

Zon op dijken

Monitoring grasvegetatie onder zonnepanelen op dijken

Auteurs | J.R. van der Schoot, Eva Meijers & Marcel van der Voort

WPR-OT 960



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Zon op dijken

Monitoring grasvegetatie onder zonnepanelen op dijken

J.R. van der Schoot, Eva Meijers en Marcel van der Voort

Wageningen University & Research

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, december 2022

Rapport WPR-OT 960

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/584642>

Het plaatsen van zonnepanelen op dijken lijkt een goede optie om een bijdrage te leveren aan de productie van duurzame energie. Er zijn veel verschillende PV-systemen, die onderling verschillen in o.a. fundering en type panelen, met voor elk systeem een specifiek effect op de dijk. Aanleg, effect op de vegetatie, beheer en onderhoud zijn aspecten om in ogenschouw te nemen om PV-systemen te beoordelen op geschiktheid voor plaatsing op dijken.

In 2020 is een project gestart in Ritthem (spuikom) en op de Knardijk bij Zeewolde om de mogelijkheden en effecten van een aantal opstellingen met zonnepanelen op dijken in kaart te brengen. De aanleg van PV-systemen en bekabeling is een specifiek onderdeel met mogelijke schade aan het talud en de grasmat.

Binnen een paar maanden na plaatsing van de zonnepanelen in Ritthem (standaardopstellingen met tafels zoals ook gebruikt op land) was al duidelijk dat de grasmat onder de panelen grote schade opliep. Ook onder de glas/glas-panelen kwam veel te weinig licht om de grasmat op een voldoende kwaliteitsniveau te houden. De combinatie van met name minder zonlicht (reductie tot 90%), een nat najaar en beweiding met schapen zorgde voor een erg open zode met gedeelten van slechts 10% grondbedekking. In het volgende voorjaar en zomers trad geen herstel van de grasmat op. Door de lage opstelling was het onderhoud (maaïen) onder de panelen erg lastig.

Aanpassing van een aantal opstellingen (lichtreductie maximaal 50%) met minder zonnepanelen in Ritthem zorgde voor een duidelijk herstel van de grasmat. De grondbedekking was met 75 tot 85% nog wel lager dan de gedeelten zonder schaduwwerking van zonnepanelen (grondbedekking van meer dan 90%) en daarmee aan de ondergrens van wat wenselijk is op een dijk. Tevens is waargenomen dat de beworteling als gevolg van de minder licht omstandigheden bij een reductie van 50% licht slechter was in diepte en intensiteit ten opzicht van geen lichtreductie.

De opstelling op de Knardijk met betonblokken boven en onderaan de dijk en daartussen hangende panelen aan kabels beïnvloedde de grasmat niet negatief in de beoordelingsperiode van 1 jaar, ondanks de lichtreductie tot 30% op een aantal gedeelten onder de traveeën van hangende panelen. Het maaïen van dit dijkgedeelte was wel erg lastig vanwege de kabels en de panelen. Beheerders zijn ook terughoudend, omdat ze geen schade willen aanbrengen aan de opstellingen.

Trefwoorden: zonnepanelen, dijken, gras, schapen

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad, T 0320 29 11 11; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-OT 960

Foto omslag: PV-systemen op dijk beweïd met schapen



Inhoud

Inhoud

Inhoud	5
Woord vooraf	6
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Doel project	9
1.2 Afbakening en leeswijzer	9
2 Ritthem	11
2.1 Proefopstelling	11
2.2 Materiaal en methoden	11
2.3 Plaatsing systemen	13
2.4 Najaar 2020	13
2.5 Voorjaar 2021	14
2.6 Periode tot 31 maart	16
2.7 Periode 1 april tot 1 juni 2021	18
2.8 Relatie met licht	21
2.9 Verloop grondbedekking 2021 tot juli 2022	25
2.10 Beworteling voorjaar 2022	27
2.11 Onderhoud en beheer grasmatten	28
2.12 Biodiversiteit	29
2.13 Discussie Ritthem	29
2.14 Conclusies Ritthem	31
3 Knardijk	32
3.1 Voor plaatsing juni 2020	32
3.2 Plaatsing t/m najaar 2020	32
3.3 Materiaal en methode	33
3.4 Voorjaar 2021	33
3.5 Najaar 2021	34
3.6 Voorjaar 2022	35
3.7 Sensoren	35
3.8 Onderhoud	37
3.9 Discussie en conclusies Knardijk	37
Literatuur	38

Woord vooraf

Het plaatsen van zonnepanelen op dijken lijkt potentieel een prima optie voor waterschappen om een bijdrage te leveren aan de productie van duurzame energie. De hoofdfunctie van de meeste dijken is echter het beschermen van het achterliggend land, waaraan afhankelijk van het belang van de dijk weinig concessies kunnen worden gedaan. Belangrijk voor het functioneren van een grasdijk is een goede stevige vegetatie die de dijk beschermt tegen erosie.

In een eerdere fase van het project is een literatuurstudie (rapport WPR-846) uitgevoerd naar wat de verwachte effecten van het plaatsen van zonnepanelen op dijken zouden kunnen zijn. En hoe je het gras en de bodem zou kunnen monitoren.

De aanleg van zonnepanelen op dijken kan afhankelijk van het type schade veroorzaken aan de grasmat. In het project rapport WPR-OT 959 is aan de hand van met name foto's aangegeven hoe de aanleg heeft plaats gevonden en wat de gevolgen voor de grasmat waren. En worden een aantal aanbevelingen gedaan om de schade te beperken en te herstellen.

Wat het effect is van een aantal opstellingen van zonnepanelen op de grasmat en de bodem wordt in dit rapport beschreven.

Samenvatting

Het plaatsen van zonnepanelen op dijken lijkt een goede optie om een bijdrage te leveren aan de productie van duurzame energie. Er zijn veel verschillende PV-systemen, die onderling verschillen in o.a. fundering en type panelen, met voor elk systeem een specifiek effect op de dijk. Aanleg, effect op de vegetatie, beheer en onderhoud zijn aspecten om in ogenschouw te nemen om PV-systemen te beoordelen op geschiktheid voor plaatsing op dijken.

In 2020 is een project gestart in Ritthem (spuikom) en op de Knardijk bij Zeewolde om de mogelijkheden en effecten van een aantal opstellingen met zonnepanelen op dijken in kaart te brengen. De aanleg van PV-systemen en bekabeling is een specifiek onderdeel met mogelijke schade aan het talud en de grasmat.

Binnen een paar maanden na plaatsing van de zonnepanelen in Ritthem (standaardopstellingen zoals ook gebruikt op land) was al duidelijk dat de grasmat onder de panelen grote schade opliep. De combinatie van met name minder zonlicht (reductie tot 90%), een nat najaar en beweiding met schapen zorgde voor een erg open zode met gedeelten van slechts 10% grondbedekking. In het volgende voorjaar en zomers trad geen herstel van de grasmat op. Het gras groeide slecht, de grasmat werd vertrapt en het gras onder de panelen werd niet altijd goed afgevreten. De totale grasproductie op de dijk met zonnepanelen - zoals de opstelling in Ritthem - was veel lager. Bij de pachter was vrees dat de schapen aan de elektrische kabels zouden vreten. Voordeel voor de schapen kan zijn dat de zonnepanelen beschutting geven bij slecht en heel warm weer. Door de lage opstelling was het onderhoud (maaïen) onder de panelen erg lastig.

Er is geen verschil waargenomen tussen de onderzochte typen panelen. Ook onder de glas/glas panelen kwam veel te weinig licht om de grasmat op een voldoende kwaliteitsniveau te houden.

Aanpassing van een aantal opstellingen met minder zonnepanelen in Ritthem zorgde voor een duidelijk herstel van de grasmat. Op de gedeelten met de minste lichtval was de lichtreductie 50%. De grondbedekking was met 75 tot 85% nog wel lager dan de gedeelten zonder schaduwwerking van zonnepanelen (grondbedekking van meer dan 90%) en daarmee aan de ondergrens van wat wenselijk is op een dijk.

Tevens is waargenomen dat de beworteling als gevolg van de minder licht omstandigheden bij een reductie van 50% licht slechter was in diepte en intensiteit ten opzicht van geen lichtreductie. In hoeverre de mindere grondbedekking en mindere beworteling een probleem is hangt mede af van het belang van het dijkvak.

De mindere beworteling in schaduw geeft aan dat een grasdijksinspectie alleen op basis van bedekking (gesloten, open, fragmentarisch) onvoldoende is. De methode 'steken van een plag' geeft goed uitsluitsel over de graskwaliteit.

De opstelling op de Knardijk met betonblokken boven en onderaan de dijk en daartussen hangende panelen aan kabels beïnvloedde de grasmat niet negatief in de beoordelingsperiode van 1 jaar, ondanks de lichtreductie tot 30% op een aantal gedeelten onder de traveeën van hangende panelen. Het maaïen van dit dijkgedeelte was wel erg lastig vanwege de kabels en de panelen. Beheerders zijn ook terughoudend, omdat ze geen schade willen aanbrengen aan de opstellingen.

Als het gaat om de vegetatie vergt het onderhoud – evenals bij de funderingen en palen van de geteste opstellingen – ook bij de twee andere aangelegde opstellingen (die in plaats van de grasmat komen) van de hard-zacht overgang aandacht, vanwege de groei van ongewenste (houtige) onkruiden.

1 Inleiding

We staan aan de vooravond van een grootschalige uitrol van hernieuwbare energiebronnen zoals wind en zon. Daarbij wordt doorgaans uitgegaan van 66% energie uit wind en 33% energie uit zon. Het klimaatakkoord voorziet 21 GWp (GigaWatt piekvermogen) aan PV (photovoltaic zonne-energie) capaciteit op land tegen 2030. Dat is 7-maal het huidige vermogen aan PV-installaties in Nederland. Het gebruik van landbouwgebied voor het plaatsen van zonneparken ligt voor de hand maar Nederland wil landbouwgebied en natuurgebied maximaal ontzien. Het klimaatakkoord benadrukt daarom ook dat bijzondere inspanningen nodig zijn om PV-installaties maximaal te integreren met gebouwen en de infrastructuur.

Dat was de aanleiding voor Rijkswaterstaat en de verschillende lokale Waterschappen in Nederland om te onderzoeken hoe de dijken kunnen worden benut voor de opwekking van hernieuwbare energie. Nederland heeft ongeveer 17.000 km dijken en een voorstudie heeft uitgewezen dat deze dijken een potentieel bieden van 11 GWp aan PV systemen zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van landbouwgebied.

1.1 Doel project

Het doel van het project is te onderzoeken onder welke omstandigheden PV-systemen kunnen worden geplaatst op dijken. Dijken beschermen Nederland sinds jaar en dag tegen het water. Daarmee is de primaire functie van dijken het keren van water. Er bestaan verschillende types dijken in Nederland, waar het belangrijkste onderscheid gemaakt kan worden tussen primaire en regionale keringen. Elke dijk in Nederland heeft een veiligheidsnormering, afhankelijk van de functie van de dijk.

Een eerste inschatting door experts van Rijkswaterstaat en de Waterschappen heeft uitgewezen dat de klassieke zonnepark systemen niet voldoen omdat zij erosievorming in de hand werken hetgeen de veiligheid van de dijk in het gedrang kan brengen. Naast het aspect veiligheid speelt ook de landschappelijke inpassing een belangrijke rol alsook de impact van de PV-systemen op de biodiversiteit van de dijk. Sommige dijken vervullen momenteel verschillende functies. In dit onderzoek wordt bekeken of er nog een functie aan toe kan worden gevoegd; namelijk de productie van zonne-energie.

We willen onderzoeken hoe de PV-systemen moeten worden aangepast om aan deze bovengenoemde eisen tegemoet te komen. Dit wordt uitgetest in een tweetal proeftuinen op 2 verschillende dijklocaties die door de Waterschappen ter beschikking worden gesteld.

Dit sluit naadloos aan bij de doelstelling van het Urban Energy programma lijn 3a rond inpassing van PV-systemen in de publieke ruimte teneinde de beschikbare ruimte in Nederland optimaal te benutten voor de opwekking van hernieuwbare energie.

1.2 Afbakening en leeswijzer

Dit deelrapport van het project Zon op Dijken gaat over de het effect van een aantal opstellingen met zonnepanelen op de grasmat op dijken. Het effect op de vegetatie wordt beschreven aan de hand van visuele waarnemingen, metingen aan de groei, de beworteling en foto's. Aanvullend zijn waarnemingen gedaan om de waargenomen effecten te begrijpen, waaronder met name de hoeveelheid licht. Omdat PV-systemen sterk kunnen verschillen en ook de onderzoeksperiode vrij kort is geweest kan geen algemene uitspraak worden gedaan over de geschiktheid van PV-systemen op dijken.

De aanleg van de PV-systemen en het effect hiervan op de dijk is beschreven in een eerder rapport. In de eerdere literatuurstudie zijn aanleg en potentiële effecten van de zonne-energie op de grasmat benoemd. In de literatuurstudie zijn de criteria benoemd ter beoordeling van de grasmat.

Dijkveiligheid wordt in dit rapport zijdelings aangestipt. Meer informatie is te vinden in de projectrapportage van Deltares.

2 Ritthem

2.1 Proefopstelling

De opstelling van Eurorail/TNO bestond uit zonnepanelen geplaatst op palen, zoals ook bij veldopstellingen op landbouwgrond wordt toegepast. In deze proefopstelling is gekozen voor afzonderlijke 'tafels'. In een praktijksituatie zal wel een lang lint van panelen worden geplaatst. Er diverse verschillen typen zonnepanelen gemonteerd, standaard (TRAD), semi-transparant (GLAS-GLAS) en gekleurd (ART).

In de loop van het project zijn van een aantal tafels panelen weggehaald en herschikt. Deze wijziging wordt besproken in paragraaf 2.7.

Het Delmeco systeem bestaat uit betonplaten met daarin gelijkmd zonnepanelen, welke in het talud zijn geplaatst in de plaats van de grasbekleding. Dit systeem past meer op een dijk zonder gras.



Foto 1. Opstelling van de tafels met zonnepanelen van Eurorail/TNO. Uiterst rechts het systeem van Delmeco met zonnepanelen in betonplaten.

