

Efficiëntere zonnepanelen

Eindverslag



Maart 2024, Calandlyceum, Amsterdam

Mohamed el Idrissi, Hajar Abidallah, Jorden Go,
Marisa van der Weerd en Robin Koirala

zonnestudie.nl

caland
lyceum

Informatiepagina

Acteurs:

Mohamed el Idrissi (17 jaar) – klas 6v2 – Leider

Jorden Go (17 jaar) – klas 6v2

Hajar Abidallah (18 jaar) – klas 6v2 – Waarnemend leider

Marisa van der Weerd (18 jaar) – klas 6v2

Robin Koirala (18 jaar) – klas 6v1

Docent:

R.M.M. Smink, Technator en O&O docent

Rsmink@calandlyceum.nl

Opdrachtgever:

Aram Leeuw, freelance brand experience design

Expert:

Wouter Konings, design director, Consumer Electronics Design + R&D partner for start-ups and multinationals.

Data:

Dit project loopt van 14 september 2023 tot 7 maart 2024

Samenvatting

Ons eindverslag onderzoekt het effect van spiegels en beweging op zonnecellen onder een hoek van 45 graden, met en zonder schaduw. We hebben experimenten uitgevoerd en literatuuronderzoek gedaan om deze vraag te beantwoorden. De methodologie, resultaten en conclusies worden gedetailleerd beschreven in het verslag. We hebben ontdekt dat bewegende zonnecellen aanzienlijk meer licht absorberen dan stilstaande cellen, zoals weergegeven in onze grafieken. Daarnaast hebben we vastgesteld dat spiegels de lichtopbrengst van zonnecellen kunnen verhogen, maar alleen bij afwezigheid van schaduw. De discussie in ons verslag benadrukt de belangrijkste bevindingen en bespreekt de implicaties ervan voor de praktijk. Kortom, ons eindverslag biedt een diepgaande analyse van het onderwerp en biedt waardevolle inzichten voor verdere onderzoek en toepassingen in de zonne-energiesector.

Inhoudsopgave

Inhoud

1. Inleiding	6
§2. Opdrachtgever en expert	7
§3. Opdracht.....	8
§3.1 Probleemstelling	8
§4. Vooronderzoek.....	9
§4.1 Zon	9
§4.1.1 Gegevens.....	10
§4.1.2 Structuur.....	10
§4.2 Zonnepanelen.....	14
§4.2.1 Wat zijn zonnepanelen?	14
§4.2.2 Werking van zonnepanelen.....	15
§4.2.3 Factoren voor de opbrengst.....	16
§4.2.4 Voor- en nadelen.....	17
§4.2.5 Eisen.....	18
§4.2.6 Varianten.....	19
§5 Solar panel tracking system	20
§5.1 Wat is een solar panel tracking system	20
§5.2 Wat zijn de voordelen en nadelen van een solar panel tracking systeem	21
§6 Onderzoeksvragen.....	23
§6.1 Hoofdvraag	23
§6.1.1 Deelvragen van de hoofdvraag	23
§6.1.2 Hypothese van de deelvragen	23
§7 Methode	24
§7.1 Onderzoeksopzet deelvraag 1	24
§7.2 Onderzoeksopzet deelvraag 2	24
§8 Literatuuronderzoek	25
§8.1 Opstelling.....	25
§8.1.1 Het model.....	25
§8.1.2 Experimenteerkamer	26
§8.1.3 Bouw van de solar tracking system	27
§8.1.4 Bouw van het systeem van de INA219-sensor	32
§8.2 Resultaten.....	41
§8.2.1 Resultaten in een tabel	41

§8.2.2 Resultaten in een grafiek.....	47
§8.3 Conclusie.....	47
§8.4 Discussie	48
§9 Resultaten.....	49
§9.1 Resultaten van deelvraag 1	49
§9.2 Resultaten van deelvraag 2	49
§9.2.1 Resultaten in een tabel	49
§9.2.2 Resultaten in een grafiek.....	60
§10 Conclusie.....	61
§11 Discussie	62
§12 Aanbevelingen	62
§13 Nawoord.....	63
§14 Literatuurlijst.....	63
§15 Bijlage	66
§15.1 Logboeken.....	66
§15.2 Foto's	66

1. Inleiding

Nederland verduurzaamt. In het Klimaatakkoord¹ staat dat Nederland in 2050 een klimaat neutrale samenleving is.¹ Om dit te bereiken, is het essentieel dat we in staat zijn om voldoende duurzame energie, zoals zonne-energie, te genereren.

Nederland is koploper in zonne-energie binnen Europa; nog nooit was de groei van het aantal zonnepanelen zo hoog als in het afgelopen jaar. De uitdaging waar we nu voor staan is de beschikbare ruimte voor zonnepanelen. Er is veel oppervlak nodig om op elk moment voldoende zonne-energie op een betaalbare en acceptabele manier op te wekken.³ Daarom is het cruciaal dat we de ruimte die we wel hebben zo goed mogelijk benutten.

Schaduw op zonnepanelen kan bijvoorbeeld aanzienlijke negatieve impact hebben op hun prestaties en energieopwekking. Hoewel zonnepanelen ontworpen zijn om zonlicht om te zetten in elektriciteit, kunnen schaduw omstandigheden leiden tot verminderde efficiëntie en kunnen in sommige gevallen zelfs schade veroorzaken. Het is daarom essentieel om schaduwvorming op zonnepanelen zoveel mogelijk te vermijden. Bij het ontwerpen en installeren van zonnepanelen moet er dus rekening worden gehouden met mogelijke schaduwproblemen om de optimale prestaties en levensduur van het systeem te waarborgen.

¹ <https://www.klimaatakkoord.nl/klimaatakkoord>

§2. Opdrachtgever en expert

Onze opdrachtgever is het bedrijf Zonnestudie, opgericht in 2006. Onze contactpersoon is de heer Aram Leeuw, ook de oprichter van Zonnestudie. De heer Leeuw heeft zijn opleiding gedaan aan de faculteit Industrieel Ontwerpen aan de Technische Universiteit Delft en heeft meer dan 25 jaar ervaring als architectonisch ontwerper. Hij heeft buiten dit bedrijf ook meerdere bedrijven, zoals bijvoorbeeld een freelance brand experiencedesignbedrijf.

De inspiratie voor de oprichting van Zonnestudie ontstond toen de heer Leeuw zelf een nieuwbouwhuis aanschafte en nieuwsgierig was naar de zonlichtinval en schaduwvorming op zijn woning. Met behulp van gespecialiseerde CAD-software voerde hij een zonnestudie uit voor zijn huis. Een zonnestudie is een visuele weergave van de zonlichtinval en schaduwwerking bij de planning van nieuwbouw, opbouw of uitbouw projecten. Toen dit bekend werd, ontving hij al snel verzoeken van anderen om zonnestudies uit te voeren. Na veel interesse en verzoeken heeft hij besloten om Zonnestudie op te richten om geïnteresseerde mensen te kunnen helpen met het maken van zonnestudies voor hun huizen. Voor onze meesterproef dit jaar hebben we ook een expert nodig, iemand die gespecialiseerd is in het onderwerp van de opdracht. Voor ons project is dat de heer Wouter Konings, die industrieel productontwerp heeft gestudeerd en een eigen design bedrijf heeft. Onze opdrachtgever heeft hem aangewezen als onze expert en hij zal ons begeleiden tijdens het project, wanneer wij bijvoorbeeld vragen tegenkomen waar we zelf geen antwoord op hebben.



Figuur 1: De opdrachtgever, Aram Leeuw



Figuur 2: De expert, Wouter Konings

§3. Opdracht

Zonnepanelen zijn een duurzame bron van hernieuwbare energie, maar hun efficiëntie is afhankelijk van de hoeveelheid zonlicht die ze ontvangen. Als een zonnepaneel telkens op een vaste positie staat, kunnen ze echter niet goed worden belicht, dit komt natuurlijk doordat de zon beweegt. Hierdoor is er maar een beperkte tijd per dag goede belichting. Om de opbrengst van zonnepanelen te maximaliseren, is het natuurlijk van belang om de belichtingstijd gedurende de dag te optimaliseren. Meneer Leeuw heeft ons hierbij de opdracht gegeven om een systeem te ontwerpen dat de belichtingstijd van zonnepanelen zo veel mogelijk verlengt. Zo kan er meer gebruik gemaakt worden van zonne-energie en zullen zonnepanelen nog meer zorgen voor een duurzamere wereld.

Het uiteindelijke doel van deze opdracht is om een goede oplossing te ontwikkelen, die de belichtingstijd van zonnepanelen verlengt en daardoor de energieopbrengst verbetert. We zullen hierbij uiteindelijk een prototype maken, waar al onze ideeën in zijn verwerkt. Dit prototype zal moeten aantonen dat het ontwerp haalbaar en realistisch is.



Figuur 3: Zonnepaneel op een dak.

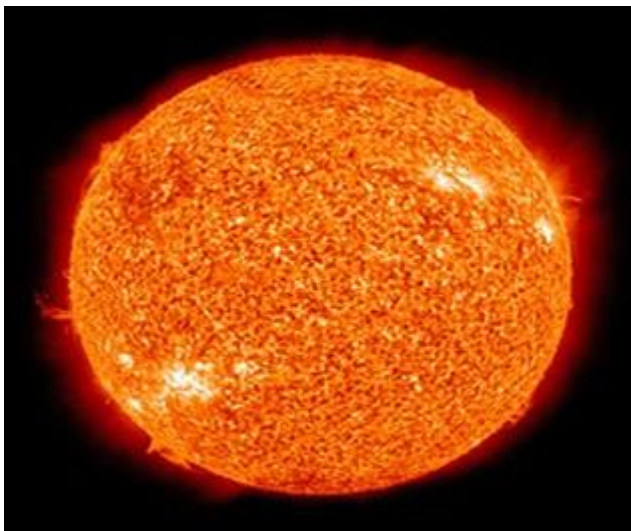
§3.1 Probleemstelling

Hoe kunnen wij ervoor zorgen dat zonnepanelen optimaal belicht kunnen worden en welke bestaande en niet bestaande technieken kunnen wij hiervoor gebruiken?

§4. Vooronderzoek

§4.1 Zon

De zon is onze nabijste ster en het centrale punt van ons zonnestelsel. Sterren ontstaan uit enorme gas- en stofwolken in de ruimte. Zonder de zon zou leven op aarde niet mogelijk zijn, omdat een groot deel van de warmte in de aardatmosfeer afkomstig is van de zon. Onze zon ontstond ongeveer 4,59 miljard jaar geleden en bevindt zich nu halverwege zijn levenscyclus. De zon is momenteel een gele dwergster en bestaat voornamelijk uit waterstof en helium.² Door de hoge temperaturen en druk in de kern van de zon vindt kernfusie plaats, wat resulteert in de afgifte van energie in de vorm van straling. Wanneer je naar de zon kijkt, kun je op het oppervlak zonnevlekken waarnemen. Over een periode van ongeveer 5 miljard jaar zal de zon evolueren tot een witte dwerg.³ Gedurende dit proces zal de aarde uiteindelijk onbewoonbaar worden, omdat de levenscyclus van de zon een impact zal hebben op de omstandigheden op onze planeet.



Figuur 4: De zon

² Woolfson, M. M. (2000). The origin and evolution of the solar System. *Astronomy & Geophysics*, 41(1), 1.12-1.19. <https://doi.org/10.1046/j.1468-4004.2000.00012.x>

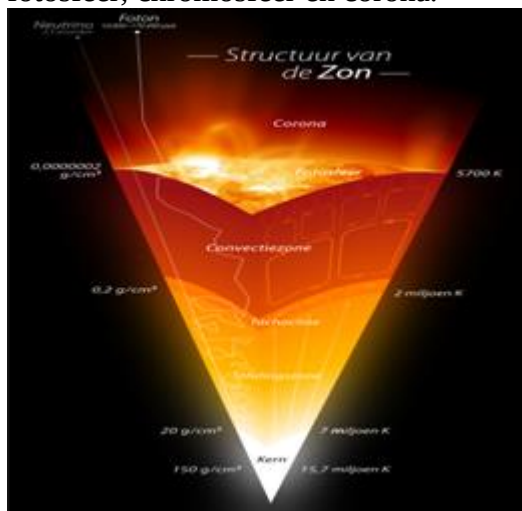
³ Sun: Facts - NASA Science. (z.d.). <https://science.nasa.gov/sun/facts/>

§4.1.1 Gegevens

De zon heeft een massa van ongeveer $1,989 \times 10^{30}$ kg. De massa van de aarde is $5,9722 \times 10^{24}$ kg. De massa van de zon is gelijk aan 332.946 maal de massa van de aarde. Alleen de massa van de zon is al 98% van het volledige zonnestelsel. De zon heeft ongeveer een straal van 700.000 km. Dat betekent dat de diameter van de zon 1.400.000 km is. Dit is bijna niet te vergelijken met de diameter van de aarde (12.000 km). De diameter van zon is gelijk aan 109 maal de diameter van de aarde. Dit geeft weer hoe groot de zon is vergelijken de aarde. De afstand van de zon tot de aarde heeft een apart eenheid. Dit noemen wij de astronomische eenheid (AE). 1 AE staat gelijk aan ongeveer 150 miljoen km. Als je dit gaat bekijken in lichtminuten dan komt dit overeen met 8,317 lichtminuten (dit houdt in dat het zonlicht er 8 minuten en 19 seconde er over doet om de aarde te bereiken). Aan de evenaar duurt één rotatie 25 dagen, terwijl het aan de polen 36 dagen duurt.⁴

§4.1.2 Structuur

Het is wetenschappers gelukt om de interne structuur van de zon te bestuderen. Ze zijn tot de conclusie gekomen dat de zon te verdelen is in 6 lagen: kern, stralingszone, convectiezone, fotosfeer, chromosfeer en corona.



Figuur 5: De structuur van de zon.

§4.1.2.1 Kern

⁴ Binas (6de editie). (2013). [Informatieboek]. Noordhoff uitgevers.

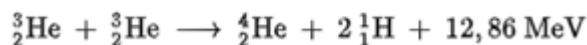
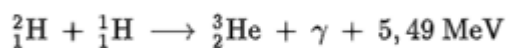
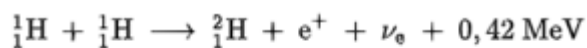
De kern is het centrale gebied van de zon. Het is ongeveer een vijfde van de zon. De kern van de zon bestaat voornamelijk uit waterstof, ongeveer 74% van de massa.⁵ Doordat dit gedeelte van de zon een hoge dichtheid en temperatuur heeft zijn er kernfusiereacties mogelijk. In sommige vallen heeft de temperatuur waarden van 15 miljoen graden Celsius bereikt. Hierdoor kunnen atoomkernen (waterstof) samensmelten om zo atoomkernen van andere, zwaardere elementen te vormen (helium). Dit hele proces noemen wij de pp-cyclus (de protonprotoncyclus).

§4.1.2.1.1 De proton-protoncyclus

Het proces begint met de samensmelting van twee waterstofatomen, wat resulteert in de vorming van deuterium, een deeltje dat bestaat uit één proton en één neutron. Tijdens dit fusieproces verandert één van de primaire protonen in een neutron, en als bijproducten komen een positron (het antideeltje van een elektron, met een positieve lading), een neutrino, en een foton vrij. Het gevormde deuterium kan verder reageren met een ander proton, wat leidt tot de vorming van een isotoop van helium genaamd helium-3, met gelijktijdige afgifte van een foton. Deze reacties vinden op tal van locaties tegelijkertijd plaats in het centrale deel van de zon, waardoor er aanzienlijke hoeveelheden helium-3 atoomkernen beschikbaar zijn.⁶ Nu zijn er drie mogelijke reactiepaden om helium-4 te produceren, het meest voorkomende heliumisotoop in de zon:

1. De ppI-keten:

De ppI-keten is de belangrijkste en de meest voorkomende keten. Het is verantwoordelijk voor 86% van de totale energieproductie. In deze keten smelten twee helium-3-kernen samen tot een helium-4 waarbij de twee overgeblevende protonen vrijkomen en beschikbaar zijn om deel te nemen aan andere reacties binnen de proton-protoncyclus. Bij dit proces komt in totaal 24,68 MeV vrij, oftewel 4×10^{-12} joule.⁷



Figuur 3: Reactievergelijking van ppI-keten

2. De ppII-keten:

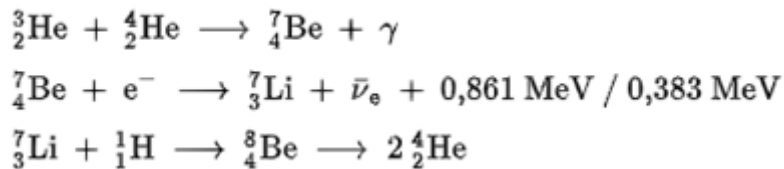
De ppII-keten produceert ongeveer 14% van de totale energieproductie. In dit proces versmelten een helium-3-kern en een eerder gevormde helium-4-kern, wat resulteert in de vorming van beryllium-7, terwijl tegelijkertijd een foton wordt uitgestraald. Beryllium-7 is echter een onstabiele (radioactieve) isotoop en vervalt na gemiddeld 54 dagen door elektronenvangst (het opvangen van een elektron uit de omgeving), waardoor het verandert in lithium-7 en tegelijkertijd een neutrino (is een elektrisch ongeladen subatomair, elementair deeltje) wordt uitgezonden. Vervolgens fuseert het lithium-7 met een deuteriumkern, wat resulteert in de vorming van twee helium-4-kernen.⁸

⁵ Het leven van een ster. (z.d.). Astronomie.nl. <https://www.astronomie.nl/21-het-leven-van-een-ster-51>

⁶ Nuclear Physics experience. (z.d.). <http://nupex.eu/index.php?lang=nl&g=textcontent/nuclearanduniverse/originofelements#:~:text=De%20ppI%2Dketen%20is%20de,reacties%20in%20de%20pp%2Dcyclus.>

⁷ Kijk voetnoot 10

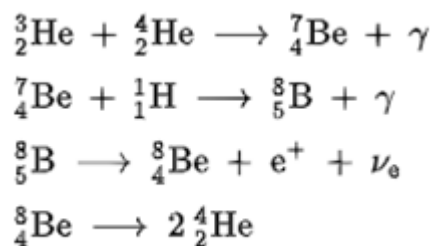
⁸ Kijk voetnoot 10



Figuur 4: Reactievergelijking van ppII-keten

3. De ppIII-keten:

De ppIII-keten, ten slotte, draagt slechts bij aan 0,02% van de totale energieproductie van de zon. In dit proces smelt het onstabiele beryllium-7 samen met een proton, wat de vorming van boor-8 en de afgifte van een foton mogelijk maakt. Boor-8 is zeer onstabiel en vervalt snel door de uitstoot van een positron en een neutrino, waardoor het isotoop beryllium-8 ontstaat. Beryllium-8 is zelf ook zeer instabiel en valt onmiddellijk uiteen in twee helium-4 kernen.⁹



Figuur 5: Reactievergelijking van ppIII-keten

§4.1.2.1.2 Gammastraling

De meeste energie wordt vrijgegeven in de vorm van gammastraling. Gammastralingen zijn zeer energierijke elektromagnetische stralingen. Alle vormen van elektromagnetische straling kunnen worden onderverdeeld in kleine porties, die bekend staan als fotonen. Dit betekent dat het foton van een gammastraling een zeer grote hoeveelheid energie.¹⁰ De gammastraling in het binnenste van de zon heeft een beperkt bereik, waardoor fotonen herhaaldelijk geabsorbeerd worden en vervolgens opnieuw uitgezonden worden als fotonen met iets lagere energie. Dit proces resulteert in de productie van licht en warmte. Het duurt lang voordat deze energie de buitenste lagen van de zon bereikt, waarbij schattingen variëren van 10.000 tot 170.000 jaar.¹¹ Uiteindelijk worden deze fotonen in alle richtingen en stralen in de ruimte uitgezonden.

