

|  |
| --- |
| **Hannes Flament & Sibald Hulselmans**  6IW  2022-2023  Scheppersinstituut Wetteren |

A picture containing indoor, wall, sink, floor

Description automatically generated

**Eindproject Li-Fi, Industriële wetenschappen**

Eindproject

Li-Fi

# Inhoudstafel

[Inhoudstafel 2](#_Toc136803437)

[1 Dankwoord 1](#_Toc136803438)

[2 Inleiding 2](#_Toc136803439)

[2.1 Motivatie 2](#_Toc136803440)

[2.2 Abstract 2](#_Toc136803441)

[3 Doelstelling 3](#_Toc136803442)

[3.1 Onderzoek 3](#_Toc136803443)

[3.2 Basisdoelstellingen 3](#_Toc136803444)

[3.3 Uitbreidingsdoelstellingen 4](#_Toc136803445)

[4 Literatuurstudies 5](#_Toc136803446)

[4.1 Wat zijn de eigenschappen van zichtbaar en niet zichtbaar licht? 5](#_Toc136803447)

[4.2 Wat is de haalbaarheid & gebruiksvriendelijkheid van Li-Fi-technologie? 6](#_Toc136803448)

[4.3 Wat zijn de meest voorkomende misconcepties van Li-Fi technologie? 7](#_Toc136803449)

[4.4 Wat zijn de basiscomponenten van Li-Fi-systemen? 7](#_Toc136803450)

[4.5 Hoe zit de basiswerking, versturen en verzenden van draadloze informatie, in elkaar? 9](#_Toc136803451)

[4.6 Wat zijn de meest voorkomende modulatietechnieken binnen lichttechnologie? 10](#_Toc136803452)

[4.7 Wat is een protocol? Waarvoor wordt het gebruikt? Welk is beste voor ons project? 11](#_Toc136803453)

[4.8 Is er nood aan een actieve hoogdoorlaatfilter? 13](#_Toc136803454)

[5 Plan van aanpak 15](#_Toc136803455)

[6 Experimenten en Resultaten 16](#_Toc136803456)

[6.1 Experiment 1 16](#_Toc136803457)

[6.2 Experiment 2 17](#_Toc136803458)

[6.3 Experiment 3 18](#_Toc136803459)

[6.4 Experiment 4 19](#_Toc136803460)

[7 Eindresultaat: 2 weg communicatie 21](#_Toc136803461)

[7.1 Programmacode 22](#_Toc136803462)

[7.2 Flowchart 23](#_Toc136803463)

[8 Besluit 24](#_Toc136803464)

[8.1 Invloed daglicht 24](#_Toc136803465)

[8.2 Parameters 24](#_Toc136803466)

[8.2.1 Maximale afstand 24](#_Toc136803467)

[8.2.2 Maximum frequentie 24](#_Toc136803468)

[8.2.3 Maximum communicatiesnelheid 25](#_Toc136803469)

[8.3 Globale haalbaarheid en gebruiksvriendelijkheid*.* 26](#_Toc136803470)

[8.3.1 Gebruiksvriendelijkheid 26](#_Toc136803471)

[8.3.2 Haalbaarheid 26](#_Toc136803472)

[9 Bibliografie 27](#_Toc136803473)

[9.1 Afbeeldingen 29](#_Toc136803474)

[9.2 Tabellen 29](#_Toc136803475)

# Dankwoord

Om onze carrière op het Scheppersinstituut af te ronden wordt van ons verwacht in het laatste jaar een eindproject tot stand te brengen. Deze bundel is het schriftelijk verslag van ons project.

De laatste 10 maanden stonden we voor een heel educatieve uitdaging. Onze kennis van de voorbije jaren werd op de proef gesteld. Daarboven kwam de uitdaging om samen te werken, en elkaars ideeën te vergelijken. Beiden hebben we dit zeer positief ervaren. Daarbij deden meerdere inzichten alleen maar voordeel voor ons eindresultaat. Bij de uitwerking kregen we ondersteuning en ideeën van leerkrachten, vrienden en klasgenoten.

