



Figuur 1: zonnepanelen

Zonne-energie benutten om een motor te laten draaien

Linde Aerssens, Robin Aerts, Ward Vancoillie, Lucas Willems
Vak: Wetenschappen
Leerkrachten: Marieke Deprez, Nausika Vervaecke
6C Wetenschappen-Wiskunde

Sint-Andreasinstituut Oostende
2022-2023

INHOUDSTAFEL

Samenvatting.....	3
Trefwoorden.....	4
Inleiding.....	5
Onderzoek.....	6
1 DEFINITIE ZONNE-ENERGIE	6
1.1 Definitie van zonne-energie	6
1.2 Onderdelen van een zonnepaneel.....	6
1.3 Werking van een zonnepaneel	7
1.4 Voor- en nadelen van zonne-energie	8
2 GESCHIEDENIS VAN ZONNE-ENERGIE	9
2.1 Geschiedenis van het zonnepaneel.....	9
2.2 Geschiedenis zonnewagen Innoptus	9
3 FACTOREN DIE HET RENDEMENT BEÏNVLOEDEN	10
3.1 Soort zonnepaneel.....	10
3.1.1 Monokristallijne zonnepanelen	10
3.1.2 Polykristallijne zonnepanelen	10
3.1.3 Amorf zonnepanelen	11
3.2 Temperatuur.....	11
3.3 Azimut en elevatie	12
4 OPSLAG VAN ZONNE-ENERGIE	13
5 EXPERIMENT	14
5.1 Oriënteren	14
5.2 Vorbereiden.....	14
5.3 Uitvoeren.....	15
5.3.1 Frame	15
5.3.2 Elektrisch circuit	16
5.3.3 Voortbeweging in water.....	18
5.3.4 Waterdichtheid en drijven.....	19
5.4 Reflectie	19
Besluit	20
Bibliografie	21
Afbeeldingenlijst.....	23

SAMENVATTING

Een miniatuur amfibiewagen bouwen die op zonne-energie werkt. Zeker geen simpele taak voor leerlingen uit de richting wetenschappen-wiskunde. Deze wagen moest gebouwd worden met een budget van slechts 100 euro. Om dit te kunnen realiseren was de hulp van enkele ervaren wetenschappers zeker niet onbelangrijk. Bij het maken van deze zonnewagen, paste perfect een onderzoek over zonne-energie.

Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen op welke manier zonne-energie benut kan worden om een motor te laten draaien, of specifieker, een amfibiewagen te laten rijden. Onze onderzoeksvraag luidt: Op welke manier kun je zonne-energie benutten om een motor te laten draaien?

Om een antwoord op de onderzoeksvraag te vinden, werd gebruik gemaakt van een literatuurstudie in combinatie met een experiment. Ten eerste werd het begrip zonne-energie van dichtbij bekeken. Ten tweede werd de werking van een zonnepaneel volledig bestudeerd, gevolgd door een korte geschiedenis. Ten slotte werden de factoren die het rendement van een zonnepaneel beïnvloeden en de opslag van zonne-energie bestudeerd. Na de literatuurstudie was het tijd om het in de praktijk te gaan uitvoeren...

TREFWOORDEN

Amorf zonnepanelen

Azimut

Bus bars

Elevatie

Energiebron

Fossiele brandstoffen

Fotonen

Fotovoltaïsch effect

Fotovoltaïsche laag

Innoptus

Layers

Lithium-ion batterijen

Loodzuur batterijen

Monokristallijne zonnepanelen

N-Type halfgeleider

Polykristallijne zonnepanelen

P-Type halfgeleider

Rendement

Silicium

Siliconenlagen

Solar challenge

Temperatuur

Zonnecel

Zonne-energie

Zonnepaneel

Zonnestralen

Zonnesysteem

Zonnetrackers

INLEIDING

In het begin van het schooljaar 2022-2023 werd ons gevraagd of we met een groepje van 7 leerlingen wilden deelnemen aan de Solar Challenge. Voor de Solar Challenge moesten we een wagen bouwen die kan rijden op zonne-energie.

Voor we konden deelnemen moesten we eerst gekwalificeerd geraken. Na enkele weken brainstormen kwamen we uit bij een ontwerp van een amfibiewagen genaamd 'The Explorer'. We dienden uiteindelijk ons ontwerp in en werden geselecteerd om deel te nemen aan het project.

We ontvingen een budget van 100 euro, een klein zonnepaneeltje en enkele batterijen. Hiermee moesten we dan aan de slag. Toen we begonnen waren aan de wagen, vroegen we ons meteen af hoe we zonne-energie kunnen gebruiken om onze motor te doen draaien. We begonnen dus al gauw met ons wat in te lezen over het onderwerp om zo te weten te komen wat de beste manier is om dit project aan te pakken.

We hebben de lectuur verwerkt in deze paper en zullen ook verschillende aspecten van zonne-energie bespreken. Daarnaast worden ook de geschiedenis van zonnepanelen en factoren die het rendement beïnvloeden in kaart gebracht. Tot slot wordt het experiment besproken.

We zijn tijdens dit onderzoek natuurlijk niet aan ons lot overgelaten, we kregen hulp van een lid van het Innoptus Solar Team, namelijk P. Dobbelaere. Dankzij P. Dobbelaere zijn we veel te weten gekomen over hoe zo'n auto in elkaar zit en hoe je dit het best aanpakt. We willen hem hiervoor ontzettend hard bedanken alsook de leerkrachten van de wetenschapsvakken, namelijk mevrouw Vervaecke, mevrouw Deprez en mevrouw Feys. Dankzij de vele tips die we gekregen hebben, konden we dit project tot een goed einde brengen.

ONDERZOEK

1 DEFINITIE ZONNE-ENERGIE

1.1 Definitie van zonne-energie

Zonne-energie is energie die afkomstig is van de zon. Deze energie komt voor in licht en warmte. De zon stuurt stralen door naar de aarde waardoor er van deze energie gebruikgemaakt kan worden. Zonnestrallen verliezen bijna de helft van hun energie op weg naar de aarde. Deze energie gaat verloren door de absorptie van de atmosfeer en wolken.¹ Zonne-energie is zeer bruikbaar door het feit dat deze niet alleen zeer duurzaam is, maar ook onuitputbaar. Dit is veel interessanter dan het gebruik van fossiele brandstoffen, want zonne-energie is ook niet zo schadelijk voor het milieu.²

1.2 Onderdelen van een zonnepaneel

Een zonnepaneel is opgebouwd uit een aantal verschillende layers of lagen. Elke laag waaruit het zonnepaneel is opgebouwd heeft een verschillende functie. De bovenste laag bestaat uit veiligheidsglas. Dit veiligheidsglas beschikt over een anti-reflecterende- en vuilafstotende coating. De coating is een laag die zorgt voor de bescherming van de zonnecellen van het zonnepaneel. Deze worden beschermd tegen hagel, hoge temperaturen en ook sneeuw. Ook zit er nog een extra laag met een waterdichte functie boven en onder de zonnecellen die ervoor zorgen dat ze in alle omstandigheden droog blijven.³

Elke zonnecel bevat dunne lijntjes die ook wel ‘fingers’ of ‘bus bars’ worden genoemd. De functie hiervan is het transporteren van de stroom doorheen het volledige zonnestelsel.