2.2 Materiaal en methoden

Na de aanlegfase is de grondbedekking in 2021 tot juni 2022 een aantal malen visueel geschat in procenten. Tevens is de graskruiden verhouding visueel waargenomen.

In de eerste helft van 2021 is twee maal de bovengrondse opbrengst gemeten door op diverse plekken - verschillend in grondbedekking en lichtinval - naast en onder de panelen 0.25 m² uit te snijden, te wegen. Aanvullend is het afgeknipte gras gedroogd (24 uur bij 105 graden C) en is met het daaruit berekende drogestofgehalte de drogestofopbrengst berekend.

Begin 2022 is de beworteling beoordeeld volgens de methode zoals beschreven in VTV 2007. Katern 8 Bekledingen. Bijlage 8 -1: Kwaliteit graszode.

Ter ondersteuning en verklaring van de waarnemingen aan de vegetatie zijn een aantal sensoren geplaatst:

PAR

Photosynthetic Active Radiation, energie-inhoud licht is tussen 400 en 700 nm ($W m^2$).

PPFD - PAR ($\mu mol/m^2/sec$)

Photosynthetic photon flux density, aantal fotonen tussen 400 en 700 nm ($\mu mol m^2 s^{-1}$).

Fotonenstroom (PPFD): aantal (μmol) energiepakketjes dat per seconde een bepaald oppervlak treft. 1 μmol fotonen activeert 1 μmol chlorofylmoleculen: 1% meer licht = 1% meer groei (Dueck, 2008).

% VWC

Het bodemvocht als volume % (VWC-volumetric water content) is m^3 vocht/ m^3 aarde. Range: 1-100% vocht.

Soil EC

Soil EC (Electric conductivity) gemeten in Siemen/cm. Meet zout in bodem. Minimaal 0,35mS/cm en maximaal 1,00mS/cm.

2.3 Plaatsing systemen

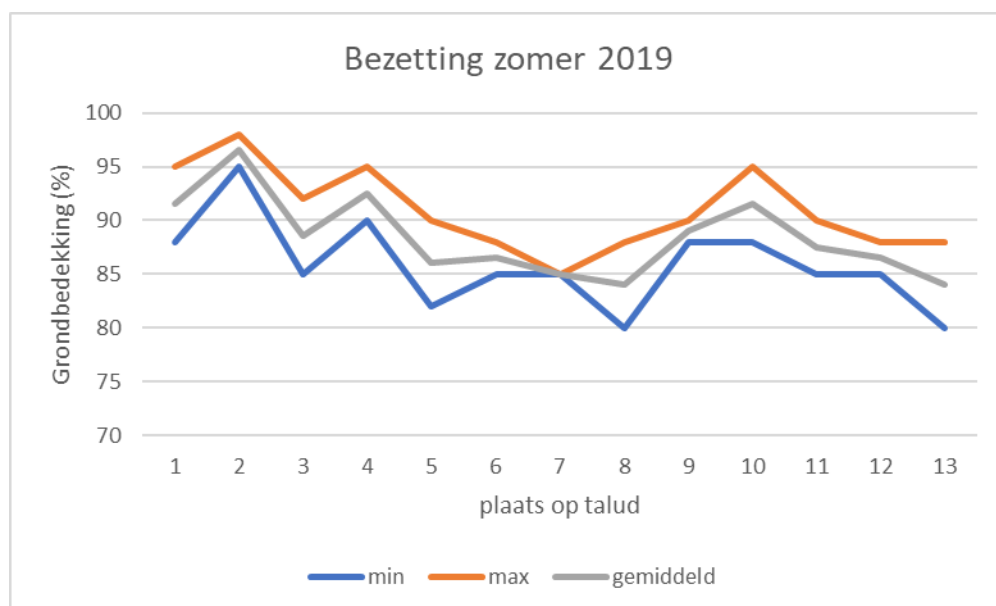
Door aanloopproblemen in dit project zijn de systemen van Eurorail/TNO en Delmeco pas in het voorjaar van 2020 geplaatst. Ruim voor de plaatsing van de zonnepanelen is de dijk in Ritthem beoordeeld op 30 augustus 2019.

De gemiddelde grondbedekking was in augustus 2019 met bijna 90% goed te noemen. De vegetatie bestond voornamelijk uit gras met een aantal kruiden als paardenbloem en herfstleuwentand en een enkele distelplant. Op een paar plekken een muizenhol met bijbehorende vraatschade.

Tabel 1. Percentage grondbedekking en gras/kruidenverhouding op 30 augustus 2019

	gemiddelde	min	max
grondbedekking	88	84	97
aandeel gras	95	91	98
aandeel kruiden	5	3	8

De bezetting met gras was in het dijkvak waar de panelen worden geplaatst niet overal gelijk. De linkerkant met tafels 1 en 2 en daaronder 6 en 7 hadden daarmee een wat betere uitgangspositie. Aan de rechterkant zat tafel 5 zit op een wat beter gedeelte dan de tafels 3, 4 en 8, 9.



Figuur 1. Verloop grondbedekking van talud van links naar rechts vanuit de spuikom gezien.

De aanleg en plaatsing van de systemen is beschreven in rapport WPR-OT 959.

Bij het graven in een dijk, voor bijvoorbeeld aanleg van bekabeling en het plaatsen van funderingen, is het belangrijk rijschade van machines te voorkomen, de graszode netjes af steken en zo snel mogelijk na aanleg weer terug te plaatsen om verdroging van de zode en ondergrond te voorkomen. Een aanbeveling is om overgangen, van verharde dijkbekledingen naar gras, goed af te werken met eerder uitgegraven graszoden of door het plaatsen van geleidelijke overgangen en/of het opnieuw inzaaien met graszaadmengsel.

2.4 Najaar 2020

In het najaar van 2020 – ca. 4 maanden na plaatsing - werd duidelijk zichtbaar dat de grasmat onder de panelen schade opliep. Door de veranderde groeiomstandigheden onder de tafels (minder licht) was de zode open geworden. In combinatie met neerslag, welke door de horizontale kieren tussen de afzonderlijke panelen stroomt, en vertrapping van de schapen was de zode flink beschadigd.



Foto 2. Links: open zode met name onder het bovenste deel van de tafel. Rechts: onderste deel beter



Foto 3. Links. Detail vertrappingsschade onder de panelen. Rechts geen schade aan de zode naast de panelen.

2.5 Voorjaar 2021

Begin maart 2021 had de zode op het talud naast de panelen een grondbedekking van 95 tot 100%. Het aandeel gras was gemiddeld 65% met daarnaast vrij veel muur.



Foto 4. Gesloten graszode in het volle licht naast de tafels met zonnepanelen.

Onder het bovenste deel van de tafels was gemiddelde grasbezetting slechts 20% in een range van 0-50% met soms open grond en/of veel onkruid. De gras/kruident verhouding was gemiddeld 90% gras en 10% onkruid. Er stond veel dood gras, met dunne sprietjes groen gras. Het dode gras zou een effect van de vorst kunnen zijn, want er heeft geen sneeuw onder de tafels gelegen om het gras te beschermen. Het was op dat moment afwachten of en hoe het gras zich hersteld.



Foto 5. Open zode onder het bovenste deel van de tafel. Wat groei herstel van het gras.

Het onderste deel van de tafels had een veel betere grasbezetting, zoals op onderstaande foto is te zien. De grondbedekking varieerde wel sterk met 25-70%, waarvan gemiddeld 90% gras en 10% onkruid. Tussen de tafels was de zode prima, met uitzondering van het gedeelte net boven de tafels. Hier was sprake van minder lichtinval. De grasbedekking was voldoende, maar wel meer onkruid.



Foto 6. Onderste deel van de tafels betere grondbedekking. Rechts: tussen de tafels in het volle licht ook prima zode.

Onder de tafels ontstonden duidelijk uitspoelgootjes recht onder de horizontale kieren. Onderaan de tafel bleek een gootje te ontstaan, maar niet zo duidelijk. Hier kreeg het gras wel voldoende licht.



Foto 7. Erosie onder de horizontale kieren tussen de panelen.

2.6 Periode tot 31 maart

Eind maart is de grondbedekking geschat en is de opbrengst bepaald op een aantal plaatsen van de opstelling. De plattegrond met de waarnemingspunten staat in bijlage 2 en alle waarnemingen staan in bijlage 1.

In tabel 2 zijn gemiddelden per type tafel weergegeven onderverdeeld in de onderste helft van de tafel waar meer licht komt en de bovenste helft onder de tafels met minder licht. Daarnaast zijn waarnemingen gedaan aan de ruimte tussen de tafels. Een deel hiervan heeft meer en een ander deel heeft minder lichtval. De beide delen zijn vergeleken met de referentie zonder schaduw.

De schade aan de grasmat als gevolg van schaduw was al opgetreden in de tweede helft van 2020, zoals beschreven in voorgaande paragraaf 2.4.

De referentie had een grondbedekking van meer dan 90%. De grondbedekking van de onderste helft van de tafels was ca. 15 tot 25% lager. De grasmat tussen de tafels in – tussen de bovenste en onderste rij – met een verschillende hoeveelheid licht had een vergelijkbare grondbedekking als het onderste deel van de tafels.

De grondbedekking onder het bovenste deel van de tafels was aanzienlijk lager met gemiddeld slechts ca. 25%. De spreiding was met 10 tot 60% overigens groot. Zowel tussen de tafels als onder de tafels. Zie bijlage 1.

De glas/glas panelen leken beter te scoren, maar dat kwam alleen door de onverklaarbare betere resultaten van tafel 5, de andere twee tafels waren vergelijkbaar met TRAD en ART.

De gras/kruiden verhouding liet wisselende resultaten zien. Gemiddeld was als gevolg van de teruglopende grasbezetting de hoeveelheid niet grassen onder de tafels hoger. De variatie was echter groot en uiteenlopend van 10 tot 75% (on)kruiden. Overigens waren er naast de panelen ook plekken met veel hogere onkruidpercentages, zoals eerder geconstateerd begin maart paragraaf 2.5.

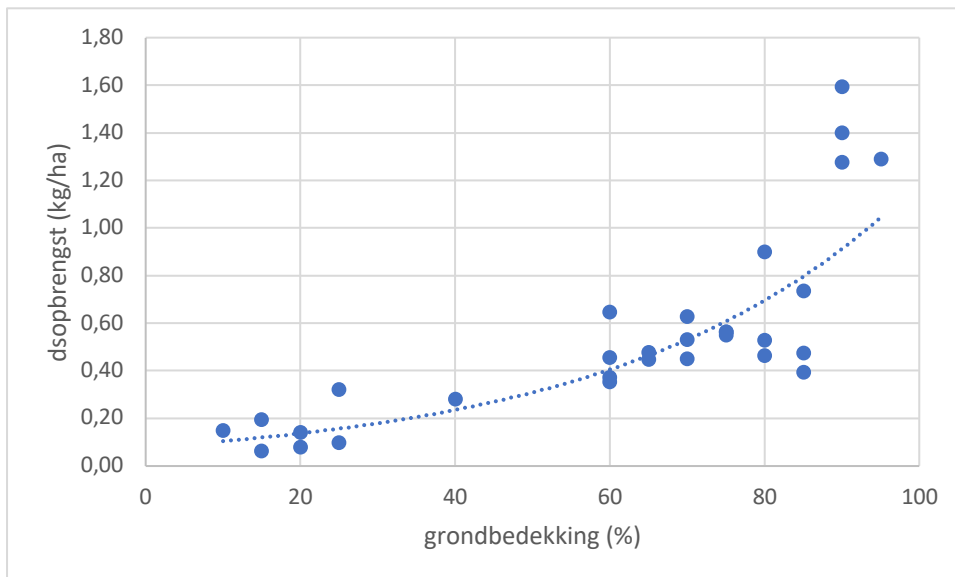
De gewasopbrengst vertoonde een vergelijkbaar patroon als de grondbedekking. De referentie had de hoogste grasopbrengst. De opbrengstreductie van de strook tussen de tafels (onderste en bovenste rij) en het onderste deel van de tafels met minder licht was gemiddeld 60% (range 55-70%) te opzichte van de referentie. De opbrengstreductie van donkerste gedeelten onder de tafels was meer dan 80%.

Opvallend was het lagere drogestofgehalte van het onderste deel onder de tafels en tussen de tafels met minder licht. Onder invloed van minder licht vindt vaak meer celstrekking plaats, maar onder het donkerste deel van de tafels trad dit niet op. Waarschijnlijk was er zo weinig groei dat deels oud gras

is bemonsterd. De onkruiden in het monster kunnen ook een rol hebben gespeeld. Het verband met de mindere hoeveelheid licht wordt beschreven in paragraaf 2.8.

Tabel 2. Grondbedekking en gras/kruiden verhouding en opbrengst 31 maart 2021

	type paneel	grond- bedekking percentage	aandeel gras percentage	aandeel (on)kruiden percentage	verse opbrengst ton/ha	drogestof gehalte %	drogestof opbrengst ton/ha
Open veld; referentie		91	87	13	5.5	25	1.39
Tussen tafels meer licht		79	81	19	2.4	24	0.59
Tussen tafels minder licht		65	74	26	2.4	20	0.46
Tafel onderste deel	TRAD	68	75	25	3.2	18	0.58
Tafel onderste deel	ART	77	85	15	2.4	18	0.43
Tafel onderste deel	GLAS	77	85	15	3.3	19	0.64
Tafel bovenste deel	TRAD	25	68	32	1.3	22	0.25
Tafel bovenste deel	ART	18	83	17	0.5	22	0.09
Tafel bovenste deel	GLAS	33	90	10	0.9	24	0.22



Figuur 2. Verband tussen percentage grondbedekking en de grasgroei op 31 maart 2021.

2.7 Periode 1 april tot 1 juni 2021

Na de eerste oogstbepaling van 31 maart hebben de schapen er een tijdje in gelopen. Hierna zijn half april van een aantal tafels de panelen gewijzigd.

De gewijzigde tafels worden apart beschouwd. In tabel 3 zijn de waarnemingen van de ongewijzigde tafels weergegeven. Waarbij ART dus drie tafels betreft met onderlinge variatie en TRAD en GLAS maar eentje, waarvan we eerder hebben gezien dat tafel 5 GLAS afwijkt.