Als eerst zouden we graag het Scheppersinstituut willen bedanken, voor de leerzame jaren vol positieve ervaringen en de mogelijkheden dat het ons biedt verder te studeren.

Vervolgens bedanken we graag alle leerkrachten voor hun begeleiding doorheen ons eindproject. In het bijzonder onze leerkrachten engineering, de heren Peter Rutten, Dirk De Vos, voor hun uitgebreide ondersteuning. Daarbij bedanken we ook graag de heer Michiel De Maeyer voor zijn hulp tijdens de eerste experimenten.

Tot slot gaat onze dank naar onze ouders voor hun ondersteuning en hulp afgelopen jaar.

In deze bundel hopen wij een interessante en educatieve verslaggeving te brengen over ons eindproject.

# Inleiding

## Motivatie

Vorig jaar leerde Sibald het concept van Light Fidelity als eerste kennen op Maker Fair. Nieuwsgierigheid en interesse resulteerden zo in opzoekwerk. Li-Fi bleek een relatief nieuw concept met weinig onderzoek en zeer geschikt als eindproject. Dit bracht hem op het idee dit verder te onderzoeken in 6IW. Hannes geraakte geïntrigeerd door het idee en besloot aan te sluiten bij Sibald.

In deze studie combineerden we verschillende vakgebieden. Wiskunde, fysica, engineering, elektriciteit en Engels kwamen al eens snel opduiken in het verloop van het project. Zo wouden we een uitdagend maar voortdurend interessant eindproject ontwikkelen waar we allebei veel uit leren.

## Abstract

Door de digitalisering van zowat alles de laatste tijd, wordt er heel veel meer data verstuurd. Dit verhoogt de vraag naar sneller data versturen. Natuurlijk heeft alles een limit. Wij gingen op zoek naar een andere manier van data versturen. We onderzochten Li-Fi, wat het was en hoe het werkt. Li-Fi is een zeer onderontwikkeld concept en hier wouden wij verandering in brengen. Met dit onderzoek willen we Li-Fi onder de aandacht brengen, in de hoop dat het in de toekomst een breder toepassingsveld heeft.

We gebruikten 2 methodes, literatuurstudie en experimenten. Beiden bleken heel effectief en leerrijk te zijn. Bij literatuurstudie maakten we gebruik van meerdere online bronnen om de juiste informatie te vinden. Onze experimenten werden gedaan met Arduino, wij gebruikte de Arduino Uno. We bouwden steeds het circuit op, schreven de code, en maten de resultaten.

De resultaten van onze literatuurstudie en onze experimenten kwamen niet vaak overeen. Dit kwam omdat er bij de experimenten heel wat externe factoren waren, waar we bij onze literatuurstudie geen rekening mee hielden.  
Over het invloed van licht, waar we dachten dat we het eruit konden filteren, hadden we het dus zeer mis. De studie erover toonde aan dat dit een filterbare constante zou zijn. In praktijk was dit daarentegen niet het geval. Het licht zorgde ervoor dat onze fotodiode in saturatie ging, en we dus geen waardes meer konden lezen.  
Voor de maximale afstand verwachtten we zeker 10 m, gebaseerd op de literatuurstudie. Dit bleek niet het geval te zijn doordat de LED’s die wij gebruikte simpelweg niet sterk genoeg waren. Om duidelijke waarden te verkrijgen konden we maximaal tot 30 cm gaan als we het buitenlicht elimineerden, en tegen elkaar als we dit niet doen.  
De maximale frequentie hebben we niet duidelijk bepaald. Vanuit de literatuurstudie bleek dat we zeker tot 5 MHz zouden kunnen gaan. Dit bleek jammer genoeg niet het geval, we vermoeden dat dit komt door de Arduino zelf.

In conclusie is Li-Fi in een zeer prille fase. Er is nog veel onbekendheid rond het concept, ook zijn er nog veel plaatsen en situaties waar het toegepast kan worden. De ultieme situatie zou zijn waar Wi-Fi en Li-Fi met elkaar gecombineerd worden. De implementatie is niet eenvoudig maar wel doenbaar. Het grootste probleem is nu om de technologie verspreid te krijgen.