§4.1.2.1.3 Zonneneutrino's

Zonneneutrino's zijn subatomaire deeltjes, die ontstaan als bijproduct van de kernfusiereacties in het binnenste van de zon. Het zijn zeer lichte en bijna massaloze deeltjes die elektrische neutraal zijn en bijna gelijk aan de lichtsnelheid bewegen door het heelal. Hierdoor gaan ze meestal dwars door materie heen zonder enige interactie. Uiteindelijk stralen ze in alle richtingen de ruimte in. Voor de zonneneutrino's duurt het slechts ongeveer

⁹ Kijk voetnoot 10

¹⁰ *Natuurkunde.nl - straling*. (z.d.). Stichting natuurkunde.nl. <https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/84828/straling>

¹¹ Kijk voetnoot 8

8 minuten om van de kern naar de aarde te reizen.¹² Doordat ze heel zwak zijn kunnen ze ongehinderd op aarde komen.

§4.1.2.1.4 Energieopbrengst

Er wordt ongeveer 700 miljoen ton waterstof per seconde omgezet in ongeveer 695 miljoen ton helium.¹³ Er zit hier een verschil in van ongeveer 4.5 miljoen ton materiaal dat wordt omgezet in energie. De vrijgekomen energie wordt uitgestraald in de vorm van gammastraling (fotonen) en neutrino's. De totale energieproductie van de zon bedraagt ongeveer $3,8 \times 10^{26}$ watt (of $3,8 \times 10^{26}$ joules per seconde).¹⁴ Deze totale energieproductie zorgt voor de verwarming en verlichting van de aarde en andere hemellichamen in ons zonnestelsel.

§4.1.2.2 Stralingszone

De stralingszone ligt boven de kern van de zon. De stralingszone begint op ongeveer 0,25 maal de straal van de zon vanaf het centrum en strekt zich uit tot ongeveer 0,7 maal de straal van de zon. De dichtheid is nog steeds hoog in deze zone, maar de temperatuur daalt in deze zone van 7 miljoen kelvin tot 2 miljoen kelvin. Hier vindt vooral de opname en afname van fotonen plaats. De fotonen worden getransporteerd door middel van een proces genaamd diffusie.¹⁵

§4.1.2.3 Convectiezone

De convectiezone is de zone boven de stralingszone. Deze convectiezone begint op ongeveer 0,7 maal straal van de zon en strekt zich uit tot de oppervlakte. De temperatuur neemt af van 2 miljoen kelvin naar 5300 kelvin. Er is in deze zone niet alleen sprake van fotonen transport, maar ook convectie. Convectie maakt het mogelijk dat warmtestroming optreedt, omdat de overdracht van warmte niet langer uitsluitend afhankelijk is van straling als gevolg van veranderingen in temperatuur en dichtheid. Het zorgt ervoor dat de materie wordt verhit en de oppervlakte kan bereiken. Uiteindelijk wordt de materie afgekoeld aan de oppervlakte.¹⁶

§4.1.2.4 Fotosfeer

De fotosfeer is de eerste van de drie buitenlagen van de zon, voor de chromosfeer en corona. De dikte van deze laag bedraagt ongeveer 500 kilometer. In deze laag komt de energie van de zon vrij in de vorm van licht. Dit is het licht wat wij op aarde zien. De fotosfeer bestaat uit twee opvallende kenmerken: heldere, borrelende granules van plasma en donkere, koudere zonnevlekken. Zonnevlekken ontstaan op plaatsen waar het magnetische veld van de zon door het oppervlak heen breekt. Deze zonnevlekken bewegen over het oppervlak van de zon en door hun beweging hebben astronomen ontdekt dat de zon om haar as draait. Door het ontbreken van een vaste vorm bij de zon, aangezien deze een grote gasbal is,

¹² Kijk voetnoot 8

¹³ Kijk voetnoot 8

¹⁴ Kijk voetnoot 3

¹⁵ Sander, V. (z.d.). *Wat is de zon?* Spacepage. <https://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/de-zon/wat-is-de-zon>

¹⁶ *Convective zone.* (z.d.). <https://solar.physics.montana.edu/ypop/Spotlight/SunInfo/Conzone.html>

vertonen verschillende gebieden op de zon uiteenlopende rotatiesnelheden. De gebieden rond de evenaar voltooien bijvoorbeeld een volledige omwenteling in ongeveer 24 dagen, terwijl het aan de polen meer dan 30 dagen duurt voordat een ronde is voltooid. Naast deze rotatie biedt de fotosfeer ook inzicht in zonnevlammen, die uitbarstingen van vuur zijn en tot wel honderdduizenden kilometers boven het zonsoppervlak kunnen reiken.¹⁷

§4.1.2.5 Chromosfeer

De chromosfeer ligt boven de fotosfeer. De chromosfeer is ongeveer 8.000 kilometer dik. De dichtheid en de temperatuur zijn allebei laag in de chromosfeer. De temperatuur komt bij het einde tot maar liefst 20.000 kelvin. De dichtheid varieert van 10^{-4} tot 10^{-15} g/cm³.¹⁸ Dit ligt aan de plek in de chromosfeer. De overgang van de chromosfeer naar de corona is een turbulente zone waarin voortdurend veranderende structuren zichtbaar zijn, zoals strengen en zonnevlammen, voornamelijk in de bovenste lagen van de chromosfeer.

§4.1.2.6 Corona

Dit is het laatste van de drie buitenste lagen. De temperatuurgradiënt in dit gebied is zeer groot. Binnen enkele honderden kilometers stijgt de temperatuur van enkele duizenden kelvin tot enkele miljoenen kelvin. Hoe deze extreme temperaturen precies tot stand komen, blijft vooralsnog een mysterie.¹⁹

§4.2 Zonnepanelen

§4.2.1 Wat zijn zonnepanelen?

Zonnepanelen, wat zijn dat? Zonnepanelen zijn een van de meest milieuvriendelijke energie opwekkers, doordat ze een eindeloze voorraad aan energie kunnen opwekken en tegelijkertijd geen milieuschadelijke stoffen uitstoten.²⁰ Andere namen voor zonnepanelen zijn fotovoltatische- of photovoltaic-zonnepanelen of Pv-zonnepanelen.²¹ Photovoltaic betekent letterlijk vertaald, volgens het Cambridge Dictionary: in staat zijn om elektriciteit uit licht te produceren.²² Oftewel een paneel waarop zonlicht schijnt en het opgevangen zonne-energie omzet in elektrische energie.

¹⁷ *De atmosfeer van de zon: fotosfeer, chromosfeer en corona*. (2021b, juni

19). Kuuke's Sterrenbeelden. <https://www.kuuke.nl/de-atmosfeer-van-de-zon-fotosfeer-chromosfeer-en-corona/>

¹⁸ Wikipedia-bijdragers. (2023). Zon. Wikipedia. https://nl.wikipedia.org/wiki/Zon#cite_note-Woolfson00-1

¹⁹ Kijk voetnoot 7

²⁰ Milieu Centraal. (n.d.). Energiebronnen: duurzaam of niet?

Milieu Centraal. (n.d.). *Energiebronnen: duurzaam of niet?* <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/>

²¹ Wat zijn zonnepanelen? - Zelfstroom. (2023, March 30). Zelfstroom. <https://www.zelfstroom.nl/zonnepanelen/wat-zijn-zonnepanelen/>

²² photovoltaic. (2023). <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/photovoltaic>

In 1939 ontdekte de Franse fysicus Antoine César Becquerel hoe hij zonne-energie kon omzetten in elektriciteit, oftewel het fotonvoltaïsche effect.²³ Echter, was het rendement te laag (1-2 %) om een duidelijk effect te maken in het dagelijkse leven. Dit probleem werd later opgelost door de meer geavanceerde technologie. Naarmate de tijd werd het opwekken van elektriciteit uit zonne-energie rendabeler.



Figuur 6: Antoine Cesar Becquireel (1788-1878)

§4.2.2 Werking van zonnepanelen

Om de werking van het zonnepaneel in zijn geheel te begrijpen splitsen we het proces op in 3 delen:

§4.2.2.1 Zonnepaneel

Het fotonvoltaïsch-paneel bestaat uit twee lagen zonnecellen die weer zijn gemaakt uit silicium, een donkergrijs metalloïde (groep elementen die qua eigenschappen tussen de metalen en de niet-metalen zitten). Wanneer er zonlicht op de silicium-laag schijnt, loopt er tussen het element een elektrische stroom, waardoor er uiteindelijk elektrische energie wordt opgewekt, die nog niet bruikbaar is voor de dagelijkse behoeften. Oftewel omzetting van Zonne-energie(fotonen) naar gelijkstroom.

§4.2.2.2 Omvormer

De taak van de omvormer, zoals de naam het letterlijk zegt, is de gelijkstroom van de zonnepanelen om zetten in wisselstroom. Oftewel de opgewekte stroom om in “bruikbare”-

²³ Geschiedenis zonnepanelen - Tenten Solar. (2022, September 15). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/geschiedenis-zonnepanelen/>

stroom in 230V die de meeste apparaten in ons huis gebruiken.²⁴ Verder heeft het een veiligheidsfunctie: het schakelt zichzelf uit als de bovengrens wordt gebruikt.²⁵

§4.2.2.3 Stroomkast

De stroomkast heeft als functie om de omgezette wisselspanning, oftewel de bruikbare stroom, te verdelen over de elektriciteitspunten in een huis of het gebouw. Als er te veel energie is opgewekt, stuurt de stroomkast de extra energie naar het elektriciteitsnet.

§4.2.3 Factoren voor de opbrengst

De opbrengst die zonnepanelen met zich meebrengen kan afhankelijk zijn van meerdere factoren, zoals het weer, hoelang de zon schijnt, de plaatsing en etc. Hieronder behandelen we een van de belangrijkste factoren die de opbrengst van de fotovoltaïsche panelen bepalen.

§4.2.3.1 Aantal zonnepanelen

Hoe groter het aantal zonnepanelen, hoe groter de opbrengst in Wattpiek (Wp). Wattpiek is een eenheid voor het vermogen van fotovoltaïsche cellen (zonnecel of zonnepaneel) om zonne-energie in elektriciteit om te zetten. Bij het omrekenen van één Wattpiek naar Kilowattuur (kWh) moet Wattpiek worden vermenigvuldigd met het omrekenfactor van ongeveer 0,85, wat de standaard is in Nederland.²⁶

§4.2.3.2 Weeromstandigheden

Een andere factor die grote effecten heeft op de opbrengst zijn de weeromstandigheden. Hieronder vallen onder andere de temperatuur van zon, het aantal uren waarin de zon schijnt en schaduw.

§4.2.3.3 Temperatuur

Hoe warmer de zonnepanelen worden des te minder efficiënt de zonnepanelen zijn. Deze uitspraak wordt ook ondersteund door professor Wim Sinke van TNO in een NOS-artikel.²⁷

²⁴ Benjamin. (2023). Wat is een omvormer en hoe werkt het? Happy Solar.
<https://www.happysolar.nl/blog/omvormer#:~:text=Een%20omvormer%20is%20een%20apparaat,een%20stabiele%20wisselstroom%20van%20230V>

²⁵ Volta Solar. (2021, November 11). Hoe werkt een zonnepanelen systeem? - Volta Solar. <https://voltasolar.nl/kenniscentrum/advies/hoe-werken-zonnepanelen/>
Solvári, & Solvári. (2023). Zonnepanelen [Complete gids 2023]. Zonnepanelen.net. <https://www.zonnepanelen.net/#zonnepanelen-3-stappen>

²⁶ Zonnepanelen: van WP naar kWh - tenten solar. (2022, 8 juni). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/zonnepanelen-van-wp-naar-kwh/>

²⁷ NOS. (2018, 27 juli). Zonnepanelen zijn blij met de zon, niet met de hitte. NOS. <https://nos.nl/artikel/2243431-zonnepanelen-zijn-blij-met-de-zon-niet-met-de-hitte>

Hierin spelen twee termen een belangrijke factor: fotonen en elektronen. Kort gezegd ontstaat er stroom door de energie, verschillen tussen de fotonen en elektronen. Echter, wanneer de temperatuur stijgt boven de 25 graden²⁸, verkleint dit energieverval, waardoor het zonnepaneel minder efficiënt is.

§4.2.3.4 Zonuren

Het aantal uren waarin de zon schijnt is ook een belangrijk factor, wat weer afhangt van waar je woont. Hoe verder je west in Nederland woont hoe meer zonuren er vallen. Dit is ook te zien in figuur 1-4 van KNMI.²⁹ Schaduw Hoe meer schaduw op het zonnepaneel valt, des te minder opbrengst er wordt gemaakt. Dit komt door de hoeveelheid licht dat valt op een zonnepaneel valt een van de belangrijkste factoren is.

§4.2.3.5 Positie van zonnepanelen

De positie van zonnepanelen is ook een mate voor de opbrengst van de hoeveelheid dat er ontstaat. Dus de richting waarin de zonnepanelen wijzen en de hellingshoek van het paneel zelf.

§4.2.3.6 Richting van het zonnepaneel

De manier waarop de zonnepanelen op het dak liggen heeft een grote invloed op de opbrengst. Doordat de zon in Nederland opkomt in het zuidoosten en ondergaat in het zuidwesten, is het de optie om zonnepanelen naar het zuiden te richten. Om de richting het noorden te plaatsen is slechte optie doordat de zon daar minder schijnt. Dit kunt u weer zien in de volgende figuur 5.

§4.2.3.7 Hellingshoek

Alleen het richting van de zonnepanelen is niet genoeg om de maximale opbrengst van de zonnepanelen te behalen. De hellingshoek is ook nog van belang. In Nederland krijg je bij een hellingshoek van 35 graden het maximale.³⁰ De opbrengst per richting (zuid-west-oost-noord) en helling (in graden).³¹ 100 procent betekent: de hoogst haalbare opbrengst.³²

§4.2.4 Voor- en nadelen

²⁸ Standard test conditions - wiki.openmod-initiative.org.

(z.d.). https://wiki.openmodinitiative.org/wiki/Standard_test_conditions

²⁹ KNMI - Maandsommen zonneshijnduur, normalen, anomalieën. (z.d.). <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografischeoverzichten/archief/maand/sq>

³⁰ Milieu Centraal. (z.d.). Kunnen zonnepanelen op mijn dak. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/zonnepanelen-hoegeschikt-is-je-dak/#1-Check-de-richting-en-helling-van-je-dak>

³¹ Zelfstroom, & Zelfstroom. (2017). Deze 9 factoren bepalen de opbrengst van jouw zonnepanelen. Zelfstroom. <https://www.zelfstroom.nl/blog/deze-9-factoren-bepalende-opbrengst-van-jouw-zonnepanelen/>

³² De oriëntatie en beste ligging van zonnepanelen - ZonnepanelenKopen.be. (z.d.). <https://www.zonnepanelenkopen.be/zonnepanelen-plaatsen/orientatie/>

Het aanschaffen van zonnepanelen kan voor- en nadelen met zich meebrengen. Hieronder zijn er een paar weergegeven.

§4.2.4.1 Voordelen

1. Geld besparen en verdienen:

Zonnepanelen bieden directe besparingen op je energierekening en leveren op de lange termijn winst op. De investering verdient je meestal binnen 6-8 jaar terug, en zonnepanelen gaan ongeveer 25 jaar mee. Je kunt overschot aan energie terugsturen aan het elektriciteitsnet voor een vergoeding via salderen.

