

A large, dark-colored solar panel is tilted at an angle, likely 45 degrees, as indicated by the text. It is mounted on a metal frame and is situated in a grassy field. In the background, there is a lush green landscape with rolling hills, a small village with a prominent church spire, and a clear blue sky with some clouds. The panel's surface is covered in a grid of smaller cells, and its tilt is supported by a series of metal brackets and poles.

Hoe beïnvloedt de beweging van zonnecellen de lichtabsorptiecapaciteit bij een hoek van 45 graden?

Mohamed el Idrissi

Robin Koirala

Jorden Go

Voorwoord

Wij zijn Robin Koirala, Mohamed el Idrissi en Jorden Go van het Calandlyceum Amsterdam. Wij zitten in het 6e jaar van het VWO, dus onze tijd op de middelbare school komt bijna tot een eind. Om het jaar af te sluiten maken wij een profielwerkstuk (pws). Dit is een groot werkstuk dat we schrijven, over een onderwerp die wij interessant vinden. We hebben alle drie het vakkenpakket natuur en techniek en wilden daarom graag iets doen wat te maken had met natuurkunde. Ook wilden wij graag wat doen wat het milieu ten goede zou doen, waardoor we misschien ook een steentje kunnen bijdragen aan het verduurzamen van deze wereld.

Inhoud

§1. Inleiding	5
§1.1 Onderzoeksvraag.....	5
§1.2 Hypothese	5
§2 Zon	6
§2.1 Wat is de zon eigenlijk?	6
§2.1.1 Gegevens.....	6
§2.1.2 Structuur.....	7
§2.2 Hoe ontstaat een zonnestraal en hoe komt het op de aarde terecht?	9
§2.2.1 De proton-protoncyclus.....	9
§2.2.2 Gammastraling.....	10
§2.2.3 Zonneneutrino's	11
§2.2.4 Energieopbrengst	11
§3 Zonnepaneel.....	12
§3.1 Wat is een zonnepaneel?	12
§3.2 Welke factoren hebben invloed op het rendement en efficiëntie?.....	12
§3.2.1 Aantal zonnepanelen en de oppervlakte.....	13
§3.2.2 Weeromstandigheden	13
§3.2.3 Positie van zonnepanelen.....	14
§3.2.4 Schematische weergave positieve en negatieve effecten	15
§3.3 Welke soorten zonnepanelen bestaat er?	16
§3.4 Wat gebeurt er als er een zonnestraal op een zonnecel komt?	17
§4 Solar panel tracking system	19
§4.1 Wat is een solar panel tracking system.....	19
§4.2 Wat zijn de voordelen en nadelen van een solar panel tracking systeem.....	19
§5 Conclusie literatuuronderzoek	20
§6 Onderzoeksopzet.....	20
§7 Opstelling.....	21
§7.1 Het model.....	21
§7.2 Het experimenteerkamer	22
§7.3 bouw van de solar tracking system	24
§7.3.1 Materialen	24
§7.3.2 Code arduino.....	27
§7.3.3 De werking.....	28
§7.4 De bouw van het systeem van de INA219-sensor	30
§7.4.1 Materialen	30

§7.4.2 Code arduino	31
§7.4.3 code google sheet	34
§7.4.4 De werking.....	36
§8 De resultaten	37
§8.1 Resultaten in een tabel	37
§8.1.1 Zonnecel met lichtsensor	37
§8.1.2 Zonnecel zonder lichtsensor.....	40
§8.2. Resultaten in een grafiek.....	43
§9 Conclusie.....	44
§10 Discussie	45
§11 Bronnenlijst.....	46
§12 Bijlage	48
§12.1 Foto's van de experimenten	48

§1. Inleiding

Na uitgebreide discussies en brainstormsessies over mogelijke onderwerpen voor ons profielwerkstuk, kwamen we uiteindelijk uit bij het interessante onderwerp van groepsdruk. Echter, gezien het feit dat we al betrokken waren bij een lopend project over de efficiëntie van zonnepanelen binnen het vak Onderzoeken en Ontwerpen (O&O), leek het ons verstandig om deze twee interesses te combineren.

Hoewel onze eerste onderzoeksvraag gericht was op het bepalen van de optimale hellingshoek voor zonnepanelen, ontdekten we al snel dat dit onderwerp al behandeld was in ons O&O-project. Dit leidde ons tot het verkennen van alternatieve onderwerpen. Tijdens ons proces van het bedenken van ideeën om de prestaties van zonnepanelen te verbeteren, werden we geboeid door de mogelijkheid van sensoren die zonnecellen in staat stellen om mee te bewegen met de positie van het licht gedurende de dag. Dit fascinerende aspect van technologie leek ons een goed onderwerp om verder te onderzoeken, vooral gezien het potentieel ervan om ons lopende project bij O&O te verbeteren. Daarom hebben we besloten om onze onderzoeksvraag aan te passen. We zijn ervan overtuigd dat deze nieuwe onderzoeksvraag niet alleen dient als de kern van ons profielwerkstuk, maar ook als een waardevolle bijdrage zal fungeren binnen ons project bij O&O, waar we streven naar het ontwerpen van innovatieve oplossingen voor duurzame energieopwekking.

§1.1 Onderzoeksvraag

Om het onderzoek beter en gericht uit te kunnen voeren hebben wij een onderzoeksvraag opgesteld. De onderzoeksvraag luidt: Hoe beïnvloedt de beweging van zonnecellen de lichtabsorptiecapaciteit bij een hoek van 45 graden. Wij hebben voor dit onderzoeksvraag gekozen, omdat wij zijn ervan overtuigd dat deze nieuwe onderzoeksvraag niet alleen dient als de kern van ons profielwerkstuk, maar ook als een waardevolle bijdrage zal fungeren binnen ons project bij O&O, waar we streven naar het ontwerpen van innovatieve oplossingen voor duurzame energieopwekking.

§1.2 Hypothese

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

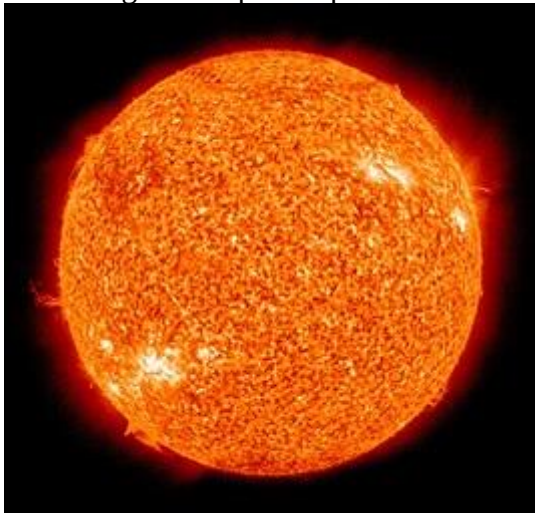
Aan de hand van een literatuuronderzoek en een experiment zullen wij deze hypothese aannemen of verwerpen. Dit doen wij aan de hand van acht deelvragen en test om te kijken of onze conclusie uit het literatuuronderzoek gelijk is aan de conclusie die uit het experiment komt.

§2 Zon

§2.1 Wat is de zon eigenlijk?

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.¹

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.² Gedurende dit proces zal de aarde uiteindelijk onbewoonbaar worden, omdat de levenscyclus van de zon een impact zal hebben op de omstandigheden op onze planeet.



