

# Effect van vervuiling en reiniging van zonnepanelen op twee locaties in Nederland

Twee jaar terug heeft de Hanzehogeschool Groningen een KIEM subsidie ontvangen van SIA (<https://regieorgaan-sia.nl/financiering/kiem/>) en met behulp daarvan hebben we de afgelopen tijd, samen met Zonnepark Ameland, Hartclass en SolarCentury (nu Statkraft), in een pilotproject de invloed van vervuiling en reiniging van zonnepanelen verkend. Binnen dit pilotproject hebben we de invloed van ganzen op de opbrengst van het zonnepark op Ameland bekeken en het effect van regelmatige schoonmaak op een aantal productiepanelen op EnTranCe (onderdeel van de Hanzehogeschool Groningen) geanalyseerd. De ganzen lijken weinig invloed te hebben op de opbrengst van het zonnepark op Ameland. Het productiepark op EnTranCe laat weinig vervuiling zien, desondanks zien we een klein positief effect van de reiniging. Dit pilotproject draagt bij aan het ontwikkelen van een helder advies voor de schoonmaak van zonnepanelen in Nederland.

Beide casestudies worden hierna apart beschreven.

## Aanwezigheid ganzen op Ameland heeft geen meetbaar effect op opbrengst zonnepark

*De opbrengst van het zonnepark van Ameland heeft nauwelijks te leiden onder de ganzen die periodiek op Ameland neerstrijken. De vervuiling die zij veroorzaken is ieder jaar met name in april duidelijk zichtbaar maar zorgt amper voor een vermindering van de stroomproductie van het zonnepark. Dat hebben studenten en onderzoekers van de Hanzehogeschool Groningen vastgesteld. Mogelijke redenen hiervoor zijn het wegspoelen van de vervuiling door regen of de beperkte oppervlakte die de vervuiling inneemt.*



Foto 1: Vervuiling Amelandse zonnepark, gezien op 27 mei 2021 (foto Hans van Weerden)

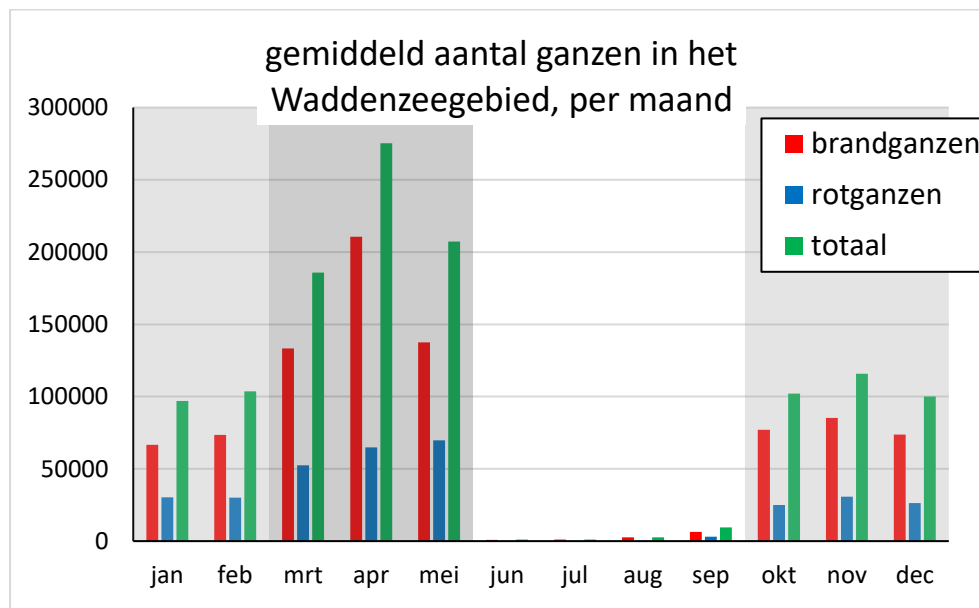
## Inleiding

Ieder jaar is weer te zien hoe ganzen de zonnepanelen van het park bevuilen (zie Foto 1). Logischerwijs vroegen de eigenaren zich af of die vervuiling invloed heeft op de hoeveelheid elektriciteit die het zonnepark

produceert. Daarom zijn zij samen met de Hanzehogeschool Groningen een onderzoek gestart. Voor het onderzoek is gekeken naar de gemiddelde hoeveelheid ganzen op Ameland per maand en de stroomproductie van het zonnepark per maand. Met die twee gegevens zijn we aan de slag gegaan om de relatie tussen de aantallen ganzen en de elektriciteit die het zonnepark produceert te berekenen.

## Ganzen

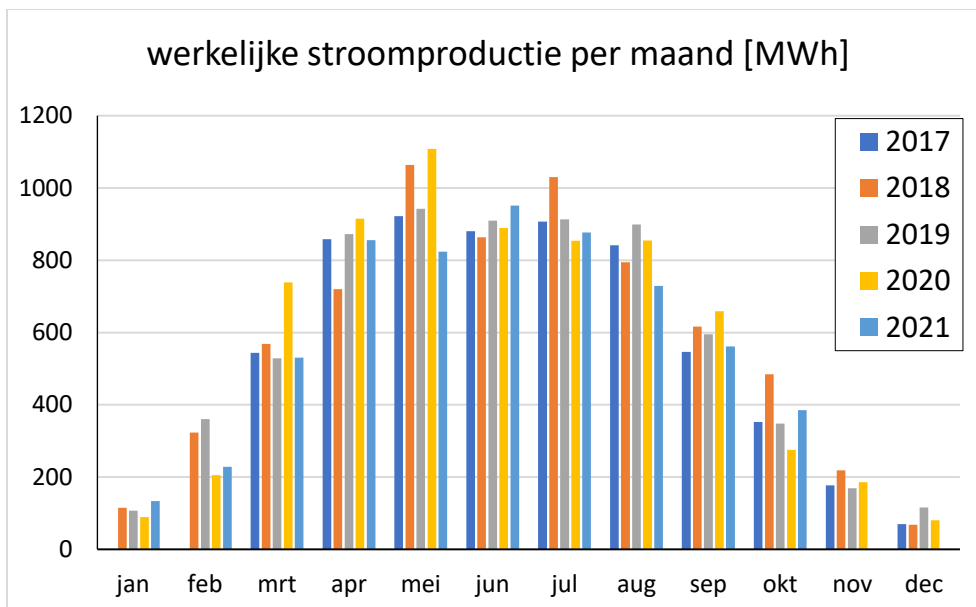
Het aantal ganzen is afgeleid uit gegevens van Sovon Vogelonderzoek Nederland ([www.sovon.nl](http://www.sovon.nl)). Deze organisatie heeft o.a. geteld en berekend hoeveel brand- en rotganzen er gemiddeld per maand in het Waddenzegebied zijn. Figuur 1 laat duidelijk een grote piek zien in het voorjaar (donker grijs), in het najaar en de winter (licht grijs) zijn er minder ganzen en vrijwel geen ganzen in de zomer. De vraag is of hetzelfde patroon ook te zien is in de stroomproductie van het zonnepark.