2. Subsidie

In bepaalde regio's biedt de (lokale) overheid financiële steun aan huiseigenaren die duurzame energieopties, zoals zonnepanelen, inschakelen. Dit betekent dat u geld ontvangt om zonnepanelen te installeren, wat een extra voordeel oplevert waarvan u kunt profiteren.

3. Waardestijging van uw woning

Zonnepanelen verhogen de waarde van je huis bij verkoop. Ze verminderen de maandelijkse lasten voor de koper en dragen positief bij aan het energielabel van je woning, wat de waarde verhoogt.

§4.2.4.2 Nadelen

1. Hoge aanschafprijs

Een van de nadelen voor het aanschaffen van zonnepanelen is de aanschafprijs. De kosten voor zonnepanelen variëren doorgaans tussen € 4.100 en € 14.500, zonder btw meegerekend. Hoeveel je precies betaalt, hangt af van de kwaliteit zonnepanelen die je koopt en nog andere factoren.

2. Minder aantrekkelijke beeld

Voor sommigen kan het plaatsen van zonnepanelen een minder fraai beeld opwekken op het huis, vooral als je een gemiddeld energieverbruik van een huis probeert te dekken: 12 tot 16 zonnepanelen. Vooral op een hellend dak waar ze duidelijk zichtbaar zijn

3. Onderhoud

Het onderhoud van zonnepanelen brengt weer kosten met zich mee. Het schoonmaken van de panelen kan worden gedaan door onderhoudsbedrijven, wat ongeveer tussen de 100 en 200 euro per jaar kan kosten.³³

§4.2.5 Eisen

Volgens de Standard Test Conditions (STC), een vastgestelde ruimte waarin de zonnepanelen worden uitgetest en vergeleken met andere zonnepanelen, zijn er 3 eisen waaraan een ruimte moet voldoen, voordat het wordt gebruikt door consumenten. Ten eerste moet de temperatuur van de zonnecel 25 graden zijn. Ten tweede moet de ruimte een lichtstraling hebben van 1000 Watt licht per m². En als laatste moet de ruimte een lichtmassa hebben van 1,5.³⁴ In de

³³ Vastelastenbond. (z.d.). Zonnepanelen | Voor- en nadelen. <https://www.vastelastenbond.nl/zonnepanelen/voor-en-nadelen/>

³⁴ Homedeal. (2023). Onderhoud zonnepanelen. Homedeal NL. <https://www.homedeal.nl/zonnepanelen/onderhoudzonnepanelen/>

meteorologie is een luchtmassa of luchtsoort een groot volume lucht (aardatmosfeer) met een bepaalde temperatuur en luchtvochtigheid.³⁵

§4.2.6 Varianten

Er bestaan verschillende punten waarop het ene zonnepaneel kan verschillen van het andere zonnepaneel op het gebied van soort silicium.

§4.2.6.1 Monokristallijn zonnepanelen

Monokristallijn zonnepanelen bestaan uit zonnecellen die elk uit één enkel kristal bestaan. Deze zonnecellen hebben een oppervlak met geordende elektroden en zijn zwart of donkerblauw van kleur. Monokristallijn panelen behalen het hoogste rendement en genereren enkele procenten meer energie dan polykristallijne panelen. Hoewel monokristallijn zonnepanelen duurder zijn, bieden ze een beter rendement per vierkante meter. In het kort, zijn ze de ideale keuze voor huiseigenaren met beperkte ruimte op hun dak die streven naar maximale energieopbrengst.³⁶



Figuur 10: monokristallijn zonnepaneel

§4.2.6.2 Polykristallijn zonnepanelen

Polykristallijne zonnepanelen bevatten zonnecellen die uit meerdere grove kristallen bestaan, wat resulteert in een schervenpatroon. Deze panelen zijn prijsgunstig en bieden een redelijk hoog rendement, hoewel ze iets minder efficiënt zijn dan monokristallijns zonnepanelen. Als de beschikbare ruimte op het dak niet beperkt is, dan vormen polykristallijne zonnepanelen vaak de meest kosteneffectieve keuze, aangezien ze goedkoper zijn in aanschaf in vergelijking met de monokristallijn variant.³⁷

³⁵ Kijk voetnoot 34

³⁶ Soorten zonnepanelen: welke zijn er precies? | Zonne-energieGids.nl. (z.d.). <https://www.zonne-energiegids.nl/soorten-zonnepanelen/>

³⁷ Kijk voetnoot 36



Figuur 11: Polykristallijn zonnepaneel

§4.2.6.3 Amorf zonnepanelen

Dunne-film zonnepanelen maken gebruik van amorf silicium, dat geen kristalstructuur heeft, waardoor ze uiterst flexibel zijn. Deze amorse zonnepanelen leveren het laagste rendement in vergelijking met de andere twee soorten. De prijs is ook lager. Ze zijn minder geschikt voor dak toepassingen, maar worden voornamelijk gebruikt op voertuigen zoals bussen, zeilboten en jachten.³⁸



Figuur 12: amorf zonnepaneel

§5 Solar panel tracking system

§5.1 Wat is een solar panel tracking system

³⁸ Kijk voetnoot 36

Een solar panel tracking systeem is een geavanceerd systeem dat zonnepanelen beweegt om de zon te volgen, wat resulteert in een verhoogde energieopbrengst. Het systeem werkt door sensoren die de positie van de zon detecteren en de panelen vervolgens in de juiste richting laten draaien. Dit zorgt ervoor dat de panelen gedurende de dag optimaal worden blootgesteld aan zonlicht, wat leidt tot een hogere efficiëntie van energieopwekking.³⁹

§5.2 Wat zijn de voordelen en nadelen van een solar panel tracking systeem

De voordelen van een solar panel tracking systeem zijn aanzienlijk. Omdat de panelen de zon volgen, kunnen ze meer zonlicht absorberen en dus meer elektriciteit produceren in vergelijking met statische zonne-energiesystemen. Dit kan vooral gunstig zijn op plaatsen waar de zon gedurende de dag verschillende hoeken heeft. Bovendien kunnen solar panel tracking systemen de levensduur van zonnepanelen verlengen door ze gelijkmatiger te belasten, waardoor de kans op schade door oververhitting of weersinvloeden wordt verminderd.⁴⁰

Echter, deze voordelen komen tegen een prijs. Solar panel tracking systemen zijn over het algemeen duurder dan statische zonne-energie-installaties vanwege de extra kosten voor bewegende delen, sensoren en installatie. Volgens schattingen van de National Renewable Energy Laboratory (NREL) in de Verenigde Staten, kan een solar panel tracking systeem de kosten van een zonne-energie-installatie met ongeveer 20% tot 50% verhogen, afhankelijk van het type tracker en de omvang van het systeem.⁴¹

³⁹ Solar tracker. (2013, May 24). solar-constructions.com. <https://solar-constructions.com/wordpress/solar-tracker-2/>

⁴⁰ Palmetto. (2023, August 30). *Sun tracking solar panels: Worth it?* <https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it#>

⁴¹ Lane, C. (2023, November 1). *What is a solar tracker and is it worth the investment?* Solar Reviews. <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>

Voor particulieren en kleine bedrijven kan de hogere initiële investering in een solar panel tracking systeem een belemmering vormen, vooral gezien de dalende kosten van zonne-energie in het algemeen. Daarom wordt dit soort systemen vaker gebruikt in grootschalige commerciële zonne-energieprojecten, waar de hogere initiële kosten worden gecompenseerd door de grotere energieopbrengst en lagere operationele kosten op lange termijn.

Desondanks kan de keuze voor een solar panel tracking systeem afhangen van verschillende factoren, waaronder de locatie, de beschikbare ruimte en het budget van de gebruiker.

§6 Onderzoeksvragen

§6.1 Hoofdvraag

Wat is het effect van spiegels en beweging op de lichtabsorptiecapaciteit van zonnecellen onder een hoek van 45 graden, zowel onder normale omstandigheden als bij aanwezigheid van schaduw?

§6.1.1 Deelvragen van de hoofdvraag

1. De deelvraag luidt: Hoe beïnvloedt de beweging van zonnecellen de lichtabsorptiecapaciteit bij een hoek van 45 graden.
2. De deelvraag luidt: Hebben spiegels invloed op de lichtcapaciteit van stilstaande zonnecellen zowel bij normale omstandigheden als bij aanwezigheid van schaduw bij een hoek van 45 graden.

§6.1.2 Hypothese van de deelvragen

1. De hypothese luidt: Bewegende zonnecellen zullen significant meer licht absorberen dan stilstaande zonnecellen bij een hoek van 45 graden.
2. De hypothese luidt: Zowel bij aanwezigheid als afwezigheid van schaduw bij een hoek van 45 graden zullen de spiegels ervoor zorgen dat de lichtcapaciteit van de zonnecel zal toenemen.

§7 Methode

§7.1 Onderzoeksopzet deelvraag 1

Deze deelvraag is beantwoord op basis van een kwantitatief onderzoek. Het PWS is onderverdeelt in twee delen: Een theoretische kader en een experiment. Er is eerst een literatuuronderzoek gedaan om meer te weten te komen over het onderwerp. Het literatuuronderzoek is uitgevoerd met behulp van literatuur die op het internet te vinden is. Het doel van het literatuuronderzoek was om een duidelijk antwoord te formuleren op de deelvraag. Om het antwoord betrouwbaarder te maken hebben wij een experiment uitgevoerd. Aan de hand van de resultaten kunnen wij dan onze hypothesen aannemen of verwerpen, wat direct de deelvraag beantwoordt.

§7.2 Onderzoeksopzet deelvraag 2

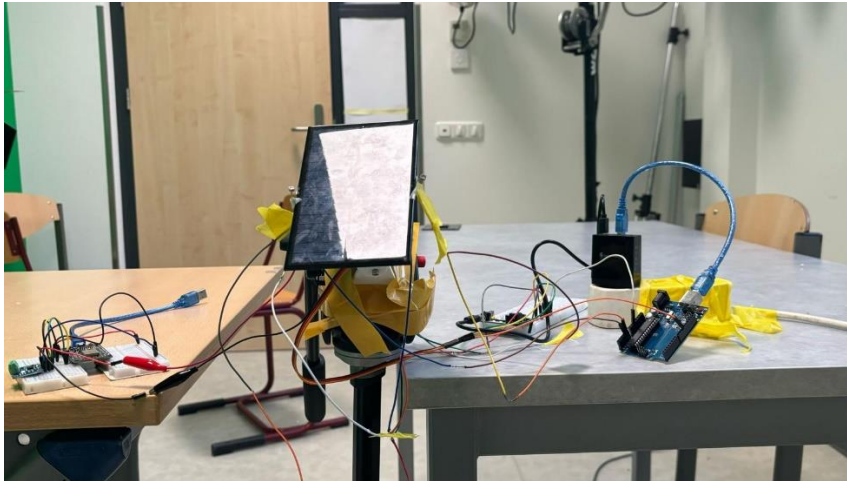
Deze deelvraag is beantwoord op basis van kwantitatief onderzoek. Aan de hand van de voorkennis en de resultaten van het literatuuronderzoek wordt er een nieuw experiment uitgevoerd om te kijken of spiegels een efficiëntere werking hebben op een zonnecel met en zonder schaduw dan bij een stilstaande zonnecel zonder spiegels met en zonder schaduw.

Uiteindelijk kan je vanuit beide de deelvragen een conclusie trekken om een antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag door een vergelijking te maken tussen alle experimenten. Zo kan het effect van zowel de bewegingsstatus als van de spiegels met en zonder schaduw op de lichtcapaciteit worden beantwoord.

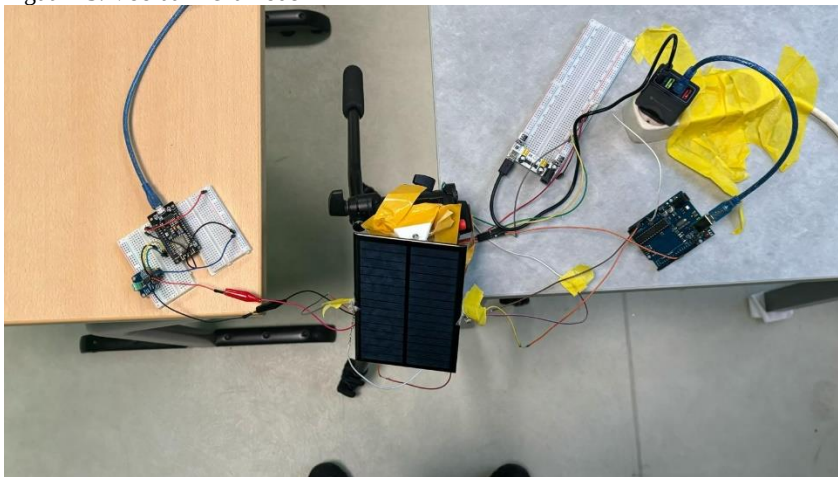
§8 Literatuuronderzoek

§8.1 Opstelling

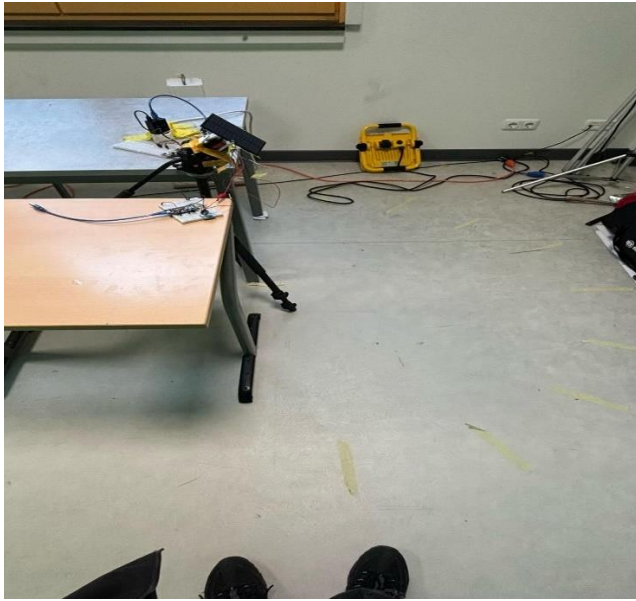
§8.1.1 Het model



Figuur 13: Vooraanzicht model



Figuur 14: bovenaanzicht

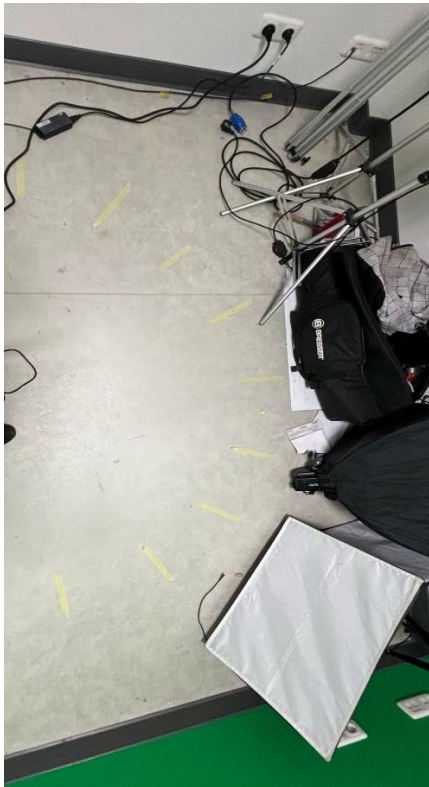


Figuur 15: linker zijaanzicht



Figuur 16: Rechter zijaanzicht

§8.1.2 Experimenteerkamer



Figuur 17: Baan van de zon



Figuur 18: Opstelling net voor de werking



Figuur 19: om het licht tegen te houden

§8.1.3 Bouw van de solar tracking system

§8.1.3.1 Materialen

- Servo digital waterproof TD-8120MG 20 KG

Een servo motor is een elektrische motor die elektrisch vermogen omzet in mechanische kracht. Het zorgt ervoor dat bijvoorbeeld in ons geval de zonnecel kan laten draaien. Dat gebeurt aan de hand van een feedbacksysteem en een regelaar. De regelaar ontvangt een signaal dat de gewenste positie, snelheid of hoek van de motor aangeeft, en vergelijkt dit met de werkelijke positie van de motor zoals gemeten door de feedbacksensor. Op basis van dit verschil stuurt de regelaar de nodige commando's naar de motor om ervoor te zorgen dat deze naar de gewenste positie beweegt en daar blijft.⁴²



Figuur 20: Servo^{servo} motor

- 2 LDR's en 2 12 kV weerstanden

Een Light dependent Resistor (lichtgevoelige weerstand) of wel een LDR is een elektrische component dat zijn weerstand verandert op basis van de hoeveel licht waaraan het wordt blootgesteld. LDR worden vaak gebruikt bij elektrische systemen en apparaten waarbij de hoeveelheid licht moet worden gedetecteerd. De meeste LDR's bestaan uit een halfgeleider genaamd cadmiumsulfide (CdS). De halfgeleider bevindt zich dan tussen elektrodes. Als er licht valt op de LDR's dan zorgt cadmiumsulfide voor de verandering in de elektrische geleiding, wat resulteert in een verandering in de weerstand van de LDR's. Als het donker is hebben LDR's een hoge weerstand, omdat er weinig licht is die de halfgeleider activeert. Als er in een donkere ruimte licht valt op de LDR dan zal de weerstand verlaagd worden, de halfgeleider kan nu wel geactiveerd worden. Dus hoe zwakker het licht, hoe hoger de weerstand en visa versa. Het is een omgekeerd evenredig verband met elkaar.⁴³

