**Efficiëntere zonnepanelen**

Eindverslag

Afbeelding met hemel, buitenshuis, gebouw, zonnecel

Automatisch gegenereerde beschrijving

Maart 2024, Calandlyceum, Amsterdam

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

Afbeelding met tekst, ontwerp, gereedschap, begeleiding

Automatisch gegenereerde beschrijving

Afbeelding met Lettertype, Graphics, grafische vormgeving, logo

Automatisch gegenereerde beschrijving

**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:**

A.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. Als team hebben wij experimenten uitgevoerd en een 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 verder onderzoek en toepassingen in de zonne-energiesector.

​​

**​ Inhoudsopgave**

**​**

Inhoud

[1. Inleiding 6](#_Toc160240042)

[§2. Opdrachtgever en expert 7](#_Toc160240043)

[§3. Opdracht 8](#_Toc160240044)

[§3.1 Probleemstelling 9](#_Toc160240045)

[§4. Vooronderzoek 9](#_Toc160240046)

[§4.1 Zon 9](#_Toc160240047)

[§4.1.1 Gegevens 10](#_Toc160240048)

[§4.1.2 Structuur 11](#_Toc160240049)

[§4.2 Zonnepanelen 15](#_Toc160240050)

[§4.2.1 Wat zijn zonnepanelen? 15](#_Toc160240051)

[§4.2.2 Werking van zonnepanelen 16](#_Toc160240052)

[§4.2.3 Factoren voor de opbrengst 17](#_Toc160240053)

[§4.2.4 Voor- en nadelen 18](#_Toc160240054)

[§4.2.5 Eisen 19](#_Toc160240055)

[§4.2.6 Varianten 19](#_Toc160240056)

[§5 Solar panel tracking system 21](#_Toc160240057)

[§5.1 Wat is een solar panel tracking system 21](#_Toc160240058)

[§5.2 Wat zijn de voordelen en nadelen van een solar panel tracking systeem 22](#_Toc160240059)

[§6 Onderzoeksvragen 23](#_Toc160240060)

[§6.1 Hoofdvraag 23](#_Toc160240061)

[§6.1.1 Deelvragen van de hoofdvraag 24](#_Toc160240062)

[§6.1.2 Hypothese van de deelvragen 24](#_Toc160240063)

[§7 Methode 24](#_Toc160240064)

[§7.1 Onderzoeksopzet deelvraag 1 24](#_Toc160240065)

[§7.2 Onderzoeksopzet deelvraag 2 25](#_Toc160240066)

[§8 Literatuuronderzoek 25](#_Toc160240067)

[§8.1 Opstelling 25](#_Toc160240068)

[§8.1.1 Het model 25](#_Toc160240069)

[§8.1.2 Experimenteerkamer 27](#_Toc160240070)

[§8.1.3 Bouw van de solar tracking system 28](#_Toc160240071)

[§8.1.4 Bouw van het systeem van de INA219-sensor 33](#_Toc160240072)

[§8.2 Resultaten 40](#_Toc160240073)

[§8.2.1 Resultaten in een tabel 40](#_Toc160240074)

[§8.2.2 Resultaten in een grafiek 46](#_Toc160240075)

[§8.3 Conclusie 47](#_Toc160240076)

[§8.4 Discussie 48](#_Toc160240077)

[§9 Resultaten 48](#_Toc160240078)

[§9.1 Resultaten van deelvraag 1 48](#_Toc160240079)

[§9.2 Resultaten van deelvraag 2 49](#_Toc160240080)

[§9.2.1 Resultaten in een tabel 49](#_Toc160240081)

[§9.2.2 Resultaten in een grafiek 60](#_Toc160240082)

[§10 Conclusie 61](#_Toc160240083)

[§11 Discussie 62](#_Toc160240084)

[§12 Aanbevelingen 62](#_Toc160240085)

[§13 Nawoord 63](#_Toc160240086)

[§14 Literatuurlijst 63](#_Toc160240087)

[§15 Bijlage 66](#_Toc160240088)

[§15.1 Logboeken 66](#_Toc160240089)

[§15.2 Foto’s 66](#_Toc160240090)

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

**​**

# 1. Inleiding

Nederland verduurzaamt. In het Klimaatakkoord[[1]](#footnote-2) staat dat Nederland in 2050 een klimaat neutrale samenleving is. 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.