# Doelstelling

## Onderzoek

Een eindproject rond technologie van draadloze communicatie is niet haalbaar zonder eerst grondig opzoekwerk uit te voeren. We stelden volgende onderzoekcompetenties op:

* Onderzoek uitvoeren naar de eigenschappen van zowel zichtbaar als niet zichtbaar licht.
* De meest voorkomende misconcepties van Li-Fi technologie weerleggen.
* Onderzoek doen naar de haalbaar- en gebruiksvriendelijkheid van Li-Fi systemen.
* De basiswerking van het versturen en ontvangen van lichtsignalen ontdekken.
* De verschillende types componenten om dit te realiseren onderzoeken.
* Onderzoek uitvoeren naar de verschillende modulatietechnieken voor Li-Fi.
* De manieren om meerdere bronnen afzonderlijk te laten communiceren met hun toebehorende ontvangers onderzoeken.
* Onderzoek doen naar manieren om eventuele storingen in het communicatiemodel te kunnen verhelpen.
* Onderzoek uitvoeren naar de manier waarop informatie door een draadloos communicatiekanaal verstuurd kan worden. (protocol om bits te behandelen, deze bits te interpreteren, de afspraken tussen zender en ontvanger…)
* Het ontdekken van een basisprotocol om informatie heen en weer te sturen tussen twee plaatsen.
* De verschillende omstandigheden en voorwaarden die nodig zijn om deze draadloze communicatie te doen slagen onderzoeken tijdens de verkennende experimenten.

## Basisdoelstellingen

De doelstellingen die we in het begin van het jaar opstelden, omvatten:

* Alle voorop gesomde literatuurstudies volledig af te werken.
* Alle verkennende experimenten volledig af te werken.
* Het bouwen van een werkende opstelling dat een tekstbestand (bestaande uit 100 verschillende ASCII-karakters) kan versturen en ontvangen in een tijdsperiode van 1 min via Li-Fi.
* De opstelling zo robuust mogelijk ontwerpen zodat er geen informatie verloren gaat als de communicatie onderbroken wordt met behulp van protocollen.
* Een volledige vergelijkingstabel opstellen die de voor- en nadelen van Li-Fi tegenover Wi- Fi weergeven.
* Een theoretische/praktische idee opstellen dat het storende (DC) daglicht wegfiltert.

## Uitbreidingsdoelstellingen

Additionele doelstellingen die mogelijk verder worden ontwikkeld, omvatten:

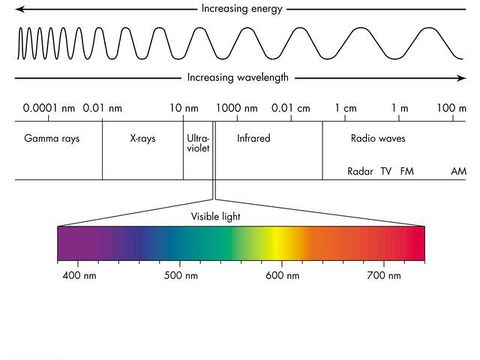
* Het doorsturen van andere vormen van informatie zoals geluid. Dit door een PCM-signaal onder vorm van een Li-Fi signaal te verzenden.
* De LED, die vooraf zichtbaar licht uitstraalde, vervangen door een infrarode/ultraviolet uitstraler. Dit om communicatie via niet-zichtbaar licht te doen slagen.
* Een praktische opstelling uitwerken om via Li-Fi signalen communicatie in het dagelijkse leven in te zetten. (Bv. mails ontvangen in de woonkamer).
* Een opstelling ontwerpen met meerdere verzenders en 1 ontvanger waarbij de ontvanger vrij in een ruimte kan bewegen en zijn informatie krijgt van de dichtstbijzijnde lichtbron.
* Een opstelling ontwerpen voor bidirectionele communicatie, waarbij informatie zowel verzonden als ontvangen kan worden tussen twee modules, teneinde een volledige dialoog mogelijk te maken.