Figuur 1: aantal ganzen in het Waddenzegebied, per maand.

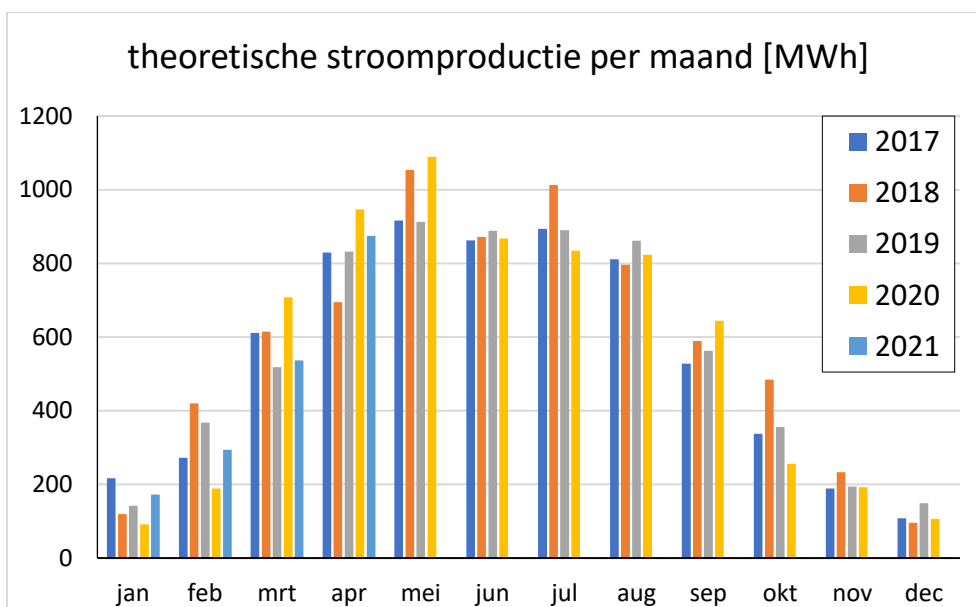
## Opbrengst zonnepark

De stroomproductie van het zonnepark is natuurlijk erg afhankelijk van de tijd van het jaar omdat de zon in de zomer nu eenmaal veel feller schijnt dan in de winter en de dagen zomers langer duren. Dat is goed te zien in Figuur 2 waar de gemeten maandelijkse opbrengst van het zonnepark Ameland voor de afgelopen jaren is weergegeven. Er wordt in de zomer gemiddeld genomen tien keer meer elektriciteit geproduceerd op het zonnepark dan in de winter.



Figuur 2: gemeten maandelijkse opbrengst van de zonnepark Ameland.

Om een goede vergelijking te kunnen maken van het effect van de aantallen aanwezige ganzen op de stroomproductie van het zonnepark Ameland moeten we de afhankelijkheid van de hoeveelheid zon er eerst eruit halen. Een waarde die onafhankelijk is van de tijd van het jaar is bijvoorbeeld de performance ratio van het zonnepark. Daarbij wordt de werkelijke stroomproductie gedeeld door de theoretische productie. Er zijn verschillende manieren om zo'n theoretische elektriciteitsproductie te berekenen, bijvoorbeeld m.b.v. het simulatieprogramma PVSyst ([www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)) waarin we het zonnepark op Ameland gedetailleerd hebben gemodelleerd en waarbij de weergegevens van het KNMI- station in Hoorn op Terschelling zijn gebruikt. Figuur 3 laat de gesimuleerde maandelijkse opbrengst van het zonnepark Ameland zien voor de jaren dat het zonnepark in productie is.

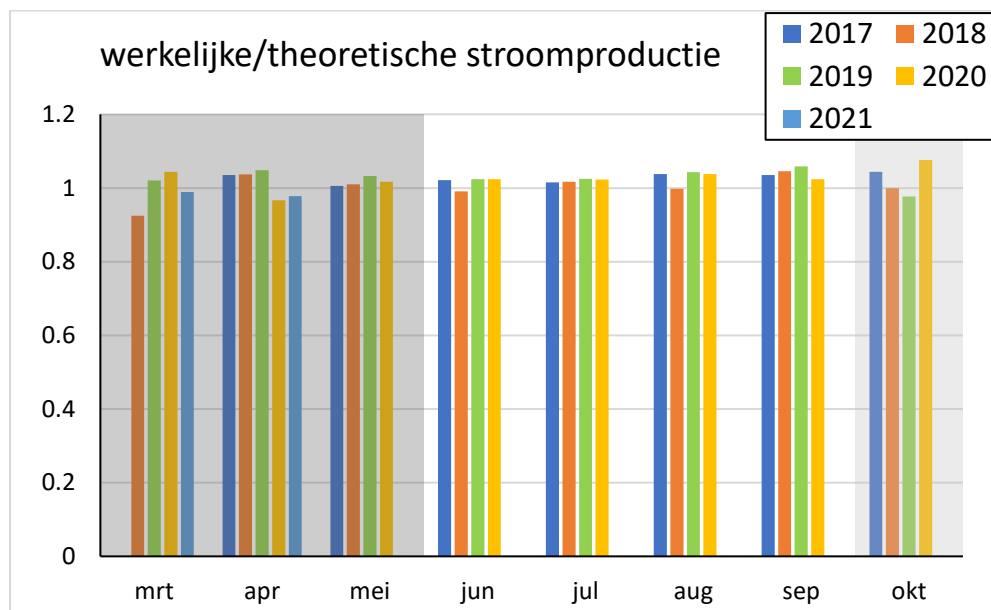


Figuur 3: gesimuleerde maandelijkse opbrengst van de zonnepark Ameland.

## Analyse

Wanneer we de verhouding van de werkelijke stroomproductie en de theoretische stroomproductie van het zonnepark berekenen, zien we dat deze veel minder varieert over de maanden van het jaar dan de stroomproductie zelf. Een voorbeeld van zo'n verhouding is weergegeven in Figuur 4. We bekijken hier

alleen de zomermaanden omdat in de winter de stroomproductie zo laag is dat de berekening onnauwkeurig wordt. In grijs is weer aangegeven in welke periode er veel ganzen op Ameland bivakkeren.