⁴² Tariq. (2023, November 13). *Wat is een servomotor? De belangrijkste eigenschappen en soorten*. Variodrive <https://www.variodrive.nl/servomotor/wat-is-een-servomotor>

⁴³ Wikipedia-bijdragers. (2022, August 14). *Lichtgevoelige weerstand*. Wikipedia. https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgevoelige_weerstand



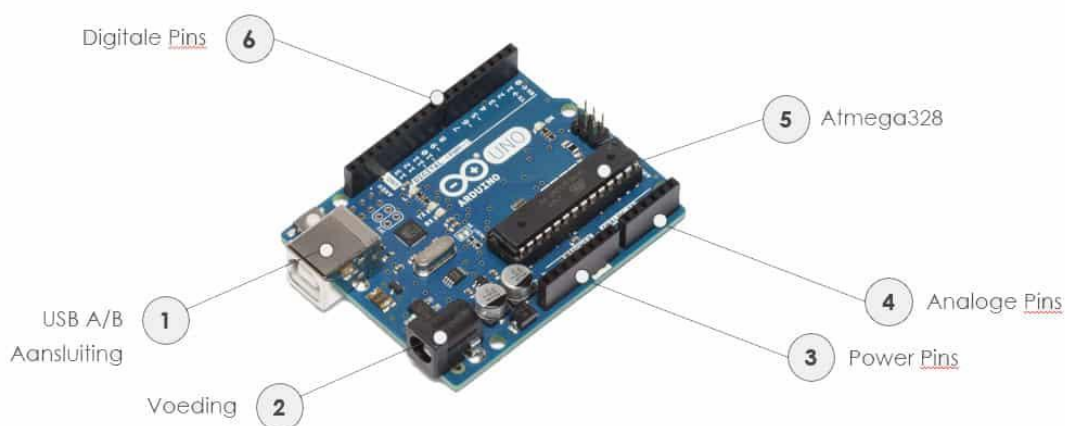
Figuur 21: 2 LDR

- Arduino Uno board



Figuur 22: 12 kV weerstand

Een arduino uno board is een van de meeste bekende microcontroller-ontwikkelingsboard die wordt gebruikt voor het bouwen van elektrische projecten en prototypes. Het brein van het board is de microcontrollerchip meestal een ATmega328. Hierdoor kunnen er verschillende taken worden uitgevoerd en interacties plaatsen met aangesloten componenten. Het bevat 14 digitale pinnen en 6 analoge pinnen. De pinnen worden gebruikt voor het aansluiten en besturen van externe apparaten, sensoren en modules. Er zijn ook power pinnen. Deze hebben allemaal te maken met de stroom. Het board heeft ook een voedingsbron nodig. Dat gebeurt aan de hand van een USB-verbinding of via een externe gelijkstroombron, bijvoorbeeld een batterij. De USB-verbinding wordt ook gebruikt om programma's te uploaden naar de microcontroller. Als er iets fout gaat bevat de arduino uno board ook een reset-knop hierdoor wordt de microcontroller opnieuw opgestart.⁴⁴



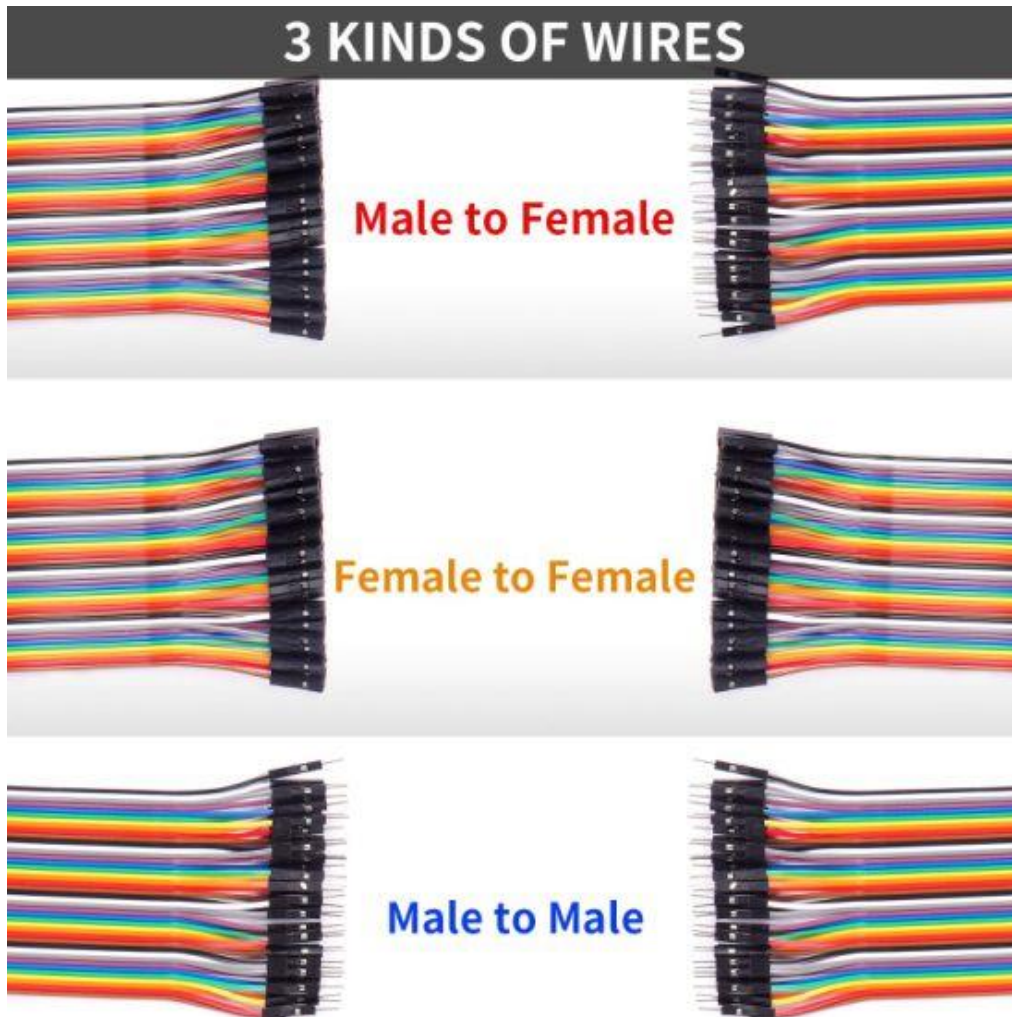
Figuur 23: Arduino uno board

⁴⁴ Simadmin. (2022, June 10). Wat is een Arduino Uno. Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-is-een-arduino-uno/>

- 20 jump wires
-

Jump wires zijn draden die je met elkaar kan verbinden zonder te solderen door de pin aan het uiteinde. Er hebt drie verschillende soorten:

1. F/F – Female/Female, ze hebben een connector aan beide kanten waar de pin in kan.
2. M/M – Male/Male, ze hebben een connector met een pin eraan vast.
3. F/M – Female/Male, ze hebben een connector met aan de ene kant een pin en aan de andere kant een plek waar de pin in kan.⁴⁵



Figuur 24: drie verschillende jump wires

Door de drie soorten kunnen je verschillende bindingen maken tussen boards of schakelingen.

⁴⁵ Simadmin. (2021, 20 april). Wat zijn Jumper Wires? Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-zijn-jumper-wires/>

§8.1.3.2 Code arduino

```
//Include the servo motor library
#include <Servo.h>
//Define the LDR sensor pins
#define LDR1 A0
#define LDR2 A1
//Define the error value. You can change it as you like
#define error 30
//Starting point of the servo motor
int Spoint = 120;
//Create an object for the servo motor
Servo servo;

int prv1;
int prv2;

void setup() {
//Include servo motor PWM pin
  Serial.begin(9600);
  servo.attach(11);
//Set the starting point of the servo
  servo.write(Spoint);
  delay(1000);
}

void loop() {
//Get the LDR sensor value
  int ldr1 = analogRead(LDR1);
  delay(300);
//Get the LDR sensor value
  int ldr2 = analogRead(LDR2);
  delay(300);
//Get the difference of these values
  int value1 = abs(ldr1 - ldr2);
  Serial.println(value1);

  int value2 = abs(ldr2 - ldr1);
  Serial.println(value2);
  prv2=value2;

//Check these values using a IF condition
  if ((value1 <= error) || (value2 <= error)) {

  } else {
    if (ldr1 > ldr2) {
      Spoint = --Spoint;
    }
  }
}
```

```

    if (ldr1 < ldr2) {
        Spoint = ++Spoint;
    }
}
//Write values on the servo motor
servo.write(Spoint);
delay(80);
}

```

§8.1.3.3 Werking

Het solar panel system is een systeem dat ervoor zorgt dat het zonnecel kan draaien naar de kant waar het licht vandaan komt. Als de opstelling in een donkere ruimte zit en er schijnt licht op LDR's aan de zijkanten van de zonnecel dan zal de halfgeleider geactiveerd worden en de weerstand lager worden hierdoor kan er een signaal worden gegeven via de jump wires naar het Uno board. Zoals u kunt zien op de foto zie je dat de zwarte lijnen van de LDR's in serie met elkaar zijn, maar parallel met de servo motor. Ze zijn verbonden in de GND (ground) van de Arduino Uno board. Dit wordt ook wel de 0v pin genoemd. Dit is het referentiepunt in een elektrisch systeem waaruit spanning wordt gemeten. De rode lijnen van de LDR's waar de 20 kV weerstand opstaat is ook in serie schakeling, maar parallel met de servo motor. Ze zijn verbonden in de 5V. Dit zijn de power input pinnen. Je hebt ook twee aparte lijnen voor de weerstand de blauwe en de roze lijnen die verbonden zijn aan de A1 en A0. Dit zijn analoge input pinnen. De oranje draad van de servo meter moet ook aangesloten hebben op de digitale input pin 11. Zo heb je het elektrische circuit helemaal afgerond. De gegevens komen binnen bij de microcontrollerchip. Aan de hand van de code hierboven kan je ervoor zorgen dat servo motor bij de regelaar een signaal binnenkrijgt voor de hoek waar de meeste licht vandaan komt. Dat wordt bepaald aan de hand van hoeveelheid licht op de LDR's vallen min elkaar te doen. Is de waarde van LDR1 hoger dan zal de servo motor de zonnecel naar links draaien voor de optimale belichting en andersom ook.

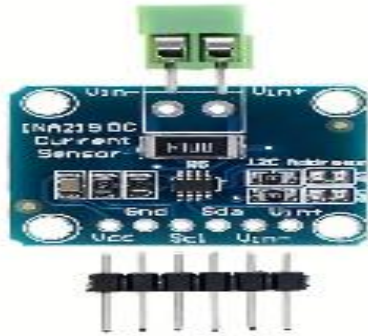
§8.1.4 Bouw van het systeem van de INA219-sensor

§8.1.4.1 Materialen

- INA219-sensor

De INA219 is een stroom- en spanningsmeter-chip ontwikkeld door Texas Instruments. Het wordt gebruikt om stroom en spanning te meten in elektronische circuits. Verder een vermenigvuldiging kan ook het vermogen berekend worden.⁴⁶

⁴⁶ Bits & Parts Elektronica. (z.d.). INA219 Stroommeter/Amperemeter + Spanningsmeter 26V ±3,2A - Bits & Parts Elektronica. Bits & Parts | Maker Webshop Voor Arduino, Raspberry Pi en Andere Elektronica Projecten! <https://www.bitsandparts.nl/Stroommeter-Amperemeter-+-Spanningsmeter-26V-%C2%B13-2A-INA219-p1907344#:~:text=De%20INA219%20is%20echt%20een,zelfs%20tot%2026%20VDC%20meten>



Figuur 25: INA219-sensor

- ESP8266

De ESP8266 is een microcontrollerchip die wordt gebruikt voor het maken van verbinding met draadloze netwerken en het uitvoeren van taken zoals het verzenden en ontvangen van gegevens via Wi-Fi. Het heeft een ingebouwde TCP/IP-stack (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), waardoor het gemakkelijk is om verbinding te maken met het internet. Het ESP8266 kan ook gezien worden als het brein van het hele circuit, waarop de code kan worden geschreven.⁴⁷

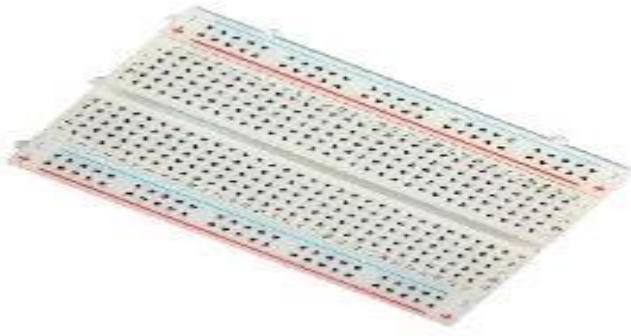


Figuur 26: ESP8266

- 2 breadboard's

Breadboard's zijn bordjes die bestaan uit rijen gaatjes die gekoppeld zijn met elkaar aan de hand van een metalen stripjes. Oftewel een hulpmiddel om twee of meer componenten met elkaar te verbinden, zodat er niet gesoldeerd hoeft te worden. Solderen is het proces om metalen onderdelen met elkaar te verbinden aan de hand van een soldeerlegering op een hoge temperatuur.

⁴⁷ Hans. (2022, 1 maart). Beginnen met de ESP8266 als Arduino vervanger. Tweaking4All.nl. <https://www.tweaking4all.nl/hardware/esp8266/beginnen-met-esp8266/>



Figuur 27: 2 breadboarders

- 8 male jumper wires

Verwijzing naar §8.1.3.1

§8.1.4.2 Code arduino

Hieronder is te zien wat de code was voor om het gegevens van het INA219-sensor te verkrijgen.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "HTTPSRedirect.h"

// Initialize the INA219 sensor
Adafruit_INA219 ina219;

// WiFi credentials
const char* ssid = "iPhone van A";
const char* password = "Hendrikwillem1";

// Enter Google Script Deployment ID:
const char *GScriptId = "AKfycbx-
BpWMIBcK5NpvKWC_BUD4ceugcyETWmmufSr7hcLYtM8nF2cdTzE9oCRjaFjjHDmHEg";

// Enter command (insert_row or append_row) and your Google Sheets sheet name
(default is Sheet1):
String payload_base = "{\"command\": \"insert_row\", \"sheet_name\":
\"Sheet1\", \"values\": ";
String payload = "";

// Google Sheets setup (do not edit)
const char* host = "script.google.com";
const int httpsPort = 443;
const char* fingerprint = "";
String url = String("/macros/s/") + GScriptId + "/exec";
HTTPSRedirect* client = nullptr;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(100);

  // Initialize I2C communication with INA219
  Wire.begin(4, 5); // SDA pin connected to D2, SCL pin connected to D1

  // Initialize the INA219 sensor
  if (!ina219.begin()) {
    Serial.println("Failed to find INA219 chip");
    while (1) {
      delay(10);
    }
  }
}
```

```

// Configure INA219 to measure voltage and current
ina219.setCalibration_16V_400mA();

// Connect to WiFi
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("WiFi connected.");

// Use HTTPSRedirect class to create a new TLS connection
client = new HTTPSRedirect(httpsPort);
client->setInsecure();
client->setPrintResponseBody(true);
client->setContentTypeHeader("application/json");

Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(host);

// Try to connect for a maximum of 5 times
bool flag = false;
for (int i=0; i<5; i++){
    int retval = client->connect(host, httpsPort);
    if (retval == 1){
        flag = true;
        Serial.println("Connected");
        break;
    }
    else
        Serial.println("Connection failed. Retrying...");
}
if (!flag){
    Serial.print("Could not connect to server: ");
    Serial.println(host);
    return;
}
}

void loop() {
    // Read voltage and current from INA219
    float busVoltage = ina219.getBusVoltage_V();
    float current_mA = ina219.getCurrent_mA();

    // Calculate power and energy
    float power_W = busVoltage * (current_mA / 1000); // in watts

```

```

    // Create json object string to send to Google Sheets
    payload = payload_base + "\"" + busVoltage + "," + current_mA + "," +
power_W + "\"}";

    // Publish data to Google Sheets
    Serial.println("Publishing data...");
    Serial.println(payload);
    if(client->POST(url, host, payload)){
        // do stuff here if publish was successful
    }
    else{
        // do stuff here if publish was not successful
        Serial.println("Error while connecting");
    }

    // a delay of several seconds is required before publishing again
    delay(1000);
}

```

§8.1.4.3 Code google spreadsheet

Hieronder is het code voor het google spreadsheet te zien, die ervoor nodig was om het gegevens in een google spreadsheet te laten zien en gegevens via wifi te transporteren.