Figuur 1: De zon

§2.1.1 Gegevens

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

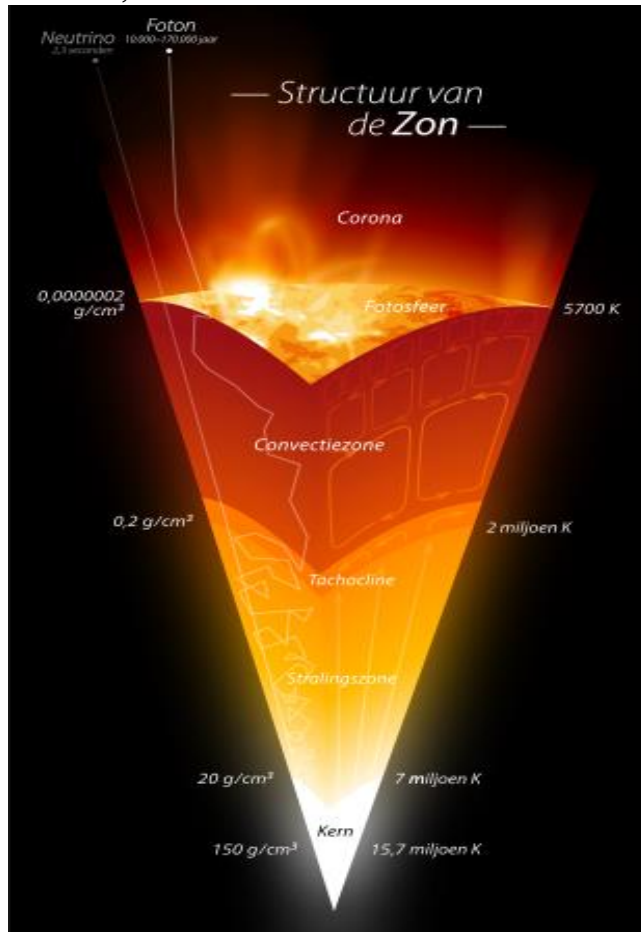
¹ Woolfson, M. M. (2000). The origin and evolution of the solar System. *Astronomy & Geophysics*, 41(1), 1.12-1.19.
<https://doi.org/10.1046/j.1468-4004.2000.00012.x>

² Sun: Facts - NASA Science. (z.d.). <https://science.nasa.gov/sun/facts/>

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.³

§2.1.2 Structuur

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



Figuur 2: structuur van de zon

§2.1.2.1 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.⁴ Doordat dit gedeelte van de zon een hoge dichtheid en temperatuur heeft zijn er kernfusiereacties mogelijk. In sommige vallen heeft de temperatuur waarden van 15 miljoen graden Celsius bereikt. Hierdoor kunnen atoomkernen (waterstof) samensmelten om zo atoomkernen van andere,

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>

zwaardere elementen te vormen (helium). Dit hele proces noemen wij de pp-cyclus (de protonprotoncyclus).

§2.1.2.2 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.⁵

§2.1.2.3 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.⁶

§2.1.2.4 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.⁷

⁵ Sander, V. (z.d.). *Wat is de zon?* Spacepage. <https://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/de-zon/wat-is-de-zon>

⁶ *Convective zone.* (z.d.). <https://solar.physics.montana.edu/vpop/Spotlight/SunInfo/Conzone.html>

⁷ *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/>

§2.1.2.5 Chromosfeer

De chromosfeer ligt boven de fotosfeer. De chromosfeer is ongeveer 8.000 kilometer dik. De dichtheid en de temperatuur zijn allebei laag in de chromosfeer. De temperatuur komt bij het einde tot maar liefst 20.000 kelvin. De dichtheid varieert van 10^{-4} tot 10^{-15} g/cm³.⁸ 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.

§2.1.2.6 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.⁹

§2.2 Hoe ontstaat een zonnestraal en hoe komt het op de aarde terecht?

§2.2.1 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.¹⁰ Nu zijn er drie mogelijke reactiepaden om helium-4 te produceren, het meest voorkomende heliumisotoop in de zon:

1. De ppI-keten:

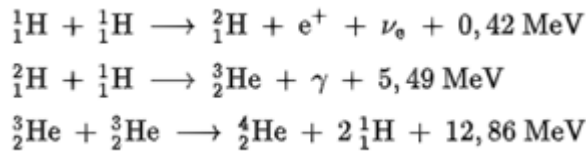
De ppI-keten is de belangrijkste en de meest voorkomende keten. Het is verantwoordelijk voor 86% van de totale energieproductie. In deze keten smelten twee helium-3-kernen samen tot een helium-4 waarbij de twee overgeblevende protonen vrijkomen en beschikbaar zijn om deel te nemen aan andere reacties binnen de proton-protoncyclus. Bij dit proces komt in totaal 24,68 MeV vrij, oftewel 4×10^{-12} joule.¹¹

⁸ Wikipedia-bijdragers. (2023). Zon. *Wikipedia*. https://nl.wikipedia.org/wiki/Zon#cite_note-Woolfson00-1

⁹ Kijk voetnoot 7

¹⁰ *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.>

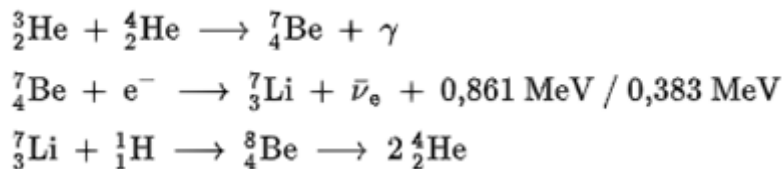
¹¹ Kijk voetnoot 10



Figuur 3: Reactievergelijking van ppI-keten

2. De ppII-keten:

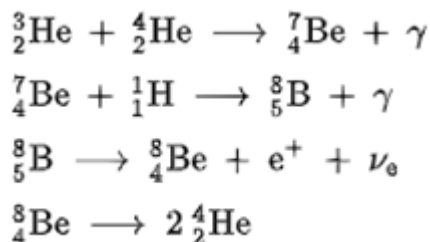
De ppII-keten produceert ongeveer 14% van de totale energieproductie. In dit proces versmelten een helium-3-kern en een eerder gevormde helium-4-kern, wat resulteert in de vorming van beryllium-7, terwijl tegelijkertijd een foton wordt uitgestraald. Beryllium-7 is echter een onstabiele (radioactieve) isotoop en vervalt na gemiddeld 54 dagen door elektronenvangst (het opvangen van een elektron uit de omgeving), waardoor het verandert in lithium-7 en tegelijkertijd een neutrino (is een elektrisch ongeladen subatomair, elementair deeltje) wordt uitgezonden. Vervolgens fuseert het lithium-7 met een deuteriumkern, wat resulteert in de vorming van twee helium-4-kernen.¹²



Figuur 4: Reactievergelijking van ppII-keten

3. De ppIII-keten:

De ppIII-keten, ten slotte, draagt slechts bij aan 0,02% van de totale energieproductie van de zon. In dit proces smelt het onstabiele beryllium-7 samen met een proton, wat de vorming van boor-8 en de afgifte van een foton mogelijk maakt. Boor-8 is zeer onstabiel en vervalt snel door de uitstoot van een positron en een neutrino, waardoor het isotoop beryllium-8 ontstaat. Beryllium-8 is zelf ook zeer instabiel en valt onmiddellijk uiteen in twee helium-4 kernen.¹³



Figuur 5: Reactievergelijking van ppIII-keten

§2.2.2 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.¹⁴ De gammastraling in

¹² Kijk voetnoot 10

¹³ Kijk voetnoot 10

¹⁴ *Natuurkunde.nl - straling*. (z.d.). Stichting natuurkunde.nl. <https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/84828/straling>

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.¹⁵ Uiteindelijk worden deze fotonen in alle richtingen en stralen in de ruimte uitgezonden.

§2.2.3 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 elektrisch 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.¹⁶ Doordat ze heel zwak zijn kunnen ze ongehinderd op aarde komen.