Het volledige zonnepaneel, met al zijn verschillende lagen, wordt verstevigd door een sterk aluminium frame. Deze zorgt ervoor dat alles mooi bij elkaar blijft. Op de achterkant is het zonnepaneel uitgerust met een aansluitingskast die de verbinding maakt met het huis. Zo kan de zonne-energie, die dan al is omgezet tot stroom, gebruikt worden voor in huis.⁴

¹ z.a. (z.d.). *Zonne-energie*. [23.01.2023, Pricewise: <https://www.pricewise.nl/duurzame-energie/zonne-energie>].

² z.a. (z.d.). *Zonne-energie*. [23.01.2023, Overstappen: <https://www.overstappen.nl/energie/duurzame-energie/zonne-energie>].

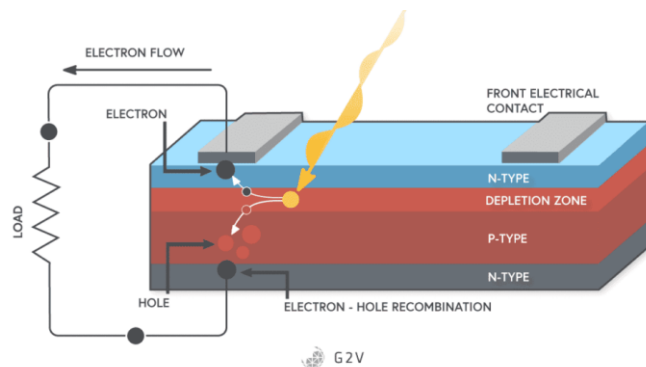
³ z.a. (z.d.). *Werking & opbouw zonnepanelen*. [23.01.2023, zonnepanelenkopen: <https://www.zonnepanelenkopen.be/zonnepanelen-systeem/werking-opbouw>].

⁴ z.a. (z.d.). *Werking & opbouw zonnepanelen*. [23.01.2023, zonnepanelenkopen: <https://www.zonnepanelenkopen.be/zonnepanelen-systeem/werking-opbouw>].

1.3 Werking van een zonnepaneel

De 2 siliconen lagen van het zonnepaneel hebben elk een verschillende functie en ze bestaan elk, naast silicium, ook uit een ander laagje atomen. Eén kant is opgebouwd uit een N-Type halfgeleider. Deze kant ligt naar de zon toe en bestaat uit fosforatomen. De fosforatomen zorgen voor extra elektronen waardoor de laag negatief geladen wordt. De andere kant bestaat uit een P-Type halfgeleider die bestaat uit boor atomen. De boor atomen hebben nog een extra plaats vrij voor elektronen waardoor deze laag positief geladen is.⁵

Door het verschil in lading tussen beide kanten ontstaat er een elektrisch veld. Wanneer de fotonen uit het zonlicht dan inslaan op een elektron uit de N-laag komt deze vrij en verplaatst deze zich door het elektrisch veld tussen de 2 kanten. Al deze vrije elektronen bewegen dan door een elektrisch circuit, om daarna terug te keren naar hun oorspronkelijke plaats.⁶ Dit is dan de opgewekte stroom die rechtstreeks gebruikt kan worden.



Figuur 2: Werking van een zonnecel

Een zonnecel apart geeft maar een kleine stroom, maar door meerdere zonnecellen te combineren, kunnen er ook grotere apparaten mee aangedreven worden en eventueel kan er een hele woning op aangedreven worden.

De energie die de zonnepanelen opwekt, kan echter nog niet direct op een woning aangesloten worden. Dit is omdat de zonnepanelen gelijkstroom opwekken, maar de elektriciteit die uit de stopcontacten komt is echter wisselstroom. Hiervoor is dus een omvormer nodig die de gelijkstroom in wisselstroom kan omzetten. Voor elektrische toepassingen is deze stroom wel al geschikt en moet hij niet omgezet worden.

⁵ Dhar, M., & Harvey, A. (11.02.2022). *How do solar panels work?* [06.02.2023, Livescience: <https://www.livescience.com/41995-how-do-solar-panels-work.html>].

⁶ z.a. (11.12.2020). *Generating Electricity: Solar Cells*. [09.02.2023, Letstalkscience: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/generating-electricity-solar-cells>].

1.4 Voor- en nadelen van zonne-energie

Het grootste voordeel van het gebruik van zonne-energie in plaats van andere vormen van energie, zoals fossiele brandstoffen en kernenergie, is dat zonne-energie een onuitputbare energiebron is. Deze energievorm blijft dus altijd beschikbaar en ze heeft geen milieuvervuilende effecten, wat traditionele energiebronnen wel hebben. Een belangrijke kanttekening die er echter gemaakt moet worden is dat het nog steeds redelijk veel energie kost om deze zonnepanelen te kunnen produceren, maar ook om ze te verwerken nadat hun levensduur overschreden is.⁷

Zonnepanelen hoeft je ook amper te onderhouden. Door de verschillende lagen van het zonnepaneel is deze dus autonoom en regelt hij alles zelf. De natuur kan hierbij helpen door bijvoorbeeld het zonnepaneel schoon te maken wanneer het regent. Daarnaast wek je ook je eigen energie op en zal de energierekening heel wat verlagen. Tot slot zorgen zonnepanelen ervoor dat de waarde van het huis onmiddellijk stijgt.

Er zijn echter ook enkele nadelen. Zo werken zonnepanelen enkel goed in gebieden waar er veel en vaak zon is. In landen in het Noorden, waar de zon niet zo vaak schijnt, kunnen de zonnepanelen dus ook bijna geen energie opwekken. Daarnaast is er ook veel plaats nodig om de zonnepanelen te kunnen plaatsen. Dit komt omdat niet elk huis geschikt is om zonnepanelen op zijn dak te hebben. Hiervoor moet het dak groot genoeg zijn en in de goede richting van de zon geplaatst worden. Doordat de zonnepanelen tegenwoordig nog niet erg efficiënt zijn heb je er dus ook meer nodig vooraleer er grote hoeveelheden elektriciteit opgewekt kunnen worden.⁸

⁷ z.a. (11.12.2020). *Generating Electricity: Solar Cells*. [09.02.2023, Letstalkscience: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/generating-electricity-solar-cells>].

⁸ z.a. (11.12.2020). *Generating Electricity: Solar Cells*. [09.02.2023, Letstalkscience: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/generating-electricity-solar-cells>].