```

// Enter Spreadsheet ID here
var SS = SpreadsheetApp.openById('1Lfd4_-
4KR6BtMLtH00FBGZ059r4sI9SCswglNKJrzqA');
var str = "";

function doPost(e) {

    var parsedData;
    var result = {};

    try {
        parsedData = JSON.parse(e.postData.contents);
    }
    catch(f){
        return ContentService.createTextOutput("Error in parsing request body:
" + f.message);
    }

    if (parsedData !== undefined){
        var flag = parsedData.format;
        if (flag === undefined){
            flag = 0;

```

```

    }

    var sheet = SS.getSheetByName(parsedData.sheet_name); // sheet name to
publish data to is specified in Arduino code
    var dataArr = parsedData.values.split(","); // creates an array of the
values to publish

    // Default time zone is America/Chicago. Update time zone below with
appropriate ID from here: https://developers.google.com/google-ads/api/data/codes-formats#timezone-ids
    var date_now = Utilities.formatDate(new Date(), "Europe/Amsterdam",
"yyyy/MM/dd"); // gets the current date
    var time_now = Utilities.formatDate(new Date(), "Europe/Amsterdam",
"hh:mm:ss a"); // gets the current time

    var value0 = dataArr [0]; // value0 from Arduino code
    var value1 = dataArr [1]; // value1 from Arduino code
    var value2 = dataArr [2]; // value2 from Arduino code

    // read and execute command from the "payload_base" string specified in
Arduino code
    switch (parsedData.command) {

        case "insert_row":

            sheet.insertRows(2); // insert full row directly below header text

            //var range = sheet.getRange("A2:D2"); // use this to
insert cells just above the existing data instead of inserting an entire
row
            //range.insertCells(SpreadsheetApp.Dimension.ROWS); // use this to
insert cells just above the existing data instead of inserting an entire
row

            sheet.getRange('A2').setValue(date_now); // publish current date
to cell A2
            sheet.getRange('B2').setValue(time_now); // publish current time
to cell B2
            sheet.getRange('C2').setValue(value0); // publish value0 from
Arduino code to cell C2
            sheet.getRange('D2').setValue(value1); // publish value1 from
Arduino code to cell D2
            sheet.getRange('E2').setValue(value2); // publish value2 from
Arduino code to cell E2

            str = "Success"; // string to return back to Arduino serial
console
            SpreadsheetApp.flush();
            break;

```

```

    case "append_row":

        var publish_array = new Array(); // create a new array

        publish_array [0] = date_now; // add current date to position 0 in
publish_array
        publish_array [1] = time_now; // add current time to position 1 in
publish_array
        publish_array [2] = value0;    // add value0 from Arduino code to
position 2 in publish_array
        publish_array [3] = value1;    // add value1 from Arduino code to
position 3 in publish_array
        publish_array [4] = value2;    // add value2 from Arduino code to
position 4 in publish_array

        sheet.appendRow(publish_array); // publish data in publish_array
after the last row of data in the sheet

        str = "Success"; // string to return back to Arduino serial
console
        SpreadsheetApp.flush();
        break;

    }

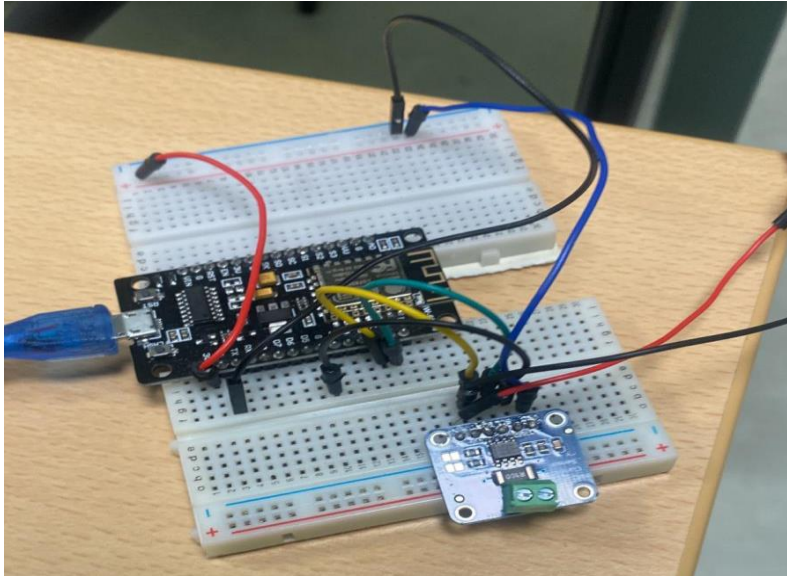
    return ContentService.createTextOutput(str);
} // endif (parsedData !== undefined)

