueen, 2013; Armstrong *et al.*, 2016; Montag *et al.*, 2016; Hassanpour Adeb *et al.*, 2018; Klaassen *et al.*, 2018; Sinha *et al.*, 2018). Figuur 7 laat zien dat de negatieve impact op de soortenrijkdom van zonnepanelen groter is op land waar bij aanleg een hogere soortenrijkdom aanwezig was (voormalig braakliggend en ingezaaid bloemrijk grasland). Dit benadrukt het belang van de keuze van de locatie voor het plaatsen van zonnepanelen. Plaatsing van zonnepanelen op terreinen met een hoge initiële soortenrijkdom moet worden vermeden.

Op terreinen met een lage initiële soortenrijkdom kan het inzaaien van een bloemrijk zaadmengsel voor of tijdens installatie uiteindelijk resulteren in een toename van de gemiddelde soortenrijkdom per vierkante meter. Het langetermijnsucces van dit inzaaien zal echter afhangen van het beheer van de zonneweide, waarbij beheer gericht op verschraling (zoals maaien en afvoeren en/of begrazen door schapen) de grootste kans op succes biedt (Klimek *et al.*, 2007; Tälle *et al.*, 2018; Van der Zee *et al.*, 2019). Monitoring van het langetermijneffect van de verschillende beheertypen moet uitwijzen welke het meest bij kan dragen aan soortenrijkdom.

Het overgrote deel van de bezochte parken is voor commerciële doeleinden ontworpen, waarbij voorafgaand aan de installatie niet of nauwelijks is nagedacht over groenbeheer of versterken van aanwezige natuurwaar-

den. De bevinding dat veel onderzochte waarden in de R2-plots, tussen de paneelrijen, gelijk blijven aan de controleplots (C), impliceert dat er kansen zijn om winst te behalen in soortenrijkdom en Shannon-index van de lokale vegetatie met adequaat management, zoals het inzaaien van het juiste zaadmengsel en een passend maaieregime. De bezochte zonneparken zijn relatief jong (maximaal 3 jaar oud, ten opzichte van de beoogde 25-30 jarige levensduur), daarom zijn de beschreven effecten alleen representatief voor zonneparken met een vroege vegetatieontwikkeling. Het ontbreken van enig verschil in bodem-organischestofgehalte tussen de proefvlaktypes is in lijn met de verwachting van Klaassen *et al.* (2017) dat effecten op de bodem pas op langere termijn waargenomen kunnen worden.

Op basis van deze resultaten is het sterk aan te raden om, voorafgaand aan het plaatsen van een zonnepark op grasland, duidelijk te definiëren op welke vegetatieontwikkeling er tijdens en na de geschatte levensduur van het park wordt ingezet. Er moeten keuzes gemaakt worden, omdat een bijdrage aan soortenrijkdom, een evenredige verdeling van deze soorten en een bodem geoptimaliseerd voor landbouw elkaar in veel opzichten uitsluiten. Wanneer een blijvende bijdrage aan vegetatieontwikkeling prioriteit krijgt, moet er een passend beheerplan voor verschraling van de bodem en het ondersteunen van vegetatieontwikkeling opgezet worden.

Conclusie

Onder zonnepanelen is de vegetatie minder bodembedekkend, minder hoog, minder soortenrijk en minder evenredig verdeeld dan naast de panelen. Zowel de bodem als de lucht onder de panelen is vochtiger, en de fluctuatie van luchtvochtigheid en temperatuur is gedurende de dag gereduceerd. Vegetatie onder zonnepanelen ontvangt ook significant minder licht. Vegetatie en

bodem tussen de rijen direct ten zuiden van de paneeltafels verschillen nauwelijks van vegetatie en bodem in de controlesituatie. Aan de hand van dit onderzoek lijkt een rijafstand van ten minste 1,5 keer de hoogte van de paneeltafels voldoende kansen te bieden voor de vegetatieontwikkeling. In zonneparken met hogere initiële soortenrijkdom is de negatieve impact van de zonnepanelen op de soortenrijkdom het grootst. Als zonneparken worden aangelegd op een locatie met een lage soortenrijkdom is daarentegen winst voor vegetatieontwikkeling te behalen door beheer gericht op vershraling en het inzaaien met een passend kruidenrijk zaadmengsel.

Summary

Ecological impacts of ground-mounted solar parks on local vegetation - vegetation, soil, and microclimate in thirteen solar parks in the Netherlands
Charlotte Knegt, Klaske van Wijngaarden, Pita Verweij & Merel Soons

solar parks, vegetation, microclimate, soil, biodiversity

Ground-mounted solar parks are rapidly expanding in the Netherlands. It is critical to monitor their effects on vegetation, soil, and microclimate. We quantified the short-term impact of solar panels in thirteen solar parks across the Netherlands. Under solar panel arrays, vegetation cover, absolute species richness and Shannon diversity were reduced compared to the surrounding area. Day-time temperatures and temperature fluctuations were lower under solar panels, while soil and air moisture levels were higher. Directly north of solar panel arrays, absolute species richness and Shannon diversity were reduced, but vegetation was taller with a higher veg-

Ten slotte

Zonneparken zijn relatief nieuw in Nederland en deze resultaten geven een eerste indicatie van de ontwikkeling van de aanwezige ecosystemen. Ook andere aspecten van biodiversiteit, zoals bodemleven en de aanwezigheid van insecten, vogels en (kleine) zoogdieren zullen nader moeten worden onderzocht. Daarnaast is het belangrijk om over langere periodes te monitoren om de gevonden trends in de data te kunnen valideren.