2 GESCHIEDENIS VAN ZONNE-ENERGIE

2.1 Geschiedenis van het zonnepaneel

De zon wordt al een lange tijd gebruikt als energiebron. De filosoof Aristoteles was één van de eersten die het nut van de zon begreep. Hij had door dat de zon een immense hoeveelheid energie bevat en dat de zon dus een belangrijke rol speelde voor de mens. Hij dacht na over hoe je de huizenbouw het best aanpast aan de zon. Later gebruikten de Grieken al van de derde eeuw voor Christus zonne-energie voor religieuze doeleinden.⁹

Een zeer revolutionaire ontdekking in de geschiedenis van het zonnepaneel is het fotonvoltaïsch effect. In 1839 ontdekte de Franse wetenschapper Alexandre-Edmond Becquerel dit effect. We spreken van dit verschijnsel als zonne-energie wordt omgezet in elektrische energie.¹⁰ Deze ontdekking werd in de loop der jaren verbeterd en geoptimaliseerd, maar de grootste factor in de evolutie van het zonnepaneel is de toename van de ruimtevaart. De ruimtevaart kwam op na de tweede wereldoorlog. De ontwikkeling van de fotonvoltaïsche siliconencel was zeer belangrijk in de ruimtetechnologie.

Vanaf de jaren tachtig werd het zonnepaneel steeds efficiënter. Het rendement van een zonnepaneel ligt nu rond de 20%. Zonnepanelen zijn vanaf 2010 ook beschikbaar voor particulieren.¹¹

2.2 Geschiedenis zonnewagen Innoptus

Het Innoptus Solar Team werd in 2004 opgericht. Een team van 15 Belgische ingenieursstudenten ging aan de slag met het idee om een wagen te bouwen die enkel en alleen op zonne-energie werkt. Hun doel was om de World Solar Challenge te winnen. Het team heeft ondertussen al meerdere keren meegedaan met deze challenge en nadat ze enkele keren net naast goud grepen, wonnen ze in 2019 dan toch goud met hun auto genaamd BluePoint.¹²

Het Innoptus Solar Team heeft enkele belangrijke pilaren. Het promoten van groene energie is daar een van. *‘Transportsystemen hebben een beduidende impact op het milieu en dragen bij aan 20% tot 25% van de energieconsumptie en CO₂-uitstoot in de wereld. Dit is niet duurzaam: fundamentele veranderingen zijn noodzakelijk’*. Naast het ontwerpen van zonnewagens die races kunnen winnen, wil het Innoptus Solar Team dus ook meewerken aan een groenere toekomst.¹³

⁹ Koops, E. (16.10.2022). *Geschiedenis & uitvinding van de zonnepanelen*. [09.02.2023, Historiek: <https://historiek.net/geschiedenis-uitvinding-zonnepanelen/70199>].

¹⁰ z.a. (z.d.). *De geschiedenis en ontwikkeling van zonnepanelen*. [09.02.2023, Zonnestroomnederland: <https://www.zonnestroomnederland.nl/kennisbank/de-geschiedenis-en-ontwikkeling-van-zonnepanelen>].

¹¹ Koops, E. (16.10.2022). *Geschiedenis & uitvinding van de zonnepanelen*. [09.02.2023, Historiek: <https://historiek.net/geschiedenis-uitvinding-zonnepanelen/70199>].

¹² z.a. (Z.d.). *Innoptus Solar Team*. [05.03.2023, Solarteam: <https://www.solarteam.be>].

¹³ z.a. (z.d.). *Innoptus Solar Team*. [05.03.2023, Solarteam: <https://www.solarteam.be>].

3 FACTOREN DIE HET RENDEMENT BEÏNVLOEDEN

3.1 Soort zonnepaneel

3.1.1 Monokristallijne zonnepanelen

Deze soort zonnepanelen kan je herkennen aan hun donkerzwarte of diepblauwe kleur. Het is een zonnepaneel dat bestaat uit monokristallijne zonnecellen bestaande uit silicium.¹⁴ Hierbij wordt een klein blokje silicium gehouden in gesmolten silicium en er vervolgens heel traag uitgehaald. Uit dit kristal worden dan de cellen vervaardigd.¹⁵

Een voordeel van monokristallijne zonnepanelen is dat ze meer rendement hebben dan polykristallijne zonnepanelen met dezelfde oppervlakte. Ze kunnen een rendement hebben van maximum 16%-20%.¹⁶ Een nadeel is echter wel dat deze zonnepanelen duurder zijn dan de polykristallijne zonnepanelen.

3.1.2 Polykristallijne zonnepanelen

Deze soort zonnepanelen zijn blauw en de cellen hebben geen afgeronde hoeken zoals de monokristallijne zonnepanelen.¹⁷ Deze zonnepanelen zijn ook gemaakt uit silicium, maar hierbij wordt het silicium gesmolten en in een balkvormige mal gegoten. Zodra dit is afgekoeld wordt de balk in extreem dunne schijven gesneden. Uit deze schijven worden dan de zonnecellen gemaakt. Deze cellen hebben een rendement van ongeveer 14%-16%.¹⁸ Het productieproces van polykristallijne zonnepanelen is simpeler dan die van monokristallijne zonnepanelen waardoor ze dus ook goedkoper zijn.¹⁹

¹⁴ z.a. (27.04.2022). *4 different types of solar panels (2022): cost, efficiency & power*. [02.03.2023, Solar square: <https://www.solarsquare.in/blog/types-of-solar-panels>].

¹⁵ z.a. (z.d.). *Monokristallijne (zwarte) zonnepanelen*. [02.03.2023, Zonnepanelenenergie: <https://www.zonne-energiegids.be/soorten-zonnepanelen/monokristallijn>].

¹⁶ z.a. (14.12.2022). *Monokristallijne zonnepanelen (prijzen + 4x voordelen)*. [02.03.2023, Warmerhuis: <https://warmerhuis.be/monokristallijne-zonnepanelen>].

z.a. (z.d.). *Monokristallijne (zwarte) zonnepanelen*. [02.03.2023, Zonnepanelenenergie: <https://www.zonne-energiegids.be/soorten-zonnepanelen/monokristallijn>].

¹⁷ z.a. (27.04.2022). *4 different types of solar panels (2022): cost, efficiency & power*. [02.03.2023, Solar square: <https://www.solarsquare.in/blog/types-of-solar-panels>].

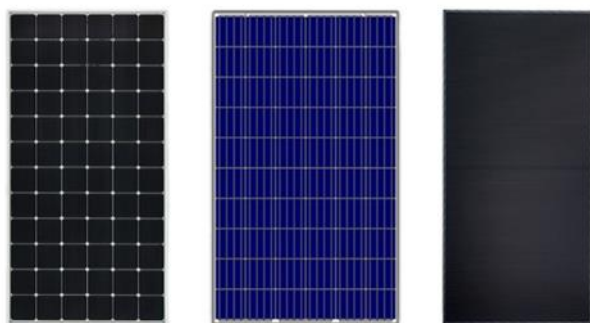
¹⁸ z.a. (z.d.). *Polykristallijne (blauwe) zonnepanelen*. [05.03.2023, Zonnepanelenenergie: <https://zonnepanelenenergie.be/polykristallijne-zonnepanelen>].