§2.2.4 Energieopbrengst

Er wordt ongeveer 700 miljoen ton waterstof per seconde omgezet in ongeveer 695 miljoen ton helium.¹⁷ Er zit hier een verschil in van ongeveer 4.5 miljoen ton materiaal dat wordt omgezet in energie. De vrijgekomen energie wordt uitgestraald in de vorm van gammastraling (fotonen) en neutrino's. De totale energieproductie van de zon bedraagt ongeveer $3,8 \times 10^{26}$ watt (of $3,8 \times 10^{26}$ joules per seconde).¹⁸ Deze totale energieproductie zorgt voor de verwarming en verlichting van de aarde en andere hemellichamen in ons zonnestelsel.

¹⁵ Kijk voetnoot 8

¹⁶ Kijk voetnoot 8

¹⁷ Kijk voetnoot 8

¹⁸ Kijk voetnoot 3

§3 Zonnepaneel

§3.1 Wat is een zonnepaneel?

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.¹⁹ Andere namen voor zonnepanelen zijn fotovoltäische- of photovoltaic-zonnepanelen of Pv-zonnepanelen.²⁰ Photovoltaic betekent letterlijk vertaald, volgens het Cambridge Dictionary: in staat zijn om elektriciteit uit licht te produceren.²¹ 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 fotovoltäische effect.²² 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 Becquerel (1788-1878)

§3.2 Welke factoren hebben invloed op het rendement en efficiëntie?

De opbrengst die zonnepanelen met zich meebrengen kan afhankelijk zijn van meerdere factoren, zoals het weer, hoelang de zon schijnt, de plaatsing enzovoort. Hieronder

¹⁹ Milieu Centraal. (n.d.). Energiebronnen: duurzaam of niet?

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

²⁰ Wat zijn zonnepanelen? - Zelfstroom. (2023, March 30). Zelfstroom. <https://www.zelfstroom.nl/zonnepanelen/wat-zijn-zonnepanelen/>

²¹ photovoltaic. (2023). <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/photovoltaic>

²² Geschiedenis zonnepanelen - Tenten Solar. (2022, September 15). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/geschiedenis-zonnepanelen/>

behandelen we één van de belangrijkste factoren die de opbrengst van de fotovoltaïsche panelen bepalen.

§3.2.1 Aantal zonnepanelen en de oppervlakte

Het aantal zonnepanelen heeft een evenredig verband met de opbrengst, dus hoe groter de 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.²³ Bij het omrekenen van één Wattpiek naar Kilowattuur (kWh) moet het Wattpiek worden vermenigvuldigd met de omrekenfactor van ongeveer 0,85, wat het standaard is in Nederland.²⁴

§3.2.2 Weeromstandigheden

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

1. Temperatuur

Hoe warmer de zonnepanelen worden des te minder efficiënt de zonnepanelen worden. Deze uitspraak wordt ook ondersteund door professor Wim Sinke van TNO in een NOS artikel.²⁵ 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 graden²⁶, verkleint deze energieverval, waardoor het zonnepaneel minder efficiënt is.

2. Zonuren

Het aantal uren waarin de zon schijnt is ook een belangrijk factor, wat weer afhangt van waar je woont. Hoe verder je west gaat in Nederland hoe meer zonuren er vallen en hoe ooster je bevindt hoe minder zonne-uren er vallen. Dit is ook te zien in figuur 7.1-7.4 van KNMI, waarin de aantal zonuren van de eerste maand van de seizoenen weergegeven is.²⁷

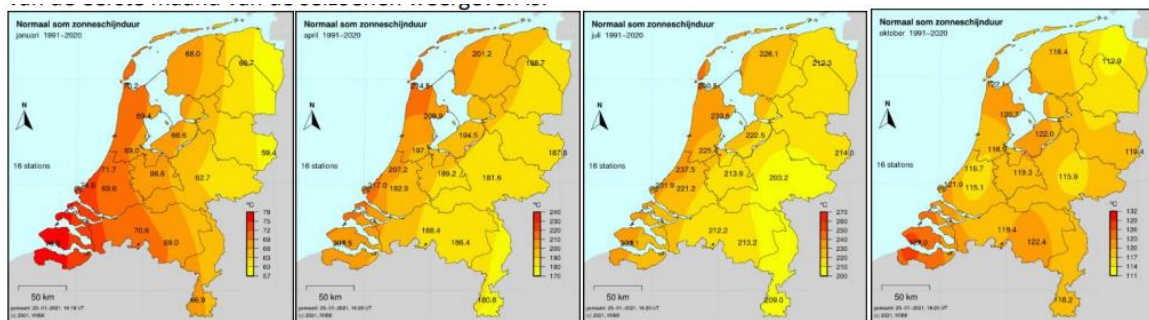
²³ Wikipedia-bijdragers. (2023). Wattpiek. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Wattpiek>

²⁴ Zonnepanelen: van WP naar kWh - tenten solar. (2022, 8 juni). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/zonnepanelen-van-wp-naar-kwh/>

²⁵ 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>

²⁶ – Standard test conditions - wiki.openmod-initiative.org. (z.d.). https://wiki.openmodinitiative.org/wiki/Standard_test_conditions

²⁷ KNMI - Maandsommen zonnenschijnduur, normalen, anomalieën. (z.d.). <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografischeoverzichten/archief/maand/sq>



Figuur 7: Zonuren van 1991 tot 2020 van elk seizoen

3. Schaduw

Een van de grootste hindering in de het rendement is het schaduw dat op het zonnepaneel valt door bijvoorbeeld een boom of een wolk. Het schaduw heeft een omgekeerd evenredig verband: Hoe meer schaduw op het zonnepaneel valt, des te minder straling van de zon op het paneel wordt opgevangen, kortom minder of juist geen opbrengst.

§3.2.3 Positie van zonnepanelen

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

1. Richting van het zonnepaneel²⁸

De richting waarop de zonnepanelen op het dak liggen heeft een groot invloed in de opbrengst. Doordat de zon vanaf Nederland opkomt in het zuidoosten en ondergaat in het zuidwesten, is het de optie om zonnepanelen richting het zuiden te richten. Om het richting het noorden te plaatsen is slechte optie doordat de zon daar minder schijnt. Dit kunt u weer zien in het volgende figuur 8.

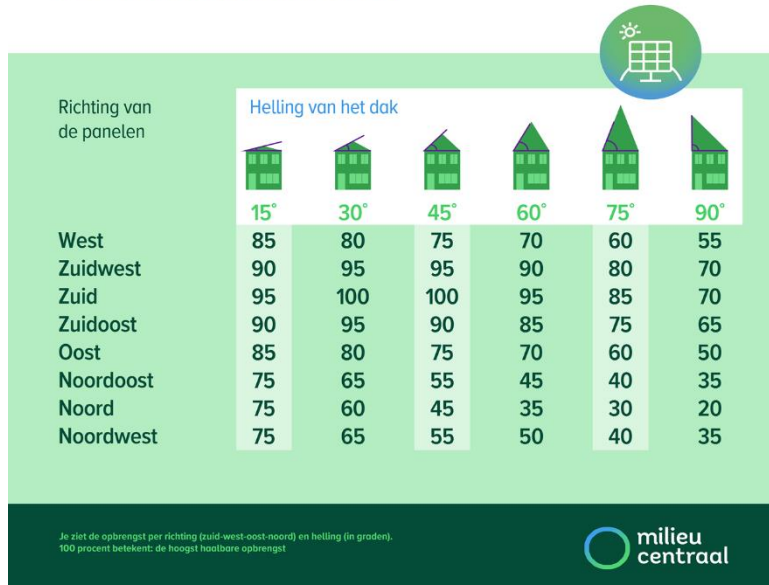
2. Hellingshoek

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.²⁹

²⁸ – 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>

²⁹ 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/>

INVLOED RICHTING EN HELLING BIJ ZONNEPANELEN



Figuur 8: De opbrengst per richting (zuid-oost-west-noord) en hellingshoek.