De referentie - met volop licht - had de hoogste grondbedekking en de hoogste opbrengst. Tussen de tafels van de bovenste en de onderste rij zit een strook wat vrij veel licht krijgt en direct regenwater. De grondbedekking en de gewasgroei was daar net zo hoog of zelfs hoger in vergelijking met de referentie. Met een hogere verse opbrengst en een lager drogestofgehalte als resultaat.

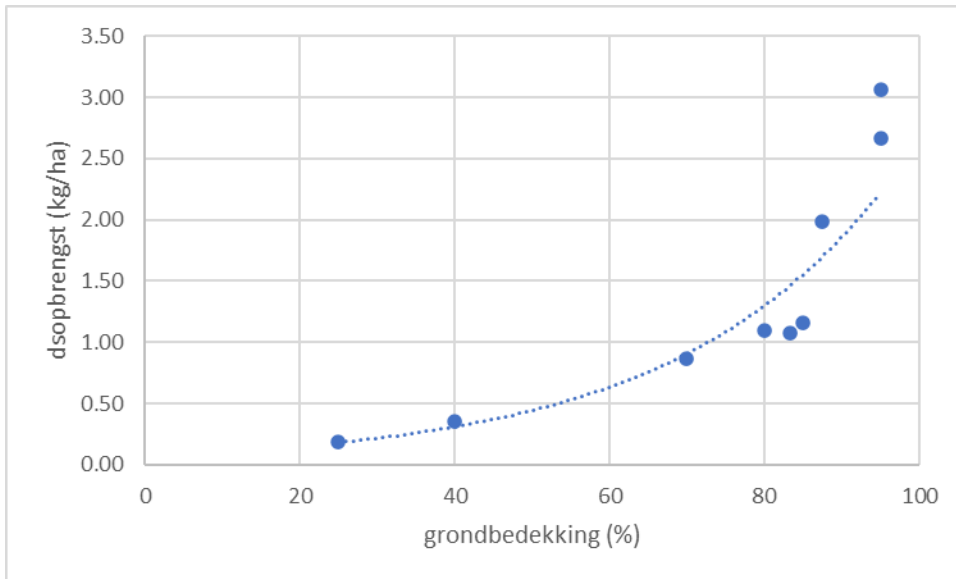
De hoeveelheid licht had invloed op de grondbedekking en de gewasgroei. De grondbedekking van het bovenste deel van de tussenstrook was goed. Het onderste gedeelte onder de tafels had een 10-15% lagere grondbedekking in vergelijking met de referentie. De grondbedekking van het donkerste deel onder de tafels was veel lager met gemiddeld veel variatie. De hoeveelheid onkruiden was onder de tafels hoger dan ernaast. Met als uitschieter veel muur onder tafel 1 (ART), wat het hoge gemiddelde percentage van 25% onkruid verklaard.

De opbrengstreductie was met ca. 60% voor het onderste deel van de tafels en 83% voor het bovenste deel onder de tafels vergelijkbaar met de eerste oogst. Waarbij tafel 5 (GLAS) zorgde voor een afwijkend positief resultaat met een hogere productie in vergelijking met de tafels 1,2, 5, 6 en 7.

Tabel 3. Grondbedekking en gras/kruiden verhouding en opbrengst 1 juni 2021

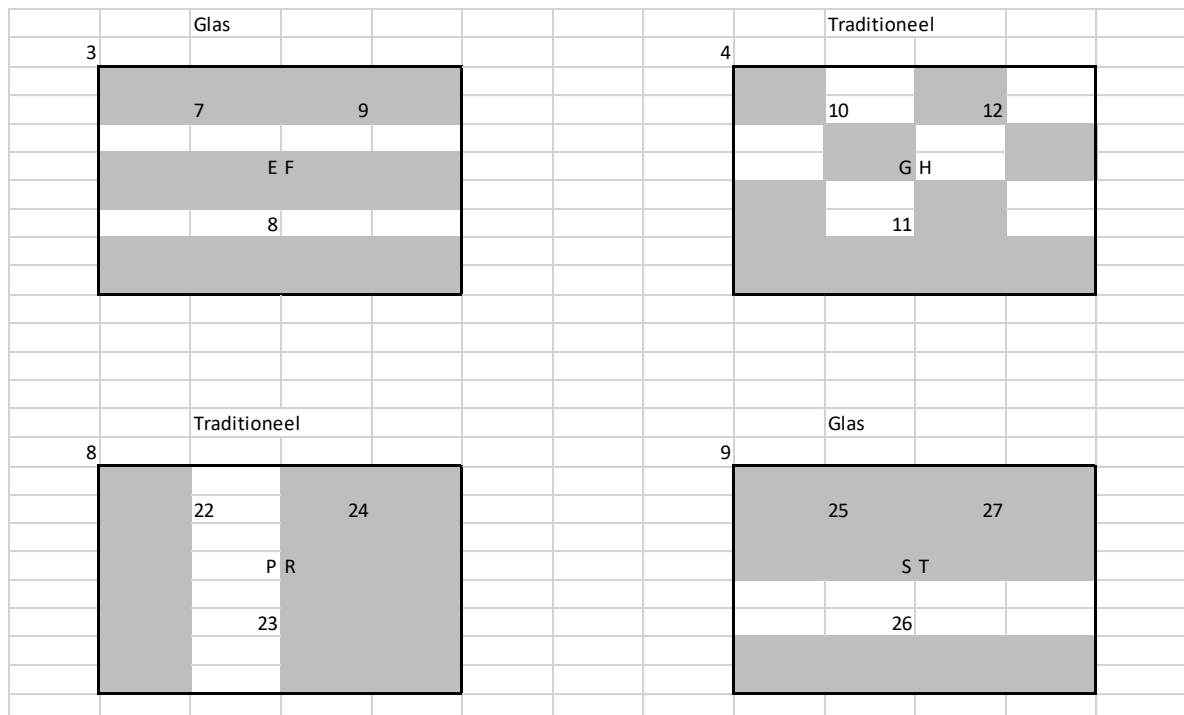
	type	tafel	grond-	aandeel	aandeel	verse	drogestof	drogestof
	paneel	nummer	bedekking	gras	(on)kruiden	opbrengst	gehalte	opbrengst
			%	%	%	ton/ha	%	ton/ha
referentie			95	95	5	10.8	25	2.67
Tussen tafels meer licht			95	93	8	15.4	20	3.07
Tussen tafels minder licht			88	93	8	10.9	19	1.99
Tafel onderste deel	TRAD	2	85	90	10	8.4	14	1.16
Tafel onderste deel	ART	1,6,7	83	95	5	7.4	14	1.07
Tafel onderste deel	GLAS	5	80	95	5	7.2	15	1.10
Tafel bovenste deel	TRAD	2	40	85	15	2.5	14	0.35
Tafel bovenste deel	ART	1,6,7	25	75	25	1.2	16	0.19
Tafel bovenste deel	GLAS	5	70	98	2	6.1	14	0.87

Het verband tussen de grondbedekking en de gewasgroei van de 'gesloten tafels' was sterk en exponentieel, zie figuur 3.



Figuur 3. Verband grondbedekking en opbrengst

Omdat het duidelijk was dat de grondbedekking onder de 'gesloten' tafels - met 16 panelen van 4 bij 4 - niet voldoende in stand bleef, zijn op 15 april 2021 een aantal tafels aangepast. Van tafel 3 en 9 is een rij weggehaald. Bij tafel 3 is een rij weggehaald en vervolgens de middelste rij verschoven, zodat twee flinke kieren ontstonden. Bij tafel 9 is de tweede rij van onderen weggehaald zonder herschikking. Bij tafel 4 zijn om en om panelen weggehaald - met uitzondering van de onderste rij - waardoor een schaakbordpatroon ontstond. Bij tafel 8 is één verticale rij verwijderd. Zie figuur 4 voor de wijzigingen per tafel.



Figuur 4. Nieuwe configuraties tafel 3, 4, 8 en 9.

De schade aan de grasmat onder de tafels was al eerder ontstaan. Hierdoor is niet goed aan te geven wat de meer open constructies betekenen voor het behoud van een kwalitatief goede grasmat. Wel is aan te geven in hoeverre de grasmat hersteld door de meer open constructie. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden tussen de gemiddelde grondbedekking en de slechtste plekken. Die slechte plekken zijn maatgevend voor de constructie. Daarbij is uitgegaan van een oppervlakte van minimaal 30 bij 30 cm.

In tabel 4 is weergegeven wat de wijzigingen hebben opgeleverd anderhalve maand later. De grondbedekking van de referentie (REF) en de gesloten tafels 2, 5 en 1,6,7 (in de tabel de onderste 3 rijen) was met 3 tot 13% iets verbeterd in de periode van eind maart tot begin juni 2021. De grondbedekking van de gewijzigde panelen was met 30% verbeterd voor tafel 3 en 4. Tafel 8 met nog steeds een groot vlak bedekt met panelen was gemiddeld met 19% verbeterd. Het gras onder tafel 9 was voor de wijziging al vrijwel verdwenen en herstelde niet meer en ging gemiddeld zelfs nog verder achteruit.

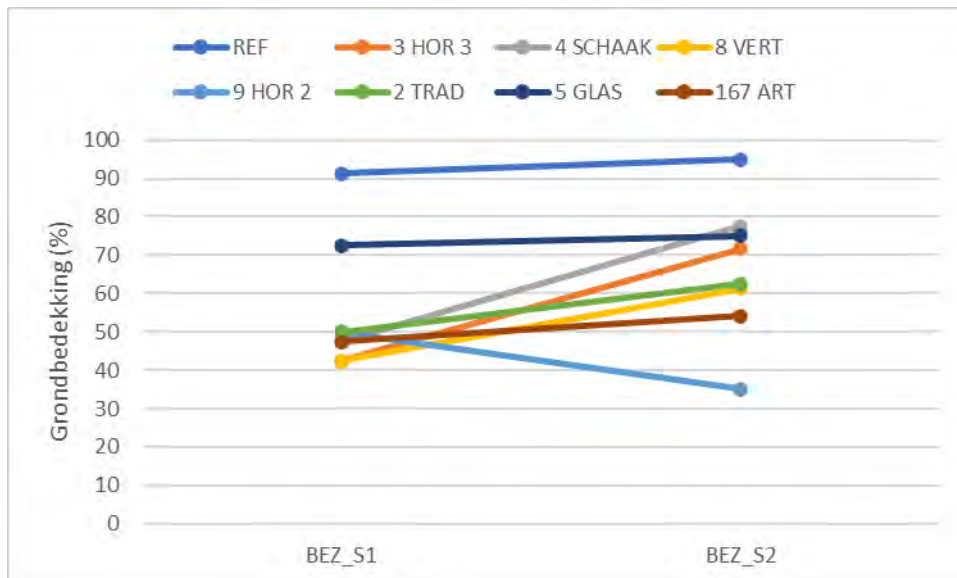
Onder tafel 3, 8 en 9 bevonden zich nog steeds erg slechte gedeelten met een bezetting van 15% of minder. Onder tafel 4 (schaakpatroon) waren geen echt slechte plekken meer te vinden, hoewel 75% grondbedekking nog steeds lager is dan de gewenste minimaal 85%.

Aan de opbrengst is ook te zien dat de grasgroei met het wijzigen van de configuraties van tafel 3, 4 en 8 hoger is in vergelijking met de ongewijzigde gesloten tafels. De drogestofopbrengst van de referentie is nog wel minimaal 1 ton ds/ha hoger dan die van de gewijzigde tafels.

Tabel 4. Grondbedekking en drogestofopbrengst van de gewijzigde panelen

type paneel	31-mrt grondbedekking %	1-jun grondbedekking %	verschil in grondbedekking %	slechtste plek %	31-mrt dsopbrengst ton/ha	1-jun dsopbrengst ton/ha	verschil in dsopbrengst ton/ha
REF	91	95	4		1.4	2.7	1.3
3 HOR 3	43	72	29	15	0.4	1.4	1.0
4 SCHAAK	48	78	30	75	0.4	1.7	1.3
8 VERT	43	61	19	5	0.4	1.2	0.9
9 HOR 2	50	35	-15	10	0.3	0.8	0.4
2 TRAD	50	63	13	10	0.5	0.8	0.3
5 GLAS	73	75	3	50	0.5	1.0	0.4
167 ART	48	54	7	10	0.3	0.6	0.4

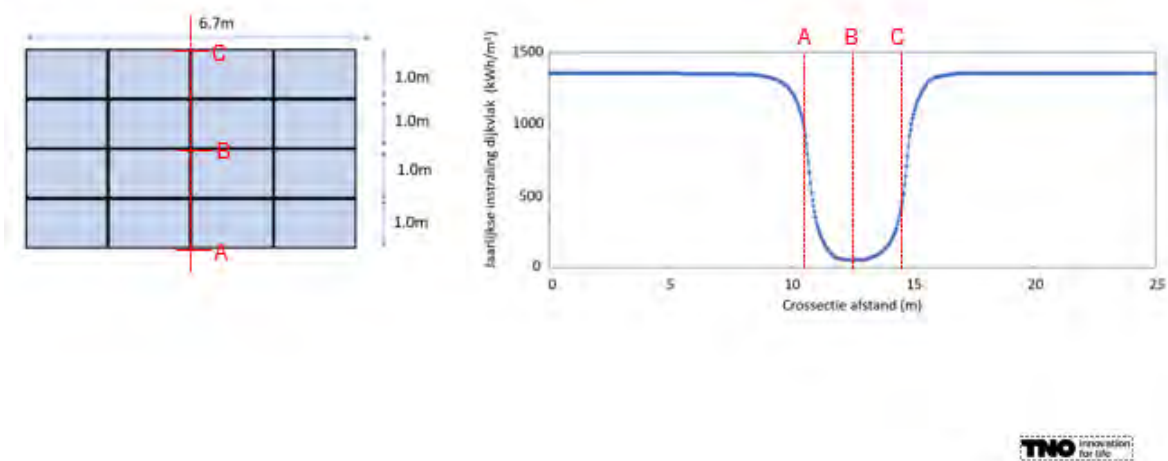
Ook in figuur is 5 is de vooruitgang van de gewijzigde configuratie in grondbedekking af te lezen. De lijnen van de gewijzigde panelen stijgen sterker dan de ongewijzigde panelen, met uitzondering van tafel 9.



Figuur 5. Verloop van de grondbedekking per tafel van eind maart 2021 (S1) tot 1 juni 2021 (S2).