¹⁹ z.a. (27.04.2022). *4 different types of solar panels (2022): cost, efficiency & power*. [02.03.2023, Solar square: <https://www.solarsquare.in/blog/types-of-solar-panels>].

3.1.3 Amorf zonnepanelen

Bij deze soort zonnepanelen gebruikt men een fotonvoltaïsche laag die daarna op glas, plastic of metaal gelegd wordt. In tegenstelling tot de kristallijne panelen worden er dus geen kristallen gevormd.

Deze zonnepanelen zijn flexibel en licht en daardoor makkelijk om te installeren. Ook zijn ze goedkoper dan de kristallijne panelen, maar ze hebben wel een lager rendement dan de kristallijne zonnepanelen, ongeveer 10%-12%.²⁰



Figuur 3: Soorten zonnepanelen. Van links naar rechts: monokristallijn paneel, polykristallijn paneel, amorf paneel.

3.2 Temperatuur

Zonnepanelen werken beter wanneer de temperatuur lager is. De elektriciteit die door zonnepanelen opgewekt wordt, komt door de stroom van elektronen. Wanneer de temperatuur te hoog wordt, gaan deze elektronen te veel bewegen en dit zorgt er dan voor dat er minder stroom geproduceerd wordt.²¹ Per graad Celsius neemt het vermogen ongeveer af met 0,35%. Dit percentage kan variëren naargelang de kwaliteit van het zonnepaneel.

De panelen worden natuurlijk warmer dan de omgevingstemperatuur doordat ze vaak naar de zon gericht zijn en ze energie opnemen. Zo kan een zonnepaneel tot wel 30°C warmer worden dan de omgevingstemperatuur. Dit is de reden dat zonnepanelen op daken vaak met wat ruimte onder worden geïnstalleerd zodat eronder luchtcirculatie mogelijk is en het paneel kan afkoelen.²²

²⁰ z.a. (27.04.2022). *4 different types of solar panels (2022): cost, efficiency & power*. [02.03.2023, Solar square: <https://www.solarsquare.in/blog/types-of-solar-panels>].

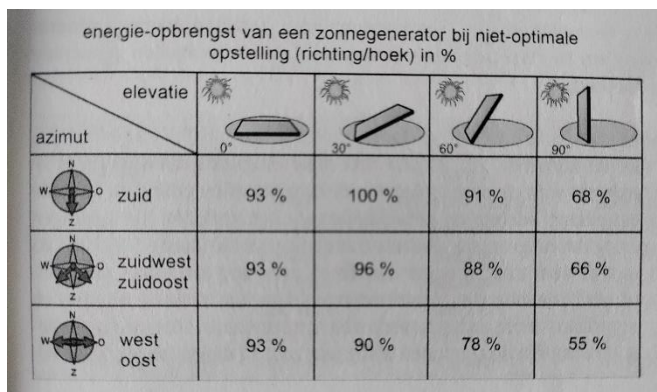
z.a. (z.d.). *Amorf (dunne film) zonnepanelen*. [05.03.2023, Zonnepanelenextra: <https://www.zonnepanelen-extra.nl/amorf>].

²¹ z.a. (09.08.2022). *Why don't solar panels work as well in heat waves?* [05.03.2023, Weforum: <https://www.weforum.org/agenda/2022/08/heatwaves-can-hamper-solar-panels>].

²² z.a. (z.d.). *Wat is de invloed van temperatuur op zonnepanelen?* [05.03.2023, Zonnefabriek: <https://www.zonnefabriek.nl/faq/wat-is-de-invloed-van-temperatuur-op-zonnepanelen>].

3.3 Azimut en elevatie

Het Azimut is de hoek die een specifieke richting maakt met het noorden. Een ster die in het zuiden staat heeft bijvoorbeeld een azimut van 180° . Het azimut van een zonnepaneel is dus de hoek tussen het noorden en de richting waarnaar het zonnepaneel wijst.



Figuur 4: Azimut en elevatie

Uit figuur 4 blijkt dat een zonnepaneel die naar het zuiden gericht is, en dus een azimut van 180° heeft, de meeste energieopbrengst heeft.²³ Maar als zonnepanelen gebruikt worden op een dak om een huis van energie te voorzien is het beter om ze naar het oosten of westen te richten. Dit omdat de meesten 's morgens en 's avonds het meeste energie verbruiken. Zo kan de elektriciteit direct verbruikt worden en moet het niet naar het net.²⁴ Er bestaan ook zonnepanelen die meedraaien met de stand van de zon. Zo kunnen ze meer energie

produceren dan als ze gewoon stilstaan. Hier bestaan er 2 technieken voor, namelijk passieve en actieve zonnetrackers. Bij passieve zonnetrackers zit er een vloeistof met een laag kookpunt in. Als die vloeistof verdampt, geraakt het kantelsysteem uit balans en zo kantelen ze zich naar de zon. Actieve zonnetrackers werken op basis van motoren. Een nadeel van dit systeem is dat de onderdelen in de motor gemakkelijk kunnen kapotgaan.²⁵

De elevatie van een zonnepaneel is de hoek die het paneel maakt met een horizontale lijn. Een elevatie van 0° wil dus zeggen dat het paneel platligt. Uit figuur 4 blijkt dat een paneel die naar het zuiden is gericht met een elevatie van 30° het meest optimaal is. Hoe meer het paneel naar het westen of oosten gericht is, hoe optimaler het is om het paneel plat te leggen. Het meest rendabele is als het paneel kan meedraaien in alle richtingen.²⁶

²³ z.a. (z.d.). Azimut. [06.03.2023, Zonne-energiegids: <https://www.zonne-energiegids.be/begrippenlijst/azimut>].

²⁴ Klompers, J. (05.04.2018). *Vergeet zonnepanelen op het zuiden: specialist verkapt hoe het wél moet*. [06.03.2023, hln: <https://www.hln.be/woon/vergeet-zonnepanelen-op-het-zuiden-specialist-verkapt-hoe-het-wel-moet~a60f09e1>].

²⁵ Laan, K. (z.d.). *What is a solar tracker and is it worth the investment?* [06.03.2023, Solarreviews: <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>].

²⁶ Geist, H. (2007). *Zonne-energie, zonnepanelen plannen en zelf installeren*. Amersfoort: Elektor.