§3.2.4 Schematische weergave positieve en negatieve effecten

Factoren op het rendement ¹²¹³	
Positieve effecten	Negatieve effecten
Dak gericht naar de zon	Dak niet gericht naar de zon
Hellingshoek tussen 30-40°	Hellingshoek buiten de 30-40°
Groter aantal zonnepanelen	Minder aantal zonnepanelen
Langere zonuren	Minder zonuren
Lage temperatuur van zonnepaneel	Hoger temperatuur van zonnepaneel
Beter kwaliteit zonnepaneel	Slechter kwaliteit zonnepaneel
Groter levensduur	Korter levensduur
Groter vermogen	Minder vermogen
Regio dicht bij het westen	Regio verder weg van het westen
Helder weer	Bewolkt

3031

Tabel 1: Positieve en negatieve factoren op het rendement

³⁰ Kijk voetnoot 29

³¹ Zonnepanelen: opbrengst & rendement | Feenstra. (n.d.). Feenstra.

<https://www.feenstra.com/zonnepanelen/info/rendement/#:~:text=Als%20u%2010%20zonnepanelen%20heeft,de%20gemiddeld%20benodigde%20energie%20op.>

§3.3 Welke soorten zonnepanelen bestaat er?

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



Figuur 9: Verschillende soorten zonnepanelen

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. Zie figuur 9. Monokristallijn panelen behaalt een hogere rendement en produceren enkele procenten meer energie dan polykristallijne panelen. Hoewel monokristallijn zonnepanelen duurder zijn, bieden ze een beter rendement per vierkante meter. In het kort, ze vormen de ideale keuze voor huiseigenaren met beperkte ruimte op hun dak die streven naar maximale energieopbrengst.³²

2. Polykristallijn zonnepanelen

Het woord “poly” in Polykristal betekent vanuit het Grieks: veel, oftewel “veel kristallen” zonnepaneel. De vele kristallen in de zonnecellen resulteert in een schervenvoetnoot. Deze panelen zijn prijsgunstig en bieden een redelijk hoog rendement, hoewel ze iets minder efficiënt zijn dan monokristallijn 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.³³

3. Amorf zonnepanelen

Dunne-film zonnepanelen maken gebruik van amorf silicium, dat geen kristalstructuur heeft, waardoor ze uiterst flexibel zijn. Deze amorse zonnepanelen leveren het laagste rendement in vergelijking met de andere 3 soorten. Een voordeel tegenover het lage rendement is dat de

³² – Soorten zonnepanelen: welke zijn er precies? | Zonne-energieGids.nl. (z.d.). <https://www.zonne-energiegids.nl/soorten-zonnepanelen/>

³³ Kijk voetnoot 32

prijs wel lager is. Verder zijn ze minder geschikt voor dak toepassingen, maar worden voornamelijk gebruikt op voertuigen zoals bussen, zeilboten en jachten.³⁴

4. Glas-glas-zonnepanelen

De glas-glas-zonnepanelen is een nieuw variant waarbij naam het verklapt hoe het in elk kaar zit: glas-glas-zonnepaneel. Het zonnepaneel bevindt zich tussen de glazen, oftewel beter verpakt”, hierdoor is de degradatieduur verlengt. Echter, door het gebruik van glas is de totale prijs wel duurder dan reguliere zonnepanelen.³⁵



Figuur 10: Glas-glas-zonnepaneel

§3.4 Wat gebeurt er als er een zonnestraal op een zonnecel komt?

Om de werking van het zonnepaneel in zijn geheel te begrijpen splitsen we het proces op in 3 stappen: zonnepaneel, omvormer en stroomkast.

- **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 nietmetalen zitten).³⁶ Wanneer er zonlicht op het silicium-laag schijnt, loopt er tussen het element een elektrische stroom op, waardoor er uiteindelijk elektrische stroom wordt opgewekt, die nog niet bruikbaar is voor de dagelijkse behoeften. Oftewel omzetting van Zonne-energie(fotonen) naar gelijkstroom.

- **Omvormer**

De taak van de omvormen, zoals de naam het letterlijk zegt, zet de gelijkstroom van de zonnepanelen om in wisselstroom. Oftewel de opgewekte stroom om in “bruikbare” stroom

³⁴ Kijk voetnoot 33

³⁵ Wat zijn de voordelen en nadelen van glas-glas zonnepanelen? (z.d.).
<https://www.beterduurzaam.nl/veelgestelde-vragen/wat-zijn-glas-glas-zonnepanelen>

³⁶ Wikipedia-bijdragers. (2021). Metalloïde. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Metallo%C3%AFde>

in 230V die de meeste apparaten in ons huis gebruiken.³⁷ Verder heeft het een veiligheidsfunctie: het schakelt zichzelf af als de bovengrens wordt gebruikt.³⁸

- **Stroomkast**

De stroomkast heeft als functie om de omgezette wisselspanning, oftewel de bruikbare stroom, te verdelen over het elektriciteits-punten in een huis of het gebouw. Als er te veel energie is opgewekt, stuurt de stroomkast de extra energie naar het elektriciteitsnet. Voor de extra opgewekte energie kan je een vergoeding krijgen doordat je hebt meegedragen aan het opwekken van schoner energie. Echter, kan het soms ook zijn dat je juist geld moet terugbetalen doordat er te veel energie is opgewekt, terwijl er geen opslagplaats is voor de extra energie. Deze variatie kan afhangen van de specifieke energieleveranciers.³⁹

³⁷ Benjamin. (2023). Wat is een omvormer en hoe werkt het? Happy Solar.
<https://www.happysolar.nl/blog/omvormer#:~:text=Een%20omvormer%20is%20een%20%20apparaat,een%20stabele%20wisselstroom%20van%20230V>.

³⁸ Volta Solar. (2021, November 11). Hoe werkt een zonnepanelen systeem? - Volta Solar.
<https://voltasolar.nl/kenniscentrum/advies/hoe-werken-zonnepanelen/>

³⁹ – te veel zonnepanelen op je dak is dat erg? (2023, 17 mei). zonneplan.nl. Geraadpleegd op 21 december 2023, van <https://www.zonneplan.nl/blog/te-veel-zonnepanelen-op-jedak-is-dat-erg>

§4 Solar panel tracking system

§4.1 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.⁴⁰

§4.2 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.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

⁴⁰ Solar tracker. (2013, May 24). solar-constructions.com. <https://solar-constructions.com/wordpress/solar-tracker-2/>

⁴¹ Palmetto. (2023, August 30). Sun tracking solar panels: Worth it? <https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it#>

kosten van een zonne-energie-installatie met ongeveer 20% tot 50% verhogen, afhankelijk van het type tracker en de omvang van het systeem.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 wordt dit soort systemen vaker gebruikt in grootschalige commerciële zonne-energieprojecten, waar de hogere initiële kosten worden gecompenseerd door de grotere energieopbrengst en lagere operationele kosten op lange termijn.

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

§5 Conclusie literatuuronderzoek

Uit dit literatuuronderzoek kunnen we halen dat het bewegingssysteem invloed heeft op hoe goed zonnecellen licht opvangen, vooral als de zon op een hoek van 45 graden staat. Een systeem dat de zonnepanelen laat bewegen om de zon te volgen, zorgt ervoor dat ze altijd het meeste zonlicht vangen.

Hierdoor kunnen ze meer licht opvangen maken vergeleken met panelen die niet bewegen. Bij een hoek van 45 graden, wanneer de zon wat lager aan de hemel staat, zorgt het bewegingssysteem ervoor dat de panelen recht op de zon gericht zijn. Dit betekent dat ze zoveel mogelijk licht vangen. Statische panelen blijven daarentegen op één plek, waardoor ze mogelijk minder licht opvangen.

Kort gezegd, het bewegingssysteem van een zonnepaneel-installatie verbetert hoe goed de panelen licht opvangen, vooral bij een hoek van 45 graden. Dit betekent dat ze meer energie kunnen maken dan panelen die niet bewegen.