Figuur 4: verhouding tussen gemeten en gesimuleerde opbrengst.

Vervolgens hebben we deze verhouding geprobeerd te correleren aan de hoeveelheid ganzen in ieder seizoen. Ondanks dat we verschillende verhoudingen hebben geprobeerd en ook verschillende correlatietechnieken, hebben we geen verband gevonden tussen de stroomproductie van het zonnepark en de ganzen die het zonnepark met name in het voorjaar vervuilen.

## Conclusie

Onze voorlopige conclusie van deze casestudie is dat de ganzen de opbrengst van het zonnepark op Ameland nauwelijks verminderen. Mogelijk heeft dit te maken met de regen die de vervuiling van de ganzen snel wegspoelt, of met de beperkte oppervlakte van de vervuiling.

## Effect van schoonmaken op de opbrengst van de productie-panelen op EnTranCe

Een deel van de productie-panelen op EnTranCe zijn maandelijks, halfjaarlijks of eenmalig schoongemaakt. De schoongemaakte panelen laten een iets hogere opbrengst zien in vergelijking tot de niet-schoongemaakte panelen. Deze toename ligt in de orde van 4%. Duidelijk is dat de panelen die iedere maand worden schoongemaakt de meeste opbrengsttoename laten zien. Net als voor het zonnepark van Ameland geldt ook hier dat de opbrengst in de winter heel laag is en dat daardoor de onnauwkeurigheid van de analyse erg groot wordt.

## Inleiding

Op de proeftuin EnTranCe zijn naast allerlei experimentele opstellingen ook gewoon zonnepanelen geïnstalleerd om stroom op te wekken voor EnTranCe. Deze panelen noemen we de 'productie-panelen', om ze te onderscheiden van panelen in experimentele opstellingen. Via de SolarEdge portal kunnen we opbrengst gegevens over de productie-panelen benaderen.

## De panelen

Een deel van deze productie-panelen, de projectpanelen, hebben we gebruikt om te onderzoeken wat het effect is van het regelmatig schoonmaken van zonnepanelen. Op Foto 2 zijn de paars-omlijnde PV de



projectpanelen, langs de slootkant. De projectpanelen die worden schoongemaakt in dit experiment zijn de panelen binnen de rode en groene lijnen. Voor deze schoonmaakexperimenten gebruiken we de panelen die vlak naast de doorgang (zie Foto 2) liggen omdat we er dan makkelijk (minder moeilijk 😊) bij kunnen komen om ze schoon te maken.



Foto 2: luchtfoto van EnTranCe (2020) met daarin aangegeven de productie-panelen die in het schoonmaakexperiment zijn gebruikt.

De productie-panelen op EnTranCe zijn steeds in serie van 2 verbonden met een optimizer. De optimizers staan in serie met aan het uiteinde een omzetter. Het systeem is van het merk SolarEdge. SolarEdge heeft een portal en Foto 3 laat zien hoe de layout van het complete PV productie-park van EnTranCe wordt weergegeven. De paars-omlijnde delen corresponderen met de paars-omlijnde delen in Foto 2.

Ondanks dat de data dus afkomstig is van optimizers en niet van de panelen zelf, zal in het vervolg meestal over panelen gepraat worden waar officieel optimizers bedoeld wordt.

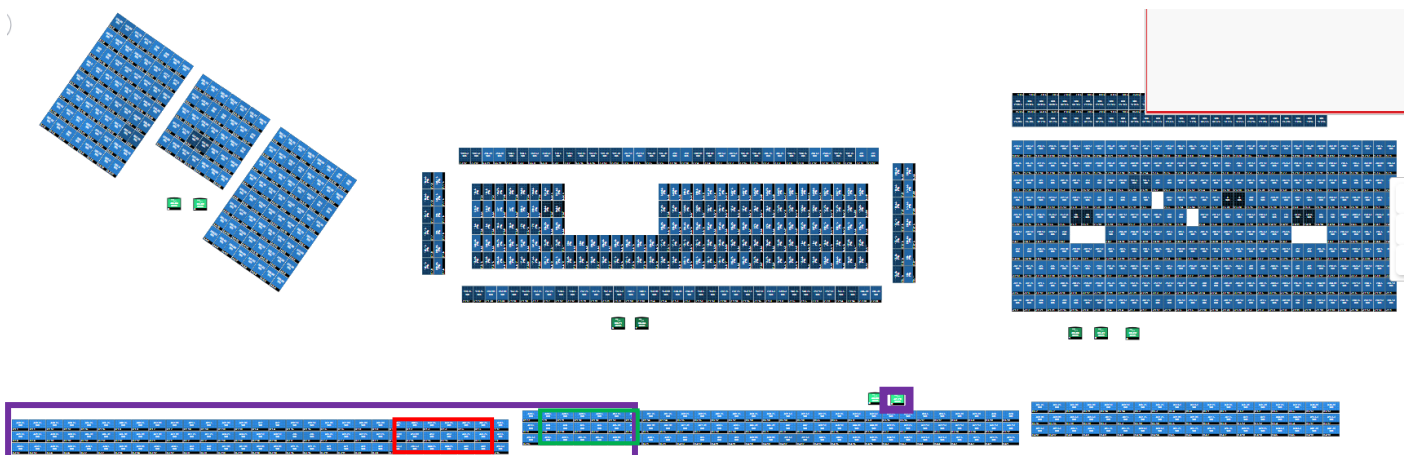
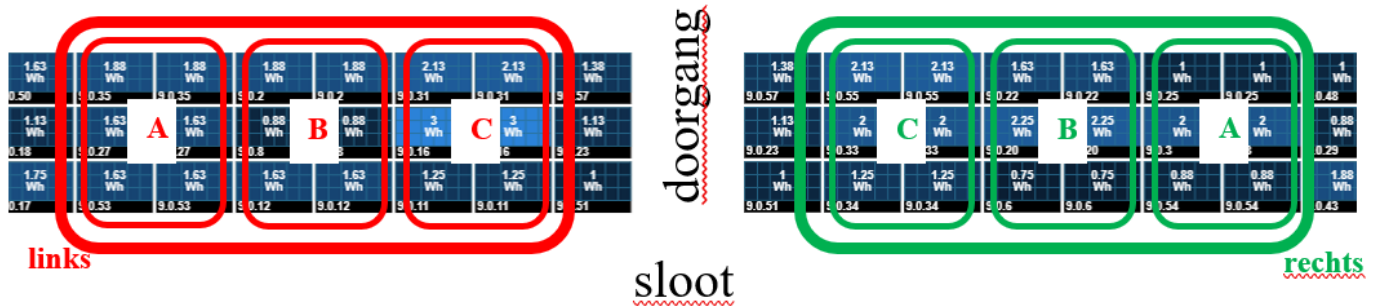


Foto 3: layout in de SolarEdge portal. Het paars-omlijnde deel zijn alle projectpanelen, zowel de panelen die schoongemaakt worden (in rood en groen) als de panelen die niet schoongemaakt worden en dienen als referentie.