# Literatuurstudies

Wanneer we in de maanden september de start van ons project aankondigden, waren we vooral gefocust op het onderzoek naar Li-Fi technologie. Hierdoor schreven we heel wat literatuurstudies uit. In het 2de semester legden we de focus meer op een praktisch ontwerp en linkten we de vergaarde theorie aan de praktijk.

Sinds onze literatuurstudies zeer uitgebreid zijn, passen ze niet in het bestek van dit verslag. Hieronder vatten we de belangrijkste delen samen. De volledige studies zijn echter te vinden op onze [GitHub-pagina](https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/documentation/Literatuurstudies).

## Wat zijn de eigenschappen van zichtbaar en niet zichtbaar licht?

1. Bronnen*:*
2. <https://e-tcetera.be/wat-is-licht/>
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>
4. Gevondeninfo*:*
5. In deze literatuurstudie leerden we heel wat bij over licht. We bekeken enkele basiskenmerken zoals frequentie en amplitude van een golf, en maakten een onderscheid tussen het EM (Electromagnetic) spectrum en het AF (audio frequency) spectrum. Ook verklaarden we het verschijnsel licht en legden we de link naar andere elektromagnetische golven. Algemeen leerden we zeer veel bij over de gegevensdrager van Li-Fi. [Eigenschappen van zichtbaar en niet zichtbaar licht](https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/documentation/Literatuurstudies).

Figuur : Het elektromagnetisch spectrum

1. Conclusies:
   1. In ons project zijn we niet gelimiteerd om enkel met zichtbaar licht te werken. Infraroodstraling is ook een optie indien we de kamer donker willen houden.
2. Aanpassingen?
3. Even twijfelden we communicatie via infrarood licht als basisdoelstelling toe te voegen. We weigerden dit door terug te blikken op het praktisch principe, namelijk data versturen in een klaslokaal met zichtbaar licht. Er werden dus geen aanpassingen gedaan.

## Wat is de haalbaarheid & gebruiksvriendelijkheid van Li-Fi-technologie?

* 1. Bronnen:
     1. <https://lifi.co/lifi-pros-cons/>
  2. Gevonden info
     1. In deze literatuurstudie legden we uitgebreid het verschil uit tussen de 2 bestaande draadloze technologieën Wi-Fi en Li-Fi. Hieruit haalden we de voor- en nadelen en legden we zo de link met de haalbaarheid en gebruiksvriendelijkheid van deze innovatie manier van communiceren via licht. [Haalbaarheid en gebruiksvriendelijkheid](https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/documentation/Literatuurstudies)

Daarbij stelden we een vergelijkingstabel op tussen Li-Fi en Wi-Fi:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Li-fi icon premium style design from future Vector Image  **Li-Fi** | Wi-Fi Wifi Symbol - Free vector graphic on Pixabay  **Wi-Fi** |
| Volledige naam | Light Fidelity | Wireless Fidelity |
| Manier van communiceren | Verstuurd data via zichtbare of infrarode golven in het elektromagnetisch spectrum. | Verstuurd data via radiogolven in het elektromagnetisch spectrum. |
| internetsnelheid | 1Gbps – 224 Gbps | 4.5 Mbps – 240 Mbps |
| Securiteit | Veiliger dankzij ondoorlaadbaarheid | Minder veilig dankzij doorlaatbaarheid |
| Bereik | 0m - 10m | 0m - 32m |
| Prijs | Relatief goedkoop | Aan de duurdere kant |
| Energie-efficiëntie | Zeer efficiënt dankzij gebruik van LED’s | Minder efficiënt |