§6 Onderzoeksopzet

Deze onderzoeksvraag is beantwoord op basis van een kwantitatief onderzoek. Het PWS is onderverdelen in twee delen: Een theoretische kader en een experiment. Er is eerst een literatuuronderzoek gedaan om meer te weten te komen over het onderwerp. Het literatuuronderzoek is uitgevoerd met behulp van literatuur die op het internet te vinden is. Het doel van het literatuuronderzoek was om een duidelijk antwoord te formuleren op de onderzoeksvraag. Om het antwoord betrouwbaarder te maken hebben wij een experiment

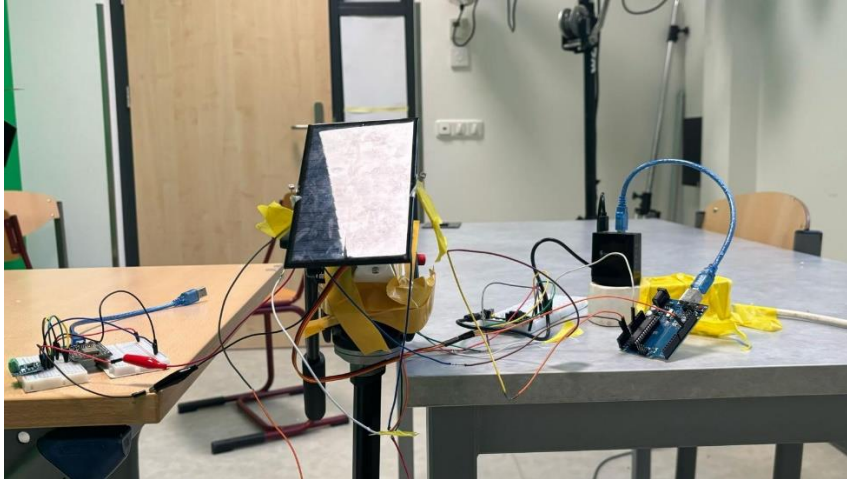
⁴² Lane, C. (2023, November 1). *What is a solar tracker and is it worth the investment?* Solar

Reviews. <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>

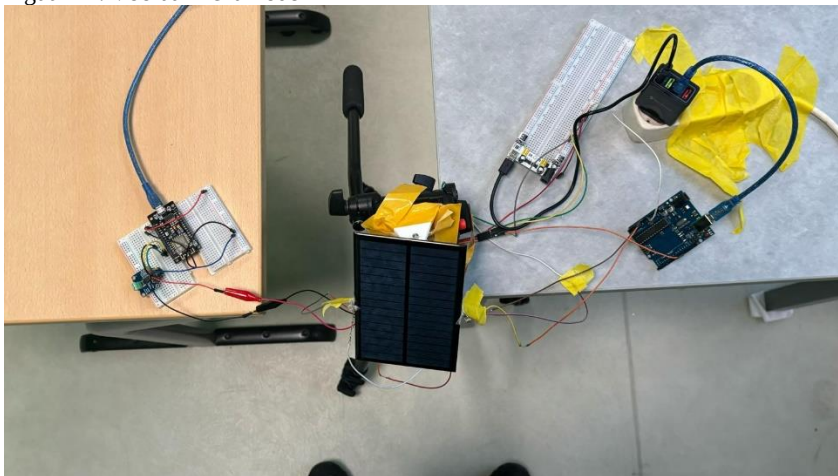
uitgevoerd. Aan de hand van de resultaten kunnen wij dan onze hypothese aannemen of verwerpen wat direct de onderzoeksvraag beantwoordt.

§7 Opstelling

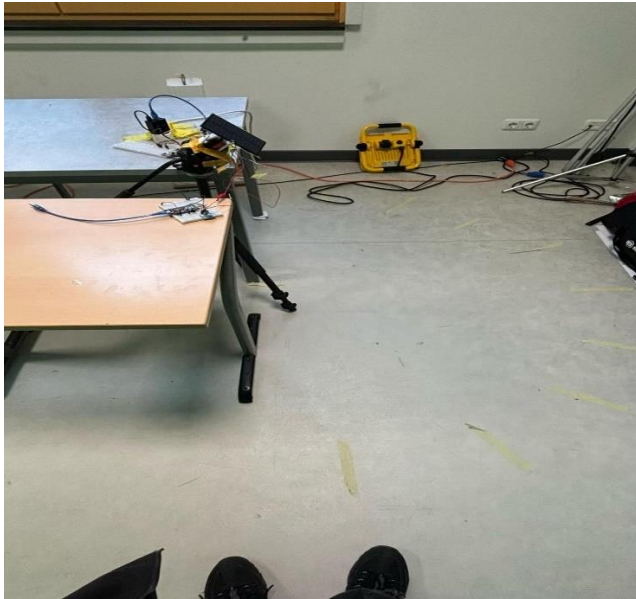
§7.1 Het model



Figuur 11: Vooraanzicht model



Figuur 12: bovenaanzicht

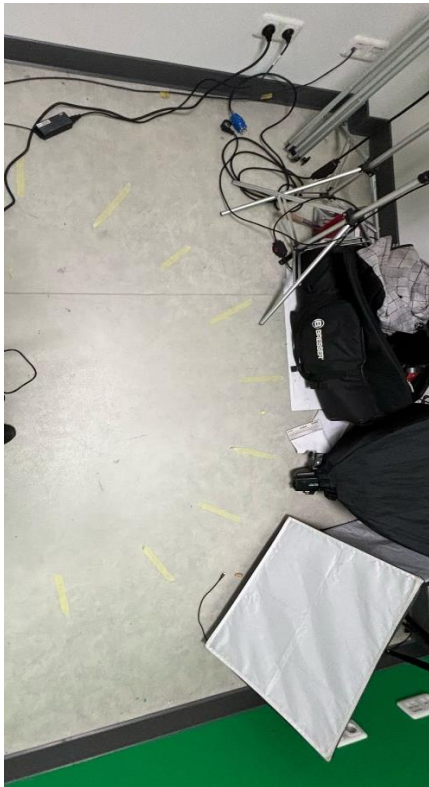


Figuur 13: linker zijaanzicht



Figuur 14: Rechter zijaanzicht

§7.2 Het experimenteerkamer



Figuur 15: Baan van de zon



Figuur 16: Opstelling net voor de werking



Figuur 17: om het licht tegen te houden

§7.3 bouw van de solar tracking system

§7.3.1 Materialen

- Servo digital waterproof TD-8120MG 20 KG

Een servo motor is een elektrische motor die elektrisch vermogen omzet in mechanische kracht. Het zorgt ervoor dat bijvoorbeeld in ons geval de zonnecel kan laten draaien. Dat gebeurt aan de hand van een feedbacksysteem en een regelaar. De regelaar ontvangt een signaal dat de gewenste positie, snelheid of hoek van de motor aangeeft, en vergelijkt dit met de werkelijke positie van de motor zoals gemeten door de feedbacksensor. Op basis van dit verschil stuurt de regelaar de nodige commando's naar de motor om ervoor te zorgen dat deze naar de gewenste positie beweegt en daar blijft.⁴³

⁴³ Tariq. (2023, November 13). *Wat is een servomotor? De belangrijkste eigenschappen en soorten*. Variodrive. <https://www.variodrive.nl/servomotor/wat-is-een-servomotor>



Figuur 17: servo motor

- 2 LDR's en 2 12 kV weerstanden

Een Light dependent Resistor (lichtgevoelige weerstand) of wel een LDR is een elektrische component dat zijn weerstand verandert op basis van de hoeveel licht waaraan het wordt blootgesteld. LDR worden vaak gebruikt bij elektrische systemen en apparaten waarbij de hoeveelheid licht moet worden gedetecteerd. De meeste LDR's bestaan uit een halfgeleider genaamd cadmiumsulfide (CdS). De halfgeleider bevindt zich dan tussen elektrodes. Als er licht valt op de LDR's dan zorgt cadmiumsulfide voor de verandering in de elektrische geleiding, wat resulteert in een verandering in de weerstand van de LDR's. Als het donker is hebben LDR's een hoge weerstand, omdat er weinig licht is die de halfgeleider activeert. Als er in een donkere ruimte licht valt op de LDR dan zal de weerstand verlaagd worden, de halfgeleider kan nu wel geactiveerd worden. Dus hoe zwakker het licht, hoe hoger de weerstand en visa versa. Het is een omgekeerd evenredig verband met elkaar.⁴⁴



Figuur 18: 2 LDR's

- Arduino Uno board



Figuur 19: 12 kV weerstand

⁴⁴ Wikipedia-bijdragers. (2022, August 14). *Lichtgevoelige weerstand*. Wikipedia.