4 OPSLAG VAN ZONNE-ENERGIE

Eén van de grootste beperkingen van een zonnepaneel is dat er voldoende zon moet zijn om energie op te kunnen wekken. In de nacht, of op donkere winterdagen kan er dus niet geprofiteerd worden van de zonnepanelen. Tijdens die donkere en koude dagen is er echter de meeste nood aan energie. Het zou dus ideaal zijn moest de overvloedige energie die op zonnige dagen wordt opgewekt, opgeslagen zou kunnen worden voor later gebruik. Dit kunnen we bereiken dankzij een batterij.

Er bestaan echter verschillende soorten batterijen. De populairste soorten voor het opslaan van zonne-energie zijn: lithium-ion batterijen en loodzuur batterijen.²⁷ Lithium-ion batterijen worden aangeraden voor elektriciteit opslag bij zonnepanelen. Deze batterijen hebben namelijk een grote opslagcapaciteit en ze laden snel op.²⁸ Loodzuur batterijen daarentegen zijn wel ongeveer half zo duur, maar het nadeel van dit soort batterijen is dat ze maar voor de helft ontladen mogen worden. Hierdoor heb je een veel grotere batterij nodig vooraleer deze opslagmethode rendabel wordt.⁶

Het is redelijk simpel om een batterij op te laden door middel van een zonnepaneel. Het zonnepaneel zelf zorgt al voor een omzetting van zonne-energie naar elektrische energie en deze elektrische energie wordt dan gebruikt om de batterij op te laden.

²⁷ z.a. (z.d.). *Zonne energie opslaan*. [13.02.2023, Thuisbatterij: <https://www.thuisbatterij.be/zonne-energie-opslaan>].

²⁸ Goessens, S. (26.05.2020). *Zonnepanelen en batterijen: een goede investering?* [06.02.2023, Zonnepanelenenergie: <https://zonnepanelenenergie.be/batterijen>].

5 EXPERIMENT

5.1 Oriënteren

De onderzoeksvraag van deze paper is: Op welke manier kan zonne-energie benut worden om een motor te doen draaien? Ons experiment is daarentegen iets breder omdat zelf een zonnepaneel maken helaas niet tot de mogelijkheden behoorde. De opgewekte zonne-energie zal in ons experiment gebruikt worden om een motor van een amfibievoertuig te laten draaien. Daarom is onze nieuwe onderzoeksvraag: Hoe kan een miniatuur amfibievoertuig op zonnepanelen gebouwd worden met een budget van 100 euro?

De hypothese is volledig na te lezen in de bijlage.²⁹

5.2 Voorbereiden

Eerst en vooral moest er beslist worden wat voor soort wagen er ging gebouwd worden. Er werd overeengekomen om een amfibiewagen te maken. Dit is een wagen die zowel op het land als in het water kan functioneren. Om deel te kunnen nemen aan dit project moesten we eerst geselecteerd worden. Daarom zijn we uit onze comfortzone gekomen en moest er iets spectaculair komen.

In het begin van de maand november kregen we te horen dat we geselecteerd waren. Dus we zijn toen meteen in actie geschoten. Eerst zijn er enkele vergaderingen op school geweest om te brainstormen over hoe dit project het best aangepakt kon worden. Er is besloten om de taken zo te verdelen dat iedereen in kleine groepjes zijn eigen functie had.

Elk voertuig heeft een basis, ofwel een frame. Daarom heeft een groepje van 3 personen deze functie op zich genomen om te beginnen met de basis van de wagen zodat deze niet in elkaar zou zakken. Met enkel een basis zijn we nog niks en daarom heeft het tweede groepje, bestaande uit 2 personen, zich beziggehouden met het maken van een elektrisch circuit zodat de wagen zichzelf ook werkelijk kan voortbewegen. Zoals eerder vermeld is de wagen een amfibievoertuig. Dit wil zeggen dat deze niet enkel op land, maar ook in het water zichzelf moet kunnen verplaatsen. Daarom heeft het laatste groepje zich beziggehouden met de propeller van de wagen.



Naast het feit dat de wagen zich moet kunnen verplaatsen in het water, moet deze ook waterdicht zijn. Hierbij is er ondervonden dat dit geen gemakkelijke klus is. Daarom heeft bijna iedereen hieraan geholpen om ervoor te zorgen dat er geen water in de wagen terecht kan komen.

Voordat er gebouwd kan worden, zijn er materialen nodig. Hier een materialenlijst:

- | | |
|---|---|
| - 2 meter lange houten balk (dun) | - Batterijhouder |
| - Stevig plastic plaat | - Mini zonnepaneel |
| - Silicone | - 1 diode |
| - Secondelijm (Pattex) | - 4 DC-motoren met elk een spanning van maximum 12 volt |
| - Esp32-cam | - 2 schakelaars |
| - L298N Motoraandrijver | - Minstens twintig elektriciteitsdraadjes |
| - 2 Li-ion 18650 batterijen met elk een spanning van 4.2 volt | |

²⁹ Aerts, R. (27.09.2022). *The Explorer*. [25.03.2023, Robyte: <https://www.robYTE.me/publications/explorer.pdf>].

Waarschuwingen en veiligheidsmaatregelen:

Stof	Gevarensymbolen	H-zinnen	P-zinnen	WGK-code
Ethylcyanoacrylaat (Pattex secundelijm)	 Waarschuwing	H315 H319 H335	P261 P305+P351+P338 P302+P352	2
Reactiemassa van bis(1,2,2,6,6- pentamethyl-4- piperidyl) sebacaat en methyl (1,2,2,6,6- pentamethyl-4- piperidyl) sebacaat	 Waarschuwing	H317 H412	P101 P102 P280 P273 P321 P302 + P352 P333 + P313	1

5.3 Uitvoeren

5.3.1 Frame

Een wagen is niet stevig zonder een skelet. Om deze reden was de eerste stap bij het bouwen van de zonnewagen, het maken van een stevig frame.

Het frame werd gemaakt uit één houten balk. Er werd voor hout gekozen omdat dit een stevig en licht materiaal is. Het hout werd in verstek gezaagd tot verschillende staven. Na het zagen werden alle afzonderlijke staven aan elkaar gelijmd om zo tot een mooi geheel te komen.

Wanneer het frame af was, werden stevige platen, gemaakt uit een sterke kunststof, bevestigd op het frame. Deze dienden als de behuizing van de wagen zodat de onderdelen binnen de wagen goed beschermd zijn. Er werd ook gekozen om een siliconen laag op de randen van het frame te bevestigen zodat er zeker geen water binnen kan dringen.



Figuur 5: Frame met platen

5.3.2 Elektrisch circuit

Om de auto te laten werken is er een elektrisch circuit nodig die aan enkele voorwaarden voldoet. Zo is het eerst en vooral nodig dat de auto op afstand bestuurd kan worden via om het even welk apparaat (GSM, tablet, computer...). Daarnaast moet er ook een mogelijkheid zijn om te zien waar de auto naartoe rijdt. Hiervoor moet er dus ook een camera geïmplementeerd worden in het circuit. Ook moeten de batterij en het zonnepaneel zo geschakeld worden dat de batterij opgeladen kan worden door zonne-energie. Het uiteindelijke circuit bestaat uit 3 onderdelen. Als eerste de camera plus de besturing, daarnaast ook de motoren en als laatste het zonnepaneel.