Tabel : Vergelijking Li-Fi & Wi-Fi

* 1. Conclusies:
     1. De gebruiksvriendelijkheid van Li-Fi ligt niet ver van die van Wi-Fi. Vanaf je verbonden bent ben je vrij te bewegen in de ruimte binnen het bereik van de lichtbronnen. Dankzij de efficiëntie en hoge kwaliteit is deze manier van communiceren een haalbaar doel in welvarende landen. Ook op vlak van veiligheid stijgt het boven Wi-Fi uit. Als we kijken op vlak van schoolverlichting, straatverlichting, verlichting van gebouwen of vervoersverlichting is het een ander verhaal. Hieruit concludeerden we dus dat het volledige pakket Li-Fi is op de dag van vandaag nog niet beschikbaar genoeg om wereldwijd op dagdagelijks vlak ingezet te worden. Daarentegen heeft het een paar zeer interessante eigenschappen, die we verder gaan gebruiken in ons project.
     2. In ons project wil dit concreet zeggen dat Li-Fi de capaciteiten en potentieel heeft om als eindproject te onderzoeken.
  2. Aanpassingen?
     1. Het is eventueel mogelijk om met meerder verzenders te werken in ons project. Dit zal echter niet meer van toepassing zijn, vooral door tijdsgebrek.

## Wat zijn de meest voorkomende misconcepties van Li-Fi technologie?

1. Bronnen:
2. <https://lifi.co/lifi-misconceptions/>
3. <https://www.lifitn.com/blog/2018/8/5/li-fi-misconceptions>
4. Gevonden info:
5. In deze literatuurstudie onderzochten we uitgebreid naar de veelvoorkomende misconcepties over Li-Fi. *Li-Fi werkt niet in zonlicht Speciale LED's zijn nodig voor Li-Fi* zijn 2 misconcepties die we in dit document volledig weerleggen. [Misconcepties Li-Fi](https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/documentation/Literatuurstudies)
6. Conclusies:
7. Ter illustratie is het concept *Speciale LED's zijn nodig voor Li-Fi* volstrekt foutief. Gewone LED-lampen zijn in staat te knipperen boven de waarneembaarheid van het menselijk oog. Hierdoor kunnen zelfs simpele klaslampen voor Li-Fi gebruikt worden. De rest van de antwoorden zijn te vinden in bovenstaand document.
8. Aanpassingen?
9. De basisdoelstelling ‘een theoretische noicecancelling formule opstellen dat het storende daglicht wegfiltert’ zal niet zo moeilijk zijn als op voorhand geanticipeerd.

## Wat zijn de basiscomponenten van Li-Fi-systemen?

1. Bronnen:
2. <https://www.youtube.com/watch?v=zYL-Bw7S3sc>
3. <https://purelifi.com/lifi-technology/>
4. [https://www.electronicshub.org/photodiode-working-characteristics-](https://www.electronicshub.org/photodiode-working-characteristics-applications/) [applications/](https://www.electronicshub.org/photodiode-working-characteristics-applications/)
5. [https://www.electronics-](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/transistor/what-is-a-phototransistor-tutorial.php) [notes.com/articles/electronic\_components/transistor/what-is-a-](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/transistor/what-is-a-phototransistor-tutorial.php) [phototransistor-tutorial.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/transistor/what-is-a-phototransistor-tutorial.php)
6. <http://lednique.com/opto-isolators-2/light-dependent-resistor-ldr/>
7. Gevonden info:
8. In deze literatuurstudie onderzochten we welke componenten we het best zouden gebruiken, rekening houdend met de prijs en de toepassing van Li-Fi.

Uit de datasheets haalden we volgende belangrijke waardes en eigenschappen:

[Potentiometer](https://datasheetspdf.com/pdf-file/866974/ALPHA/RV24AF-10-40R1-B10K/1):

|  |  |
| --- | --- |
| Weerstand + tolerantie: 10 kΩ ±20% | Levensduur: 15,000 cyclussen |
| Rotatiehoek: 300° ± 5° | Vermogen: 250 – 500 mW |

Tabel : Eigenschappen potentiometer

[LED](https://www.vishay.com/docs/81159/vlhw5100.pdf):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Chart, line chart, histogram  Description automatically generatedGolflengte: 400 - 780 nm  Figuur : Intensiteit i.f.v. de golflengte LED | | Lichtsterkte: 5600 - 11200 mcd  Diagram  Description automatically generated  Figuur 3: Formule candela naar Lumen (naar [7])  (met Φ lichtsterkte in lumen, A de openingshoek (10°) en I lichtsterkte in candela)  --> 134 – 268 mlm | |
| Halve-gevoeligheidshoek: ± 10 ° | | Nominaal vermogen: 100 mW | |
| Nominale stroom: 30mA | Nominale spanning: 2,8 -3,6 V | | Serieweerstand: |