[https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgevoelige weerstand](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgevoelige_weerstand)

Een arduino uno board is een van de meeste bekende microcontroller-ontwikkelingsboard die wordt gebruikt voor het bouwen van elektrische projecten en prototypes. Het brein van het board is de microcontrollerchip meestal een ATmega328. Hierdoor kunnen er verschillende taken worden uitgevoerd en interacties plaatsen met aangesloten componenten. Het bevat 14 digitale pinnen en 6 analoge pinnen. De pinnen worden gebruikt voor het aansluiten en besturen van externe apparaten, sensoren en modules. Er zijn ook power pinnen. Deze hebben allemaal te maken met de stroom. Het board heeft ook een voedingsbron nodig. Dat gebeurt aan de hand van een USB-verbinding of via een externe gelijkstroombron, bijvoorbeeld een batterij. De USB-verbinding wordt ook gebruikt om programma's te uploaden naar de microcontroller. Als er iets fout gaat bevat de arduino uno board ook een reset-knop hierdoor wordt de microcontroller opnieuw opgestart.⁴⁵



Figuur 20: Arduino uno board

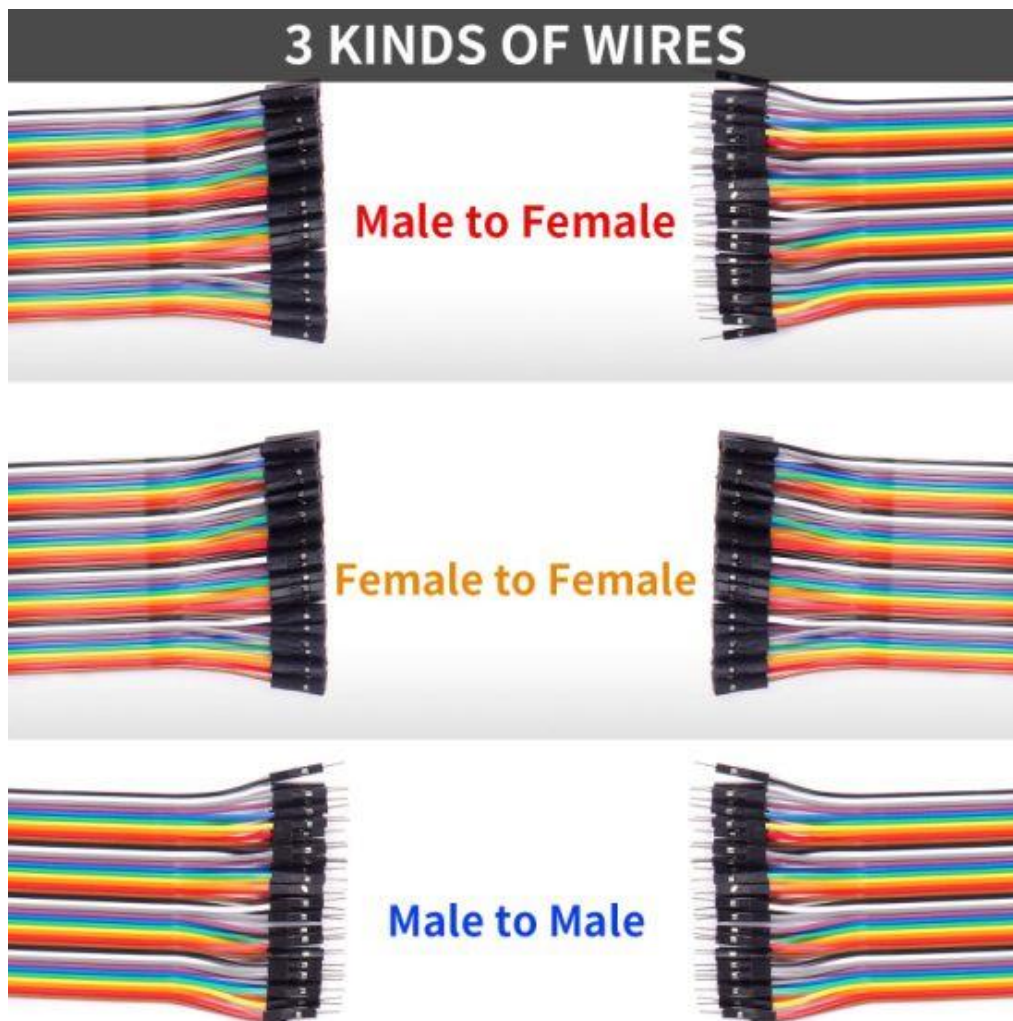
- 20 jump wires

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

1. F/F – Female/Female, ze hebben een connector aan beide kanten waar de pin in kan.
2. M/M – Male/Male, ze hebben een connector met een pin eraan vast.
3. F/M – Female/Male, ze hebben een connector met aan de ene kant een pin en aan de andere kant een plek waar de pin in kan.⁴⁶

⁴⁵ Simadmin. (2022, June 10). Wat is een Arduino Uno. Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-is-een-arduino-uno/>

⁴⁶ Simadmin. (2021, 20 april). Wat zijn Jumper Wires? Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-zijn-jumper-wires/>



Figuur 21: drie soorten jump wires

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

§7.3.2 Code arduino

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

int prv1;
int prv2;
```

```

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

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

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

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

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

```

§7.3.3 De werking

Het solar panel system is een systeem dat ervoor zorgt dat het zonnecel kan draaien naar de kant waar het licht vandaan komt. Als de opstelling in een donkere ruimte zit en er schijnt licht op LDR's aan de zijkanten van de zonnecel dan zal de halfgeleider geactiveerd worden en de weerstand lager worden hierdoor kan er een signaal worden gegeven via de jump wires

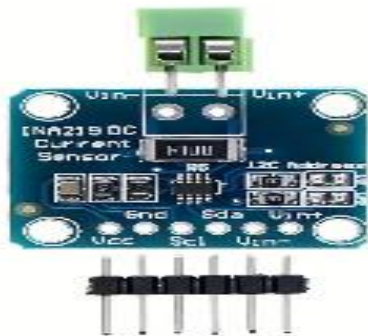
naar het Uno board. Zoals u kunt zien op de foto zie je dat de zwarte lijnen van de LDR's in serie met elkaar zijn, maar parallel met de servo motor. Ze zijn verbonden in de GND (ground) van de arduino Uno board. Dit wordt ook wel de 0v pin genoemd. Dit is het referentiepunt in een elektrisch systeem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

§7.4 De bouw van het systeem van de INA219-sensor

§7.4.1 Materialen

- INA219-sensor

De INA219 is een stroom- en spanningsmeter-chip ontwikkeld door Texas Instruments. Het wordt gebruikt om stroom en spanning te meten in elektronische circuits. Verder een vermenigvuldiging kan ook het vermogen berekend worden.⁴⁷



Figuur 22: 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.⁴⁸

⁴⁷ Bits & Parts Elektronica. (z.d.). INA219 Stroommeter/Amperemeter + Spanningsmeter 26V $\pm$ 3,2A - Bits & Parts Elektronica. Bits & Parts | Maker Webshop Voor Arduino, Raspberry Pi en Andere Elektronica Projecten! <https://www.bitsandparts.nl/Stroommeter-Amperemeter-+-Spanningsmeter-26V-%C2%B13-2A-INA219-p1907344#:~:text=De%20INA219%20is%20echt%20een,zelfs%20tot%2026%20VDC%20meten>

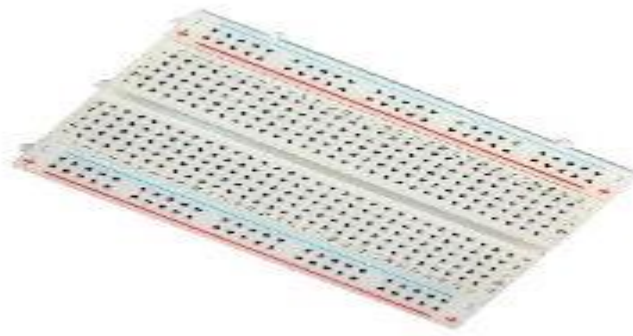
⁴⁸ Hans. (2022, 1 maart). Beginnen met de ESP8266 als Arduino vervanger. Tweaking4All.nl. <https://www.tweaking4all.nl/hardware/esp8266/beginnen-met-esp8266/>



Figuur 23: 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 24: twee breadboard's

- 8 male jumper wires

Verwijzing naar §6.3.1

§7.4.2 Code arduino