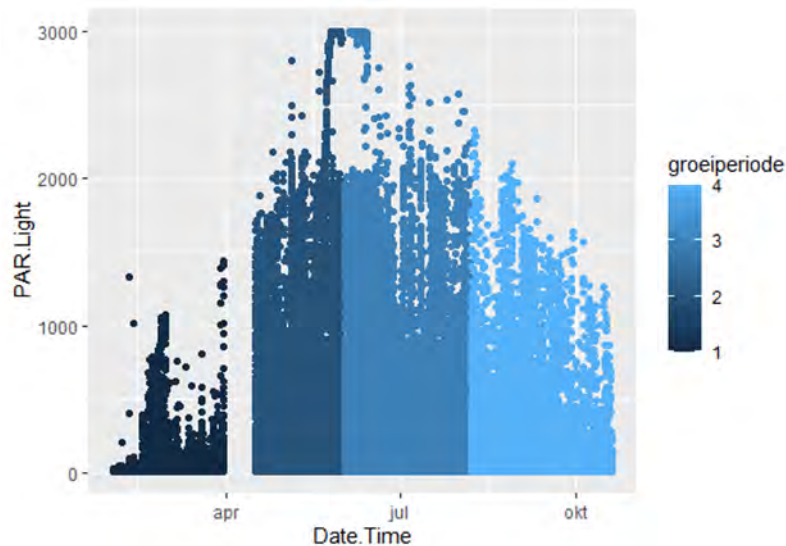
2.8 Relatie met licht

De hoeveelheid instraling is gemodelleerd onder de PV-tafels. In onderstaande figuur is deze weergegeven voor een gesloten tafel. De hoeveelheid licht onder wordt zeer beperkt door de zonnepanelen tot maar een fractie van ernaast. Voor de tafels die zijn aangepast verbetert dit aanzienlijk, maar nog steeds krijgen de donkerste plekken van tafel 3 (3 horizontale banen) en 4 (schaakpatroon) slechts ca. 1/3 van de maximale hoeveelheid. Voor de andere 2 tafels (8 en 9) krijgen de donkerste gedeelten ca. 1/7 deel van de maximale instraling, zie bijlage 3.



Figuur 6. Modelling instraling van een gesloten tafel. (bron TNO)

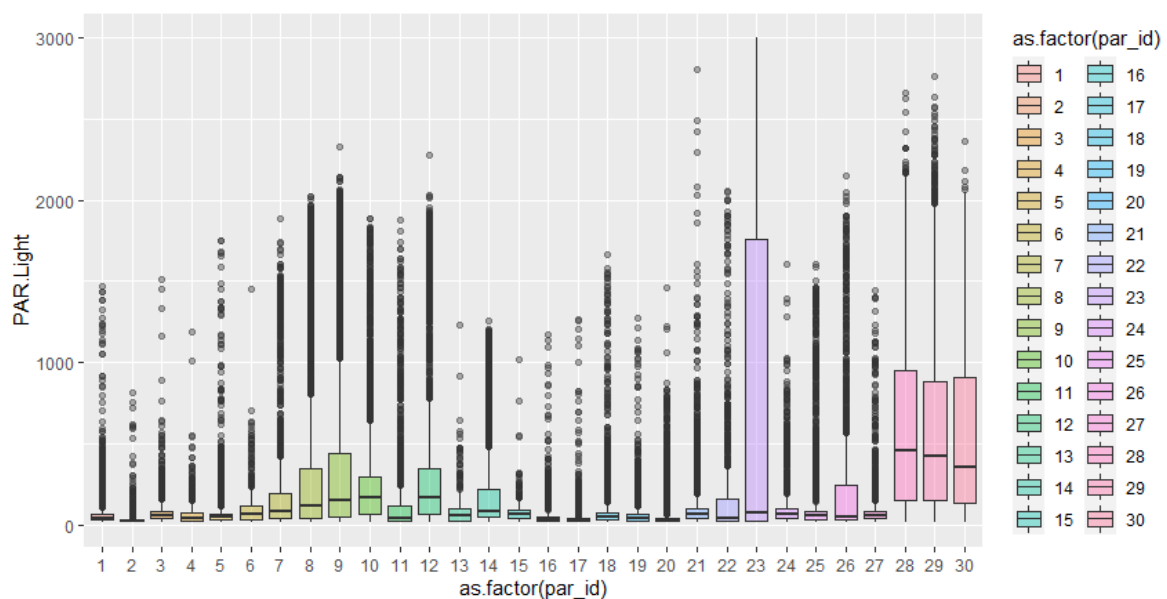
Onder de tafels in Ritthem zijn in 2020 sensoren geplaatst om o.a. de hoeveelheid licht te meten en de lichtreductie te kunnen correleren met de grondbedekking en de groei van de vegetatie. De lichtmetingen zijn geïllustreerd in figuur 7. Hier zijn op een grove wijze de nachtelijke metingen en eventuele niet-functionerende sensormetingen uitgefilterd door metingen van $PAR < 10$ micromol m^{-2} te verwijderen. Tevens is de output van sensor 23 verwijderd door de grote aanwezigheid van onmogelijke waarden. De periode in april waarin de configuratie van tafel 3,4,8,9 gewijzigd is met de daaropvolgende periode waar de schapen ongeveer 2 weken hebben gegraasd op de dijk, is verwijderd uit de dataset. Te zien is in de figuur hoe de lichtmetingen zich verhouden tot de groeiperioden van het gras op de dijken. De lichtmetingen volgen een logisch patroon (voor Nederland) echter is nog veel ruis te zien (bv. afwijkend hoge meetpunten in februari, juni).

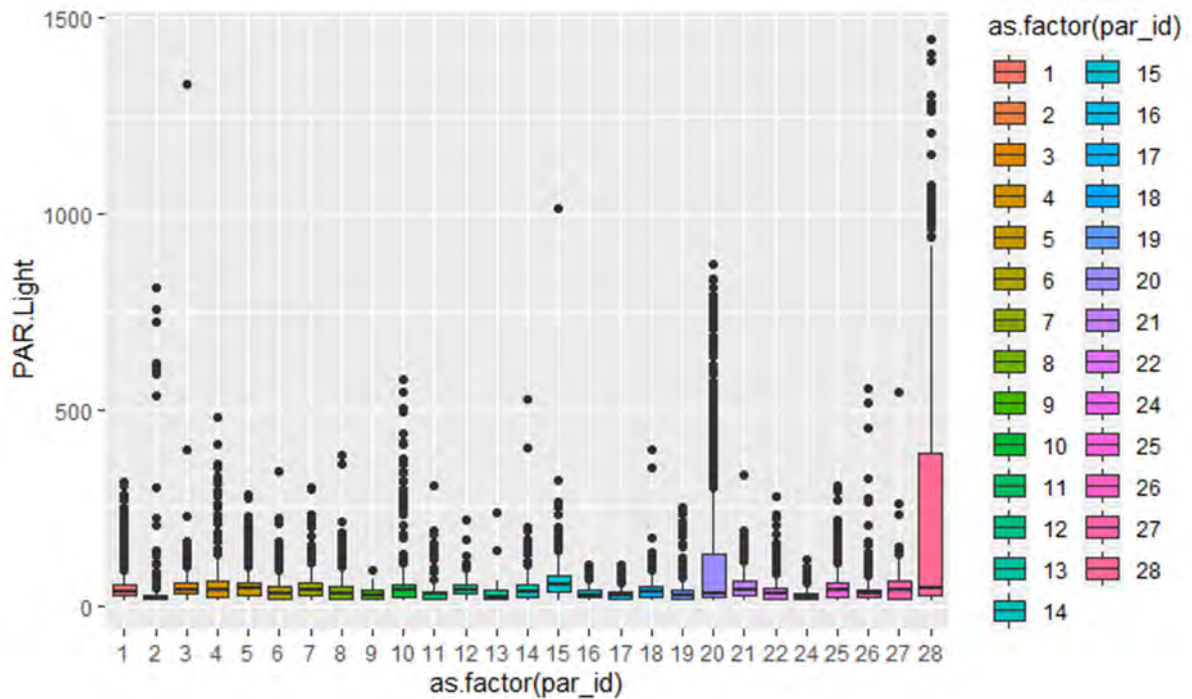


Figuur 7. Photosynthetisch actieve radiatie (PAR)(micromol m⁻²) gemeten door 29 sensoren gedurende het jaar 2021. De vier groeiperiodes representeren de groeifases alvorens/na maaibeurten.

Om de kwaliteit van de lichtmetingen te analyseren is de data gevisualiseerd door de data te plotten per sensor (par_id=sensor nummer) gedurende het jaar. Dit geeft een aantal opvallende zaken. Sensor 28 is de referentie-sensor geplaatst in de openveldsituatie zonder beschaduwing. De sensoren 29 en 30 zijn reserve sensoren die in een laboratoriumomgeving stonden en dus niet bij de proefopstellingen. Ze geven alle drie vergelijkbare waarden, hetgeen pleit voor de kwaliteit van de referentie-metingen. Sensor 23 laat duidelijk zien dat de data niet betrouwbaar is door de hoge mate van *skewness* van de metingen. Dit beargumenteerd de verwijdering van deze metingen uit de dataset.

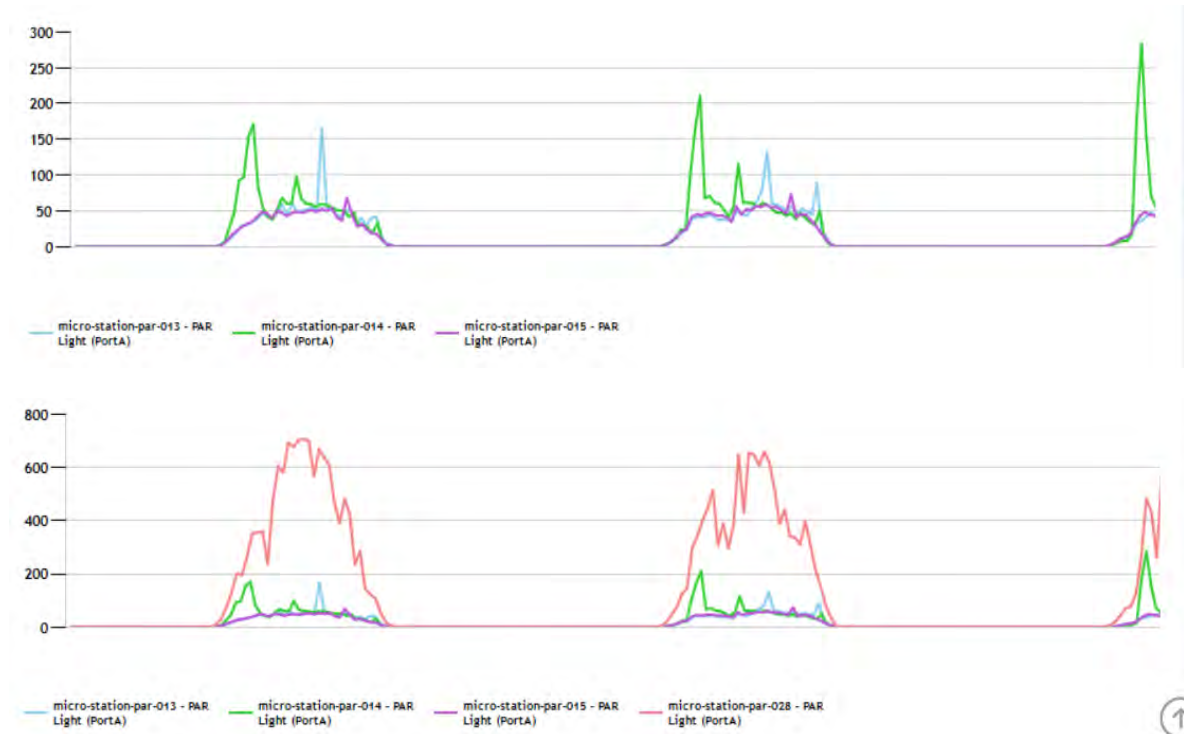
De sensoren 1-6 en 13-21 geven de sensoren onder de gesloten tafels weer. Deze laten allemaal zien dat onder de panelen slecht een fractie van het zonlicht komt in vergelijking met de referentie (sensor 28). De sensoren van de gewijzigde tafels (7-12 en 22-27) zijn niet verplaatst en gaven deels hogere waarden (bovenste grafiek van figuur 8) omdat ze meer licht ontvingen. De waarde is daarmee lastig te interpreteren.





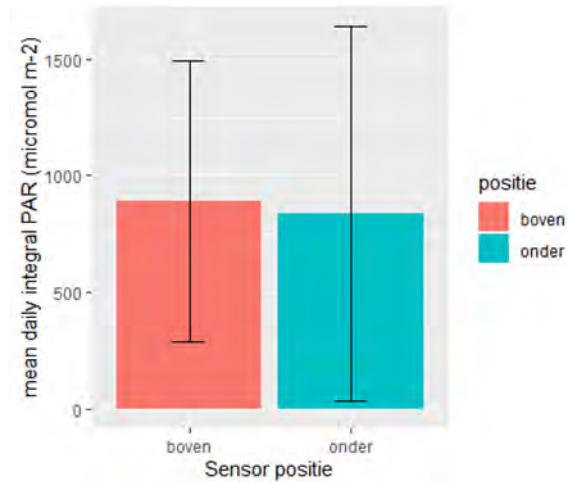
Figuur 8. Boxplots Photosynthetisch actieve radiatie (PAR) (micromol m⁻²) van **(boven)** alle metingen in 2021 en **(onder)** metingen in groeiperiode 1, uitgezet per sensornummer.

De sensoren van de gesloten tafels gaven dagelijks en aantal hoge waarden doordat zonlicht via de kieren van de panelen direct op de sensoren vielen. In figuur 9 is dit weergegeven voor een paar dagen.