Figuur 5: schematische weergave van de projectpanelen die zijn schoongemaakt in het experiment (de positie van de rode en groene delen komt overeen met die in Foto 2 en Foto 3).

Schoonmaken is steeds gedaan met de apparatuur die we van Hartclass te leen hadden. We hebben de panelen steeds 2 keer gereinigd, de eerste keer om ze ‘in te weken’. M.b.v. osmose-water hebben we de panelen schoon ‘geborsteld’ (het is een heel zachte borstel om de panelen niet te beschadigen). De telescoop steel maakte het mogelijk om ook de bovenste panelen te reinigen. Foto 4 toont de schoonmaakactie, de borstel is duidelijk zichtbaar, net als het effect van de reiniging.



Foto 4: schoonmaakactie met apparatuur van Hartclass.

### Dataverzameling

M.b.v. de SolarEdge portal hebben we de dagopbrengst, in kWh, van ieder van de 57 optimizers binnen het project. Die data is verzameld voor de tijd sinds dit PV systeem voor het eerst in productie kwam, dat was begin 2018.

### Data-preprocessing

Als eerste stap hebben we de data ‘opgeschoond’. De gegevens van de 3 optimizers waar de doorgang ligt hebben we uit de set gehaald omdat de 2 panelen die aan ieder van die optimizers verbonden zijn, zijn gescheiden door de doorgang in tegenstelling tot de andere panelen in de dataset die netjes naast elkaar liggen.

Er zijn (natuurlijk) periodes waarin geen data is verzameld. We hebben ook de dag direct vóór en direct na zo’n data-gat verwijderd omdat we niet weten wanneer gedurende die dag het systeem is uitgevallen of weer is gaan werken. Daarnaast zijn alle dagen dat we hebben schoongemaakt uitgesloten van de analyse omdat die dagen natuurlijk ook niet een normale opbrengst hebben. Ook zijn een aantal dagen gevonden (min of meer toevallig) waarin het systeem een stukje van de dag niet heeft gefunctioneerd. Het was ondoenlijk om dat voor alle dagen te bekijken omdat daarvoor de uurdata gedownload en bestudeerd moet worden. De

dagen waarvan we weten dat het systeem een tijdje niet heeft gefunctioneerd zijn niet meegenomen in de analyse. Tenslotte zijn een aantal dagen uitgesloten waarin we ‘vreemde dingen’ hebben gezien, bijvoorbeeld dat één van de optimizers heel veel meer energie geeft dan de andere. Tabel 1 geeft een overzicht van de hoeveelheid dagen gebruikt in de analyse. De geel gemarkeerde velden geven de laagste getallen aan. Zo is in de tabel te zien dat voor september en oktober relatief weinig data beschikbaar was.

Tabel 1: aantal dagen gebruikt in de analyse.

| aantal dagen | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | totaal |
|--------------|------|------|------|------|------|--------|
| januari      |      | 31   | 31   | 30   | 29   | 121    |
| februari     |      | 28   | 29   | 27   | 28   | 112    |
| maart        |      | 31   | 31   | 30   |      | 92     |
| april        | 27   | 30   | 30   | 28   |      | 115    |
| mei          | 31   | 31   | 29   | 31   |      | 122    |
| juni         | 15   | 30   | 27   | 29   |      | 101    |
| juli         | 31   | 31   | 31   | 30   |      | 123    |
| augustus     | 31   | 31   | 1    | 30   |      | 93     |
| september    | 30   | 7    | 0    | 29   |      | 66     |
| oktober      | 31   | 0    | 0    | 26   |      | 57     |
| november     | 30   | 0    | 25   | 28   |      | 83     |
| december     | 31   | 26   | 31   | 29   |      | 117    |

#### Dataprocessing

De data is verdeeld in 4 groepen:

- A. De eenmalig schoongemaakte panelen, de A panelen (6 optimizers)
- B. De halfjaarlijks schoongemaakt panelen, de B panelen (6 optimizers)
- C. De maandelijks schoongemaakte panelen, de C panelen (6 optimizers)
- D. De nooit schoongemaakte panelen, de D panelen (36 optimizers)

Omdat de panelen niet allemaal exact gelijk zijn, werken we met verhoudingen i.p.v. met absolute getallen. Het is bekend dat de verhoudingen tussen de panelen o.a. afhangt van de stand van de zon en hoeveelheid instraling. Om deze afhankelijkheid enigszins te compenseren is onderscheid gemaakt per maand. Het berekenen van de procentuele opbrengsttoename van schoongemaakte panelen volgt in een aantal stappen. De stappen worden hieronder beschreven en Tabel 2 geeft een voorbeeld.