Tabel : Eigenschappen LED

[Fotodiode](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/bpw34-datasheet.pdf):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Golflengte : 430 - 1100nm  Chart, line chart  Description automatically generated  Figuur : Gevoeligheid i.f.v. de golflengte fotodiode | | Stijg & valtijd: 100 ns --> = 5 MHz | |
| Halve-gevoeligheidshoek: ± 65° | | Vermogen: 215 mW | |
| Nominale stroom: 50 µA | Nominale spanning: 350 mV | | Serieweerstand: |

Tabel : Eigenschappen fotodiode

1. Conclusies:
2. Als ontvanger zullen we een fotodiode gebruiken.
3. Als verzender gebruiken we een standaard witte LED. Op grote schaal verwijst deze naar LED-verlichting in bijvoorbeeld klaslokalen.
4. Aanpassingen?
5. Na deze literatuurstudie moesten de doelstellingen niet aangepast worden.

## Hoe zit de basiswerking, versturen en verzenden van draadloze informatie, in elkaar?

1. Bronnen:
2. <https://www.lifi.nl/lifitechnologie/#:~:text=Met%20LiFi%20technologie%20kunnen%20gegevens,extreem%20hoge%20snelheden%20worden%20gemoduleerd>.
3. Gevonden info:
4. In deze literatuurstudie onderzochten we het basisprincipe van Li-Fi. We keken hierbij hoe het model van Li-Fi data verstuurt en ontvangt. Hierbij werkten we ook een zeer basis voorbeeld uit om dit te concretiseren. [Basiswerking versturen & verzenden](https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/documentation/Literatuurstudies)
5. Conclusies:
6. A picture containing text, screenshot, diagram, design

   Description automatically generatedHet model werkt als volgt:

[Diagram

Description automatically generated](https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=80019)

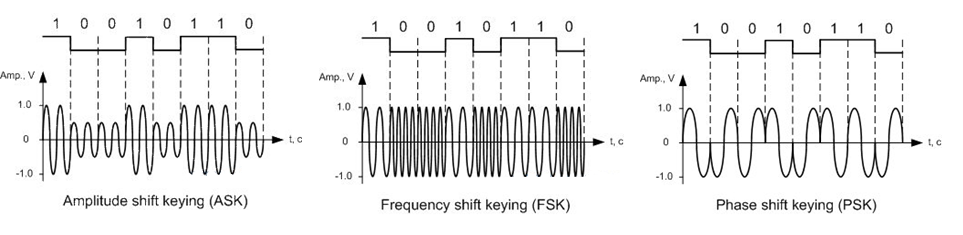
Figuur : Schematische voorstelling Li-Fi communicatie

* + - 1. De ethernet kabel en de stroom komen binnen in een Li-Fi Module.
      2. De Li-Fi Module verwerkt die 2 inputs en combineert ze voor de output. Dit gebeurt door oftewel de amplitude of de frequentie van het lichtsignaal te wijzigen in functie van de bit die het ontvangt van de Ethernet kabel. Een deel informatie kan dus op meerdere manieren worden voorgesteld. De methode van versturen en ontvangen wordt modulatie genoemd.
      3. De output gaat door naar de LED lampen.
      4. De lampen zullen voor het menselijk oog gewoon aan staan maar de fotodiode, gemonteerd op de andere computer, kan deze verschillen in amplitude of frequentie oppikken.
      5. De ontvangende signalen worden omgezet in delen informatie.
      6. Aangezien deze informatie overeenkomt met wat er binnenkomt via de Ethernet kabel (zie stap 1), is het apparaat nu verbonden met het internet.

1. Aanpassingen?
2. We maakten nog niet meteen een keuze over het type signaal. Dit zal blijken na de bijbehorende literatuurstudie en de experimenten. Er werden dus geen aanpassingen uitgevoerd.