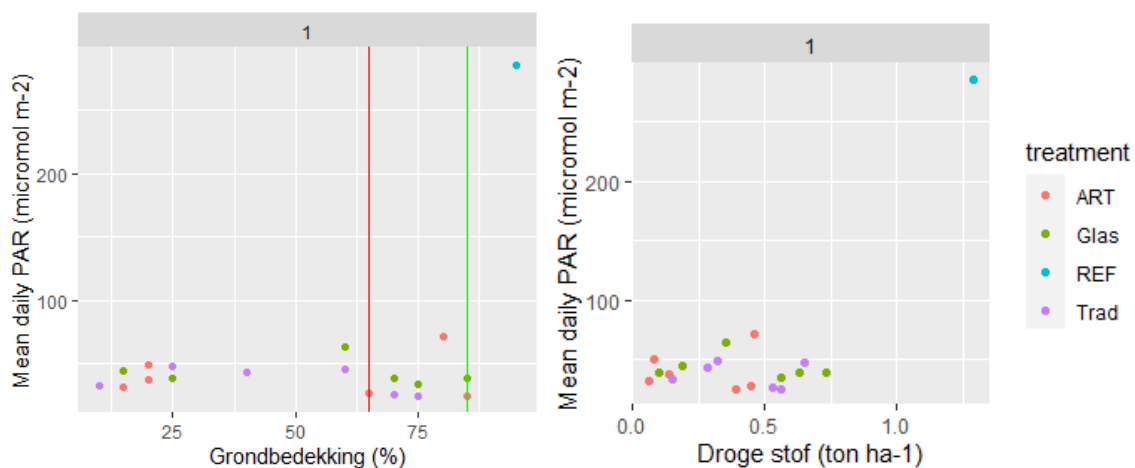
Figuur 9. Onder: Instraling (PAR) van de referentie (rode lijn) en drie sensoren onder een tafel. Boven: alleen van de sensoren onder de tafel. De pieken is de instraling als het zonlicht door de kieren direct op de sensor valt.

De sensoren waren zodanig geplaatst dat er een verschil werd verwacht tussen de sensoren onder het bovenste deel van de tafels en het onderste deel van de tafels. De positie van de sensoren onder de paneelsystemen bleek echter niet in een duidelijk patroon van hogere of lagere gemiddelde PAR waarden te resulteren (figuur 10). Deze analyse is gedaan over groeiperiode van 15 februari tot 31 maart 2021. De lichtsensor geplaatst onder het onderste deel van de tafel stond mogelijk toch te hoog onder de tafel en/of te hoog boven het talud. Plaatsing vrijwel op de grond is geen optie, omdat de sensor dan door de vegetatie overgroeit zou worden.



Figuur 10. Sensorpositie onder de paneelsystemen en de dagelijkse gemiddelde gemeten PAR (micromol m-2). Gegroepeerd per paneelsysteem.

Om te analyseren of het licht de bepalende factor is geweest van de vegetatieperformance is het nodig beide te beoordelen. Door een herschikking direct na het eerste groeiseizoen in de proefopzet is het echter alleen mogelijk om deze link te beoordelen voor groeiperiode 1. In figuur 11 is te zien hoe de relatie tussen vegetatiegrondbedekking (%) onder de paneelsystemen zich verhoudt met de hoeveelheid gemeten gemiddelde dagelijkse PAR. Er is geen duidelijk verband tussen gevonden. Te zien dat de grondbedekking onder de systemen veelal ontoereikend is; een percentage van 65% is hier gesteld als ondergrens (rode lijn); 85% voor voldoende (groene lijn). Het referentiesysteem is eigenlijk zonder meer de enige veilige optie die voldoende vegetatieperformance levert. De gemeten opbrengst laat tevens geen duidelijk verband zien.



Figuur 11. De dagelijkse gemiddelde Photosynthesische Actieve Radiatie (micromol m-2) en (links) grondbedekking (%) en (rechts) droge stof (ton ha-1) voor de vier systemen in groeiperiode 1 (2021).

De overige sensordata gaven zeer variabele uitslagen. De bodemvocht en bodemtemperatuur sensoren waren tegen de middelste paal geplaatst, om schade door de schapen te voorkomen. Bij sommige tafels viel doorstromend water hierdoor vlak bij de sensor op de grond.

2.9 Verloop grondbedekking 2021 tot juli 2022

In tabel 5 en figuur 12 is het verloop van de grondbedekking tot eind juni 2022 af te lezen van de 'gesloten' tafels ten opzichte van de referentie zonder panelen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de bovenste helft onder de tafels met het minste licht en de onderste helft waar voor een deel direct zonlicht op valt en een deel met meer diffuus licht. Meer details staan vermeld in bijlage 1.

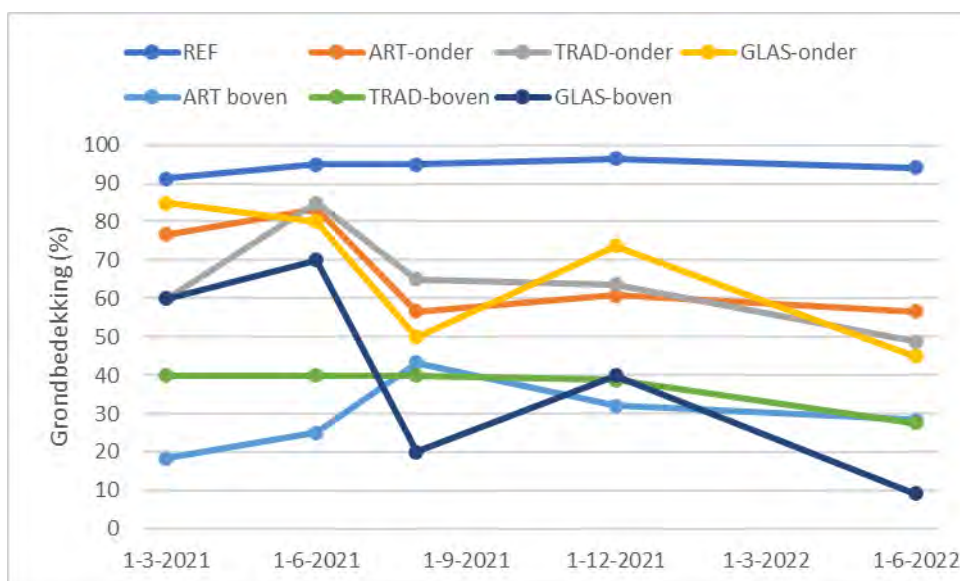
Tevens is in de tabel aangegeven wat de grondbedekking van de slechtste plekken onder verschillende opstellingen was. Met slechte plekken wordt een oppervlakte van 30 bij 30 cm bedoeld, wat dus overigens al veroorzaakt kan worden door een mollenbult.

De grondbedekking van de grasmat op het talud zonder panelen was de gehele meetperiode goed met gemiddeld duidelijk meer dan 90%. Wel af en toe een paar slechte plekken met een wat lagere grondbedekking.

De grondbedekking van het onderste gedeelte onder de gesloten tafels daalde in de loop van 2021 naar ca. 60% en was in juni 2022 nog wat lager met gemiddeld 50%. Een belangrijke kanttekening is dat er tevens open plekken waren met slechts 15 tot 25% bedekking. De grondbedekking van het bovenste gedeelte was nog lager met maximaal 40%. In juni 2022 werd gemiddeld de 30% niet meer gehaald. Met name onder het bovenste deel van de tafels kwamen in de beoordelingsperiode plekken voor met slechts 10% bedekking.

Tabel 5. Verloop van de grondbedekking van de gesloten tafels in de periode maart 2021 tot juli 2022.

tafel	type/ gedeelte	Percentage grondbedekking					slechtste plek
		31-mrt	1-jun	5-aug	22-dec	23-jun	
	REF	91	95	95	97	94	80
2	TRAD-onder	60	85	65	64	49	25
5	GLAS-onder	85	80	50	74	45	15
1,6,7	ART-onder	77	83	57	61	57	25
2	TRAD-boven	40	40	40	39	28	10
5	GLAS-boven	60	70	20	40	9	2
1,6,7	ART boven	18	25	43	32	28	10



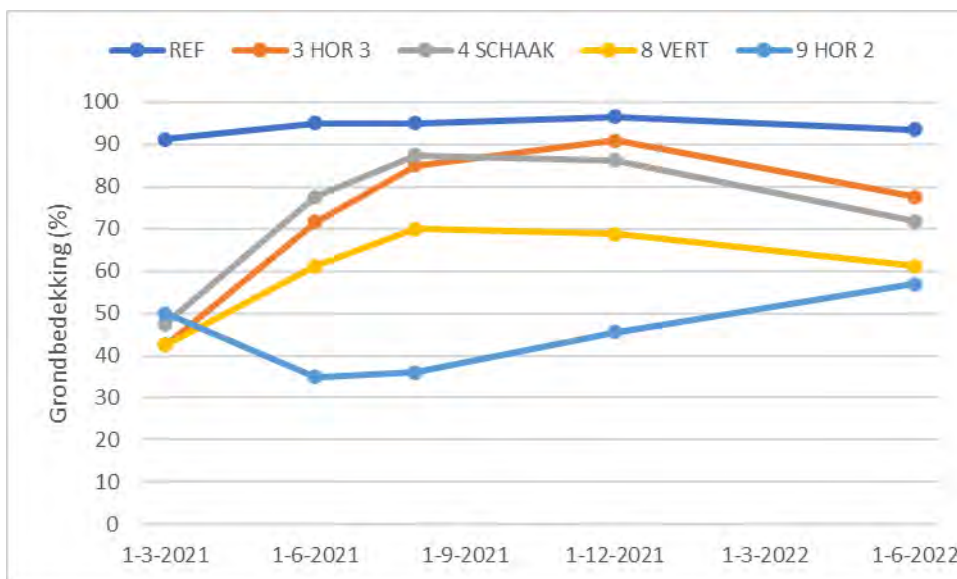
Figuur 12. Verloop grondbedekking van de referentie en de gesloten tafels.

De grondbedekking van tafels 3, 4, 8 en 9 was eind maart 2021 lager dan 50%. De gewijzigde configuratie resulteerde in een duidelijke verbetering tot gemiddeld bijna 90% bedekking in de tweede helft van 2021. In de loop van 2022 daalde de grondbedekking echter weer naar maximaal 80%. Onder de tafels 3 en 4 met een redelijk goede lichtinval bevonden zich echter wel slechtere plekken met een grondbedekking van 60%.

Tafel 9 week sterk af met een grote variatie door de schade voorafgaand aan de aanpassing van de opstelling. Gemiddeld verbeterde de grondbedekking in 2021, maar zeer slechte gedeelten met nauwelijks gras bleven aanwezig.

Tabel 6. Verloop van de grondbedekking van de gewijzigde tafels in de periode maart 2021 tot juli 2022.

type	Percentage grondbedekking					slechtste plek
	31-mrt	1-jun	5-aug	22-dec	23-jun	
REF	91	95	95	97	94	
3 HOR 3	43	72	85	91	78	60
4 SCHAAK	48	78	88	86	72	60
8 VERT	43	61	70	69	61	20
9 HOR 2	50	35	36	46	57	5
2 TRAD	50	63	53	51	38	10
5 GLAS	73	75	35	57	27	2
167 ART	48	54	50	46	43	10



Figuur 13. Verloop grondbedekking van de referentie en de gesloten tafels in de periode maart 2021 tot juli 2022.

De grondbedekking in de eerder weergegeven tabellen en figuren is een gemiddelde van de grondbedekking onder de tafels. De variatie was groot met goede gedeelten en met open plekken. Aan de randen van de tafels – dus net eronder - was de grondbedekking veelal prima. Wat betekent een grondbedekking van minimaal 85%. Aan de bovenkant van de tafels ging het dan om het gedeelte boven de tafel, niet eronder. Dit geeft informatie over de grondbedekking onder meer open opstellingen van panelen die niet aaneengesloten zijn bevestigd.

Het talud was niet geheel vlak en de tafels met zonnepanelen zijn vlak geplaatst. Daardoor was de afstand van de tafels tot het maaiveld voor de tafels verschillend, met als gevolg een verschil in de hoeveelheid direct licht die een deel van de dag onder de tafels kwam.

Links en rechts was de grondbedekking goed te noemen tot gemiddeld 50 cm onder de panelen. Met een variatie van 0 tot 80 cm, deels als gevolg van verschil in hoogte van de tafel boven het maaiveld. Onder de tafels kwam een groot deel van de dag direct zonlicht en was de grondbedekking goed tot gemiddeld 95 cm onder de tafels, met een variatie van 80 tot 130 cm.

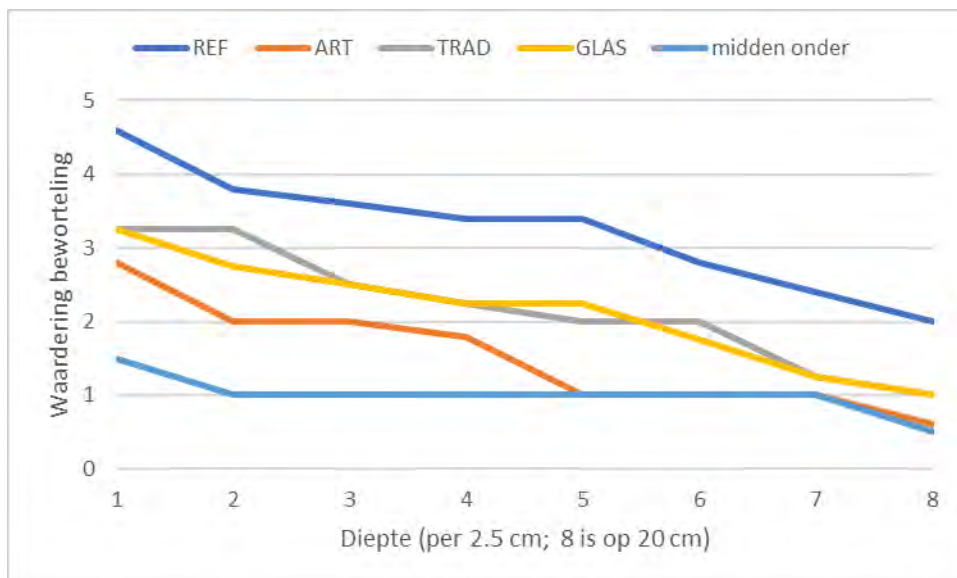
Aan de bovenkant van de tafels was de grondbedekking goed te noemen vanaf gemiddeld 70 cm, met een variatie van 40 tot 90 cm. Grondbedekking zegt niet alles over de kwaliteit van de graszode op een dijk. De sterkte van de zode wordt meer bepaald door de beworteling. Dit wordt in de volgende paragraaf besproken.