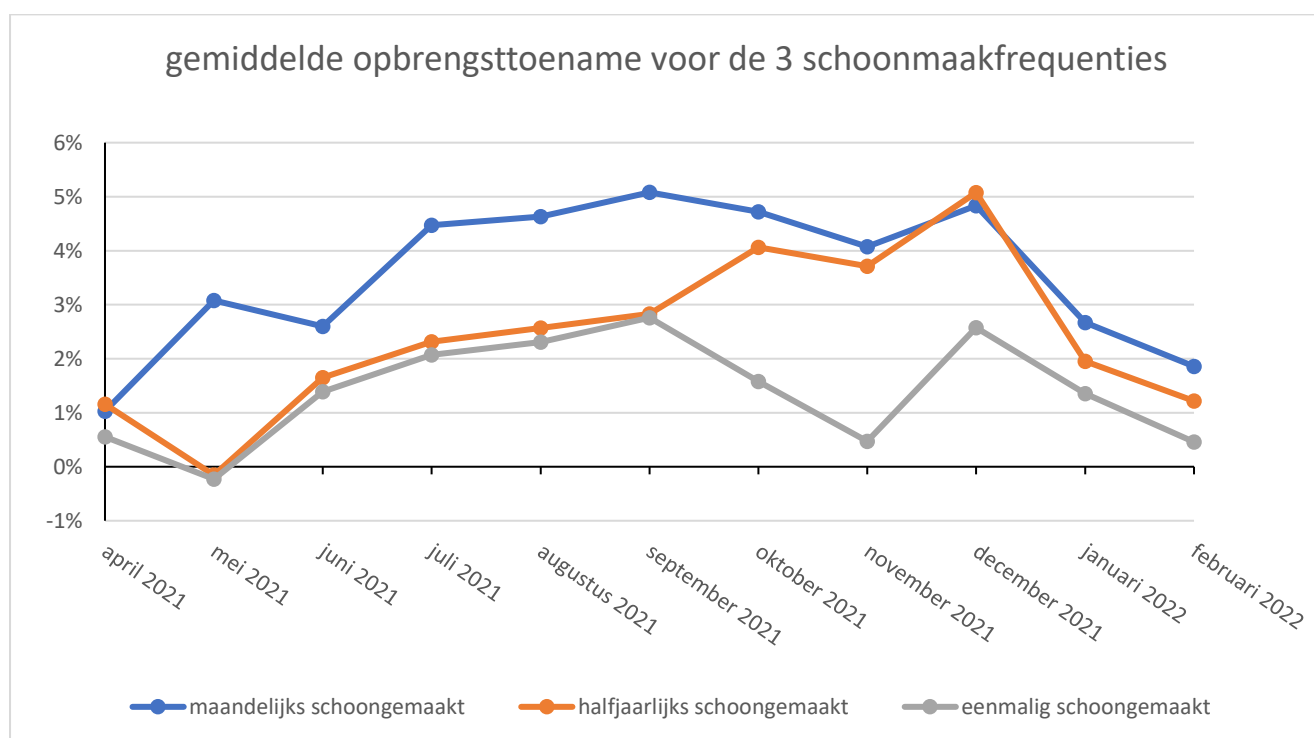
0. Voor ieder van de 4 groepen panelen is **per dag** de gemiddelde dagopbrengst van de betreffende groep panelen bepaald.
1. Vervolgens is **per maand** de gemiddelde dagopbrengst voor iedere groep panelen berekend. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de periode vóór en na de start van het experiment (1 april 2021).
2. Daarna zijn de gemiddelde dagopbrengsten per maand van de groepen A, B en C ieder gedeeld door de gemiddelde dagopbrengst per maand van groep D.
3. Met behulp van deze verhoudingen en de gemiddelde dagopbrengst per maand ná de start van het experiment wordt de verwachte gemiddelde dagopbrengst per groep schoongemaakte panelen voor de maanden april 2021 tot en met februari 2022 berekend.
4. Deze verwachte gemiddelde dagopbrengst (per groep schoongemaakte panelen en per maand) wordt afgetrokken van de werkelijk gemiddelde dagopbrengst voor die groep panelen en per die maand. Dat geeft de absolute gemiddelde dagopbrengsttoename.
5. Tenslotte kan deze toename in opbrengst worden vergeleken met de verwachte opbrengst uit stap 3.

Tabel 2: voorbeeld berekening van de procentuele opbrengsttoename van panelen, in deze tabel wordt gekeken naar de maandelijks schoongemaakte panelen (de C panelen) en de maand juni.

|        |                                                                                                                                                                |          |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|
| Stap 1 | Gemiddelde dagopbrengst van de D panelen (die dus nooit zijn schoongemaakt), in de maanden juni vóór het de start van het experiment                           | 2651,943 | kWh |
| Stap 1 | Gemiddelde dagopbrengst van de C panelen, in de maanden juni vóór het de start van het experiment                                                              | 2683,025 | kWh |
| Stap 1 | Gemiddelde dagopbrengst van de D panelen, in de maand juni 2021                                                                                                | 2617,879 | kWh |
| Stap 1 | Gemiddelde dagopbrengst van de C panelen in juni 2021 ('werkelijke' opbrengst)                                                                                 | 2683,025 | kWh |
| Stap 2 | Verhouding van de gemiddelde dagopbrengst van de C panelen / gemiddelde dagopbrengst van de D panelen, in de maanden juni vóór het de start van het experiment | 1,01172  |     |
| Stap 3 | Verwachte gemiddelde dagopbrengst van de C panelen in juni 2021                                                                                                | 2648,561 | kWh |
| Stap 4 | Vershil werkelijke en verwachte gemiddelde dagopbrengst van de C panelen in juni 2021                                                                          | 68,748   | kWh |
| Stap 5 | Procentueel verschil werkelijke en verwachte gemiddelde dagopbrengst van de C panelen in juni 2021                                                             | 2,60     | %   |

## Resultaten

We hebben de beschreven procedure toegepast op ieder van de 3 groepen schoongemaakte panelen en de procentuele gemiddelde opbrengsttoename berekend voor de 3 schoonmaakfrequenties, voor de duur van het experiment. Figuur 6 geeft de resultaten weer.



Figuur 6: gemiddelde maandelijkse toename in dagopbrengst voor de schoongemaakte panelen in de periode april 2021 t/m februari 2022

In de figuur is te zien dat maandelijks schoonmaken het beste resultaat geeft, maar dat was ook de verwachting. Verder zien we dat de panelen die na een half jaar nogmaals schoongemaakt werden (in



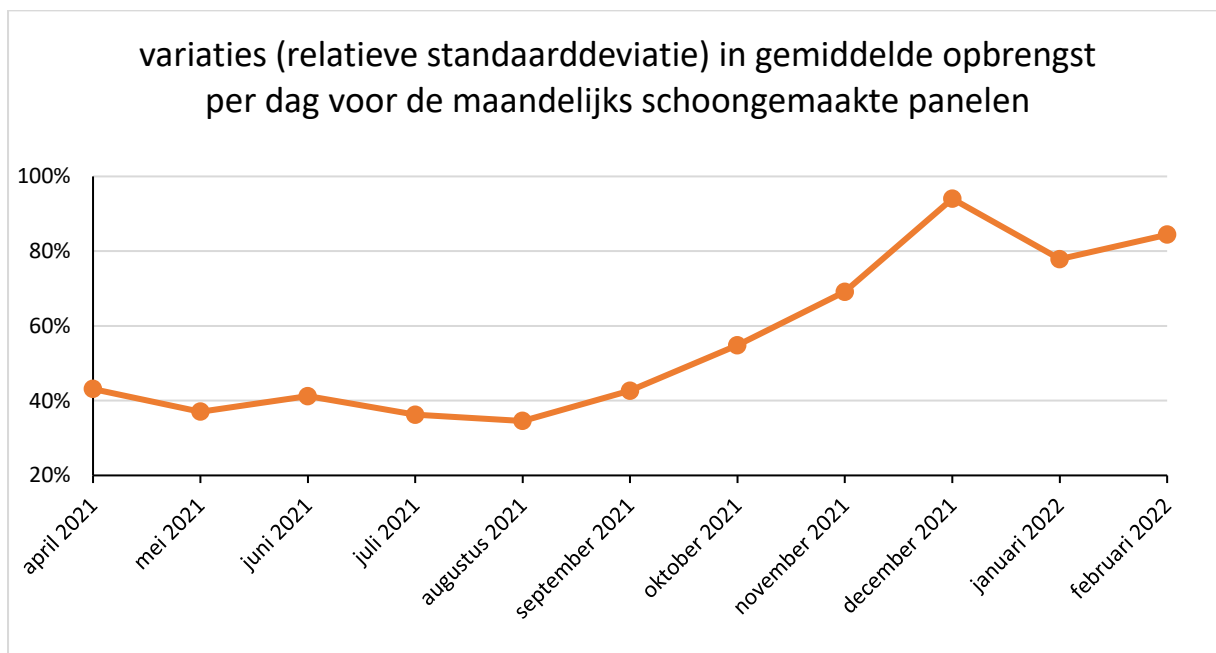
oktober), daarna beter presteren dan de panelen die maar één keer zijn schoongemaakt. Hierbij moet wel een kanttekening worden gemaakt om in de winterperiode de opbrengsten veel lager zijn en de variatie groter.