Dit onderzoek is uitgevoerd in samenwerking tussen de Universiteit Utrecht en Lievense | WSP. De auteurs bedanken ook Holland Solar, zonneparkbeheerders en andere betrokkenen voor hun bijdragen.

etation cover. Soil moisture was highest here. South of panel arrays, vegetation and soil parameters were comparable to the control situation without solar panels. Reduction of species richness depended strongly on previous land use and was highest in parks with high initial biodiversity value. It is therefore advised to avoid such areas in solar park allocation. By contrast, our findings suggest that enhancement of biodiversity is possible by planning solar parks in areas with low initial biodiversity value and proper solar park design and management (i.e. targeted at removal of nutrients and seeding of forb mixtures).

Literatuur

- Armstrong, A., N.J. Ostle & J. Whitaker, 2016.** Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters* 11(7): 12.
- Beatty, B., J. Macknick, J. McCall *et al.*, 2017.** Native vegetation performance under a solar PV array at the National Wind Technology Center. Golden (United States) National Renewable Energy Lab. (NREL), NREL/TP-1900-66218.
- Braun-Blanquet, J., 1932.** Plant sociology (Transl. G. D. Fuller and H. S. Conrad). New York. McGraw-Hill.
- CBS, 2020.** Productie groene elektriciteit in stroomversnelling. www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/10/productie-groene-elektriciteit-in-stroomversnelling (geraadpleegd 20 oktober 2020).
- Dupraz, C., H. Marrou, G. Talbot *et al.*, 2011.** Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36(10): 2725–2732.
- Decagon Devices Inc., 2016.** AccuPAR PAR/LAI Ceptometer, Model LP-80 - Operator's Manual. (Decagon Devices, Inc. Ed.). Washington. Pullman.
- Frambach M, Y. Liu, L. Mazolla *et al.*, 2018.** Combining solar panels and agriculture. Analysing the impact on soil biodiversity. Wageningen. Studentenrapport Wageningen Universiteit.
- Hassanpour Adeh, E., J.S. Selker & C.W. Higgins, 2018.** Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLoS ONE*: 13(11): e0203256.
- Herden, C., J. Rasmus & B. Gharadjedaghi, 2009.** Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Bonn. Bundesamt für Naturschutz.
- Klaassen, R.H.G., T. Schaub, H. Ottens *et al.*, 2018.** Literatuurstudie en formulering richtlijnen voor een ecologische inrichting van zonneparken in de provincies Groningen en Noord-Holland: Eindrapportage. Groningen. University of Groningen.
- Klimek, S., M. Hofmann & J. Isselstein, 2007.** Plant species richness and composition in managed grasslands: the relative importance of field management and environmental factors. *Biological Conservation*, 134(4): 559-570.
- Kok, L., N. van Eekeren, W.H. van der Putten *et al.*, 2017.** Zonneparken en bodemafdekking: trade-offs of win-win bij energieopwekking en bodemfuncties? *Bodem* 27(4):18-21.
- Lascar electronics, 2016.** EL-USB-2-LCD Temperature, Humidity and Dew Point Data Logger with LCD Screen. Wiltshire.
- Marrou, H., L. Guillon, L. Dufour *et al.*, 2013.** Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology* 177: 117–132.
- Montag, H., G. Parker & T. Clarkson, 2016.** The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity: A Comparative Study. Clarkson and Woods & Wychwood Biodiversity.
- Moore, J.J., 1962.** The Braun-Blanquet system: a reassessment. *The Journal of Ecology* 50(3): 761-769.
- Parker, G.E., & C. McQueen, 2013.** Can Solar Farms Deliver Significant Benefits for Biodiversity? Preliminary Study July-August 2013. Unpublished.
- Peschel, T., N. Boenigk & B. Dannemann, 2010.** Solar parks - Opportunities for Biodiversity. A report on biodiversity in and around ground-mounted photovoltaic plants. *Renews Special* 45: 3-34.
- Shannon, C.E., 1948.** A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27(3): 379-423.
- Sinha, P., B. Hoffman, J. Saker *et al.*, 2018.** Best practices in responsible land use for improving biodiversity at a utility-scale solar facility. *Case Studies in the Environment*: 2(1): 1–12.
- Suuronen, A., 2017.** Ecological and social impacts of photovoltaic solar power plants and optimization of their locations in northern Chile. Jyväskylä (Finland). *Jyväskylä studies in biological and environmental science* 338.
- Tälle, M., B. Deák, P. Poschlod *et al.*, 2018.** Similar effects of different mowing frequencies on the conservation value of semi-natural grasslands in Europe. *Biodiversity and Conservation*, 27(10): 2451-2475.
- Van der Zee, F., J. Bloem, P. Galama *et al.*, 2019.** Zonneparken. *LANDSCHAP* 36(4): 235-239.