```
#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);
}

```

§7.4.3 code google sheet

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

```

// Enter Spreadsheet ID here
var SS = SpreadsheetApp.openById('1Lfd4_-
4KR6BtMLtH00FBGZ059r4sI9SCswg1NKJrzqA');
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;

    }

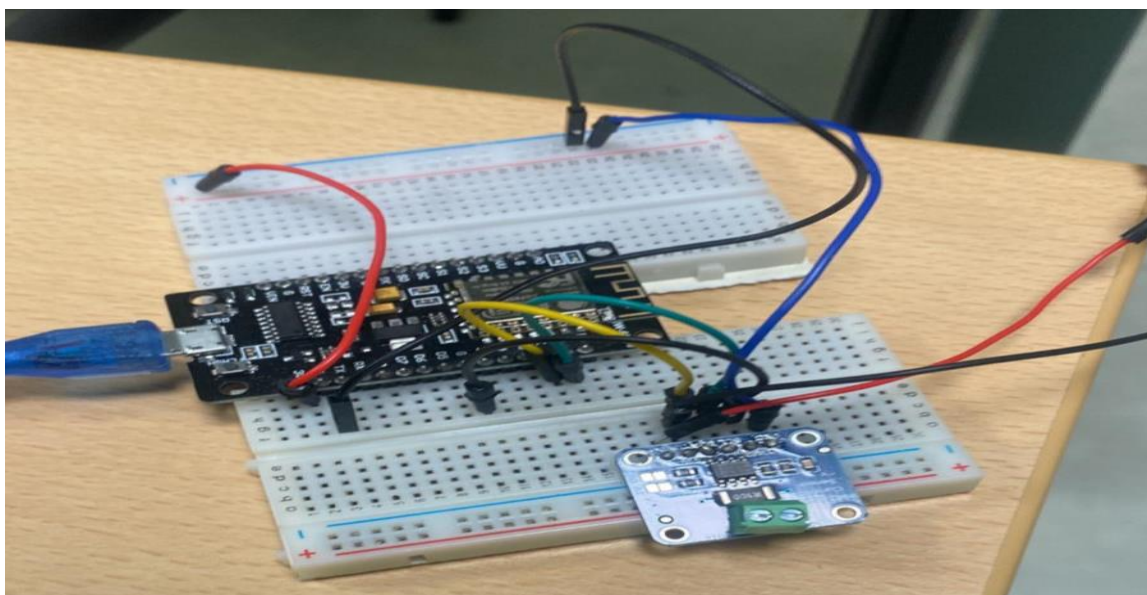
    return ContentService.createTextOutput(str);
} // endif (parsedData !== undefined)