# §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 experience designbedrijf.

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.

Afbeelding met Menselijk gezicht, persoon, portret, Voorhoofd

Automatisch gegenereerde beschrijving Afbeelding met Menselijk gezicht, glimlach, persoon, Voorhoofd

Automatisch gegenereerde beschrijving

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 verlengd. 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.

 Figuur 3: Zonnepaneel op een dak.

## §3.1 Probleemstelling

Ons team zal ervoor zorgen dat zonnepanelen optimaal belicht kunnen worden met en zonder schaduw, waardoor zij een volle energieopbrengst kunnen realiseren met bestaande en niet bestaande technieken.

# §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]](#footnote-3) 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]](#footnote-4) 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.

Afbeelding met Hemellichaam, Amber, bol, zon

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 4: De zon

### §4.1.1 Gegevens

De zon heeft een massa van ongeveer 1,989 x 10^30 kg. De massa van de aarde is 5,9722 x 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]](#footnote-5)

### §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.

Afbeelding met sinaasappel, schermopname, astronomie

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 5: De structuur van de zon.

#### §4.1.2.1 Kern

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]](#footnote-6) Doordat dit gedeelte van de zon een hoge dichtheid en tempratuur heeft zijn er kernfusiereacties mogelijk. In sommige vallen heeft de tempratuur waarden van 15 miljoen graden Celsius bereikt. Hierdoor kunnen atoomkernen (waterstof) samensmelten om zo atoomkeren 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]](#footnote-7) 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 x 10^-12 joule.[[7]](#footnote-8)

Afbeelding met tekst, Lettertype, wit, lijn

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 3: Reactievergelijking van ppI-keten

1. 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]](#footnote-9)

Afbeelding met tekst, Lettertype, wit, lijn

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 4: Reactievergelijking van ppII-keten

1. 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]](#footnote-10)

Afbeelding met Lettertype, lijn, handschrift, wit

Automatisch gegenereerde beschrijving

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]](#footnote-11) 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]](#footnote-12) 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 8 minuten om van de kern naar de aarde te reizen.[[12]](#footnote-13) 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]](#footnote-14) 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 x 10^26 watt (of 3,8 x 10^26 joules per seconde).[[14]](#footnote-15) 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]](#footnote-16)

#### §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]](#footnote-17)

#### §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, 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]](#footnote-18)

#### §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/cm^3.[[18]](#footnote-19) 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]](#footnote-20)

## §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]](#footnote-21) Andere namen voor zonnepanelen zijn fotovoltaïsche- of photovoltaic-zonnepanelen of Pv-zonnepanelen.[[21]](#footnote-22) Photovoltaic betekent letterlijk vertaald, volgens het Cambridge Dictionary: in staat zijn om elektriciteit uit licht te produceren.[[22]](#footnote-23) Oftewel een paneel waarop zonlicht schijnt en het opgevangen zonne-energie omzet in elektrische energie.

In 1939 ontdekte de Franse fysicus Antoine César Becquerel hoe hij zonne-energie kon omzetten in elektriciteit, oftewel het fotovoltaïsche effect.[[23]](#footnote-24) 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 Becqureel (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 fotovoltaïsch-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”- stroom in 230V die de meeste apparaten in ons huis gebruiken.[[24]](#footnote-25)Verder heeft het een veiligheidsfunctie: het schakelt zichzelf uit als de bovengrens wordt gebruikt.[[25]](#footnote-26)

#### §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 een omrekenfactor van ongeveer 0,85, wat de standaard is in Nederland.[[26]](#footnote-27)

#### §4.2.3.2 Weersomstandigheden

Een andere factor die grote effecten heeft op de opbrengst zijn de weersomstandigheden. Hieronder vallen onder andere de temperatuur van de 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]](#footnote-28) 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 graden[[28]](#footnote-29), verkleint dit energieverschil, 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]](#footnote-30) 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.