### Nadere beschouwingen

Om een aantal aspecten verder te bestuderen hebben we, als voorbeeld, steeds gekeken naar de maandelijks schoongemaakte panelen. De andere panelen gedragen zich niet wezenlijk anders.

#### Variaties versus seizoenen

Figuur 7 geeft een voorbeeld van de waargenomen variatie in de dagopbrengst van de maandelijks schoongemaakte panelen. Duidelijk is te zien dat in de winterperiode de variatie in opbrengstwaarden veel groter is dan in de zomer. De zomerperiode lijkt dus de meest betrouwbare gegevens op te leveren, daarom is de voorzichtige conclusie dat de maandelijks schoongemaakte panelen ongeveer 4% meer opleveren dan niet schoongemaakte panelen (Figuur 6).



Figuur 7: relatieve standaarddeviatie voor de gemiddelde dagopbrengst per maand voor de maandelijks schoongemaakte panelen.

### Verwijderen uitschieters

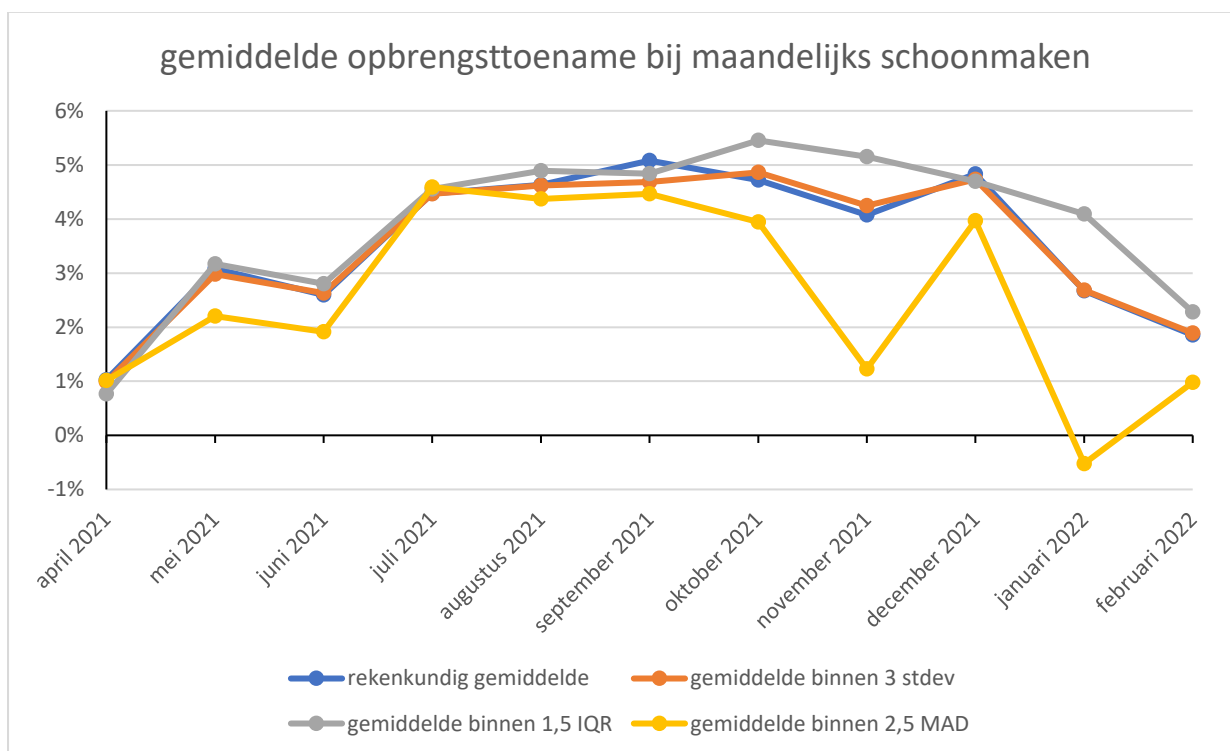
In stap 0 van de methode wordt de gemiddelde dagopbrengst van de desbetreffende groep panelen, per dag berekend. Het gaat dan om de gemiddelde dagopbrengst van 36 (voor de nooit schoongemaakte panelen) of 6 panelen. Hierbij zouden ‘uitschieters’ verwijderd kunnen worden voordat het gemiddelde wordt bepaald. Er zijn verschillende methoden om zulke uitschieters te definiëren en we hebben 3 methoden vergeleken.

Vervolgens wordt hiervan, in stap 1, het gemiddelde per maand bepaald. Hier zou een soortgelijke methode gebruikt kunnen worden maar dat is onlogisch. De verwachting is namelijk dat de dagopbrengst van (een groep) panelen voor alle panelen ongeveer gelijk zal zijn. De panelen hebben immers allemaal te maken met dezelfde weersomstandigheden. Maar per dag (van de maand) kunnen de weersomstandigheden sterk variëren, daarom is het verwijderen van uitschieters in stap 0 wel te motiveren maar in stap 1 niet.