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

```

§7.4.4 De werking

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



Figuur 25: bouw van het systeem met INA219-sensor

§8 De resultaten

§8.1 Resultaten in een tabel

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

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

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

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

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

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

§8.1.1 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

§8.1.2 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 een zonnecel zonder lichtsensor

§8.2. Resultaten in een grafiek

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

$$P = U \times I$$

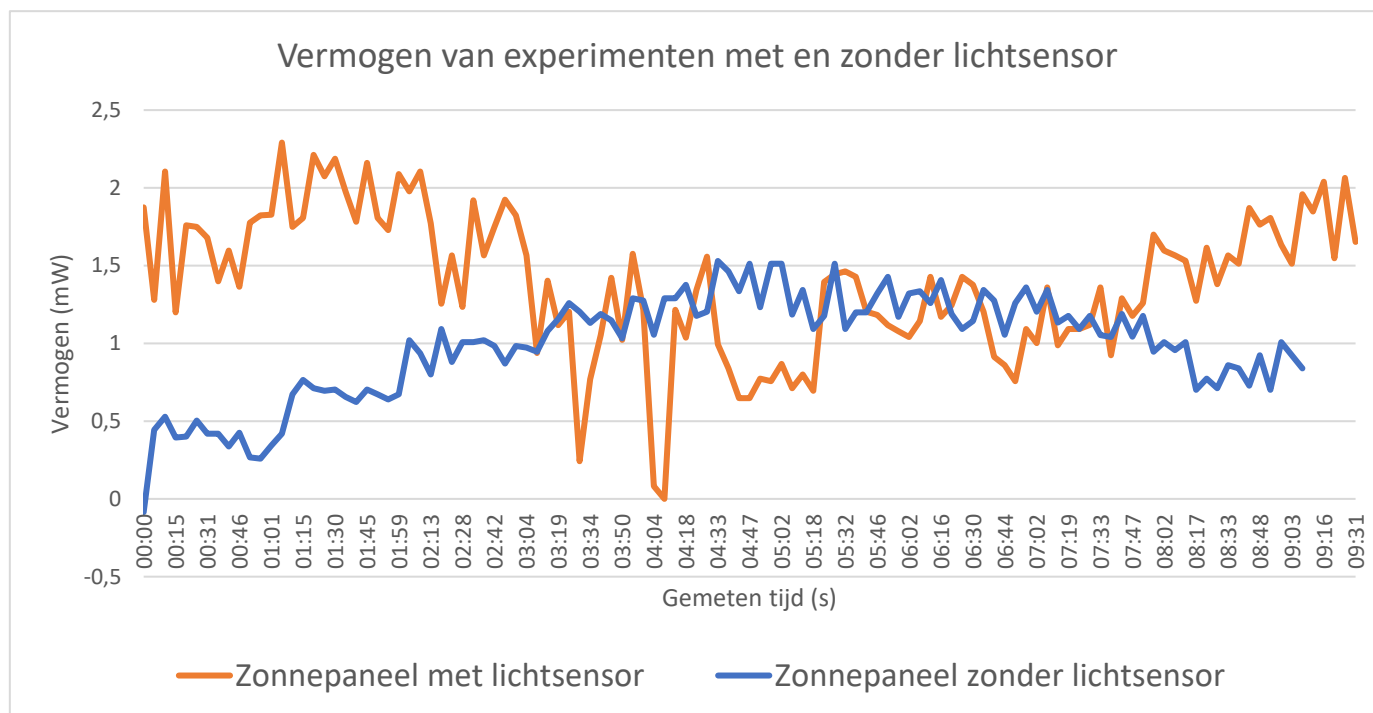
P: vermogen in watt (W)

U: spanning in volt (V)

I: stroomsterkte in ampère (A)

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

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



Grafiek 1: vermogen van experimenten met en zonder lichtsensor

§9 Conclusie

De onderzoeksvraag luidt: Hoe beïnvloedt de bewegingsstatus (stilstaand versus bewegend) de lichtabsorptiecapaciteit van zonnecellen bij een hoek van 45 graden?

De hypothese luidt: Op basis van het vermogen van bewegende zonnecellen om zich aan te passen aan de optimale lichtinval, verwachten wij dat bewegende zonnecellen significant meer licht zullen absorberen dan stilstaande zonnecellen bij een hoek van 45 graden.

Dit denken wij, omdat bewegende zonnecellen continu kunnen worden aangepast om optimaal gepositioneerd te blijven ten opzichte van het licht, waardoor ze een hogere efficiëntie hebben bij het opvangen van licht. In tegenstelling hiermee hebben stilstaande zonnecellen niet de mogelijkheid om zich aan te passen aan veranderende lichtinval, waardoor ze mogelijk minder efficiënt zijn bij het opvangen van licht.

Zowel ons literatuuronderzoek als ons eigen onderzoek bevestigen dat bewegende zonnecellen meer licht absorberen dan stilstaande zonnecellen bij een hoek van 45 graden. Het literatuuronderzoek laat zien dat zonnepanelen die meebewegen met de zon meer zonlicht kunnen opvangen dan panelen die op één plek blijven staan. Dit komt doordat ze altijd optimaal gepositioneerd zijn om het meeste zonlicht op te vangen.

Ons eigen onderzoek bevestigt dit door aan te tonen dat bewegende zonnecellen daadwerkelijk meer energie opvangen dan stilstaande zonnecellen, vooral aan het begin en het einde van de dag. Dit sluit aan bij wat we hadden verwacht in onze hypothese. Daarom kunnen we concluderen dat we onze hypothese kunnen aannemen.

§10 Discussie

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

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

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

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

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

Ondanks herhaalde fouten en de noodzaak om telkens opnieuw te beginnen, hebben we echt genoten van het moment waarop alles eindelijk naar behoren werkte. Hoewel we al wisten dat het doen van experimenten soms uitdagend kon zijn en dat fouten leermomenten zijn waarvan we kunnen profiteren, hadden we niet verwacht dat we zo vaak tegen problemen zouden aanlopen. Het was een waardevolle test voor ons geduld en heeft ons echt in het motto om nooit op te geven laten geloven, zelfs wanneer het resultaat na herhaalde pogingen niet direct positief is. Bovendien hebben we tijdens dit proces onze vaardigheden verbeterd, zoals solderen, programmeren en het maken van schakelingen.

§11 Bronnenlijst

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. Sander, V. (z.d.). *Wat is de zon?* Spacepage. <https://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/de-zon/wat-is-de-zon>
6. *Convective zone*. (z.d.). <https://solar.physics.montana.edu/ypop/Spotlight/SunInfo/Conzone.html>
7. *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/>
8. Wikipedia-bijdragers. (2023). Zon. *Wikipedia*. https://nl.wikipedia.org/wiki/Zon#cite_note-Woolfson00-1
9. *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>
10. *Natuurkunde.nl - straling*. (z.d.). Stichting natuurkunde.nl. <https://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/84828/straling>
11. Milieu Centraal. (n.d.). Energiebronnen: duurzaam of niet? <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/>
12. *Wat zijn zonnepanelen?* - Zelfstroom. (2023, March 30). Zelfstroom. <https://www.zelfstroom.nl/zonnepanelen/wat-zijn-zonnepanelen/>
13. *photovoltaic*. (2023). <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/photovoltaic>
14. *Geschiedenis zonnepanelen* - Tenten Solar. (2022, September 15). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/geschiedenis-zonnepanelen/>
15. Wikipedia-bijdragers. (2023). *Wattpiek*. *Wikipedia*. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Wattpiek>
16. *Zonnepanelen: van WP naar kWh - tenten solar*. (2022, 8 juni). Tenten Solar. <https://tentensolar.nl/zonnepanelen-van-wp-naar-kwh/>
17. 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>
18. – *Standard test conditions* - *wiki.openmod-initiative.org*. (z.d.). https://wiki.openmodinitiative.org/wiki/Standard_test_conditions
19. KNMI - *Maandsommen zonnenschijnduur, normalen, anomalieën*. (z.d.). <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografischeoverzichten/archief/maand/sq>
20. 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>
21. 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/>
22. *Zonnepanelen: opbrengst & rendement* | Feenstra. (n.d.). Feenstra. <https://www.feenstra.com/zonnepanelen/info/rendement/#:~:text=Als%20u%2010%20zonnepanelen%20heeft,de%20gemiddeld%20benodigde%20energie%20op>
23. *Soorten zonnepanelen: welke zijn er precies?* | Zonne-energieGids.nl. (z.d.). <https://www.zonne-energiegids.nl/soorten-zonnepanelen/>
24. *Wat zijn de voordelen en nadelen van glas-glas zonnepanelen?* (z.d.). <https://www.beterduurzaam.nl/veelgestelde-vragen/wat-zijn-glas-glas-zonnepanelen>
25. Wikipedia-bijdragers. (2021). *Metalloïde*. *Wikipedia*. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Metallo%C3%AFde>
26. Benjamin. (2023). Wat is een omvormer en hoe werkt het? Happy Solar. <https://www.happysolar.nl/blog/omvormer#:~:text=Een%20omvormer%20is%20een%20%20apparaat,een%20stabiele%20wisselstroom%20van%20230V>

27. Volta Solar. (2021, November 11). Hoe werkt een zonnepanelen systeem? - Volta Solar.
<https://voltasolar.nl/kenniscentrum/advies/hoe-werken-zonnepanelen/>
28. – te veel zonnepanelen op je dak is dat erg? (2023, 17 mei). zonneplan.nl. Geraadpleegd op 21 december 2023, van
<https://www.zonneplan.nl/blog/te-veel-zonnepanelen-op-jedak-is-dat-erg>
29. Solar tracker. (2013, May 24). solar-constructions.com. <https://solar-constructions.com/wordpress/solar-tracker-2/>
30. Palmetto. (2023, August 30). Sun tracking solar panels: Worth it? <https://palmetto.com/learning-center/blog/sun-tracking-solar-panels-worth-it#>
31. 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>
32. Tariq. (2023, November 13). Wat is een servomotor? De belangrijkste eigenschappen en soorten. Variodrive.
<https://www.variodrive.nl/servomotor/wat-is-een-servomotor>
- 33 Wikipedia-bijdragers. (2022, August 14). Lichtgevoelige weerstand. Wikipedia.
https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgevoelige_weerstand
34. Simadmin. (2022, June 10). Wat is een Arduino Uno. Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-is-een-arduino-uno/>
35. Simadmin. (2021, 20 april). Wat zijn Jumper Wires? Elektronica Voor Jou. <https://elektronicavoorjou.nl/wat-zijn-jumper-wires/>
36. Bits & Parts Elektronica. (z.d.). INA219 Stroommeter/Amperemeter + Spanningsmeter 26V $\pm 3,2A$ - Bits & Parts
Elektronica. Bits & Parts | Maker Webshop Voor Arduino, Raspberry Pi en Andere Elektronica Projecten!
<https://www.bitsandparts.nl/Stroommeter-Amperemeter-+-Spanningsmeter-26V-%C2%B13-2A-INA219-p1907344#:~:text=De%20INA219%20is%20echt%20een,zelfs%20tot%2026%20VDC%20meten>
37. Hans. (2022, 1 maart). Beginnen met de ESP8266 als Arduino vervanger. Tweaking4All.nl.
<https://www.tweaking4all.nl/hardware/esp8266/beginnen-met-esp8266/>

§12 Bijlage

§12.1 Foto's van de experimenten

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