#### §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]](#footnote-31) De opbrengst per richting (zuid-west-oost-noord) en helling (in graden).[[31]](#footnote-32) 100 procent betekent: de hoogst haalbare opbrengst.[[32]](#footnote-33)

### §4.2.4 Voor- en nadelen

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 verdien 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]](#footnote-34)

### §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]](#footnote-35) In de meteorologie is een luchtmassa of luchtsoort een groot volume lucht (aardatmosfeer) met een bepaalde temperatuur en luchtvochtigheid.[[35]](#footnote-36)

### §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]](#footnote-37)



Figuur 10: monokristallijn zonnepaneel

#### §4.2.6.2 Polykristallijn zonnepanelen

Polykristallijnen 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]](#footnote-38)



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 amorfe 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]](#footnote-39)



Figuur 12: amorf zonnepaneel

# §5 Solar panel tracking system

## §5.1 Wat is een solar panel tracking system

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]](#footnote-40)

## §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]](#footnote-41)

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]](#footnote-42)

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 worden 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, zowel onder normale omstandigheden als bij aanwezigheid van schaduw?

### §6.1.1 Deelvragen van de hoofdvraag

1. Hoe beïnvloedt de beweging van zonnecellen de lichtabsorptiecapaciteit bij een hoek van 45 graden.
2. 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
2. De hypothese luidt: Zowel bij aanwezigheid als afwezigheid van schaduw 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 theoretisch 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 hypotheses 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

Hieronder ziet u foto’s van het model dat wij hebben gebruikt van een sensor om de gegevens binnen te krijgen over het aantal gemeten voltage en stroomsterkte, om het circuit aan te sluiten op de zonnecel en de zonnecel zelf die wij dan zullen laten draaien aan de hand van een servomotor en een 3D-model.

Afbeelding met overdekt, muur, meubels, bureau

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 13: Vooraanzicht model

Afbeelding met gereedschap, kabel, Elektrische bedrading, machine

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 14: bovenaanzicht

Afbeelding met overdekt, vloer, meubels, bureau

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 15: linker zijaanzicht

Afbeelding met machine, vloer, grond, overdekt

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 16: Rechter zijaanzicht

### §8.1.2 Experimenteerkamer

Afbeelding met overdekt

Automatisch gegenereerde beschrijving Afbeelding met tekst, computer, overdekt, computer

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 17: Baan van de zon

Figuur 18: Opstelling net voor de werking

Afbeelding met overdekt, muur, Deurkruk, deur

Automatisch gegenereerde beschrijving

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

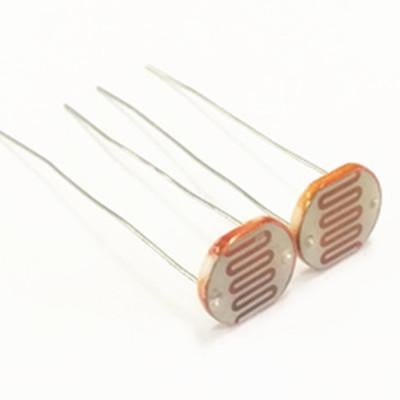
Een servo motor is een elektrische motor die elektrisch vermogen omzet in mechanische kracht. Het zorgt ervoor dat bijvoorbeeld in ons geval de zonnecel kan draaien. Dat gebeurt aan de hand van een feedbacksysteem en een regelaar. De regelaar ontvangt een signaal dat de gewenste positie, snelheid of 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]](#footnote-43)



Figuur 20: Servoservo 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’s orden 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]](#footnote-44)

Figuur 21: 2 LDR Figuur 22: 12 kV weerstand

* Arduino Uno board

Een arduino uno board is een van de meeste bekende microcontroller-ontwikkelingsboards die wordt gebruikt voor het bouwen van elektrische projecten en prototypes. Het brein van het board is meestal de microcontrollerchip een ATMega328. Hierdoor kunnen er verschillende taken worden uitgevoerd en interacties plaats vinden 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]](#footnote-45)

Afbeelding met Elektronisch onderdeel, Stroomkringonderdeel, Passief stroomkringonderdeel, elektronica

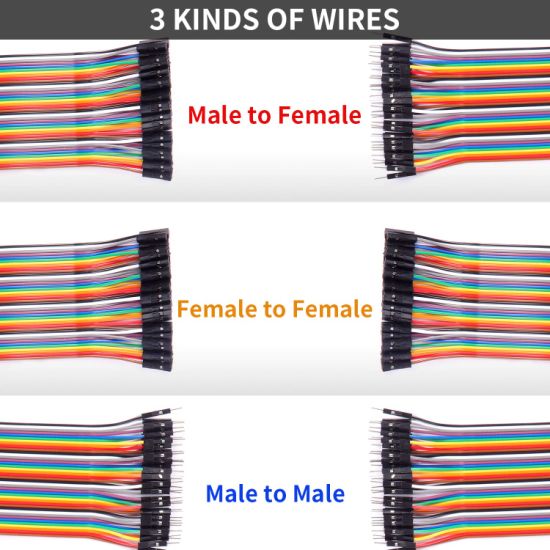
Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 23: Arduino uno board