else {
    return ContentService.createTextOutput("Error! Request body empty or in
incorrect format.");
}
}

```


§8.1.4.4 Werking

Het proces voor het gegevens verzamelen is relatief simpel. Het proces begint bij de zonnecel en eindigt bij het google spreadsheet. In het begin zal er licht, in ons geval de lamp, op het zonnecel vallen. Via de jumper draden wordt er informatie doorgestuurd naar het INA219-sensor die het hoeveelheid stroom en spanning meet. Deze gegevens over het stroom en spanning zal via het Wifi, in ons geval een hotspot, worden doorgestuurd naar het google spreadsheet. Dit proces werd meerdere malen herhaald op de ingevoerde delay van 5 seconden: delay is het uitsteltijd voordat het proces weer wordt herhaald.



Figuur 28: Systeem met INA219-SENSOR.

§8.2 Resultaten

§8.2.1 Resultaten in een tabel

In beide tabellen hieronder zijn de verkregen gegevens van het INA219-sensor weergegeven; bij experiment 1 zijn het gegevens van het experiment waarbij de zonnecel meebeweegt met de lichtbron en bij experiment 2 de zonnecel die niet beweegt met de lichtbron.

De kolom, Meting Tijd_s, geeft het gemeten tijd vanaf 0 seconden in mm:ss.

De kolom, Tijd van de meting, is het tijd waarop de meting plaats heeft gevonden in uu:mm:ss.

De kolom, Bus Spanning, geeft weer de gemeten spanning van het INA219-sensor, oftewel het “duwkracht” voor de stroom door het circuit.

De kolom, Stroom_mA, is de gemeten stroomsterkte in milliampère (mA), in andere woorden het hoeveelheid energie dat per punt wordt gevoerd.

De kolom, Vermogen_mW, geeft weer de gemeten spanning over elke meting in milliwatt (mW), dit is berekend door de formule: $P = U \times I$, met meer uitleg onder het deelonderwerp: “Resultaten in een grafiek”.

§8.2.1.1 Zonnecel met lichtsensor

Meting Tijd_s	Tijd van de meting	BusSpanning	Stroom_mA	Vermogen_mW
00:00	17:28:00	0,75	2,5	1,875
00:04	17:28:04	0,64	2	1,28
00:10	17:28:10	0,78	2,7	2,106
00:15	17:28:15	0,6	2	1,2
00:21	17:28:21	0,88	2	1,76
00:26	17:28:26	0,76	2,3	1,748
00:31	17:28:31	0,8	2,1	1,68
00:36	17:28:36	0,7	2	1,4
00:41	17:28:41	0,76	2,1	1,596
00:46	17:28:46	0,65	2,1	1,365
00:51	17:28:51	0,71	2,5	1,775
00:56	17:28:56	0,76	2,4	1,824
01:01	17:29:01	0,87	2,1	1,827
01:06	17:29:06	0,79	2,9	2,291
01:11	17:29:11	0,76	2,3	1,748
01:15	17:29:15	0,86	2,1	1,806
01:21	17:29:21	0,79	2,8	2,212
01:25	17:29:25	0,83	2,5	2,075
01:30	17:29:30	0,81	2,7	2,187
01:35	17:29:35	0,76	2,6	1,976
01:40	17:29:40	0,81	2,2	1,782
01:45	17:29:45	0,8	2,7	2,16

01:49	17:29:49	0,86	2,1	1,806
01:54	17:29:54	0,72	2,4	1,728
01:59	17:29:59	0,87	2,4	2,088
02:04	17:30:04	0,86	2,3	1,978
02:08	17:30:08	0,78	2,7	2,106
02:13	17:30:13	0,77	2,3	1,771
02:18	17:30:18	0,66	1,9	1,254
02:23	17:30:23	0,87	1,8	1,566
02:28	17:30:28	0,65	1,9	1,235
02:32	17:30:32	0,8	2,4	1,92
02:38	17:30:38	0,87	1,8	1,566
02:42	17:30:42	0,76	2,3	1,748
02:55	17:30:55	0,77	2,5	1,925
02:59	17:30:59	0,76	2,4	1,824
03:04	17:31:04	0,87	1,8	1,566
03:10	17:31:10	0,67	1,4	0,938
03:14	17:31:14	0,78	1,8	1,404
03:19	17:31:19	0,86	1,3	1,118
03:24	17:31:24	0,86	1,4	1,204
03:29	17:31:29	0,81	0,3	0,243
03:34	17:31:34	0,77	1	0,77
03:39	17:31:39	0,81	1,3	1,053
03:44	17:31:44	0,79	1,8	1,422
03:50	17:31:50	0,73	1,4	1,022
03:54	17:31:54	0,83	1,9	1,577
03:59	17:31:59	0,76	1,6	1,216
04:04	17:32:04	0,81	0,1	0,081
04:09	17:32:09	0,89	0	0
04:13	17:32:13	0,76	1,6	1,216
04:18	17:32:18	0,74	1,4	1,036
04:23	17:32:23	0,84	1,6	1,344
04:28	17:32:28	0,82	1,9	1,558
04:33	17:32:33	0,71	1,4	0,994
04:38	17:32:38	0,84	1	0,84
04:43	17:32:43	0,81	0,8	0,648
04:47	17:32:47	0,81	0,8	0,648
04:53	17:32:53	0,86	0,9	0,774
04:58	17:32:58	0,84	0,9	0,756
05:02	17:33:02	0,79	1,1	0,869
05:08	17:33:08	0,89	0,8	0,712
05:13	17:33:13	0,89	0,9	0,801
05:18	17:33:18	0,87	0,8	0,696
05:23	17:33:23	0,82	1,7	1,394

05:27	17:33:27	0,85	1,7	1,445
05:32	17:33:32	0,86	1,7	1,462
05:37	17:33:37	0,84	1,7	1,428
05:41	17:33:41	0,86	1,4	1,204
05:46	17:33:46	0,91	1,3	1,183
05:52	17:33:52	0,86	1,3	1,118
05:57	17:33:57	0,83	1,3	1,079
06:02	17:34:02	0,8	1,3	1,04
06:06	17:34:06	0,88	1,3	1,144
06:11	17:34:11	0,84	1,7	1,428
06:16	17:34:16	0,9	1,3	1,17
06:20	17:34:20	0,83	1,5	1,245
06:25	17:34:25	0,84	1,7	1,428
06:30	17:34:30	0,86	1,6	1,376
06:35	17:34:35	0,86	1,4	1,204
06:40	17:34:40	0,83	1,1	0,913
06:44	17:34:44	0,86	1	0,86
06:49	17:34:49	0,84	0,9	0,756
06:55	17:34:55	0,84	1,3	1,092
07:02	17:35:02	0,77	1,3	1,001
07:07	17:35:07	0,85	1,6	1,36
07:12	17:35:12	0,76	1,3	0,988
07:19	17:35:19	0,91	1,2	1,092
07:24	17:35:24	0,84	1,3	1,092
07:29	17:35:29	0,8	1,4	1,12
07:33	17:35:33	0,85	1,6	1,36
07:38	17:35:38	0,77	1,2	0,924
07:42	17:35:42	0,86	1,5	1,29
07:47	17:35:47	0,84	1,4	1,176
07:51	17:35:51	0,84	1,5	1,26
07:56	17:35:56	0,85	2	1,7
08:02	17:36:02	0,84	1,9	1,596
08:07	17:36:07	0,87	1,8	1,566
08:12	17:36:12	0,85	1,8	1,53
08:17	17:36:17	0,91	1,4	1,274
08:22	17:36:22	0,85	1,9	1,615
08:27	17:36:27	0,92	1,5	1,38
08:33	17:36:33	0,87	1,8	1,566
08:38	17:36:38	0,84	1,8	1,512
08:43	17:36:43	0,85	2,2	1,87
08:48	17:36:48	0,84	2,1	1,764
08:52	17:36:52	0,86	2,1	1,806
08:58	17:36:58	0,86	1,9	1,634

09:03	17:37:03	0,84	1,8	1,512
09:07	17:37:07	0,89	2,2	1,958
09:12	17:37:12	0,84	2,2	1,848
09:16	17:37:16	0,85	2,4	2,04
09:21	17:37:21	0,86	1,8	1,548
09:26	17:37:26	0,86	2,4	2,064
09:31	17:37:31	0,87	1,9	1,653

Tabel 2: Gegevens van een zonnecel met lichtsensor

§8.2.1.2 Zonnecel zonder lichtsensor

Meting Tijd_s	Tijd van de meting	BusSpanning	Stroom_mA	Vermogen_mW
00:00	17:46:58	0,85	-0,1	-0,085
00:04	17:47:02	0,89	0,5	0,445
00:09	17:47:07	0,88	0,6	0,528
00:14	17:47:12	0,79	0,5	0,395
00:19	17:47:17	0,8	0,5	0,4
00:23	17:47:21	0,84	0,6	0,504
00:28	17:47:26	0,84	0,5	0,42
00:32	17:47:30	0,84	0,5	0,42
00:38	17:47:36	0,84	0,4	0,336
00:43	17:47:41	0,85	0,5	0,425
00:48	17:47:46	0,89	0,3	0,267
00:52	17:47:50	0,86	0,3	0,258
00:58	17:47:56	0,86	0,4	0,344
01:03	17:48:01	0,84	0,5	0,42
01:08	17:48:06	0,84	0,8	0,672
01:13	17:48:11	0,85	0,9	0,765
01:18	17:48:16	0,89	0,8	0,712
01:23	17:48:21	0,87	0,8	0,696
01:27	17:48:25	0,88	0,8	0,704
01:32	17:48:30	0,82	0,8	0,656
01:37	17:48:35	0,89	0,7	0,623
01:42	17:48:40	0,88	0,8	0,704
01:50	17:48:48	0,84	0,8	0,672
01:55	17:48:53	0,8	0,8	0,64
01:59	17:48:57	0,84	0,8	0,672
02:04	17:49:02	0,85	1,2	1,02
02:09	17:49:07	0,85	1,1	0,935
02:13	17:49:11	0,8	1	0,8
02:18	17:49:16	0,84	1,3	1,092

02:24	17:49:22	0,8	1,1	0,88
02:29	17:49:27	0,84	1,2	1,008
02:34	17:49:32	0,84	1,2	1,008
02:39	17:49:37	0,85	1,2	1,02
02:44	17:49:42	0,82	1,2	0,984
02:49	17:49:47	0,87	1	0,87
02:53	17:49:51	0,82	1,2	0,984
02:58	17:49:56	0,81	1,2	0,972
03:03	17:50:01	0,86	1,1	0,946
03:07	17:50:05	0,9	1,2	1,08
03:12	17:50:10	0,89	1,3	1,157
03:17	17:50:15	0,84	1,5	1,26
03:22	17:50:20	0,86	1,4	1,204
03:27	17:50:25	0,87	1,3	1,131
03:31	17:50:29	0,85	1,4	1,19
03:36	17:50:34	0,82	1,4	1,148
03:40	17:50:38	0,86	1,2	1,032
03:45	17:50:43	0,86	1,5	1,29
03:51	17:50:49	0,85	1,5	1,275
03:56	17:50:54	0,88	1,2	1,056
04:01	17:50:59	0,86	1,5	1,29
04:06	17:51:04	0,86	1,5	1,29
04:11	17:51:09	0,86	1,6	1,376
04:16	17:51:14	0,84	1,4	1,176
04:21	17:51:19	0,86	1,4	1,204
04:26	17:51:24	0,85	1,8	1,53
04:31	17:51:29	0,86	1,7	1,462
04:35	17:51:33	0,89	1,5	1,335
04:40	17:51:38	0,84	1,8	1,512
04:45	17:51:43	0,88	1,4	1,232
04:50	17:51:48	0,84	1,8	1,512
04:55	17:51:53	0,84	1,8	1,512
05:00	17:51:58	0,79	1,5	1,185
05:05	17:52:03	0,84	1,6	1,344
05:10	17:52:08	0,78	1,4	1,092
05:15	17:52:13	0,84	1,4	1,176
05:19	17:52:17	0,84	1,8	1,512
05:24	17:52:22	0,78	1,4	1,092
05:29	17:52:27	0,8	1,5	1,2
05:34	17:52:32	0,8	1,5	1,2
05:38	17:52:36	0,88	1,5	1,32
05:43	17:52:41	0,84	1,7	1,428
05:49	17:52:47	0,9	1,3	1,17

05:53	17:52:51	0,88	1,5	1,32
05:58	17:52:56	0,89	1,5	1,335
06:03	17:53:01	0,84	1,5	1,26
06:08	17:53:06	0,88	1,6	1,408
06:13	17:53:11	0,85	1,4	1,19
06:17	17:53:15	0,84	1,3	1,092
06:22	17:53:20	0,88	1,3	1,144
06:27	17:53:25	0,84	1,6	1,344
06:32	17:53:30	0,85	1,5	1,275
06:37	17:53:35	0,88	1,2	1,056
06:42	17:53:40	0,84	1,5	1,26
06:47	17:53:45	0,85	1,6	1,36
06:52	17:53:50	0,86	1,4	1,204
06:57	17:53:55	0,84	1,6	1,344
07:02	17:54:00	0,81	1,4	1,134
07:07	17:54:05	0,84	1,4	1,176
07:12	17:54:10	0,84	1,3	1,092
07:17	17:54:15	0,84	1,4	1,176
07:22	17:54:20	0,81	1,3	1,053
07:26	17:54:24	0,8	1,3	1,04
07:31	17:54:29	0,85	1,4	1,19
07:36	17:54:34	0,87	1,2	1,044
07:41	17:54:39	0,84	1,4	1,176
07:46	17:54:44	0,86	1,1	0,946
07:51	17:54:49	0,84	1,2	1,008
07:57	17:54:55	0,87	1,1	0,957
08:02	17:55:00	0,84	1,2	1,008
08:06	17:55:04	0,78	0,9	0,702
08:11	17:55:09	0,86	0,9	0,774
08:16	17:55:14	0,89	0,8	0,712
08:21	17:55:19	0,86	1	0,86
08:26	17:55:24	0,84	1	0,84
08:31	17:55:29	0,81	0,9	0,729
08:36	17:55:34	0,84	1,1	0,924
08:40	17:55:38	0,78	0,9	0,702
08:47	17:55:45	0,84	1,2	1,008
08:52	17:55:50	0,84	1,1	0,924
08:57	17:55:55	0,84	1	0,84

Tabel 3: Gegevens van de zonnecel zonder lichtsensor

§8.2.2 Resultaten in een grafiek

In de grafiek hieronder is te zien hoe het vermogen zich verhoudt over de tijdsperiode van ongeveer 9 min met een interval van 15 seconden. Het vermogen is verkregen door de natuurkundige formule met hun bijbehorende SI-stelsel eenheden:

$$P = U \times I$$

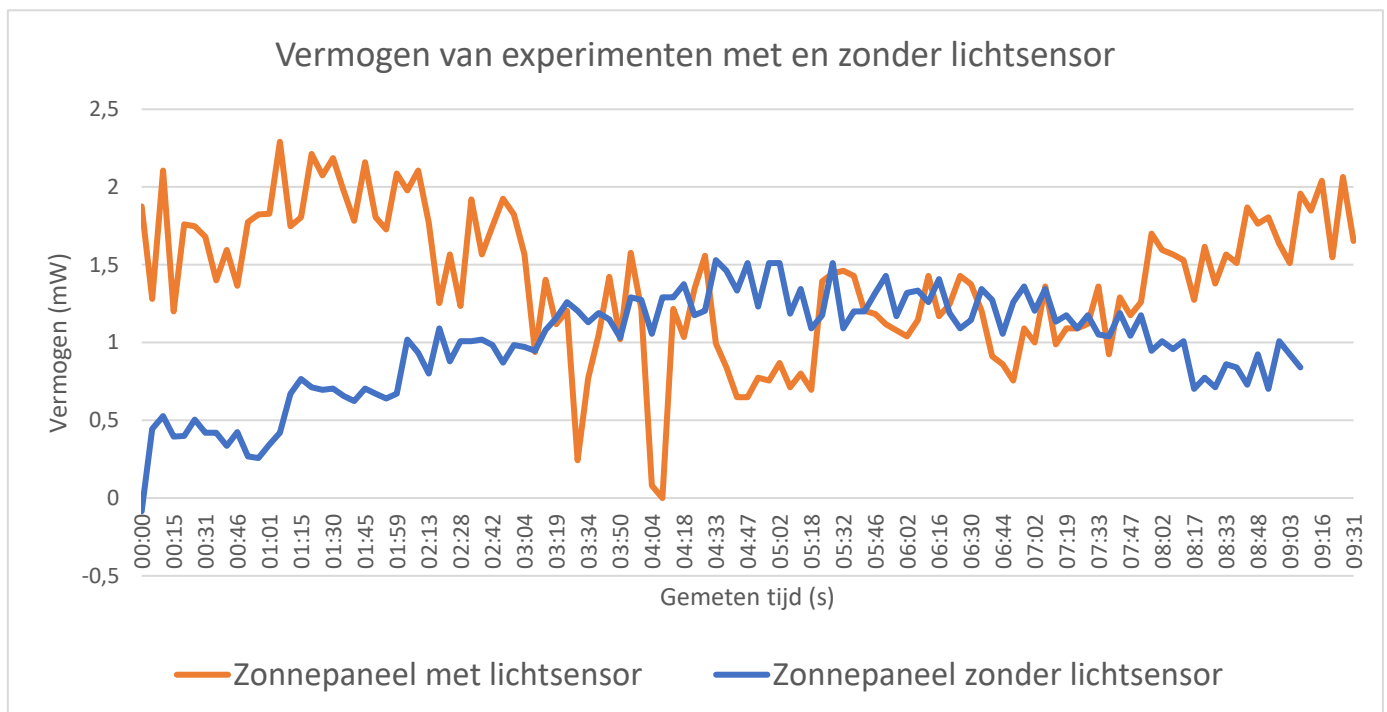
P: vermogen in watt (W)

U: spanning in volt (V)

I: stroomsterkte in ampère (A)

Voor deze experiment zijn de eenheden in andere vormen gebruikt: het vermogen (P) was in milliwatt (mW), doordat de stroomsterkte in milliampère (mA) was gemeten.

Verder zijn het berekende vermogen van elke meting voor beide experimenten weergegeven in de tabel hierboven.



Grafiek 1: Vermogen van experimenten met en zonder lichtsensoren

§8.3 Conclusie

De deelvraag luidt: Hoe beïnvloedt de beweging van zonnecellen de lichtabsorptiecapaciteit bij een hoek van 45 graden.

De hypothese luidt: Bewegende zonnecellen zullen significant meer licht absorberen dan stilstaande zonnecellen bij een hoek van 45 graden.

Op basis van de resultaten van ons experiment kunnen we concluderen dat onze hypothese kan worden aangenomen. Uit de gegevens in de grafiek blijkt namelijk dat de zonnecel aan het begin en aan het einde van de dag meer energie opvangt. Deze momenten komen overeen

met het begin, de ochtend (oost) en het eind, de avond (west). Het middelste deel van de grafiek, dat overeenkomt met het zuiden (middag), laat zien dat de energieopbrengst dan gelijk blijft en dus niet relevant is voor onze vraagstelling. Hierdoor kunnen we stellen dat onze hypothese, dat er verschillen zijn in energieopvang afhankelijk van het tijdstip van de dag, ondersteund wordt door de onderzoeksresultaten. Hierdoor kunnen wij antwoord halen op onze deelvraag doormiddel van onze aangenomen hypothese: Hoe beïnvloedt de beweging van zonnecellen de lichtabsorptiecapaciteit bij een hoek van 45 graden.

§8.4 Discussie

Wij vonden het een erg leuk onderzoek en hebben er veel van geleerd. Tijdens het onderzoeken liepen we echter wel tegen de volgende problemen aan:

We hadden we een schakelingsysteem geïnstalleerd, maar na verloop van tijd merkten we dat deze begon te roesten. Bovendien ontdekten we dat de draden te kort waren; bij bewegingen van het zonnepaneel raakten ze verstrikt, doordat ze te snel met elkaar in contact kwamen. Om deze problemen aan te pakken, hebben we een nieuwe schakeling gemaakt met hetzelfde ontwerp, maar waarbij de draden twee keer zo lang waren.

We gebruikten een camerastatief, maar het bleek dat deze niet op de juiste hoogte stond. Tijdens het testen moesten we het statief voortdurend opnieuw afstellen. Uiteindelijk hebben we het zo nauwkeurig mogelijk afgesteld, maar er kan nog steeds een kleine fout in zitten.

Het zonnepaneel raakte ontregeld tijdens de test met de lamp als zon. Na een tijdje aan de linkerkant te hebben gestaan, begon het paneel onverwachts naar rechts te bewegen. Deze afwijking werd ook waargenomen in de gegevens, omdat deze steeds afnamen van hoge naar lage waarden. Om dit probleem aan te pakken, hebben we een vertraging toegevoegd aan de code. Deze vertraging zorgt ervoor dat het zonnepaneel langzamer beweegt. Na het implementeren van deze vertraging was het probleem opgelost.

Tijdens het uitvoeren van het experiment bevonden we ons in een kamer waar licht naar binnen scheen. Om dit te minimaliseren, bedekten we het grootste deel van het licht met papier. Alleen aangezien de dunheid van het papier, is het mogelijk dat er nog steeds enige lichtstralen naar binnen zijn gekomen, wat een bron van meetonzekerheid kan vormen. Bovendien moesten we tijdens het nabootsen van de zon de lichtbron handmatig op dezelfde positie houden. Aangezien we de lichtbron met de hand vasthielden, bestaat de mogelijkheid dat we onbewust kleine bewegingen hebben gemaakt, wat ook een bron van meetonzekerheid kan zijn.

Ondanks herhaalde fouten en de noodzaak om telkens opnieuw te beginnen, hebben we echt genoten van het moment waarop alles eindelijk naar behoren werkte. Hoewel we al wisten dat het doen van experimenten soms uitdagend kon zijn en dat fouten leermomenten zijn waarvan we kunnen profiteren, hadden we niet verwacht dat we zo vaak tegen problemen zouden aanlopen. Het was een waardevolle test voor ons geduld en heeft ons echt in het

motto om nooit op te geven laten geloven, zelfs wanneer het resultaat na herhaalde pogingen niet direct positief is. Bovendien hebben we tijdens dit proces onze vaardigheden verbeterd, zoals solderen, programmeren en het maken van schakelingen.

§9 Resultaten

§9.1 Resultaten van deelvraag 1

Bekijk Kopje §8 voor de resultaten van deelvraag 1

§9.2 Resultaten van deelvraag 2

§9.2.1 Resultaten in een tabel

In de vier tabellen hieronder zijn de verkregen gegevens van het INA219-sensor weergegeven; bij experiment 1 komen de gegevens van het experiment van de zonnecel zonder spiegels die schaduw bevat, bij experiment 2 komen de gegevens van de zonnecel met spiegels die schaduw bevat, experiment 3 zijn de gegevens afkomstig van de zonnecel met spiegels zonder schaduw en bij het vierde experiment komen de gegevens van de zonnecel zonder spiegels aan de zijkant die geen schaduw bevat.