Om de auto te kunnen besturen kan er gebruik gemaakt worden van de *esp32-cam* als microcontroller. Een microcontroller kan vergelekt worden met een kleine computer op slechts één enkele chip. Het bevat een processor, geheugen en kan ook input en output behandelen. Deze microcontroller kan dus precies geprogrammeerd worden zoals nodig is. De *esp32-cam* is gekozen om de volgende redenen:

- Hij kan via afstand instructies ontvangen en versturen door middel van wifi of bluetooth
- Hij heeft een ingebouwde camera die op een ander apparaat geraadpleegd kan worden
- Hij is makkelijk programmeerbaar
- Met een prijskaartje van slechts €10 past hij perfect binnen het budget



Figuur 6: esp32-cam microcontroller

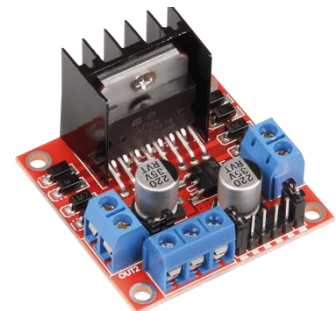
Later zal er dieper ingegaan worden op hoe deze microcontroller aangesloten is op de andere onderdelen en hoe hij uiteindelijk werkt.

Als motoren worden 4 DC-motoren van elk 12 volt gebruikt. Zo is er zeker genoeg kracht om de wagen zowel op het land als op het water voort te laten bewegen. Om de motoren zo efficiënt mogelijk te gebruiken met de beperkte hoeveelheid stroom die benuttigt kan worden (2 Li-ion batterijen van 4,2 volt), is ook een motoraandrijver aangeraden, namelijk de L298N. Deze motoraandrijver wordt gebruikt zodat de microcontroller de motoren apart aan kan drijven.



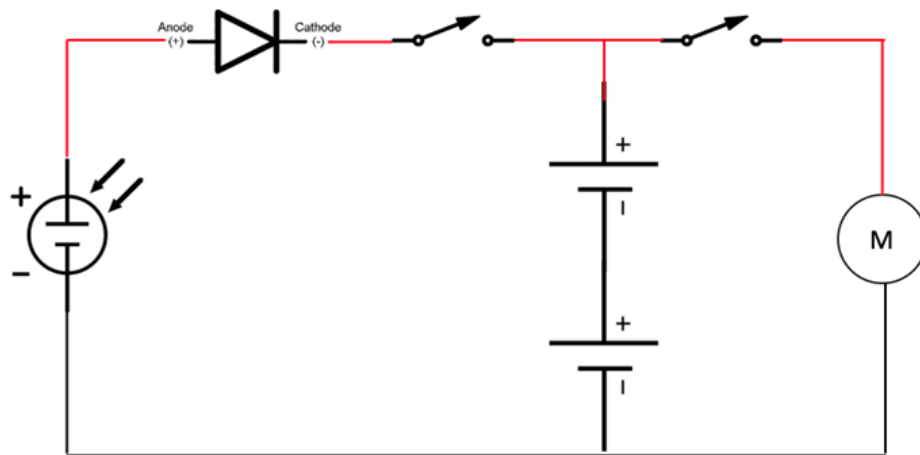
Figuur 7: 12 volt DC-motoren (4 stuks)

Om de batterijen van de wagen terug op te laden, wordt een zonnepaneel gebruikt. Om deze aan te sluiten op de batterijen, wordt er een diode geïmplementeerd zodat de opgewekte stroom van het zonnepaneel slechts in één richting kan stromen. Moest deze diode er niet zijn, zou het kunnen dat de stroom van de batterij in het zonnepaneel gaat en dat zou fataal kunnen worden voor het zonnepaneel. Hierna kan aan de hand van een multimeter de positieve en negatieve kant van het zonnepaneel bepaald worden en deze vervolgens zo aansluiten op de batterijen.



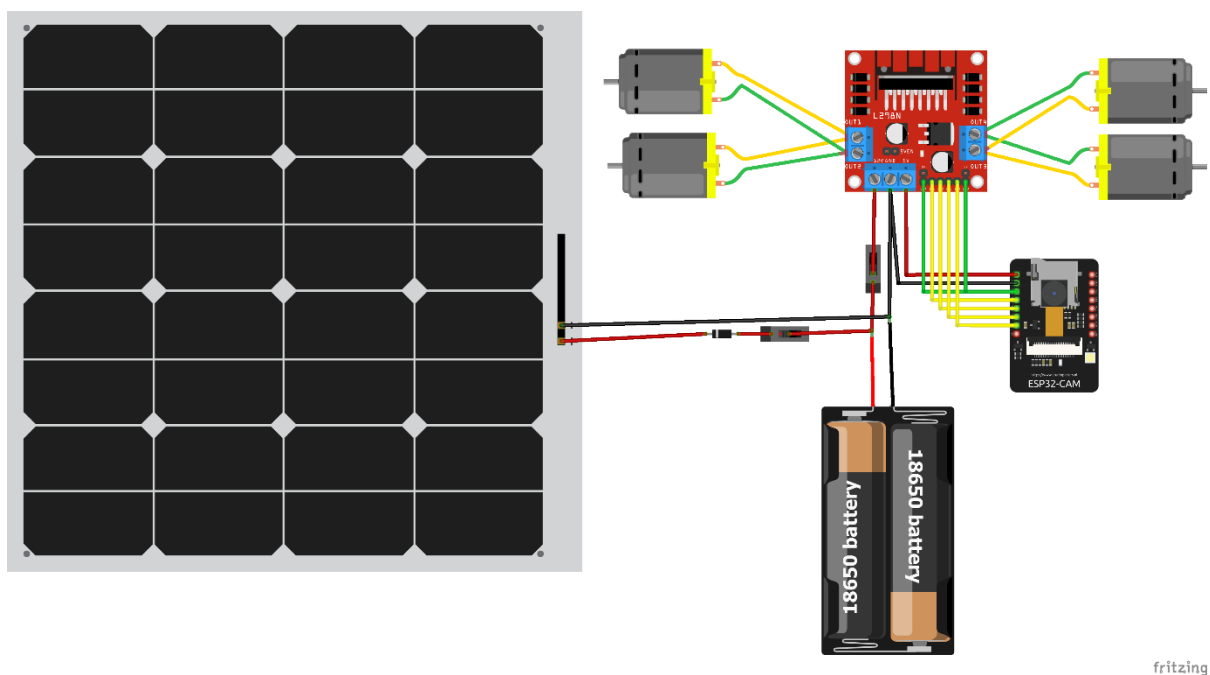
Figuur 8: L298N motoraandrijver

Daarnaast zijn er ook twee schakelaars. De eerste kan het opladen van de batterijen door het zonnepaneel in- en uitschakelen en de tweede zet de auto zelf aan en uit. Hieronder staat het schema dat we hiervoor gebruikt hebben. Links is het zonnepaneel, in het midden de batterijen in serie geschakeld en als laatste de microcontroller.