2.10 Beworteling voorjaar 2022

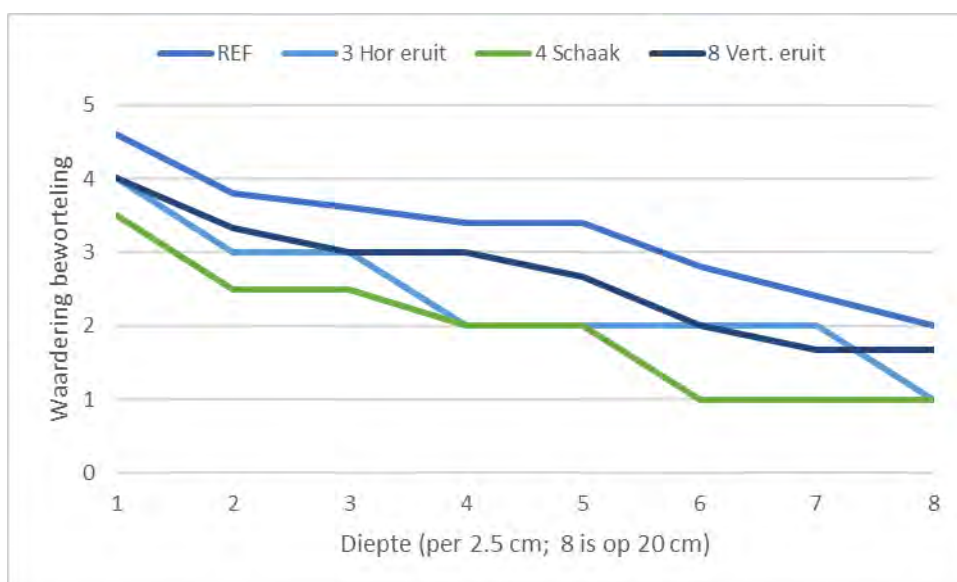
In de vorige paragraaf is aangegeven dat de bedekking met gras 50 cm links en rechts onder de tafels goed was te noemen. Ofwel in de grasbeoordeling zoals tegenwoordig gebruikt voor dijken aangegeven met een 'gesloten graszode' (Hoven, 2016).

Bekend is dat bij minder licht de wortelgroei negatief wordt beïnvloed (Schoot, 2020; literatuurstudie Zon op dijken). Met het bepalen van de graskwaliteit door het uitsteken van een plag kan de kwaliteit van de wortelmat worden gecontroleerd (Hove, 2016). Daarmee wordt maximaal de eerste 10 cm van de zode beoordeeld. Er is gekozen voor een andere methode van bepalen van de beworteling, namelijk zoals beschreven in Voorschrift Toetsen op veiligheid Primaire waterkeringen (versie augustus 2007, bijlage 8-1: kwaliteit graszode. De reden hiervoor is dat de diepere beworteling van belang is. De diepere beworteling wordt naar verwachting beïnvloed door de groeiomstandigheden, onder andere minder licht.

In onderstaande figuur 14 is het resultaat van de beoordeling van de doorworteling weergegeven. In de figuur is daarnaast ook de bewortelingsbeoordeling van midden onder een tafel weergegeven (onderste lichtblauwe lijn). De beworteling van de referentie zit op de rand van goed en matig, wat overeenkomt met beweide dijken. De doorworteling van de vrij goed gesloten grasmat - 50 cm links en rechts onder de tafels en 100 cm eronder en 70cm erboven - is duidelijk minder en beoordeeld met de kwalificatie matig tot slecht. De doorworteling van de aangepaste tafels (figuur 15) is wat beter, maar ook nog steeds minder goed dan de referentie en te beoordelen als matig.



Figuur 14. Beoordeling beworteling van een gesloten graszode 50 tot 100 cm onder de dichte tafels



Figuur 15. Beoordeling beworteling gewijzigde tafels t.o.v. de referentie

2.11 Onderhoud en beheer grasmat

Op de dijk in Ritthem bestond het onderhoud uit bemesten, weiden en maaien. En indien nodig pleksgewijs verwijderen van probleemmonkruiden.

De bemesting met kunstmest vindt normaal gesproken plaats door met een trekker over de kruin van de dijk te rijden. Hiermee kan het gras onder de opstellingen met de zonnepanelen echter niet worden bemest. Even los van de vraag of dat nodig is. De pachter heeft de kunstmest in 2021 en 2022 met de hand naast en onder de panelen gestrooid.

De schapen hebben een aantal keren op de dijk gegraasd en leken geen last te hebben van de panelen. De schapen liepen ook onder de panelen en vreten een deel van het gras op. Op zonnige, hete dagen ging een deel van de schapen onder de panelen liggen.

De pachter had, vooraf, zorgen of de schapen niet aan de stroomkabels gingen vreten.

Het gras onder de panelen werd niet overal goed afgevreten. Een deel van de grasmat onder de panelen was zeer open met deels oud gras en dode planten. De levende planten vertoonden een welige groei als gevolg van minder licht. Dit gras is weinig voedzaam en smakelijk voor schapen.



Foto 8. De zode en het gras onder de panelen op 6 juni 2021.

De dijk wordt één of twee per jaar gemaaid, om de niet afgevreten vegetatie en stengels weg te maaien. Het maaisel wordt daarbij niet afgevoerd. Het maaien vlakbij en onder de panelen kon niet worden gedaan met een cirkelmaaier, waarmee normaal gesproken de dijk werd gemaaid. Het maaien is uitbesteedt en uitgevoerd met een bosmaaier. Dit bleek een lastige klus onder de panelen van ca. 1 meter hoog.

Tegen de funderingspalen werd de vegetatie slechter weggevreten en stonden af het toe onkruiden als distels.

2.12 Biodiversiteit

Er is meer kans op een verschillende vegetatie naast en onder zonnepanelen op een dijk als gevolg van meer verschillende groeiomstandigheden. Met name door verschil in licht en temperatuur en bodemvocht. De graskruidenverhouding verschilde gedurende de looptijd van het project en door het jaar heen. Tot 1 jaar na plaatsing van de panelen was het percentage onkruid onder de panelen veelal hoger dan ernaast. Muur, paardenbloem, veldkers, ereprijs, madelief, ooievaarsbek, hoornbloem en herderstasje werden het meest waargenomen. Na twee jaar bestond de vegetatie onder de panelen voornamelijk uit grassen. De open plekken werden niet ingenomen door andere planten. Het aandeel kruiden in de vegetatie naast de panelen was toen overigens ook lager dan in het voorjaar van 2021. De indruk in het voorjaar van 2022 was dat onder de panelen de bodem vochtiger was, met meer bodembeesten. Daarnaast leek het aantal muizen en mollen wat hoger.

2.13 Discussie Ritthem

Binnen een paar maanden na plaatsing van de zonnepanelen op de tafels in Ritthem was al duidelijk dat de grasmat onder de panelen grote schade opliep. De combinatie van met name minder zonlicht, een nat najaar en beweiding met schapen zorgde voor een open zode met gedeelten van slechts 10% grondbedekking. Er is geen verschil waargenomen tussen de typen panelen. Ook onder de glas/glas panelen kwam te weinig licht om de grasmat op een voldoende niveau te houden.

Door de proefopzet was er veel variatie in hoeveelheid instraling onder de panelen. Onderaan viel direct zonlicht op het gras, aan de zijkanten een deel van de dag en aan de bovenzijde de tafels was ongeveer een meter met minder instraling.

Onder het onderste deel van de tafels, waar deel van de dag wel direct zonlicht en/of meer diffuus licht viel had de grasmat tot circa een jaar na aanleg nog een vrij goede grondbedekking. In de zomer van 2021 verslechterde een deel van de grasmat, waarmee circa driekwart van de grasmat onder de panelen onvoldoende was. Het onderste deel onder de tafels had een goede grondbedekking en tevens was de grondbedekking tot gemiddeld 50 cm onder tafels vanaf de zijkant gezien voldoende. Net boven de tafels was de grondbedekking ook vrij goed.

Modelberekeningen en de waarnemingen met de lichtsensoren gaven aan dat de hoeveelheid instraling onder een groot deel van de panelen minder dan 10% was. In literatuur wordt aangegeven dat voor de meeste planten minimaal 65% instraling nodig is voor een voldoende groei. Grasgroei op een dijk is overigens niet de belangrijkste maat. De graszode moet voldoende gesloten zijn met een goede beworteling.

Een aantal tafels zijn na een jaar aangepast door een deel van de panelen weg te halen. Goede conclusies over het behoud van een kwalitatief goede grasmat met deze meer open configuraties zijn alleen te trekken als deze opstellingen vanaf het begin van de proef waren geplaatst. Op het moment van de aanpassing van de opstellingen was de zode al slechter en veel opener. De beschadigde grasmat herstelde wel na de aanpassing naar een schaakbord patroon en 3 banen van panelen met daartussen ca 75 cm open ruimte. De gemiddelde grondbedekking was met 75 tot 85% (afhankelijk van het waarnemingsmoment) nog wel lager dan de referentie zonder afdekking, welke altijd een grondbedekking van meer dan 90% had. Tevens bevonden zich onder de gewijzigde tafels plekken met een grondbedekking van slechts 60%, maar dat kan ook schade zijn van voor de wijziging.

De grondbedekking aan de randen van de gesloten tafels tot circa gemiddeld 50 cm onder de tafels was goed te noemen met minimaal 85% bedekking. Dit is ook een indicatie dat bij meer open systemen met minder panelen de grasbedekking op voldoende niveau kan blijven. Echter de beworteling was wel duidelijk minder in vergelijking met de referentie. Ook onder de gewijzigde panelen was de bewortelingsintensiteit (hoeveelheid wortels tot een diepte van 20 cm) op de herstelde delen lager. Het is bekend dat bij te weinig licht planten reageren vooral te investeren in blad en minder in de wortels (Voort 2020). Uit dit eenmalige bewortelingsonderzoek is niet met zekerheid te stellen dat de beworteling daarmee onvoldoende is. Om hier meer uitsluitsel over te kunnen geven is langjarig onderzoek noodzakelijk.

De resultaten geven wel aan dat de beoordeling van de zode in gesloten, open en fragmentarisch waarschijnlijk niet voldoet bij een grasmat in de schaduw. Steken van plag zal wel een duidelijk uitsluitsel kunnen geven over de kwaliteit van de beworteling.

De combinatie van groeiomstandigheden, een te vochtige bovenlaag als gevolg van tussen de kieren instromend water en beweiding pakte niet goed voor de grasmat. Een open zode met veel vertrapping was het resultaat. Nadeel voor pachters is daarmee tevens dat er minder gras groeit in het dijkvak met zonnepanelen.

Het gras werd niet altijd goed afgevreten door de schapen. Maaien is gewenst om het niet opgevreten gras en de niet afgevreten bloeistengels kwijt te raken. Beheerders zijn terughoudend in het maaien, omdat ze geen schade willen aanbrengen aan de opstellingen.

Schapen hebben wel de kans om beschutting te zoeken onder de panelen bij zowel slecht weer als bij zonnig weer met hoge temperaturen.

Het onderhoud en met name het maaien onder de panelen, voor zover dat nodig is, is een lastige klus. De panelen stonden circa 1 meter boven het talud, wat het werken eronder lastig maakt.

Het antwoord op de hoofdvraag van dit project of de zonnepanelen van het Eurorail/TNO systeem geschikt zijn om op dijken te plaatsen is zeker negatief voor opstellingen met aaneengesloten zonnepanelen (16 panelen van in totaal ca 4 bij 7 meter).

De geteste open systemen (3 banen van 1 paneel en schaakbord) scoren net voldoende als het gaat over de grondbedekking, maar er zijn sterke aanwijzingen dat de beworteling negatief wordt beïnvloed.

Het systeem in Ritthem is geplaatst op een bestaande grasdijk. Niet getest is hoe de kieming en groei van gras is uitgaande van een gerenoveerde dijk. Het lijkt aannemelijk dat juist bij dijkrenovatie wordt nagedacht over het eventueel plaatsen van zonnepanelen.

De lichtmetingen met de sensoren gaven aan dat onder de panelen de instraling gereduceerd werd met 90%. Elk punt onder de tafels had een unieke combinatie van groeiomstandigheden. Die groeiomstandigheden werden verder verstoord door instromend water via de kieren tussen de afzonderlijke zonnepanelen. De sensoren zijn op een aantal vaste plekken neergezet. De bedoeling

was een gradatie aan te brengen, met name door de plaatsing van lichtsensoren onder het onderste deel van de tafels. Echter ook hier was de instraling sterk beperkt. Op basis van die leerpunt is te stellen dat de sensoren nog lager geplaatst moeten worden. Door de plaatsing van de lichtsensoren was geen goede relatie te leggen met de grondbedekking door het ontbreken van meetpunten in de range van 25-75% lichtreductie. De bodemmetingen en lucht parameters gaven eveneens geen uitsluitsel over verschillen en relaties met de graskwaliteit.

Aan de randen was de lichtreductie veel minder, met een aanvaardbare grondbedekking van de grasmatt. De modelberekeningen gaven aan dat tot een reductie van circa 50% de grondbedekking op een aanvaardbaar niveau zat. Met de kanttekening dat deze reductie wel gevolgen had voor de beworteling.

2.14 Conclusies Ritthem

Conclusies systeem Eurorail/TNO na 2 jaar onderzoek.

- Negatieve effecten van PV-opstellingen die veel schaduw geven zijn al binnen een paar maanden snel duidelijk;
- Grote gesloten opstellingen zorgen voor een zeer slechte grasmatt;
- Meer open PV opstellingen met minder schaduwwerking kunnen een voldoende grondbedekking van de grasmatt geven, maar er zijn sterke aanwijzingen dat de beworteling minder goed is.

Gebruik en beheer

- Afhankelijk van PV systeem/configuratie is er minder groei/opbrengst;
- Grotere kans op open plekken en veronkruiding, zeker bij palen en funderingen;
- Onderhoud is erg lastig met palen en lage opstellingen;
 - Pachters zijn voorzichtig i.v.m. schade aan panelen;
- Schapen;
 - Minder voer;
 - Panelen geven beschutting;
 - Risico van aanvreten kabels;
 - Kans op schade aan de zode door sporen en liggen.

Dijkbeoordeling

- Bij het beoordelen van de grasmatt van een dijk onder zonnepanelen moet ook aan beworteling worden beschouwd.