* 20 jump wires

Jump wires zijn draden die je met elkaar kan verbinden zonder te solderen door de pin aan het uiteinde. Er zijn 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]](#footnote-46)



Figuur 24: drie verschillende jump wires

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

#### §8.1.3.2 Werking

Het solar panel system is een systeem dat ervoor zorgt dat de zonnecel kan draaien naar de kant waar het licht vandaan komt. Als de opstelling in een donkere ruimte staat 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 het Arduino Uno board. Dit wordt ook wel de 0v pin genoemd. Dit is het referentiepunt in een elektrisch systeem, waarmee spanning wordt gemeten. De rode lijnen van de LDR’s waar de 20 kV weerstand opstaat ook in serie schakeling, maar parallel met de servo motor. Ze zijn verbonden in de 5V. Dit zijn de power input pinnen. Er zijn ook twee aparte lijnen door 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 worden 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 de servo motor bij de regelaar een signaal binnenkrijgt van dee hoek waar het meeste licht vandaan komt. Dat wordt bepaald aan de hand van de hoeveelheid licht op de LDR’s vallen en dat van elkaar af te trekken. Is de waarde van LDR1 hoger dan zal de servo motor de zonnecel naar links draaien voor de optimale belichting en andersom ook.

Afbeelding met tekst, schermopname, software, Computerpictogram

Automatisch gegenereerde beschrijving

#### §8.1.3.3 Code arduino

Dit is de code om de servo motor te laten bewegen, waardoor de zonnecel met de zon mee zal draaien.

//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);

}

c

  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);

### §8.1.4 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. Een vermenigvuldiging tussen de stroom en de spanning zal ook het vermogen berekend worden.[[46]](#footnote-47)

Afbeelding met Elektronische engineering, elektronica, Stroomkringonderdeel, tekst

Automatisch gegenereerde beschrijving

Figuur 25: INA219-sensor

* ESP8266

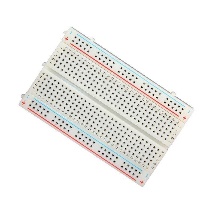
De ESP8266 is een microcontrollerchip die wordt gebruikt voor het maken van verbinding met draadloze netwerken en het uitvoeren van taken, zoals het verzenden en ontvangen van gegevens via Wi-Fi. Het heeft een ingebouwde TCP/IP-stack (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), waardoor het gemakkelijk 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]](#footnote-48)



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.



Figuur 27: 2 beardboaders

* 8 male jumper wires

Verwijzing naar §8.1.3.1

#### §8.1.4.2 Werking

Het proces om de gegevens binnen te krijgen 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 de zonnecel vallen. Via de jumper draden wordt er informatie doorgestuurd naar het INA219-sensor die de hoeveelheid stroom en spanning meet. Deze gegevens over de stroom en spanning zal via het Wifi, in ons geval een hotspot, worden doorgestuurd naar het google spreadsheet. Dit proces is meerdere malen herhaald op de ingevoerde delay van 5 seconden: delay is de uitsteltijd voordat het proces weer wordt herhaald.

#### §8.1.4.3 Code arduino

Hieronder is te zien welke code wij hebben gebruikt om de gegevens binnen te krijgen van de INA219-sensor.

#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 de code van de google spreadsheet te zien, die nodig is om de gegevens in een google spreadsheet te laten zien en gegevens via wifi te transporteren.

// Enter Spreadsheet ID here

var SS = SpreadsheetApp.openById('1Lfd4\_-4KR6BtMLtHO0FBGZO59r4sI9SCswglNKJrzqA');

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.");

  }

}

Afbeelding met elektronica, Elektronische engineering, Elektrische bedrading, Stroomkringonderdeel

Automatisch gegenereerde beschrijving

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 de INA219-sensor weergeven; bij experiment 1 zijn het gegevens van het experiment, waarbij de zonnecel meebeweegt met de lichtbron en bij experiment 2 de zonnecel die niet meebeweegt met de lichtbron.