De kolom, Meting Tijd_s, geeft het gemeten tijd vanaf 0 seconden in mm:ss.

De kolom, Tijd van de meting, is het tijd waarop de meting plaats heeft gevonden in uu:mm:ss.

De kolom, Bus Spanning, geeft weer de gemeten spanning van het INA219-sensor, oftewel het “duwkracht” voor de stroom door het circuit.

De kolom, Stroom_mA, is het gemeten stroomsterkte in milliampère (mA), in andere woorden het hoeveelheid energie dat per punt wordt gevoerd.

De kolom, Vermogen_mW, geeft weer de gemeten spanning over elke meting in milliwatt (mW), dit is berekend door de formule: $P = U \times I$, met meer uitleg onder het deelonderwerp: “kopje §8 Resultaten in een grafiek”.

§9.2.1.1 Zonnecel zonder spiegels met schaduw

Meting Tijd_s	Tijd van de meting	busVoltage	Stroom_mA	Vermogen_mW
00:00	15:43:13	0,86	-0,1	-0,086
00:04	15:43:17	0,86	0,4	0,344
00:09	15:43:22	0,86	0,2	0,172
00:14	15:43:27	0,86	0,2	0,172
00:19	15:43:32	0,86	0,1	0,086

00:25	15:43:38	0,86	0,5	0,43
00:30	15:43:43	0,86	0,1	0,086
00:35	15:43:48	0,86	0,3	0,258
00:39	15:43:52	0,86	0,3	0,258
00:44	15:43:57	0,86	0,3	0,258
00:49	15:44:02	0,86	0,3	0,258
00:54	15:44:07	0,86	0,2	0,172
00:59	15:44:12	0,86	0,3	0,258
01:04	15:44:17	0,86	0,2	0,172
01:09	15:44:22	0,86	0,1	0,086
01:13	15:44:26	0,86	0,4	0,344
01:18	15:44:31	0,86	0,3	0,258
01:23	15:44:36	0,85	0,4	0,34
01:28	15:44:41	0,86	0,4	0,344
01:33	15:44:46	0,86	0,3	0,258
01:38	15:44:51	0,86	0,3	0,258
01:42	15:44:55	0,86	0,2	0,172
01:47	15:45:00	0,87	0,6	0,522
01:52	15:45:05	0,86	0,7	0,602
01:57	15:45:10	0,86	0,6	0,516
02:01	15:45:14	0,86	0,5	0,43
02:07	15:45:20	0,86	0,3	0,258
02:13	15:45:26	0,86	0,6	0,516
02:18	15:45:31	0,86	0,5	0,43
02:23	15:45:36	0,86	0,6	0,516
02:28	15:45:41	0,86	0,4	0,344
02:33	15:45:46	0,86	0,3	0,258
02:38	15:45:51	0,86	0,5	0,43
02:43	15:45:56	0,85	0,6	0,51
02:47	15:46:00	0,86	0,5	0,43
02:52	15:46:05	0,86	1	0,86
02:57	15:46:10	0,86	0,4	0,344
03:02	15:46:15	0,86	0,5	0,43
03:07	15:46:20	0,86	0,6	0,516
03:12	15:46:25	0,86	0,4	0,344
03:17	15:46:30	0,86	0,3	0,258
03:27	15:46:40	0,85	0,4	0,34
03:29	15:46:42	0,86	0,4	0,344
03:32	15:46:45	0,86	0,4	0,344
03:37	15:46:50	0,86	0,6	0,516
03:42	15:46:55	0,86	0,5	0,43
03:47	15:47:00	0,85	0,6	0,51
03:52	15:47:05	0,86	0,4	0,344
03:58	15:47:11	0,86	0,4	0,344
04:03	15:47:16	0,85	0,7	0,595
04:08	15:47:21	0,86	0,9	0,774
04:13	15:47:26	0,86	0,6	0,516
04:18	15:47:31	0,86	0,8	0,688

04:23	15:47:36	0,86	0,7	0,602
04:27	15:47:40	0,86	0,8	0,688
04:32	15:47:45	0,86	0,6	0,516
04:37	15:47:50	0,86	0,5	0,43
04:42	15:47:55	0,86	0,7	0,602
04:46	15:47:59	0,86	0,3	0,258
04:52	15:48:05	0,86	0,7	0,602
04:57	15:48:10	0,86	0,8	0,688
05:03	15:48:16	0,86	0,7	0,602
05:07	15:48:20	0,86	0,3	0,258
05:13	15:48:26	0,86	0,4	0,344
05:18	15:48:31	0,86	0,5	0,43
05:23	15:48:36	0,86	0,5	0,43
05:27	15:48:40	0,86	0,4	0,344
05:32	15:48:45	0,86	0,3	0,258
05:37	15:48:50	0,85	0,4	0,34
05:42	15:48:55	0,86	0,5	0,43
05:47	15:49:00	0,86	0,4	0,344
05:52	15:49:05	0,85	0,3	0,255
05:57	15:49:10	0,86	0,6	0,516
06:02	15:49:15	0,86	0,4	0,344
06:07	15:49:20	0,86	0,4	0,344
06:12	15:49:25	0,86	0,4	0,344
06:17	15:49:30	0,86	0,4	0,344
06:21	15:49:34	0,86	0,6	0,516
06:26	15:49:39	0,86	0,3	0,258
06:31	15:49:44	0,86	0,5	0,43
06:36	15:49:49	0,85	0,5	0,425
06:40	15:49:53	0,85	0,2	0,17
06:45	15:49:58	0,86	0,4	0,344
06:50	15:50:03	0,86	0,4	0,344
06:55	15:50:08	0,86	0,4	0,344
07:00	15:50:13	0,86	0,1	0,086
07:05	15:50:18	0,86	0,4	0,344
07:10	15:50:23	0,86	0,1	0,086
07:15	15:50:28	0,85	0,3	0,255
07:20	15:50:33	0,86	0,5	0,43
07:25	15:50:38	0,86	0,1	0,086
07:30	15:50:43	0,86	0,1	0,086
07:35	15:50:48	0,86	-0,1	-0,086
07:40	15:50:53	0,86	0,4	0,344
07:46	15:50:59	0,86	0,1	0,086
07:51	15:51:04	0,87	0,1	0,087
07:56	15:51:09	0,86	0,3	0,258
08:01	15:51:14	0,86	0,3	0,258
08:05	15:51:18	0,85	0,1	0,085
08:10	15:51:23	0,86	0,1	0,086
08:14	15:51:27	0,85	0,1	0,085

08:20	15:51:33	0,86	0,2	0,172
08:25	15:51:38	0,86	0	0
08:30	15:51:43	0,86	0,2	0,172
08:35	15:51:48	0,86	0	0
08:40	15:51:53	0,86	0,3	0,258
08:45	15:51:58	0,87	0	0
08:50	15:52:03	0,86	0,1	0,086
08:56	15:52:09	0,85	0	0
09:02	15:52:15	0,86	-0,1	-0,086

Tabel 4: Gegevens van de zonnecel met spiegels zonder schaduw

§9.2.1.2 Zonnecel met spiegels met schaduw

Meting Tijd_s	Tijd van de meting	busVoltage	Stroom_mA	Vermogen_mW
00:00	15:26:42	0,86	-0,6	-0,516
00:05	15:26:47	0,85	-0,1	-0,085
00:10	15:26:52	0,86	-0,4	-0,344
00:15	15:26:57	0,85	-0,4	-0,34
00:20	15:27:02	0,85	-0,2	-0,17
00:26	15:27:08	0,85	-0,2	-0,17
00:31	15:27:13	0,86	-0,4	-0,344
00:36	15:27:18	0,85	-0,4	-0,34
00:41	15:27:23	0,84	-0,3	-0,252
00:46	15:27:28	0,86	-0,2	-0,172
00:50	15:27:32	0,84	-0,3	-0,252
00:55	15:27:37	0,86	-0,4	-0,344
01:00	15:27:42	0,86	-0,2	-0,172
01:04	15:27:46	0,86	0,5	0,43
01:09	15:27:51	0,85	0,3	0,255
01:13	15:27:55	0,85	0,2	0,17
01:18	15:28:00	0,84	0,2	0,168
01:23	15:28:05	0,85	0,1	0,085
01:28	15:28:10	0,84	0,1	0,084
01:34	15:28:16	0,85	0,2	0,17
01:39	15:28:21	0,85	0,1	0,085
01:44	15:28:26	0,86	0,1	0,086
01:49	15:28:31	0,84	0,3	0,252
01:54	15:28:36	0,85	0,4	0,34
02:00	15:28:42	0,84	0,3	0,252
02:04	15:28:46	0,85	0,4	0,34
02:09	15:28:51	0,84	0,1	0,084
02:14	15:28:56	0,86	0,3	0,258
02:19	15:29:01	0,85	0,4	0,34
02:24	15:29:06	0,86	0,5	0,43

02:29	15:29:11	0,85	0,3	0,255
02:33	15:29:15	0,86	0,5	0,43
02:38	15:29:20	0,84	0,4	0,336
02:43	15:29:25	0,84	0,2	0,168
02:48	15:29:30	0,86	0,5	0,43
02:53	15:29:35	0,86	0,3	0,258
03:02	15:29:44	0,86	0,6	0,516
03:07	15:29:49	0,86	0,5	0,43
03:12	15:29:54	0,85	1	0,85
03:16	15:29:58	0,86	0,3	0,258
03:22	15:30:04	0,84	0,9	0,756
03:27	15:30:09	0,85	0,5	0,425
03:32	15:30:14	0,85	0,9	0,765
03:37	15:30:19	0,85	0,6	0,51
03:41	15:30:23	0,84	0,6	0,504
03:46	15:30:28	0,86	0,5	0,43
03:51	15:30:33	0,86	0,6	0,516
03:56	15:30:38	0,84	0,6	0,504
04:01	15:30:43	0,85	0,5	0,425
04:07	15:30:49	0,85	0,6	0,51
04:12	15:30:54	0,85	0,3	0,255
04:16	15:30:58	0,84	0,4	0,336
04:21	15:31:03	0,84	0,4	0,336
04:26	15:31:08	0,84	0,5	0,42
04:31	15:31:13	0,85	0,4	0,34
04:37	15:31:19	0,85	0,4	0,34
04:42	15:31:24	0,84	0,3	0,252
04:48	15:31:30	0,86	0,6	0,516
04:53	15:31:35	0,85	0,4	0,34
04:57	15:31:39	0,85	0,7	0,595
05:03	15:31:45	0,86	0,5	0,43
05:08	15:31:50	0,86	0,1	0,086
05:12	15:31:54	0,85	0,4	0,34
05:17	15:31:59	0,85	0,1	0,085
05:23	15:32:05	0,85	0,2	0,17
05:28	15:32:10	0,84	0,2	0,168
05:33	15:32:15	0,84	0,5	0,42
05:38	15:32:20	0,85	0,3	0,255
05:43	15:32:25	0,84	0,3	0,252
05:49	15:32:31	0,85	0,1	0,085
05:54	15:32:36	0,86	0,3	0,258
05:58	15:32:40	0,84	0,5	0,42
06:03	15:32:45	0,85	0,4	0,34
06:08	15:32:50	0,85	0,1	0,085
06:13	15:32:55	0,84	0,3	0,252
06:18	15:33:00	0,84	0,3	0,252
06:23	15:33:05	0,85	0,3	0,255
06:27	15:33:09	0,84	0,3	0,252

06:32	15:33:14	0,84	0,3	0,252
06:37	15:33:19	0,85	0,3	0,255
06:43	15:33:25	0,84	0,2	0,168
06:47	15:33:29	0,85	0,5	0,425
06:52	15:33:34	0,85	0,2	0,17
06:57	15:33:39	0,84	0,2	0,168
07:02	15:33:44	0,85	0,1	0,085
07:07	15:33:49	0,85	0,1	0,085
07:12	15:33:54	0,86	-0,1	-0,086
07:17	15:33:59	0,85	0,1	0,085
07:22	15:34:04	0,85	-0,1	-0,085
07:27	15:34:09	0,84	-0,1	-0,084
07:32	15:34:14	0,85	0,1	0,085
07:37	15:34:19	0,84	0,2	0,168
07:42	15:34:24	0,85	-0,1	-0,085
07:47	15:34:29	0,84	-0,1	-0,084
07:52	15:34:34	0,84	0,3	0,252
07:57	15:34:39	0,84	0,1	0,084
08:02	15:34:44	0,85	0,3	0,255
08:06	15:34:48	0,85	0,2	0,17
08:12	15:34:54	0,85	0	0
08:16	15:34:58	0,83	0,1	0,083
08:21	15:35:03	0,84	-0,1	-0,084
08:26	15:35:08	0,84	-0,1	-0,084
08:31	15:35:13	0,84	-0,1	-0,084
08:36	15:35:18	0,84	0	0
08:41	15:35:23	0,85	-0,2	-0,17
08:46	15:35:28	0,85	-0,1	-0,085
08:51	15:35:33	0,84	0,2	0,168
08:56	15:35:38	0,84	-0,1	-0,084
09:01	15:35:43	0,85	-0,2	-0,17

Tabel 5: Gegevens van de zonnecel met spiegels met schaduw

§9.2.1.3 Zonnecel met spiegels zonder schaduw

Meting Tijd_s	Tijd van de meting	busVoltage	Stroom_mA	Vermogen_mW
00:00	14:34:41	0,84	-0,1	-0,084
00:13	14:34:54	0,84	-0,2	-0,168
00:18	14:34:59	0,84	0	0
00:23	14:35:04	0,84	0,1	0,084
00:28	14:35:09	0,84	0	0
00:33	14:35:14	0,84	0	0
00:38	14:35:19	0,83	0	0
00:43	14:35:24	0,84	0	0
00:47	14:35:28	0,84	0	0
00:52	14:35:33	0,85	0	0
00:57	14:35:38	0,84	0	0
01:02	14:35:43	0,85	0	0
01:07	14:35:48	0,85	0,1	0,085
01:12	14:35:53	0,85	0,3	0,255
01:17	14:35:58	0,85	0,3	0,255
01:23	14:36:04	0,84	0,4	0,336
01:29	14:36:10	0,85	0,4	0,34
01:34	14:36:15	0,84	0,4	0,336
01:38	14:36:19	0,85	0,4	0,34
01:43	14:36:24	0,85	0,4	0,34
01:48	14:36:29	0,84	0,4	0,336
01:53	14:36:34	0,84	0,4	0,336
01:58	14:36:39	0,85	0,4	0,34
02:03	14:36:44	0,85	0,3	0,255
02:08	14:36:49	0,85	0,4	0,34
02:12	14:36:53	0,85	0,3	0,255
02:17	14:36:58	0,85	0,4	0,34
02:23	14:37:04	0,85	0,4	0,34
02:27	14:37:08	0,84	0,4	0,336
02:33	14:37:14	0,85	0,4	0,34
02:38	14:37:19	0,84	0,3	0,252
02:43	14:37:24	0,84	0,4	0,336
02:48	14:37:29	0,84	0,4	0,336
02:52	14:37:33	0,84	0,3	0,252
02:57	14:37:38	0,83	0,4	0,332
03:03	14:37:44	0,84	0,4	0,336
03:08	14:37:49	0,84	0,9	0,756
03:13	14:37:54	0,84	1	0,84
03:18	14:37:59	0,83	0,9	0,747
03:23	14:38:04	0,84	0,9	0,756
03:29	14:38:10	0,84	1	0,84
03:34	14:38:15	0,84	1	0,84

03:40	14:38:21	0,81	1	0,81
03:45	14:38:26	0,8	0,9	0,72
03:50	14:38:31	0,78	0,9	0,702
03:55	14:38:36	0,79	0,8	0,632
04:00	14:38:41	0,79	0,8	0,632
04:04	14:38:45	0,8	0,8	0,64
04:09	14:38:50	0,8	1	0,8
04:13	14:38:54	0,81	1,2	0,972
04:18	14:38:59	0,8	1,2	0,96
04:23	14:39:04	0,81	1,4	1,134
04:28	14:39:09	0,8	1,5	1,2
04:33	14:39:14	0,81	1,1	0,891
04:38	14:39:19	0,82	1,1	0,902
04:43	14:39:24	0,81	1,2	0,972
04:48	14:39:29	0,82	1,2	0,984
04:53	14:39:34	0,82	1,2	0,984
04:58	14:39:39	0,82	1,5	1,23
05:03	14:39:44	0,81	1,2	0,972
05:08	14:39:49	0,82	2,1	1,722
05:13	14:39:54	0,81	2,3	1,863
05:18	14:39:59	0,82	2,2	1,804
05:22	14:40:03	0,81	1,9	1,539
05:27	14:40:08	0,82	1,8	1,476
05:32	14:40:13	0,81	1,8	1,458
05:37	14:40:18	0,81	1,8	1,458
05:43	14:40:24	0,81	2,2	1,782
05:47	14:40:28	0,81	2,3	1,863
05:52	14:40:33	0,81	2,2	1,782
05:57	14:40:38	0,81	2,4	1,944
06:01	14:40:42	0,8	2,3	1,84
06:07	14:40:48	0,81	2,2	1,782
06:12	14:40:53	0,8	1,8	1,44
06:17	14:40:58	0,8	1,9	1,52
06:22	14:41:03	0,79	1,8	1,422
06:27	14:41:08	0,81	1,7	1,377
06:32	14:41:13	0,8	1,7	1,36
06:37	14:41:18	0,81	1,9	1,539
06:42	14:41:23	0,8	1,6	1,28
06:48	14:41:29	0,81	1,7	1,377
06:54	14:41:35	0,8	1,8	1,44
06:59	14:41:40	0,81	1,5	1,215
07:04	14:41:45	0,81	1,6	1,296
07:09	14:41:50	0,81	1,2	0,972
07:14	14:41:55	0,82	1,3	1,066
07:18	14:41:59	0,82	1	0,82
07:23	14:42:04	0,81	1	0,81
07:28	14:42:09	0,81	1,2	0,972
07:33	14:42:14	0,82	1,1	0,902

07:38	14:42:19	0,82	1,2	0,984
07:42	14:42:23	0,81	1,1	0,891
07:47	14:42:28	0,82	1	0,82
07:52	14:42:33	0,82	1,2	0,984
07:57	14:42:38	0,82	1,2	0,984
08:02	14:42:43	0,81	1,3	1,053
08:07	14:42:48	0,82	1	0,82
08:12	14:42:53	0,82	0,8	0,656
08:16	14:42:57	0,82	0,7	0,574
08:21	14:43:02	0,83	0,8	0,664
08:26	14:43:07	0,82	0,8	0,656
08:31	14:43:12	0,82	0,9	0,738
08:35	14:43:16	0,83	0,7	0,581
08:40	14:43:21	0,83	0,8	0,664
08:45	14:43:26	0,82	0,7	0,574
08:50	14:43:31	0,83	0,9	0,747
08:54	14:43:35	0,83	0,7	0,581
08:59	14:43:40	0,83	0,7	0,581
09:05	14:43:46	0,83	0,8	0,664
09:09	14:43:50	0,83	0,5	0,415
09:15	14:43:56	0,83	0,3	0,249
09:20	14:44:01	0,84	0,5	0,42
09:25	14:44:06	0,83	0,5	0,415
09:31	14:44:12	0,84	0,4	0,336
09:35	14:44:16	0,82	0,5	0,41
09:40	14:44:21	0,83	0,4	0,332
09:44	14:44:25	0,83	0,4	0,332
09:50	14:44:31	0,82	0,4	0,328
09:55	14:44:36	0,83	0,4	0,332
10:00	14:44:41	0,83	0,4	0,332

Tabel 6: Gegevens van de zonnecel zonder spiegels met schaduw

§9.2.1.4 Zonnecel zonder spiegels zonder schaduw

Meting Tijd_s	Tijd van de meting	BusVoltage	Stroom_mA	Vermogen_mW
00:00	17:46:58	0,85	-0,1	-0,085
00:04	17:47:02	0,89	0,5	0,445
00:09	17:47:07	0,88	0,6	0,528
00:14	17:47:12	0,79	0,5	0,395
00:19	17:47:17	0,8	0,5	0,4
00:23	17:47:21	0,84	0,6	0,504
00:28	17:47:26	0,84	0,5	0,42
00:32	17:47:30	0,84	0,5	0,42
00:38	17:47:36	0,84	0,4	0,336
00:43	17:47:41	0,85	0,5	0,425
00:48	17:47:46	0,89	0,3	0,267
00:52	17:47:50	0,86	0,3	0,258
00:58	17:47:56	0,86	0,4	0,344
01:03	17:48:01	0,84	0,5	0,42
01:08	17:48:06	0,84	0,8	0,672
01:13	17:48:11	0,85	0,9	0,765
01:18	17:48:16	0,89	0,8	0,712
01:23	17:48:21	0,87	0,8	0,696
01:27	17:48:25	0,88	0,8	0,704
01:32	17:48:30	0,82	0,8	0,656
01:37	17:48:35	0,89	0,7	0,623
01:42	17:48:40	0,88	0,8	0,704
01:50	17:48:48	0,84	0,8	0,672
01:55	17:48:53	0,8	0,8	0,64
01:59	17:48:57	0,84	0,8	0,672
02:04	17:49:02	0,85	1,2	1,02
02:09	17:49:07	0,85	1,1	0,935
02:13	17:49:11	0,8	1	0,8
02:18	17:49:16	0,84	1,3	1,092
02:24	17:49:22	0,8	1,1	0,88
02:29	17:49:27	0,84	1,2	1,008
02:34	17:49:32	0,84	1,2	1,008
02:39	17:49:37	0,85	1,2	1,02
02:44	17:49:42	0,82	1,2	0,984
02:49	17:49:47	0,87	1	0,87
02:53	17:49:51	0,82	1,2	0,984
02:58	17:49:56	0,81	1,2	0,972
03:03	17:50:01	0,86	1,1	0,946
03:07	17:50:05	0,9	1,2	1,08
03:12	17:50:10	0,89	1,3	1,157
03:17	17:50:15	0,84	1,5	1,26
03:22	17:50:20	0,86	1,4	1,204

03:27	17:50:25	0,87	1,3	1,131
03:31	17:50:29	0,85	1,4	1,19
03:36	17:50:34	0,82	1,4	1,148
03:40	17:50:38	0,86	1,2	1,032
03:45	17:50:43	0,86	1,5	1,29
03:51	17:50:49	0,85	1,5	1,275
03:56	17:50:54	0,88	1,2	1,056
04:01	17:50:59	0,86	1,5	1,29
04:06	17:51:04	0,86	1,5	1,29
04:11	17:51:09	0,86	1,6	1,376
04:16	17:51:14	0,84	1,4	1,176
04:21	17:51:19	0,86	1,4	1,204
04:26	17:51:24	0,85	1,8	1,53
04:31	17:51:29	0,86	1,7	1,462
04:35	17:51:33	0,89	1,5	1,335
04:40	17:51:38	0,84	1,8	1,512
04:45	17:51:43	0,88	1,4	1,232
04:50	17:51:48	0,84	1,8	1,512
04:55	17:51:53	0,84	1,8	1,512
05:00	17:51:58	0,79	1,5	1,185
05:05	17:52:03	0,84	1,6	1,344
05:10	17:52:08	0,78	1,4	1,092
05:15	17:52:13	0,84	1,4	1,176
05:19	17:52:17	0,84	1,8	1,512
05:24	17:52:22	0,78	1,4	1,092
05:29	17:52:27	0,8	1,5	1,2
05:34	17:52:32	0,8	1,5	1,2
05:38	17:52:36	0,88	1,5	1,32
05:43	17:52:41	0,84	1,7	1,428
05:49	17:52:47	0,9	1,3	1,17