Figuur 9: Elektrische schakeling: Zonnepaneel -> Batterijen -> Microcontroller

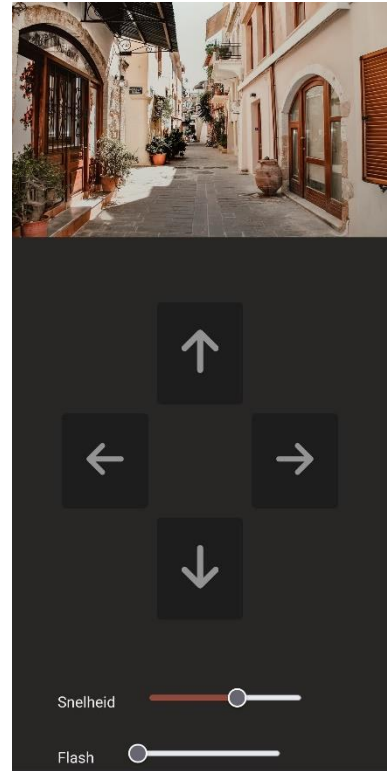
Al deze componenten kunnen dan samengevoegd worden in volgend elektrisch schema:



Figuur 10: Elektrisch schema

Hierbij zijn de rode draden de positieve kant, en de zwarte draden de negatieve kant. De gele draden die uit de microcontroller komen werken als output die door de motoraandrijver wordt opgevangen en zo bepaald welke motor er moet draaien en hoe hard.

Nu alles verbonden is kan er begonnen worden aan het digitale gedeelte van de besturing. Aan de clientzijde loopt er een webapplicatie die met Javascript (de programmeertaal die overal op het internet wordt gebruikt) verschillende verzoeken kan versturen naar de serverzijde. De serverzijde wordt geïmplementeerd als REST API. Dit betekent dat de microcontroller de verzoeken die het toestel verstuurt, kan ontvangen en daarna er iets mee kan doen. Zoals een motor laten draaien. De API voor de microcontroller is in C++ geprogrammeerd, maar voor de simpliciteit van dit onderzoek zal hier niet dieper op ingegaan worden. De code kan echter wel teruggevonden worden op GitHub.³⁰



Figuur 11: Uiteindelijke webapplicatie

5.3.3 Voortbeweging in water

The Explorer is een amfibievoertuig en moet daarom op land en in het water kunnen voortbewegen. Voor de voortbeweging op land werden er vier motoren met daaraan vier wielen gebruikt m.a.w. een vierwielaandrijving. Het zou dus het handigst zijn als deze vier motoren ook gebruikt kunnen worden voor de voortbeweging in water zodat er geen extra motoren moeten gebruikt worden.

De oplossing hiervoor is om de wielen te verlengen met een soort van peddels. Het oorspronkelijke idee was een staaf die de as van de wielen als het ware verlengt. Aan elke as zouden er dan vier plaatjes bevestigd worden, die het water dan mee kunnen scheppen, waardoor de beweging in water mogelijk is.



Figuur 12: Ontwerp wielen en 'peddels'.

Na dit wat meer uitgedacht te hebben leek dit model iets te fragiel. Daarom werd er besloten om de plaatjes die de peddels vormen direct op het wiel te plakken en dus niet met een tussenstuk.

³⁰ <https://github.com/robinaerts/solarexplorer>

5.3.4 *Waterdichtheid en drijven*

Om de waterdichtheid van de wagen te garanderen is er gebruik gemaakt van silicone. Als eerst is er silicone aan de binnenkant aangebracht door deze op de ribben te smeren. Na enkele dagen drogen was deze helemaal opgedroogd. Daarna was het tijd om te buitenkant ook op te spuiten met silicone. Hierbij werd elk gaatje met een wattenstokje dichtgemaakt zodat er zeker geen water van buitenaf de wagen kan binnestromen.

Uiteraard moet de wagen ook kunnen drijven. Hier zorgt het frame al voor een groot deel voor. Het frame is namelijk gemaakt van een zeer licht materiaal. Daarnaast zorgt ook de bodem van de wagen ervoor dat deze zal drijven aangezien het een relatief groot oppervlakte is. Binnenin de wagen bevindt zich enkel het elektrisch circuit.

5.4 **Reflectie**

De resultaten van experiment zijn zeker niet onverwacht maar het amfibievoertuig ziet er wel anders uit dan in de hypothese. Zo hebben we besloten om geen rupsbanden te gebruiken, maar wielen. De peddels staan dicht bij het wiel dan in onze hypothese en het frame heeft ook een andere vorm dan het oorspronkelijke plan. Van bepaalde onderdelen was de uitkomst wel voorspelbaar, zoals het elektrische gedeelte. Dat deel was ook op voorhand al heel goed uitgedacht. Hierdoor verliep het maken ervan ook vrij vlot.

Het bouwen van een miniatuuramfibievoertuig was heel wat meer werk dan verwacht. Om het experiment vlotter te laten verlopen zou vroeger gestart kunnen worden en een gedetailleerdere planning gemaakt kunnen worden.

BESLUIT

In het eerste deel van dit onderzoek, de literatuurstudie, hebben we ons gefocust op zonne-energie. Hierbij hebben we uitgelegd hoe zonnepanelen werken en de geschiedenis ervan. Daarnaast hebben we ook factoren benoemd die het rendement van zonnepanelen kunnen beïnvloeden en de mogelijkheden opgesomd om zonne-energie op te slaan. We kunnen hieruit concluderen dat zonne-energie zeker bruikbaar is om een motor te laten draaien en dat de energie ook kan opgeslagen worden om later te gebruiken.

In het tweede deel van dit onderzoek, het experiment, hebben we de theorie toegepast. We hebben namelijk de motor van een amfibievoertuig laten draaien op zonne-energie. Om ervoor te zorgen dat het voertuig ook vooruit geraakt zonder de zon, hebben we er twee lithiumbatterijen op aangesloten om de energie op te slaan. Vervolgens moest er ook nog rekening gehouden worden met de voortbeweging in water, waterdichtheid en het drijfvermogen. Als kers op de taart werd er ook nog een camera geïnstalleerd zodat ‘The Explorer’ vanop afstand gevolgd kan worden.

BIBLIOGRAFIE

Boeken:

Geist, H. (2007). *Zonne-energie, zonnepanelen plannen en zelf installeren*. Amersfoort: Elektor.