Leerpunten onderzoek

- Op basis van de metingen met sensoren onder zonnepanelen op een dijkvlak blijkt dat de plaatsing van sensoren een belangrijk aandachtspunt. Met name de rand onder de panelen die wisselend licht ontvangt, is onvoldoende gemeten.
- De sensoren zijn niet schaapbestendig.

3 Knardijk

In dit hoofdstuk worden de opstellingen op de Knardijk beschreven aan de hand van waarnemingen en foto's. Wat betreft de grasmat op de dijk is vooral het systeem van Soltronergy gemonitord. Beoordeeld is met name of effect zichtbaar was van het beschaduen van de grasmat. Bij de verharding van Afvalzorg is alleen de overgang van de verharding naar het gras beoordeeld.

3.1 Voor plaatsing juni 2020

Begin juni 2020 is het dijkvak beoordeeld waar de opstellingen gebouwd zouden gaan worden. De dijk was even daarvoor bemest met ruige mest.

Het talud verschilde van boven naar beneden in dichtheid van de zode en plantensamenstelling. Het dijkvlak is in drie stukken op te delen, namelijk bovenste, overige en vlakke deel.

De bovenste 5 meter van het talud had een variabele grondbedekking van 35 tot 85%. Het aandeel grassen was hoog met gemiddeld 90%. De belangrijkste grassoorten waren in volgorde van voorkomen Engels raaigras, zachte dravik, roodzwenkgras en struisgras. De meest voorkomende kruiden waren smalle weegbree en madelief.

Het overige deel van het talud (ca. 10 meter) had een wat hogere grondbedekking in de range van 50-85%. Het aandeel grassen was lager, tot 85%. De meest voorkomende grassoorten in volgorde van aandeel waren roodzwenkgras, Engels raaigras, kroppaar en struisgras. Verreweg het meest voorkomend kruid was smalle weegbree.

Onderaan de dijk op het vlakke gedeelte was het aanzienlijk vochtiger. De grasmat was daar vrijwel volledig gesloten met een grondbedekking van 90-98%. Sporadisch kwamen kruiden voor. De aanwezige grassen in volgorde van aandeel waren struisgras, roodzwenkgras, Engels raaigras.

Foto 9. Knardijk op 9 juni 2020. Verschil in grondbedekking en vegetatie



3.2 Plaatsing t/m najaar 2020

In juli 2020 is begonnen met het bouwen van de opstelling van Soltronergy op de Knardijk. De opstelling bestond uit grote betonnen blokken boven aan en onderaan de dijk. Daartussen zijn aan kabels zonnepanelen bevestigd, welke kunnen bewegen (zie foto 10).

De zonnepanelen van het Afvalzorg systeem zijn geplaatst op een plaat welke in plaats van de grasbekleding kwam. De plaatsing en aandachtspunten zijn besproken in het rapport Aanleg (Schoot et al., 2022).

In november 2020 was de zode op talud niet geheel gesloten en variabel met een grondbedekkingspercentage van 50-80%. Wel voldoende voor een maaidijk als deze. De vegetatie bestond voornamelijk uit gras, gemiddeld 70%. Daarnaast vooral madelief, smalle weegbree en duizendblad.

3.3 Materiaal en methode

De grondbedekking en grasvegetatie is visueel gevolgd. De geplande opbrengstbepaling in 2022 heeft niet plaats gevonden, omdat de opstelling in februari 2022 is gesneuveld. De lichtsensoren zijn onder de traveeën geplaatst met variatie in de afstand tussen de hangende panelen (zie bijlage 4).

3.4 Voorjaar 2021

Het gras groeide prima in het voorjaar van 2021. Het dijkvak met de opstelling is door de pachter niet meer bemest met vaste mest vanwege de opstelling. In juni is het dijkvak gemaaid. Het maaien onder en naast de panelen is gebeurt met een Bucher maaibalk. Dat was geen makkelijke klus op het talud met steeds moeten bukken onder de kabels en de panelen door. De geplaatste sensoren maakten het nog lastiger.

Het was een zwaar hoog bloeiend gewas. Visueel was geen verschil te zien naast, onder en tussen de traveeën in hoeveelheid gras en samenstelling.



Foto 10. Knardijk opstelling op 26 februari 2021.



Foto 11. Voor en na het maaien van de dijk op 3 juni 2021

3.5 Najaar 2021

De grondbedekking was begin oktober 2021 prima met 70-80%. Delen van het talud hadden een lagere grondbedekking van 50%, maar er waren ook gedeelten met een vrijwel gesloten vegetatie. Opvallend was de betere grondbedekking en een andere gras/kruiden verhouding onder de panelen ten opzichte van het naastgelegen referentievlak.

De dijk werd voor de plaatsing van de PV-systemen niet belopen en slechts 2 tot 3 keer per jaar bereiden door maaien, schudden en oprapen. Grassen zijn beter bestand tegen betreden dan de meeste andere planten. Door betreding wordt de uitstoeiing van het gras bevorderd. Dat kan de verklaring zijn voor hogere grondbedekking onder de opstelling (traveeën).

Het aandeel kruiden, waaronder met name smalle weegbree en madelief nam soms wel 50% van het plantenbestand in. Er was een duidelijk verloop van boven naar onderaan het dijkvlak. Vooral onderaan waren meer kruiden te vinden. Er was geen relatie met wel of geen panelen boven de vegetatie.

Tabel 7. Grondbedekking en graskruiden verhouding in procenten op 8 oktober 2021

	grondbedekking	gras (%)	kruiden (%)
Referentie	71	77	23
Traveeën (gemiddelde van 3)	76	86	14
Tussen de traveeën	75	80	20

3.6 Voorjaar 2022

In februari is de PV-opstelling zwaar beschadigd door een storm. De panelen zijn vervolgens van de kabels verwijderd. Op 18 maart is het talud nogmaals beoordeeld.

De grondbedekking was duidelijk hoger dan in oktober 2021 met een gemiddelde grondbedekking van 85 tot 90%. De minimale grondbedekking was 80%. Het aandeel kruiden was maximaal 15% en bestond net als in het najaar voornamelijk uit madelief en smalle weegbree.

De kleine verschillen hadden geen relatie met wel of geen panelen boven de vegetatie.

Tabel 8. Grondbedekking en graskruiden verhouding in procenten op 18 maart 2022

	grondbedekking	gras (%)	kruiden (%)
Referentie	88	90	10
Traveeën (gemiddelde van 3)	89	94	6
Tussen de traveeën	85	93	7



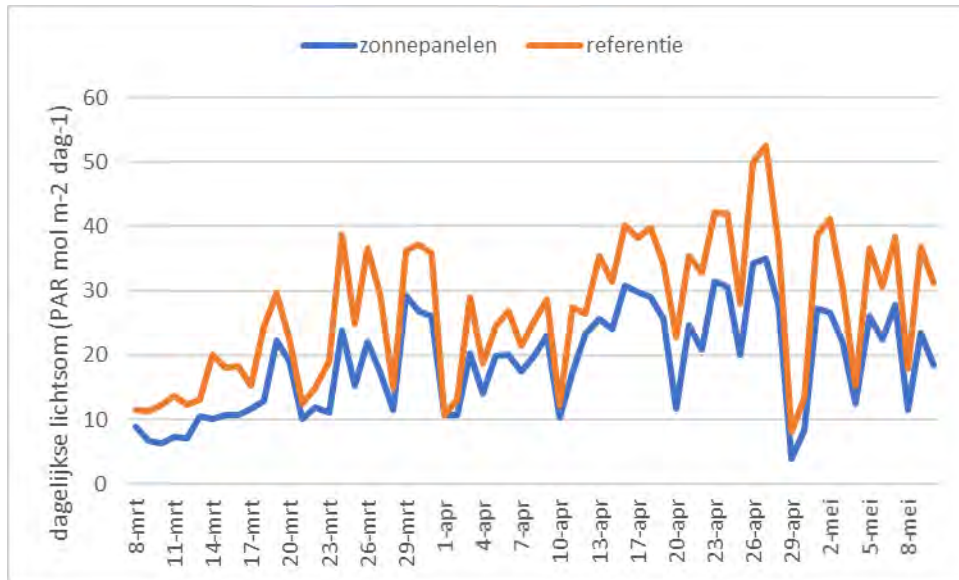
Foto 12. Het talud op 18 maart 2022. Goede grondbedekking met voornamelijk gras en o.a. madelief.

3.7 Metingen met sensoren

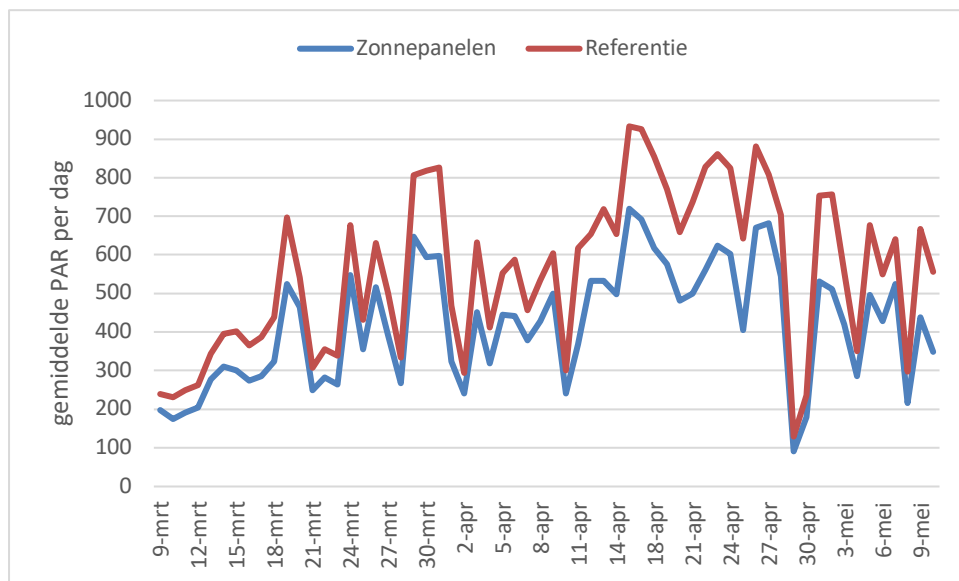
De sensoren (licht, vocht en temperatuur) zijn in februari 2021 geplaatst. Vanaf 8 maart 2021 waren de sensoren operationeel. De lichtinstraling was toen al voldoende voor het gras om te gaan groeien. De meetperiode na begin mei werd bemoeilijk door de weelderige grasgroei. Vanaf die periode groeide het gras boven de lichtsensoren uit. Hierdoor waren de metingen niet meer bruikbaar. Daarnaast zijn door de hoge grasstand bij het maaien een aantal sensoren gesneuveld.

De neerslag speelt bij deze opstelling geen rol in tegenstelling tot de opstelling in Ritthem. Door de verticale panelen wordt wel op een deel van de dijk licht onderschept, maar het schaduwpatroon verschuift gedurende de dag en binnen een jaar.

In de meetperiode was de lichtreductie op de 'donkerste gedeelten' gemiddeld 75% van referentie uitgaande van gemiddelde PAR per dag en 70% van de referentie van de referentie uitgaande van de dagelijkse lichtintegraal (DLI). Het verschil van 5% wordt veroorzaakt doordat op heel zonnige dagen in combinatie met langere dagen het verschil tussen het dag gemiddelde en de DLI groter was. Ondanks dat ontving het grootste deel van het talud ruim voldoende licht. Er zijn geen verklaarbare verschillen vastgesteld in bodemvocht en bodemtemperatuur tussen de referentie en onder de panelen.



Figuur 16. Dagelijks lichtsom PAR (mol m⁻² dag)



Figuur 17. Gemiddelde hoeveelheid straling PAR (umol m⁻² per dag)

3.8 Onderhoud

Het maaien werd bemoeilijk door de helling en de hangende panelen. Vooral de kabels speelden hierbij een rol (zie foto 13). Het maaien heeft plaats gevonden met een maaibalk, gevolgd door handmatig wegharken. Rond de betonblokken moest met ander gereedschap worden gemaaid, handmatig of met bijvoorbeeld een bosmaaier. De pachter heeft de het dijkvak met de opstelling niet bemest met ruige mest.



Foto 13. Gemaaid talud



Foto 14. Houtige planten aan rand en omheining bij verharding van Afvalzorg.

3.9 Discussie en conclusies Knardijk

De zonnepanelen van het Soltronergy systeem hebben slechts een korte periode van 1 jaar constant boven het talud gehangen.

In deze periode is geen effect van schaduw op de grasmat waargenomen, ondanks de lichtreductie van 25-30% op de gedeelten onder de traveeën. In tegenstelling tot de andere opstelling in Ritthem was er geen verschil van neerslag en droogte tussen de opstelling en de referentie.

De vegetatie rondom de betonblokken vergt aandacht met meer kans op veronkruiding en groei van houtige gewassen. Dit was ook het geval bij het systeem van Afvalzorg.

Het onderhoud van de opstelling wordt bemoeilijk door de pv-opstelling, met name de kabels. De alternatieve opties van bemesten en maaien zijn in beperkte mate machinaal uit te voeren. De pachters/loonwerkers zullen veelal terughoudend zijn, om de panelen niet te beschadigen.

Literatuur

Hoven, A. 2016. Schematiseringshandleiding voor toetsing grasbekledingen. WTI-2017, cluster 5, Product 5.27v3

Schaminée. P. 2022. Zon op Dijk. Verslag van twee proeftuinen met PV-systemen op dijken. Deltares. 11204694-002-GEO-001

Schoot, J.R. van der, Voort, M.P.J. van der. 2022. Aanleg van PV-systemen op dijken. Wageningen University & Research. WPR-OT 959

Voort, M.P.J. van der, Schoot, J.R. van der. 2020. Literatuurstudie vegetatie onder zonnepanelen op dijken. Project Zon op dijken. Wageningen University & Research. WPR-846

VtV (Voorschriften Toetsen op Veiligheid van Primaire Waterkeringen), 2007, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007.

WBI, 2017, Wettelijk Beoordelingswinstrumentarium 2017, Toetsspoor Grasbekledingen, Helpdesk Water, Deltares en Rijkswaterstaat.

Bijlage 1 Beoordeling grondbedekking zomer 2021 t/m zomer 2022

Op 5 augustus 2021 is de proef beoordeeld en was de grondbedekking van de referentie 95%.