05:53	17:52:51	0,88	1,5	1,32
05:58	17:52:56	0,89	1,5	1,335
06:03	17:53:01	0,84	1,5	1,26
06:08	17:53:06	0,88	1,6	1,408
06:13	17:53:11	0,85	1,4	1,19
06:17	17:53:15	0,84	1,3	1,092
06:22	17:53:20	0,88	1,3	1,144
06:27	17:53:25	0,84	1,6	1,344
06:32	17:53:30	0,85	1,5	1,275
06:37	17:53:35	0,88	1,2	1,056
06:42	17:53:40	0,84	1,5	1,26
06:47	17:53:45	0,85	1,6	1,36
06:52	17:53:50	0,86	1,4	1,204
06:57	17:53:55	0,84	1,6	1,344
07:02	17:54:00	0,81	1,4	1,134
07:07	17:54:05	0,84	1,4	1,176
07:12	17:54:10	0,84	1,3	1,092
07:17	17:54:15	0,84	1,4	1,176

07:22	17:54:20	0,81	1,3	1,053
07:26	17:54:24	0,8	1,3	1,04
07:31	17:54:29	0,85	1,4	1,19
07:36	17:54:34	0,87	1,2	1,044
07:41	17:54:39	0,84	1,4	1,176
07:46	17:54:44	0,86	1,1	0,946
07:51	17:54:49	0,84	1,2	1,008
07:57	17:54:55	0,87	1,1	0,957
08:02	17:55:00	0,84	1,2	1,008
08:06	17:55:04	0,78	0,9	0,702
08:11	17:55:09	0,86	0,9	0,774
08:16	17:55:14	0,89	0,8	0,712
08:21	17:55:19	0,86	1	0,86
08:26	17:55:24	0,84	1	0,84
08:31	17:55:29	0,81	0,9	0,729
08:36	17:55:34	0,84	1,1	0,924
08:40	17:55:38	0,78	0,9	0,702
08:47	17:55:45	0,84	1,2	1,008
08:52	17:55:50	0,84	1,1	0,924
08:57	17:55:55	0,84	1	0,84

Tabel 7: Gegevens van de zonnecel zonder spiegels en zonder schaduw

§9.2.2 Resultaten in een grafiek

In de grafiek hieronder is te zien hoe het vermogen zich verhoudt over de tijdsperiode van ongeveer 9 min met een interval van 15 seconden. Het vermogen is verkregen door de natuurkundige formule met hun bijbehorende SI-stelsel eenheden:

$$P = U \times I$$

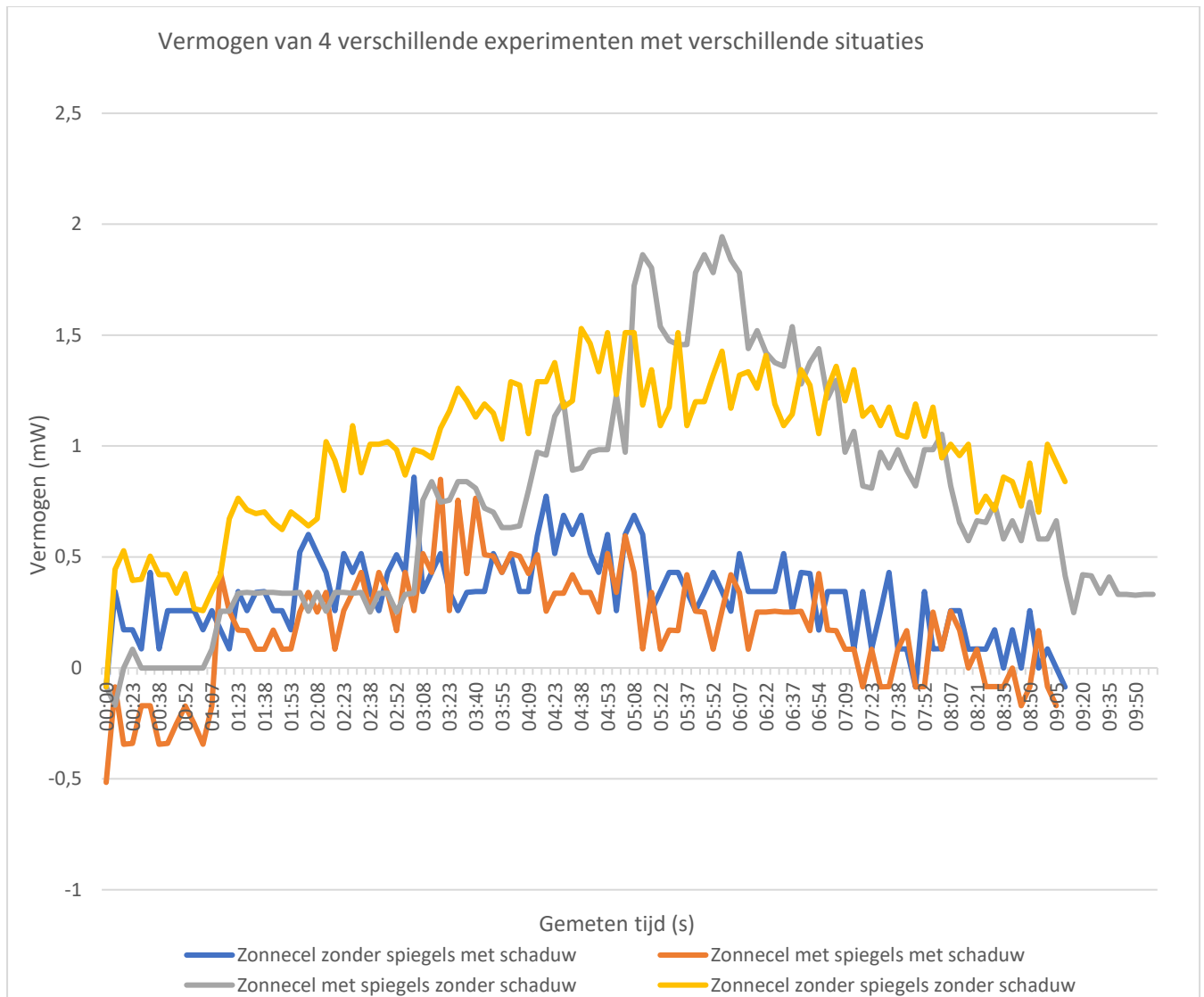
P: vermogen in watt (W)

U: spanning in volt (V)

I: stroomsterkte in ampère (A)

Voor deze experiment zijn de eenheden in andere vormen gebruikt: het vermogen (P) was in milliwatt (mW), doordat de stroomsterkte in milliampère (mA) was gemeten.

Verder zijn het berekende vermogen van elke meting voor beide experimenten weergegeven in de tabel hierboven.



Grafiek 2: Vermogen van 4 verschillende experimenten met verschillende situaties

§10 Conclusie

Na het uitvoeren van de experimenten om de hoofdvraag "Wat is het effect van spiegels en beweging op de lichtabsorptiecapaciteit van zonnecellen onder een hoek van 45 graden, zowel onder normale omstandigheden als bij aanwezigheid van schaduw?" te beantwoorden, kunnen we enkele belangrijke bevindingen samenvatten.

Ten eerste hebben we gekeken naar de invloed van beweging op de lichtabsorptiecapaciteit van zonnecellen onder een hoek van 45 graden. De hypothese was dat bewegende zonnecellen significant meer licht zouden absorberen dan stilstaande zonnecellen. Deze hypothese kan worden aangenomen, omdat onze data laten zien dat de bewegende zonnecel aanzienlijk meer licht heeft kunnen absorberen dan de stilstaande, zoals te zien is in de grafieken.

Vervolgens hebben we gekeken naar de invloed van spiegels op de lichtcapaciteit van zonnecellen, zowel bij normale omstandigheden als bij aanwezigheid van schaduw. De hypothese was dat de spiegels de lichtcapaciteit van de zonnecellen zouden verhogen, zowel bij aanwezigheid als afwezigheid van schaduw. Deze hypothese kan deels worden aangenomen en deels worden verworpen. We hebben gezien dat bij gebruik van spiegels de lichtopbrengst inderdaad toeneemt, maar dit effect wordt alleen waargenomen bij afwezigheid van schaduw. Bij aanwezigheid van schaduw presteren de spiegels juist niet goed, zoals blijkt uit de gegevens in de grafieken.

Op basis van deze experimenten kunnen we concluderen dat beweging wel degelijk effect heeft op de lichtabsorptiecapaciteit van zonnecellen onder een hoek van 45 graden. Ook blijkt dat spiegels een positief effect hebben, maar alleen bij afwezigheid van schaduw. Dit benadrukt het belang van zorgvuldige experimentele analyse en benadrukt het belang van verdere onderzoek om de prestaties van zonnecelsystemen te optimaliseren, vooral in verschillende omgevingscondities.

§11 Discussie

In hoofdstuk 8.4 van ons onderzoeksrapport staat de grootste discussie over de uitdagingen en problemen die we tegenkwamen tijdens het experiment. Een van de problemen die we tegenkwamen aan het eind, was dat de draad na een dag losraakte omdat deze niet goed gesoldeerd was. Bovendien bleek de delay van 200 die we een dag eerder gebruikten opeens niet meer te werken, samen met andere methoden. Dit leidde tot verstoringen in onze metingen en resultaten.

Een ander probleem dat we ondervonden was de bevestiging van de spiegels aan beide zijden van de zonnepanelen. Hierdoor ontstond er bij aanwezigheid van schaduw een fenomeen van dubbele schaduw op het zonnepaneel. De spiegels aan de linkerkant blokkeerden namelijk het licht van links, terwijl de spiegels aan de rechterkant het licht van rechts blokkeerden. Dit resulteerde in een dubbele schaduwwerking, wat duidelijk zichtbaar is in de grafieken door de daling van de lichtopbrengst wanneer het licht van het westen of het oosten kwam.

§12 Aanbevelingen

Als aanbeveling voor de opdrachtgever is het belangrijk om verder onderzoek te doen naar de optimale plaatsing en onderhoudsmethoden van de spiegels. Dit kan helpen om de efficiëntie van het systeem te verbeteren en de kosten op lange termijn te verlagen. Daarnaast is het aan te bevelen om specifiek te onderzoeken hoe de spiegels kunnen worden aangepast aan verschillende soorten daken, waardoor de prestaties geoptimaliseerd kunnen worden. Het is ook van belang om te zorgen dat de spiegels stevig genoeg zijn om bestand te zijn tegen harde wind, om schade te voorkomen. Tot slot is het raadzaam om te kijken naar manieren om het esthetische aspect te verbeteren, zodat het systeem niet alleen functioneel is, maar er

ook aantrekkelijk uitziet. Met deze aanpassingen kan het project nog succesvoller worden. Bij het gebruik van het solar panel tracker systeem is het slim om te kijken naar manieren om de kosten te verlagen. Misschien kunnen we een goedkopere vervanging ontwikkelen die net zo goed werkt. Dit kan helpen om het systeem betaalbaarder te maken en meer mensen te laten profiteren van zonne-energie.

§13 Nawoord

Het was een fantastisch proces, waarin we als individuen samenkwamen en als één geheel werkten aan deze meesterproef. De tijd die we hebben doorgebracht was niet alleen leerzaam, maar vooral ook ontzettend leuk. Het vak O&O heeft ons de mogelijkheid geboden om onze creativiteit en vaardigheden te ontplooien, en we hebben aan tal van competenties gewerkt die we nu met trots meenemen naar onze vervolgopleiding aan de universiteit. Onze oprechte dank gaat uit naar alle leraren die ons hebben begeleid en geïnspireerd tijdens dit traject. Ook willen we de opdrachtgever van dit project en de expert bedanken voor hun waardevolle input en begeleiding. Het was een eer om met hen samen te werken en bij te dragen aan dit project. We kijken vol enthousiasme uit naar de volgende uitdagingen die ons te wachten staan.

§14 Literatuurlijst

1. TNO-blik op 2030: Elk oppervlak benutten voor opwekken zonne-energie. (2001, 8 november). tno.nl/nl. <https://www.tno.nl/nl/newsroom/insights/2023/08/blik-2030-zonne-energie/>
2. - Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2023, 7 juli). Ruimte voor zonne-energie. Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl. <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2023/07/06/ruimte-voor-zonne-energie>
3. - Aardgasvrij. (2023, 13 september). RVO.nl. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/aardgasvrij>
- 4.
5. - Milieu Centraal. (n.d.). Energiebronnen: duurzaam of niet? <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/>
6. - Wat zijn zonnepanelen? - Zelfstroom. (2023, March 30). Zelfstroom. <https://www.zelfstroom.nl/zonnepanelen/wat-zijn-zonnepanelen/>
7. - photovoltaic. (2023).
8. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/photovoltaic>
9. - Benjamin. (2023). Wat is een omvormer en hoe werkt het? Happy Solar. <https://www.happysolar.nl/blog/omvormer>.
10. - Volta Solar. (2021, November 11). Hoe werkt een zonnepanelen systeem? - Volta Solar. <https://voltasolar.nl/kenniscentrum/advies/hoe-werken-zonnepanelen/>
11. - Zonnepanelen: van WP naar kWh - tenten solar. (2022, 8 juni). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/zonnepanelen-van-wp-naar-kwh/>

12. - NOS. (2018, 27 juli). Zonnepanelen zijn blij met de zon, niet met de hitte. NOS.
<https://nos.nl/artikel/2243431-zonnepanelen-zijn-blij-met-de-zon-niet-met-de-hitte>
13. - Standard test conditions - wiki.openmod-initiative.org. (z.d.).
https://wiki.openmodinitiative.org/wiki/Standard_test_conditions
14. - KNMI - Maandsommen zonneshijnduur, normalen, anomalieën. (z.d.).
<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografischeoverzichten/archief/maand/sq>
15. - Kiewit, H. (z.d.). 7 invloedsfactoren op de opbrengst van zonnepanelen | zonnepanelen | zonnestroom | EnergieAnders. <https://energieanders.nl/Zonnepanelen/7-invloedsfactoren-op-de-opbrengst-van-zonnepanelen.html>
16. - Milieu Centraal. (z.d.). Kunnen zonnepanelen op mijn dak. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/zonnepanelen-hoegeschikt-is-je-dak/#1-Check-de-richting-en-helling-van-je-dak>
17. - Zelfstroom, & Zelfstroom. (2017). Deze 9 factoren bepalen de opbrengst van jouw zonnepanelen. Zelfstroom. <https://www.zelfstroom.nl/blog/deze-9-factoren-bepalende-opbrengst-van-jouw-zonnepanelen/>
18. - De oriëntatie en beste ligging van zonnepanelen - ZonnepanelenKopen.be. (z.d.).
<https://www.zonnepanelenkopen.be/zonnepanelen-plaatsen/orientatie/>
19. - Vastelastenbond. (z.d.). Zonnepanelen | Voor- en nadelen.
<https://www.vastelastenbond.nl/zonnepanelen/voor-en-nadelen/>
20. - Homedeal. (2023). Onderhoud zonnepanelen. Homedeal NL.
<https://www.homedeal.nl/zonnepanelen/onderhoudzonnepanelen>
21. - Solvari, & Solvari. (2023). Nadelen zonnepanelen. Zonnepanelen.net.
<https://www.zonnepanelen.net/nadelen/>
22. - Solar2Led. (2023, 28 augustus). Begrippenlijst - Solar2Led. <https://solar2led.nl/begrippenlijst/>
23. - Soorten zonnepanelen: welke zijn er precies? | Zonne-energieGids.nl. (z.d.). <https://www.zonne-energiegids.nl/soorten-zonnepanelen/>
24. - Woolfson, M. M. (2000). The origin and evolution of the solar System. Astronomy & Geophysics, 41(1), 1.12-1.19. <https://doi.org/10.1046/j.1468-4004.2000.00012.x>
25. - Sun: Facts - NASA Science. (z.d.). <https://science.nasa.gov/sun/facts/>
26. - Binas (6de editie). (2013). [Informatieboek]. Noordhoff uitgevers
27. Het leven van een ster. (z.d.). Astronomie.nl. <https://www.astronomie.nl/21-het-leven-van-een-ster-51>
28. - Nuclear Physics experience. (z.d.).
<http://nupex.eu/index.php?lang=nl&g=textcontent/nuclearanduniverse/originofelements#:~:text=De%20ppI%2Dketen%20is%20de,reacties%20in%20de%20pp%2Dcyclus.>
29. - Natuurkunde.nl - straling. (z.d.). Stichting natuurkunde.nl.
<https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/84828/straling>
30. - Sander, V. (z.d.). Wat is de zon? Spacepage. <https://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/de-zon/wat-is-de-zon>
31. - Convective zone. (z.d.). <https://solar.physics.montana.edu/ypop/Spotlight/SunInfo/Conzone.html>

32. - De atmosfeer van de zon: fotosfeer, chromosfeer en corona. (2021b, juni 19). Kuuke's Sterrenbeelden. <https://www.kuuke.nl/de-atmosfeer-van-de-zon-fotosfeer-chromosfeer-en-corona/>
33. *Solar tracker*. (2013, May 24). solar-constructions.com. <https://solar-constructions.com/wordpress/solar-tracker-2/>
34. Palmetto. (2023, August 30). *Sun tracking solar panels: Worth it?* <https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it#>
35. Lane, C. (2023, November 1). *What is a solar tracker and is it worth the investment?* Solar Reviews. <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>
36. Tariq. (2023, November 13). *Wat is een servomotor? De belangrijkste eigenschappen en soorten*. Variodrive. <https://www.variodrive.nl/servomotor/wat-is-een-servomotor>
37. Wikipedia-bijdragers. (2022, August 14). *Lichtgevoelige weerstand*. Wikipedia. https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgevoelige_weerstand
38. Simadmin. (2022, June 10). *Wat is een Arduino Uno*. Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-is-een-arduino-uno/>
39. Simadmin. (2021, 20 april). *Wat zijn Jumper Wires?* Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-zijn-jumper-wires/>
40. Bits & Parts Elektronica. (z.d.). INA219 Stroommeter/Amperemeter + Spanningsmeter 26V $\pm$ 3,2A - Bits & Parts Elektronica. Bits & Parts | Maker Webshop Voor Arduino, Raspberry Pi en Andere Elektronica Projecten! <https://www.bitsandparts.nl/Stroommeter-Amperemeter-+-Spanningsmeter-26V-%C2%B13-2A-INA219-p1907344#:~:text=De%20INA219%20is%20echt%20een,zelfs%20tot%2026%20VDC%20meten>
41. Hans. (2022, 1 maart). *Beginnen met de ESP8266 als Arduino vervanger*. Tweaking4All.nl. <https://www.tweaking4all.nl/hardware/esp8266/beginnen-met-esp8266/>

§15 Bijlage

§15.1 Logboeken

Jorden :

https://caland-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/118585_calandlyceum_nl/EUfRoodDFmJCtPTtrFcF0e8B8VTvzZUdLzJlEm5S4UBT7A?e=6HrCwu

Hajar:

https://caland-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/120938_calandlyceum_nl/EZf8uuMHqfhMllvQWghrOZwBxojnOe125yyturVxvupYog?e=PrOBAO

Mohamed:

https://caland-my.sharepoint.com/:w:/r/personal/118620_calandlyceum_nl/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B6464B309-79D3-4396-A842-A30E930E816C%7D&file=logboek%20pws%20.docx&action=default&mobileredirect=true

Robin:

https://caland-my.sharepoint.com/personal/118620_calandlyceum_nl/_layouts/15/doc.aspx?sourcedoc={a63bb22b-35d0-49a6-9753-995418c30d83}&action=edit

§15.2 Foto's

https://caland-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/118585_calandlyceum_nl/EQIWooOGtPUNck78bqR_OtJYB1RkEflVZP34eYnOvxO75LQ?e=miZ2op