Tabel 3 geeft het aantal uitschieters aan dat wordt gevonden bij ieder van de 3 onderzochte methoden om uitschieters te detecteren. Wanneer we kijken wat de invloed van het verwijderen van uitschieters is op het eindresultaat (Figuur 8) zien we dat het gebruik van de gemiddelde absolute afwijking wel erg grote variaties geeft. Het gebruik van het rekenkundig gemiddelde, eventueel met uitsluiten van waarden buiten 3 standaarddeviaties, lijkt tussen de 2 extremen in te liggen. Ook is zichtbaar dat het eindresultaat nauwelijks verandert als we waarden buiten 3 stdev (de meest gebruikte methode) uitsluiten. Het rekenkundig gemiddelde lijkt dus een heel acceptabele methode.

Tabel 3: aantal uitschieters per methode voor ieder van de 4 groepen panelen.

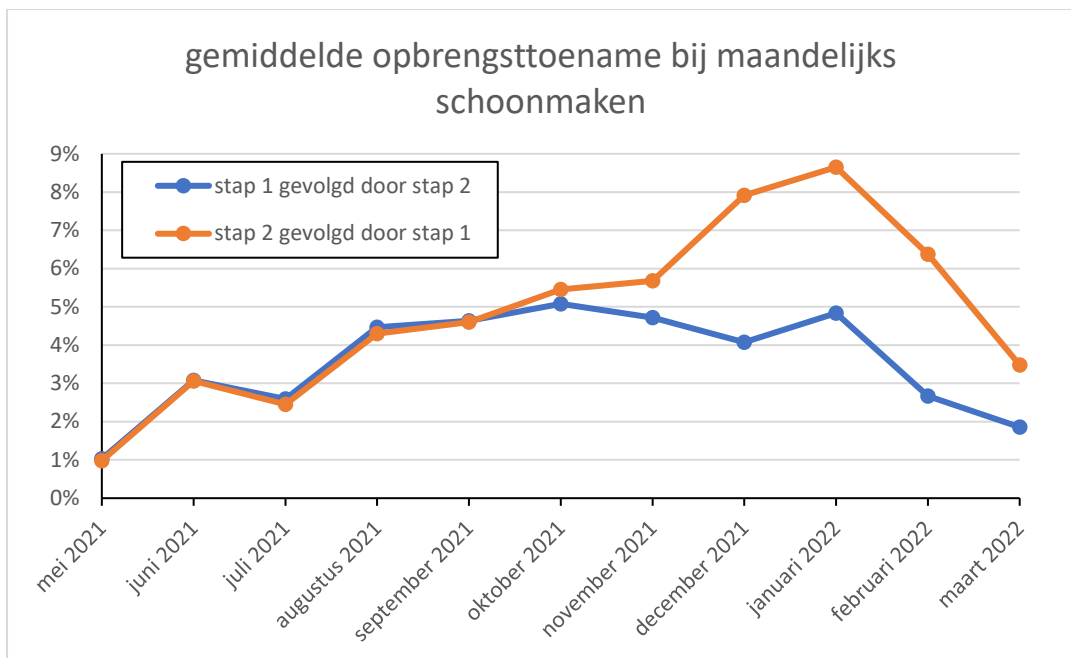
|                                                                              | Eenmalig schoongemaakt | Halfjaarlijks schoongemaakt | Maandelijks schoongemaakt | Nooit schoongemaakt |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| Aantal optimizers                                                            | 6                      | 6                           | 6                         | 36                  |
| Gemiddeld aantal uitschieters bij gebruik van het rekenkundig gemiddelde     | 0%                     | 0%                          | 0%                        | 0%                  |
| Gemiddeld aantal uitschieters buiten 3 standaarddeviaties (stdev)            | 0%                     | 0%                          | 0%                        | 1.6%                |
| Gemiddeld aantal uitschieters buiten 1,5 kwartiel (IQR)                      | 0.4%                   | 13.4%                       | 8.8%                      | 9.5%                |
| Gemiddeld aantal uitschieters buiten 2,5 MAD (gemiddelde absolute afwijking) | 19.9%                  | 18.7%                       | 28%                       |                     |



Figuur 8: vergelijken van het effect van het verwijderen van uitschieters, met verschillende methoden, op het eindresultaat.

#### Volgorde berekening verhouding en maandelijks gemiddelde

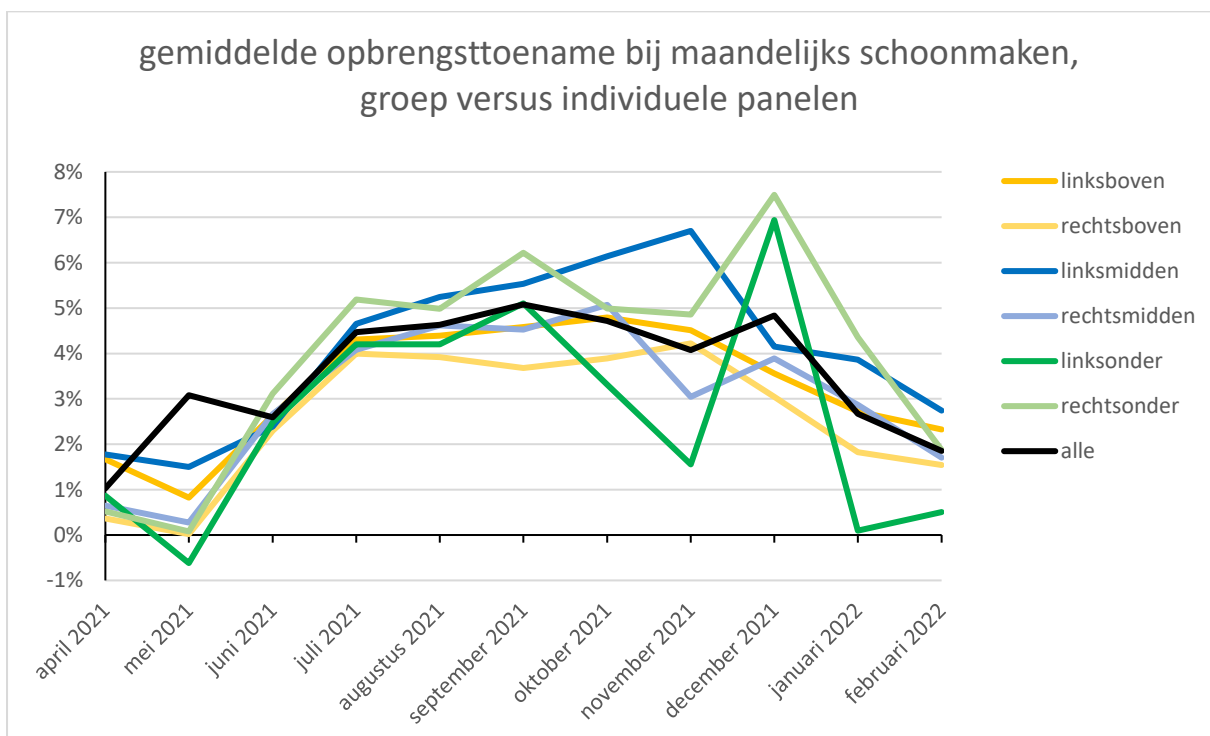
Theoretisch is het mogelijk om eerst per dag de verhouding van de panelen (methode-stap 2) te bepalen en pas daarna de maandelijks waarden (methode-stap 1). Dan worden de stappen 1 en 2 van de methode dus omgedraaid. Figuur 9 laat zien dat het omwisselen van die 2 stappen in de methode onrealistisch hoge opbrengsttoenames geeft voor de wintermaanden. Daarom houden we vast aan de in de methode omschreven volgorde.