De kolom, Meting Tijd\_s, geeft de gemeten tijd vanaf 0 seconden in mm/ss

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

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

De kolom, Stroom\_mA, is de gemeten stroomsterkte in milliampère (mA), in andere woorden de hoeveelheid energie dat per meting wordt uitgevoerd.

De kolom, Vermogen\_mW, geeft de gemeten spanning weer over elke meting in milliwatt (mW), dit is berekend door de formule: P = U x I. Meer uitleg in paragraaf: “*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 x I**

**P**: vermogen in watt (W)

**U**: spanning in volt (V)

**I**: stroomsterkte in ampère (A)

Voor dit experiment zijn de eenheden in andere gemeten: het vermogen (P) is in milliwatt (mW), doordat de stroomsterkte in milliampère (mA) is gemeten.

Grafiek 1: Vermogen van experimenten met en zonder lichtsensor

## §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.

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 krijgen 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 wij 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 de lichtinval met papier. Door de dikte 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 was.

# §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 beide tabellen hieronder zijn de verkregen gegevens van de INA219-sensor weergeven; bij experiment 1 zijn het gegevens van het experiment, waarbij de zonnecel meebeweegt met de lichtbron en bij experiment 2 de zonnecel die niet meebeweegt met de lichtbron.

De kolom, Meting Tijd\_s, geeft de gemeten tijd vanaf 0 seconden in mm/ss

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

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

De kolom, Stroom\_mA, is de gemeten stroomsterkte in milliampère (mA), in andere woorden de hoeveelheid energie dat per meting wordt uitgevoerd.

De kolom, Vermogen\_mW, geeft de gemeten spanning weer over elke meting in milliwatt (mW), dit is berekend door de formule: P = U x I. Meer uitleg in paragraaf: “*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 x I**

**P**: vermogen in watt (W)

**U**: spanning in volt (V)

**I**: stroomsterkte in ampère (A)

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

Grafiek 2: Vermogen van de zonnecelen in de vier experiment in 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. 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 is het mogelijk een goedkoop ontwerp te ontwikkelen, of om de kosten van het systeem te verlagen. 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/>

1. - 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>

1. - Aardgasvrij. (2023, 13 september). RVO.nl. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/aardgasvrij>
2. - Milieu Centraal. (n.d.). Energiebronnen: duurzaam of niet?

<https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/>

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

1. - photovoltaic. (2023).
2. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/photovoltaic>

1. - Benjamin. (2023). Wat is een omvormer en hoe werkt het? Happy Solar. <https://www.happysolar.nl/blog/omvormer>.
2. - Volta Solar. (2021, November 11). Hoe werkt een zonnepanelen systeem? - Volta Solar. <https://voltasolar.nl/kenniscentrum/advies/hoe-werken-zonnepanelen/>
3. - Zonnepanelen: van WP naar kWh - tenten solar. (2022, 8 juni). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/zonnepanelen-van-wp-naar-kwh/>
4. - 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>
5. - Standard test conditions - wiki.openmod-initiative.org. (z.d.). <https://wiki.openmodinitiative.org/wiki/Standard_test_conditions>
6. - KNMI - Maandsommen zonneschijnduur, normalen, anomalieën. (z.d.). <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografischeoverzichten/archief/maand/sq>
7. - 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](https://energieanders.nl/Zonnepanelen/7-%20invloedsfactoren-op-de-opbrengst-van-zonnepanelen.html)
8. - 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>
9. - 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/>
10. - De oriëntatie en beste ligging van zonnepanelen - ZonnepanelenKopen.be. (z.d.). <https://www.zonnepanelenkopen.be/zonnepanelen-plaatsen/orientatie/>
11. - Vastelastenbond. (z.d.). Zonnepanelen | Voor- en nadelen. <https://www.vastelastenbond.nl/zonnepanelen/voor-en-nadelen/>
12. - Homedeal. (2023). Onderhoud zonnepanelen. Homedeal NL.