Internet:

Dhar, M., & Harvey, A. (11.02.2022). *How do solar panels work?* [06.02.2023, Livescience: <https://www.livescience.com/41995-how-do-solar-panels-work.html>].

Goessens, S. (26.05.2020). *Zonnepanelen en batterijen: een goede investering?* [06.02.2023, Zonnepanelenenergie: <https://zonnepanelenenergie.be/batterijen>].

Klompers, J. (05.04.2018). *Vergeet zonnepanelen op het zuiden: specialist verkapt hoe het wél moet*. [06.03.2023, hln: <https://www.hln.be/woon/vergeet-zonnepanelen-op-het-zuiden-specialist-verkapt-hoe-het-wel-moet~a60f09e1>].

Koops, E. (16.10.2022). *Geschiedenis & uitvinding van de zonnepanelen*. [09.02.2023, Historiek: <https://historiek.net/geschiedenis-uitvinding-zonnepanelen/70199>].

Laan, K. (z.d.). *What is a solar tracker and is it worth the investment?* [06.03.2023, Solarreviews: <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>].

z.a. (11.12.2020). *Generating Electricity: Solar Cells*. [09.02.2023, Letstalkscience: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/generating-electricity-solar-cells>].

z.a. (27.04.2022). *4 different types of solar panels (2022): cost, efficiency & power*. [02.03.2023, Solar square: <https://www.solarsquare.in/blog/types-of-solar-panels>].

z.a. (09.08.2022). *Why don't solar panels work as well in heat waves?* [05.03.2023, Weforum: <https://www.weforum.org/agenda/2022/08/heatwaves-can-hamper-solar-panels>].

z.a. (14.12.2022). *Monokristallijne zonnepanelen (prijzen + 4x voordelen)*. [02.03.2023, Warmerhuis: <https://warmerhuis.be/monokristallijne-zonnepanelen>].

z.a. (z.d.). *Innoptus Solar Team*. [05.03.2023, Solarteam: <https://www.solarteam.be>].

z.a. (z.d.). *Zonne-energie*. [23.01.2023, Pricewise: <https://www.pricewise.nl/duurzame-energie/zonne-energie>].

z.a. (z.d.). *Zonne-energie*. [23.01.2023, Overstappen: <https://www.overstappen.nl/energie/duurzame-energie/zonne-energie>].

z.a. (z.d.). *Werking & opbouw zonnepanelen*. [23.01.2023, Zonnepanelenkopen: <https://www.zonnepanelenkopen.be/zonnepanelen-systeem/werking-opbouw>].

z.a. (z.d.). *De geschiedenis en ontwikkeling van zonnepanelen*. [09.02.2023, Zonnestroomnederland: <https://www.zonnestroomnederland.nl/kennisbank/de-geschiedenis-en-ontwikkeling-van-zonnepanelen>].

z.a. (z.d.). *Monokristallijne (zwarte) zonnepanelen*. [02.03.2023, Zonne-energiegids: <https://www.zonne-energiegids.be/soorten-zonnepanelen/monokristallijn>].

z.a. (z.d.). *Polykristallijne (blauwe) zonnepanelen*. [05.03.2023, Zonnepanelenenergie: <https://zonnepanelenenergie.be/polykristallijne-zonnepanelen>].

z.a. (z.d.). *Amorf (dunne film) zonnepanelen*. [05.03.2023, Zonnepanelenextra: <https://www.zonnepanelen-xtra.nl/amorf>].

z.a. (z.d.). *Wat is de invloed van temperatuur op zonnepanelen?* [05.03.2023, Zonnefabriek: <https://www.zonnefabriek.nl/faq/wat-is-de-invloed-van-temperatuur-op-zonnepanelen>].

z.a. (z.d.). *Zonne energie opslaan*. [13.02.2023, Thuisbatterij: <https://www.thuisbatterij.be/zonne-energie-opslaan>].

z.a. (z.d.). *Azimut*. [06.03.2023, Zonne-energiegids: <https://www.zonne-energiegids.be/begrippenlijst/azimut>].

AFBEELDINGENLIJST

Figuur 1: Viveen, P. (22.02.2023). <i>Zonnepanelen kopen, tips voor de beste zonnepaneel keuze en aanschaf!</i> [26.03.2023, https://www.verbouwkosten.com/zonnepanelen/kopen/].	1
Figuur 2: z.a. (z.d.). <i>Theory of Solar Cells</i> . [09.02.2023, G2V: https://g2voptics.com/photovoltaics-solar-cells/theory-of-solar-cells/].	7
Figuur 3: z.a. (z.d.). <i>Types of solar panels: which one is the best choice?</i> [02.03.2023, Solarreviews: https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/].	11
Figuur 4: Geist, H. (2007). <i>Zonne-energie, zonnepanelen plannen en zelf installeren</i> . Amersfoort: Elektro	12
Figuur 5: Frame met platen. (eigen afbeelding)	15
Figuur 6: z.a. (19.08.2022). <i>Using ESP32 cam with arduino</i> . [27.03.2023, Hackster.io: https://www.hackster.io/noah_arduino/using-esp32-cam-with-arduino-b4f12c].	16
Figuur 7: z.a. (z.d.). <i>Gebildet 4pcs DC3V-12V DC Motorreductor voor Vliegtuigspeelgoed, Speelgoedauto met Vierwielaandrijving, Robotlichaam (Batchnummer: Dubbele as 1:48)</i> . [27.03.2023, Amazon: https://www.amazon.nl/dp/B0B3D789V3?ref_=pe_28126711_487767311_302_E_DDE_dt_1&th=1].	16
Figuur 8: z.a. (z.d.). <i>OcioDual Driver L298N DC PAP Driver Stepper Dual brug H voor robotelektronica projecten Raspberry PIC AVR</i> . [27.03.2023, Amazon: https://www.amazon.com.be/-/nl/OcioDual-Stepper-robotelektronica-projecten-Raspberry/dp/B07YNR5KWP/ref=asc_df_B07YNR5KWP/?tag=begogshpadd0d-21&linkCode=df0&hvadid=633401474851&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=532518802751497567&hvpon=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=1001282&hvtargid=pla-1875528526707&psc=1&gclid=CjwKCAjw_YShBhAiEiwAMomsEGRoimnS2rZWSP8IqxgfrB6eV6VTFqtKIpbWnKYPfZhfdU-vj8dRvRoCWNkQAvD_BwE].	16
Figuur 9: Elektrische schakeling: Zonnepaneel -> Batterijen -> Microcontroller. (eigen afbeelding).	17
Figuur 10: Elektrisch schema. (eigen afbeelding)	17
Figuur 11: Uiteindelijk webapplicatie. (eigen afbeelding)	18
Figuur 12: Aerts, R. (27.09.2022). <i>The Explorer</i> . [25.03.2023, Robyte: https://www.robYTE.me/publications/explorer.pdf].	18