Figuur 9: afhankelijkheid van de volgorde van de eerste twee methode-stappen, in het eindresultaat, voor de maandelijks schoongemaakte panelen.

### Spreiding individuele panelen

De eindresultaten voor de individuele panelen geven meer variatie dan wanneer de groep (gebaseerd op de schoonmaakfrequentie) wordt bekeken. Om een indruk te krijgen van de spreiding over de individuele panelen geeft Figuur 10 een voorbeeld van de maandelijks schoongemaakte 12 panelen (6 optimizers)

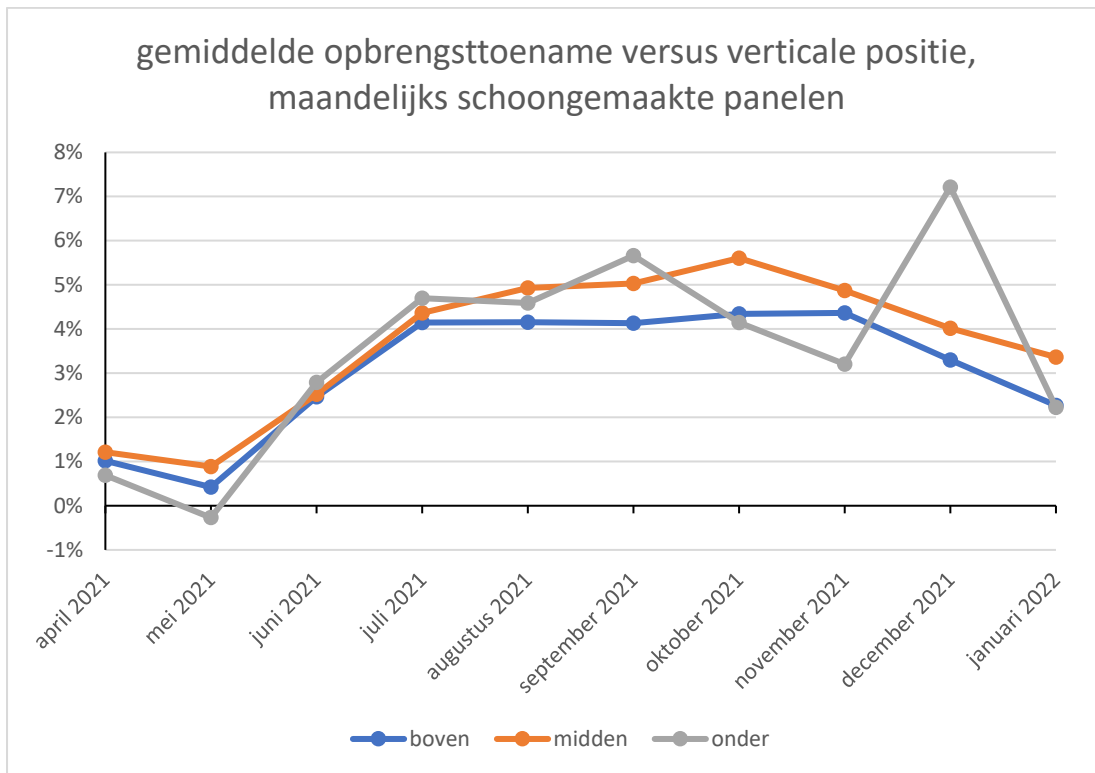


Figuur 10: groepsresultaat versus individueel resultaat, voor de groep maandelijks schoongemaakte panelen.

### Verticale positie

Tenslotte hebben we bekeken wat de invloed is van de verticale positie van de panelen, dus of we onderscheid moeten maken tussen de bovenste, middelste of onderste panelen. Uit Figuur 11 komt naar voren dat de verticale positie van de panelen nauwelijks van invloed is op de opbrengst toename.





Figuur 11: opbrengsttoename versus verticale positie, voor maandelijks schoongemaakte panelen.

## Conclusie

Concluderend kunnen we opmerken dat het schoonmaken van de productie-panelen op EnTranCe een klein positief effect op de opbrengst laat zien. Zoals verwacht levert maandelijks schoonmaken de meeste opbrengstwinst op.

Nadere beschouwingen van de methode en resultaten geven aan dat de conclusie gerechtvaardigd is maar dat de variaties groot zijn.

De ontwikkelde methode heeft beperkte nauwkeurigheid maar lijkt ook bruikbaar voor andere zonneparken met een monitoringsplatform.

## Overal conclusie

Binnen dit KIEM project zijn 2 casestudies over de vervuiling en schoonmaak van zonnepanelen bestudeerd. De studie naar de invloed van ganzenpoep op de opbrengst van het zonnepark in Ameland heeft gevonden dat de ganzen geen merkbaar effect hebben op de productie van het park. De studie naar de invloed van schoonmaakfrequenties op een deel van het productie-park op EnTranCe (Groningen) liet zien dat er een klein positief effect, een paar procent, is wanneer de panelen regelmatig worden gereinigd. Deze twee voorbeelden dragen bij aan het ontwikkelen van een helder advies voor de schoonmaak van zonnepanelen in Nederland.

Voor het verder detailleren van het effect van schoonmaken zouden we graag meer verschillende zonneparken onderzoeken. De ontwikkelde methode zouden we daar verder kunnen ontwikkelen. We werken daarom aan het opzetten van een vervolgproject.

Partners die deelnamen aan dit project zijn:

- Hartclass (professioneel reinigen van zonnepanelen)
- Statkraft (in dit project: monitoring van het Zonnepark Ameland)
- Zonnepark Ameland (hebben last van ganzen op hun zonnepark in het voorjaar)

Betrokken onderzoekers vanuit de Hanzehogeschool, University of Applied Sciences: Lech Bialek, Hans van Weerden en Sandra Bellekom. Allen behorend bij het lectoraat Energietransitie en netwerken onder leiding van lector Martien Visser.