<https://www.homedeal.nl/zonnepanelen/onderhoudzonnepanelen>

1. -Solvari, & Solvari. (2023). Nadelen zonnepanelen. Zonnepanelen.net. <https://www.zonnepanelen.net/nadelen/>

1. - Solar2Led. (2023, 28 augustus). Begrippenlijst - Solar2Led. <https://solar2led.nl/begrippenlijst/>

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

1. - 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>
2. - Sun: Facts - NASA Science. (z.d.). <https://science.nasa.gov/sun/facts/>
3. - Binas (6de editie). (2013). [Informatieboek]. Noordhoff uitgevers
4. Het leven van een ster. (z.d.). Astronomie.nl. <https://www.astronomie.nl/21-het-leven-van-een-ster-51>
5. - 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>.
6. -Natuurkunde.nl - straling. (z.d.). Stichting natuurkunde.nl. <https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/84828/straling>
7. - Sander, V. (z.d.). Wat is de zon? Spacepage. <https://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/de-zon/wat-is-de-zon>
8. - Convective zone. (z.d.). <https://solar.physics.montana.edu/ypop/Spotlight/SunInfo/Conzone.html>
9. - 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/>
10. *Solar tracker*. (2013, May 24). solar-constructions.com. <https://solar-constructions.com/wordpress/solar-tracker-2/>
11. Palmetto. (2023, August 30). *Sun tracking solar panels: Worth it?* [https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it#](https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it)
12. 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>
13. Tariq. (2023, November 13). *Wat is een servomotor? De belangrijkste eigenschappen en soorten*. Variodrive. <https://www.variodrive.nl/servomotor/wat-is-een-servomotor>
14. Wikipedia-bijdragers. (2022, August 14). *Lichtgevoelige weerstand*. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgevoelige_weerstand>
15. Simadmin. (2022, June 10). *Wat is een Arduino Uno*. Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-is-een-arduino-uno/>
16. Simadmin. (2021, 20 april). *Wat zijn Jumper Wires?* Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-zijn-jumper-wires/>
17. 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>
18. 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:

[logboek pws .docx](https://caland-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/118620_calandlyceum_nl/EQmzZGTTeZZDqEKjDpMOgWwBZX6Bw_7FvIDtee1QKkXmdw?e=8o1ecX)

Robin:

[https://caland-my.sharepoint.com/personal/118620\_calandlyceum\_nl/\_layouts/15/doc.aspx?sourcedoc={a63bb22b-35d0-49a6-9753-995418c30d83}&action=edit](https://caland-my.sharepoint.com/personal/118620_calandlyceum_nl/_layouts/15/doc.aspx?sourcedoc=%7ba63bb22b-35d0-49a6-9753-995418c30d83%7d&action=edit)

## §15.2 Foto’s

<Https://caland-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/118585_calandlyceum_nl/EQIWoOGtPUNCk78bqR_OtJYB1RkEflVZP34eYnOvxO75LQ?e=miZ2op>

1. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2021, March 18). *Het Akkoord*. Klimaatakkoord. <https://www.klimaatakkoord.nl/klimaatakkoord>

   [↑](#footnote-ref-2)
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> [↑](#footnote-ref-3)
3. *Sun: Facts - NASA Science*. (z.d.). <https://science.nasa.gov/sun/facts/> [↑](#footnote-ref-4)
4. *Binas* (6de editie). (2013). [Informatieboek]. Noordhoff uitgevers. [↑](#footnote-ref-5)
5. *Het leven van een ster*. (z.d.). Astronomie.nl. <https://www.astronomie.nl/21-het-leven-van-een-ster-51> [↑](#footnote-ref-6)
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>. [↑](#footnote-ref-7)
7. Kijk voetnoot 10 [↑](#footnote-ref-8)
8. Kijk voetnoot 10 [↑](#footnote-ref-9)
9. Kijk voetnoot 10 [↑](#footnote-ref-10)
10. *Natuurkunde.nl - straling*. (z.d.). Stichting natuurkunde.nl. <https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/84828/straling> [↑](#footnote-ref-11)
11. Kijk voetnoot 8 [↑](#footnote-ref-12)
12. Kijk voetnoot 8 [↑](#footnote-ref-13)
13. Kijk voetnoot 8 [↑](#footnote-ref-14)
14. Kijk voetnoot 3 [↑](#footnote-ref-15)
15. Sander, V. (z.d.). *Wat is de zon?* Spacepage. https://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/de-zon/wat-is-de-zon [↑](#footnote-ref-16)
16. *Convective zone*. (z.d.). <https://solar.physics.montana.edu/ypop/Spotlight/SunInfo/Conzone.html>  [↑](#footnote-ref-17)
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/>  [↑](#footnote-ref-18)
18. Wikipedia-bijdragers. (2023). Zon. *Wikipedia*. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zon#cite_note-Woolfson00-1> [↑](#footnote-ref-19)
19. Kijk voetnoot 7 [↑](#footnote-ref-20)
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/> [↑](#footnote-ref-21)
21. Wat zijn zonnepanelen? - Zelfstroom. (2023, March 30). Zelfstroom. <https://www.zelfstroom.nl/zonnepanelen/wat-zijn-zonnepanelen/> [↑](#footnote-ref-22)
22. photovoltaic. (2023). <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/photovoltaic> [↑](#footnote-ref-23)
23. Geschiedenis zonnepanelen - Tenten Solar. (2022, September 15). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/geschiedenis-zonnepanelen/> [↑](#footnote-ref-24)
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