De gemiddelde grasbezetting onder de gesloten tafels (1,2,5,6,7) was lager dan 50% met gedeelten onder de tafels van slechts 20% grondbedekking.

De gewijzigde tafels 3 en 4 hadden een gemiddelde grondbedekking van ca 85%, met een variatie van 75-95%. De bezetting van de grasmat van het open gedeelte van tafel 8 met een verticale baan eruit was 90% en onder het dichte gedeelte 50%. Tafel 9 vertoonde een grote variatie en weinig herstel onder de weggehaalde panelen.

De gras/kruiden verhouding verschilde niet tussen de objecten.

Grondbedekking gesloten en gewijzigde panelen op 5 augustus 2021

tafel	type	type paneel	grond- bedekking %	grond- bedekking minimum	grond- bedekking maximum	aandeel gras %	aandeel (on)kruiden %
	REF		95			95	5
3	HOR 3 banen	GLAS	85	75	95	94	6
4	SCHAAK	TRAD	88	85	90	95	5
8	VERT	TRAD	70	50	90	97	4
9	HOR 2 banen	GLAS	36	0	80	95	5
2		TRAD	53	40	65	98	2
5		GLAS	35	20	50	98	2
1,6,7		ART	50	25	65	97	3

Foto's 5 augustus. Links een van de minst goede plekken onder de panelen. Rechts: veel betere bezetting door het weghalen van een 'baan' panelen.



Eind december 2021 is de grondbedekking nogmaals geschat. De referentie had een vrijwel gesloten grasmat. De grondbedekking van de 'gesloten' tafels was gemiddeld ca 50% met slechte plekken van 15%.

Onder de gesloten tafels was de grondbedekking van het onderste deel - waar deels direct zonlicht op schijnt - met 78 tot 85% duidelijk hoger dan het gedeelte zonder direct zonlicht met onder de bovenste helft met ca 30-50% grondbedekking.

Van de gewijzigde tafels hadden 3 en 4 een gemiddelde grondbedekking van meer dan 85%. Het donkerste gedeelte van tafel 8 had een grondbedekking van 40% en onder tafel 9 bevonden zich plekken zonder gras of andere planten.

Grondbedekking 22 december

	type paneel	grond- bedekking %	grond- bedekking minimum	bedekking onderste kwart	bedekking bovenste driekwart	bedekking onderste helft	bedekking bovenste helft
	REF	97					
3	HOR 3 banen GLAS	91	85	95	90		
4	SCHAAK TRAD	86	80	90	85		
8	VERT TRAD	67	40	83	64		
9	HOR 2 banen GLAS	46	0	93	30		
2	TRAD	51	15	78	43	64	39
5	GLAS	57	30	85	48	74	40
1,6,7	ART	46	15	78	36	61	32

Foto's eind december 2021. Links: tafel 1 bovenste deel met zeer matige grondbedekking. Rechts: Gewijzigde tafel 4 (schaakpatroon) met vrij goede bezetting met gras.



Eind juni 2022 was de bezetting van het talud zonder zonnepanelen 94%. De gemiddelde grondbedekking onder de 'gesloten' panelen was minder dan 50% met open plekken van slechts 15% en nog lager. De gewijzigde tafels 3 en 4 hadden een grondbedekking van 70 tot 80% met wat mindere gedeelten bovenin met 60%. Het donkerste gedeelte onder tafel 8 had slechte plekken met 20% bedekking.

	type paneel	grond- bedekking %	grond- bedekking minimum	bedekking onderste kwart	bedekking bovenste driekwart
REF		94			
3	HOR 3 banen GLAS	78	60		
4	SCHAAK TRAD	72	60		
8	VERT TRAD	61	20		
9	HOR 2 banen GLAS	57	5		
2	TRAD	38	10	65	29
5	GLAS	27	2	73	12
1,6,7	ART	43	15	73	33

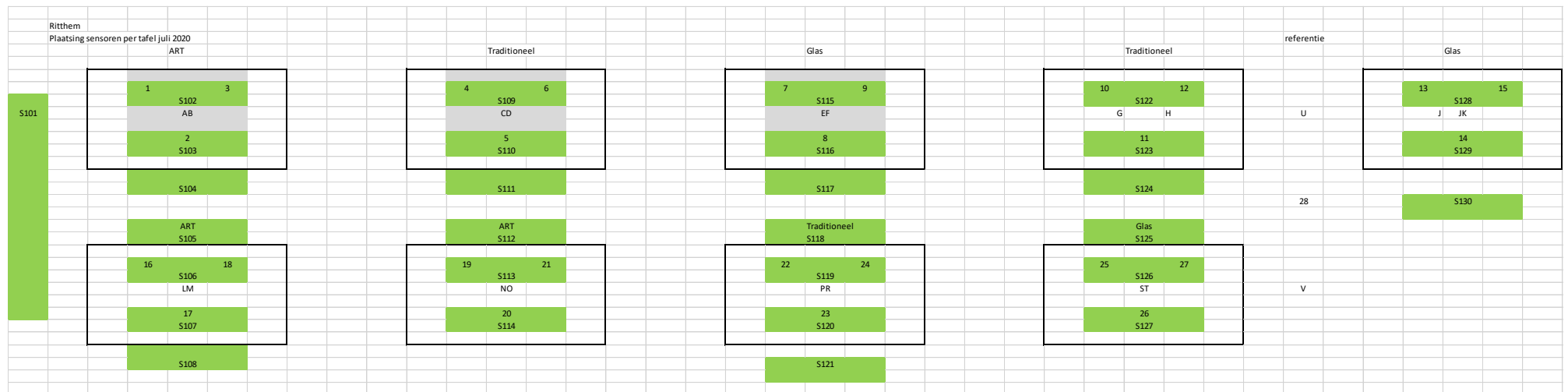
Grondbedekking 23 juni 2022

Foto's 23 juni 2022. Boven: de vegetatie van de weggehaalde panelen van tafel 8. Onder: een van de donkerste en slechtste plekken onder tafel 2.



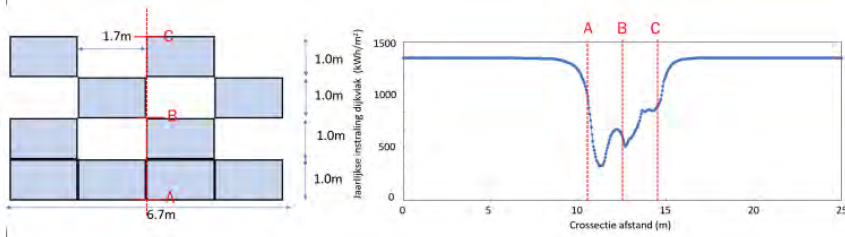
Bijlage 2 Monsterplekken en plaatsing sensoren Ritthem

Van de groene vlakken is de grasopbrengst bemonsterd. S101 t/m S130.
 De cijfers 1 t/m 28 geven de plaats van de lichtsensoren aan.
 De letters A t/m T de plaats van de bodemvochtsensoren.

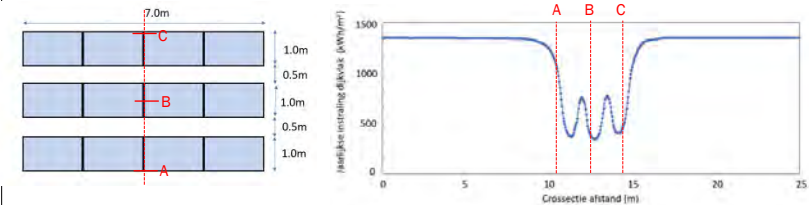


Bijlage 3 Bijlage 3 Instraling onder de gewijzigde opstellingen (TNO)

MODELLEREN INSTRALING ONDER PV "TAFELS"



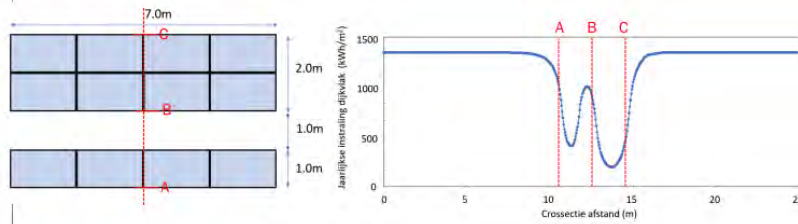
TNO Innovation for life



PV-Tafel

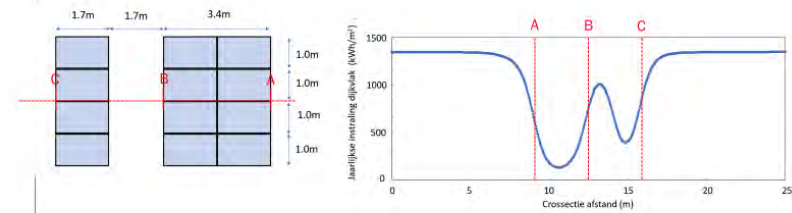
Instraling onder tafel op jaarbasis

MODELLEREN INSTRALING ONDER PV "TAFELS"



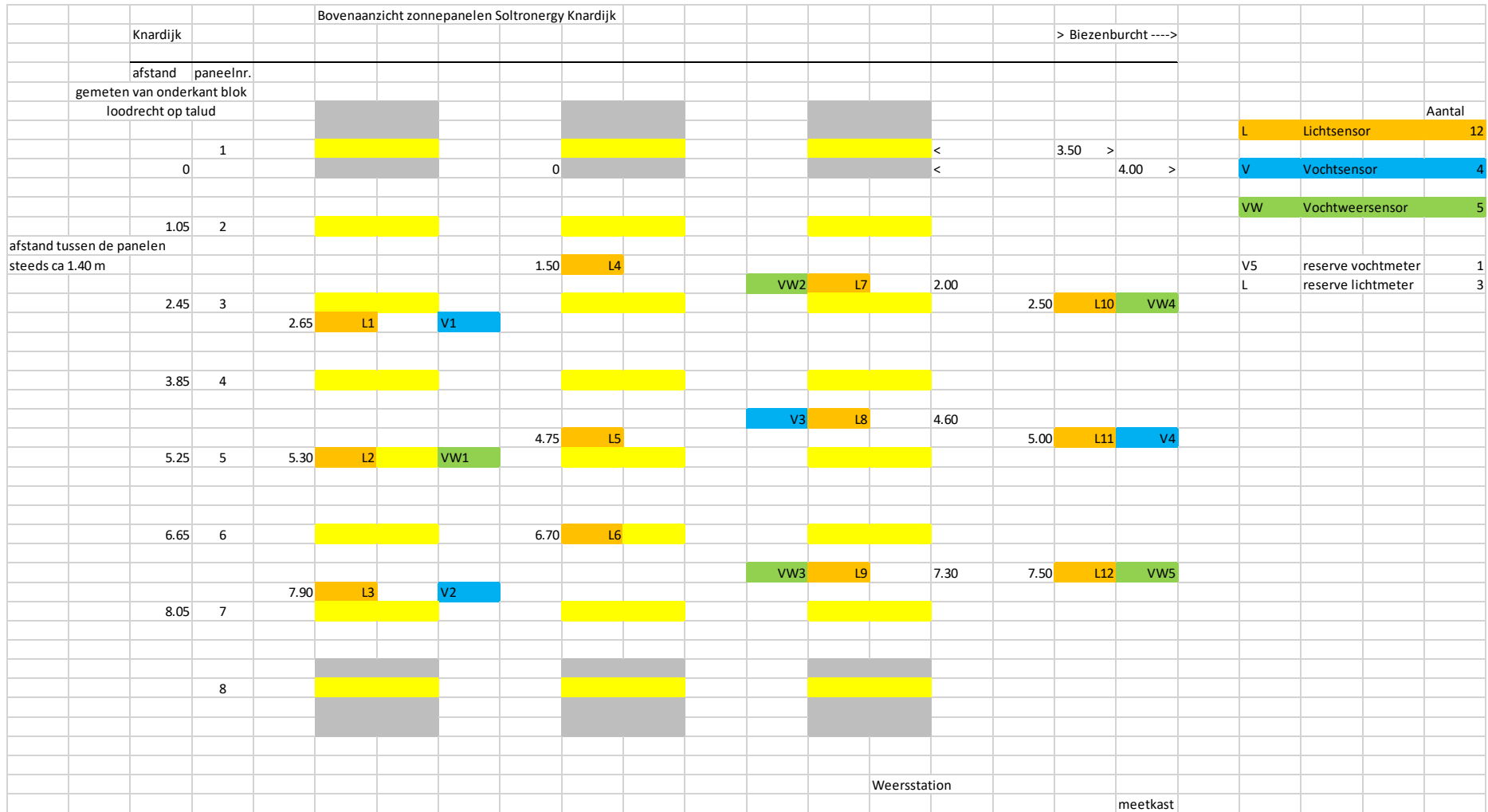
TNO Innovation for life

MODELLEREN INSTRALING ONDER PV "TAFELS"

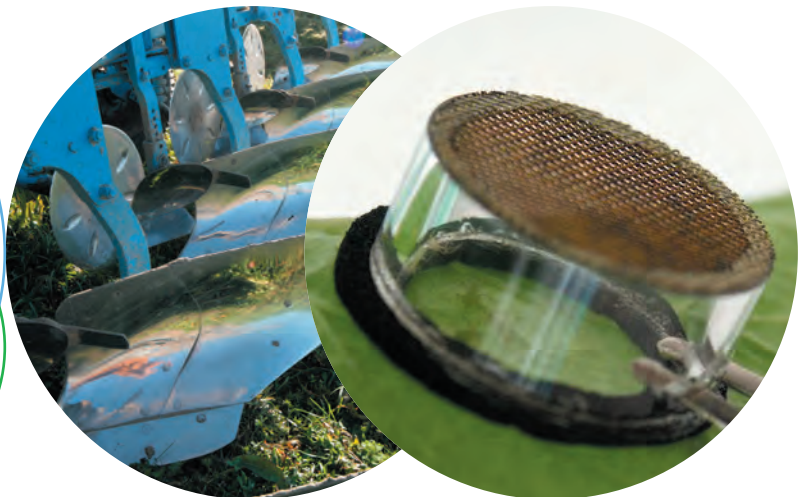


TNO Innovation for life

Bijlage 4. Plaatsing sensoren Knardijk



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

Report WPR-OT 960

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