    [↑](#footnote-ref-25)
25. Volta Solar. (2021, November 11). Hoe werkt een zonnepanelen systeem? - Volta Solar. <https://voltasolar.nl/kenniscentrum/advies/hoe-werken-zonnepanelen/>

    Solvari, & Solvari. (2023). Zonnepanelen [Complete gids 2023]. Zonnepanelen.net. <https://www.zonnepanelen.net/#zonnepanelen-3-stappen>   [↑](#footnote-ref-26)
26. Zonnepanelen: van WP naar kWh - tenten solar. (2022, 8 juni). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/zonnepanelen-van-wp-naar-kwh/>  [↑](#footnote-ref-27)
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>  [↑](#footnote-ref-28)
28. Standard test conditions - wiki.openmod-initiative.org. (z.d.). <https://wiki.openmodinitiative.org/wiki/Standard_test_conditions>  [↑](#footnote-ref-29)
29. KNMI - Maandsommen zonneschijnduur, normalen, anomalieën. (z.d.). <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografischeoverzichten/archief/maand/sq>  [↑](#footnote-ref-30)
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  [↑](#footnote-ref-31)
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/> [↑](#footnote-ref-32)
32. De oriëntatie en beste ligging van zonnepanelen - ZonnepanelenKopen.be. (z.d.). <https://www.zonnepanelenkopen.be/zonnepanelen-plaatsen/orientatie/> [↑](#footnote-ref-33)
33. Vastelastenbond. (z.d.). Zonnepanelen | Voor- en nadelen. <https://www.vastelastenbond.nl/zonnepanelen/voor-en-nadelen/> [↑](#footnote-ref-34)
34. Homedeal. (2023). Onderhoud zonnepanelen. Homedeal NL. <https://www.homedeal.nl/zonnepanelen/onderhoudzonnepanelen/> [↑](#footnote-ref-35)
35. Kijk voetnoot 34 [↑](#footnote-ref-36)
36. Soorten zonnepanelen: welke zijn er precies? | Zonne-energieGids.nl. (z.d.). <https://www.zonne-energiegids.nl/soorten-zonnepanelen/> [↑](#footnote-ref-37)
37. Kijk voetnoot 36 [↑](#footnote-ref-38)
38. Kijk voetnoot 36 [↑](#footnote-ref-39)
39. *Solar tracker*. (2013, May 24). solar-constructions.com. <https://solar-constructions.com/wordpress/solar-tracker-2/> [↑](#footnote-ref-40)
40. Palmetto. (2023, August 30). *Sun tracking solar panels: Worth it?* [https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it#](https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it) [↑](#footnote-ref-41)
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> [↑](#footnote-ref-42)
42. Tariq. (2023, November 13). *Wat is een servomotor? De belangrijkste eigenschappen en soorten*. Variodrive <https://www.variodrive.nl/servomotor/wat-is-een-servomotor> [↑](#footnote-ref-43)
43. Wikipedia-bijdragers. (2022, August 14). *Lichtgevoelige weerstand*. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgevoelige_weerstand> [↑](#footnote-ref-44)
44. Simadmin. (2022, June 10). *Wat is een Arduino Uno*. Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-is-een-arduino-uno/> [↑](#footnote-ref-45)
45. Simadmin. (2021, 20 april). *Wat zijn Jumper Wires?* Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-zijn-jumper-wires/> [↑](#footnote-ref-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> [↑](#footnote-ref-47)
47. Hans. (2022, 1 maart). Beginnen met de ESP8266 als Arduino vervanger. Tweaking4All.nl. <https://www.tweaking4all.nl/hardware/esp8266/beginnen-met-esp8266/> [↑](#footnote-ref-48)