## Wat zijn de meest voorkomende modulatietechnieken binnen lichttechnologie?

1. Bronnen:
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation>
3. *The Next Generation of Wireless Communication Using Li-Fi (Light Fidelity) Technology* [1]’
4. ‘*Various Modulation Techniques for LiFi* [2]
5. Gevonden info:
6. In deze literatuurstudie onderzochten we de meest toepasselijke manier om informatie draadloos te moduleren. [Modulatietechnieken](https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/documentation/Literatuurstudies)



1. Conclusies:
2. ASK is een eenvoudige maar onzorgvuldige manier om draadloze communicatie te doen slagen. Bijzonder veel simpele lichtbronnen zijn in staat de fotodiode te beïnvloeden en zo de informatieoverdracht te ondermijnen.
3. FSK, PSK & QPSK zijn excellente manieren om data draadloos te moduleren.
4. Aangezien de gegevens die wij gaan doorsturen niet de meest excellente manier van communicatie vereisen, terwijl we wel zo veel mogelijk ruis willen onderdrukken, zullen we kiezen om met FSK (frequentie-shift-keying) ons project verder te zetten. Dit bleek ook na experimenten de beste keuze. In dit verslag refereren we hier verder naar als ‘FM’ (frequentie modulatie).
5. Storend daglicht zal veel minder problemen veroorzaken dan oorspronkelijk voorzien. Een constante lichtstraal heeft geen invloed op de frequentie van het binnenkomend signaal.
6. Aanpassingen?
7. Na enkele vorige experimenten kwamen we ook achter de conclusie dat het moduleren aan de hand van frequentie voor ons project de meest geschikte manier is. Er moet dus geen concrete veranderingen aangebracht worden.
8. Weer verwachten we dat de basisdoelstelling ‘een theoretische noicecancelling formule opstellen dat het storende daglicht wegfiltert’ niet zo moeilijk zal zijn als op voorhand geanticipeerd.

## Wat is een protocol? Waarvoor wordt het gebruikt? Welk is beste voor ons project?

Bronnen:

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11>
2. <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LiFi-tutorial.html>
3. <https://owcc.jakajima.eu/wp-content/uploads/2020/10/Interference-handling-for-LiFi-OWC-20202-Paper-def.pdf>

Gevonden info:

1. In deze literatuurstudie onderzochten we de principes van een basisprotocol. Hierin worden regels vastgelegd tussen zender en ontvanger af te spreken, zodat beide op een correcte manier informatie verkrijgen en versturen. In ons project gaan we dit gebruiken om storingen tijdens de informatieoverdracht en interferentie bij overlapping tegen te gaan.
2. Het feit dat storingen en overlappingen onvermijdelijk zijn in elk type van communicatie speelt in ons nadeel. *Wat doen we met overlappende lichtbronnen die elkaar kunnen verstoren?* Sinds de maand september zijn we op enkele bijkomende storingen gekomen die nieuwe vragen oproepten. *Wat als er nu een object verschijnt voor de rechtstreekse straal van de zon?*

Conclusies:

1. Storingen en interferenties van alle soorten lijken een groot probleem voor onze opstelling. Dit is echter niet zo. Er bestaat echter een manier om deze storingen slimmer af te zijn. In het onderzochte protocol kunnen we een fenomeen genaamd handshaking verwerken. We laten we de ontvanger en verzender hun verkregen informatie met elkaar vergelijken. Indien er informatie verloren gaat, door een plotse tussenkomst, vragen we de verzender de informatie opnieuw te versturen. Het zal lijken alsof het internet heel eventjes wegvalt, maar oorzaken van de storing zijn onvermijdelijk.
2. Overlapping of interferentie daarentegen is wel vermijdelijk, maar heeft grote invloeden op de internetsnelheden. Manieren om LED-lampen dus over elkaar te laten lopen kan weer opgelost worden met behulp van een correcte toepassing van een protocol. Elke ontvanger luistert op elk moment naar deeltjes info. Wanneer 1 bepaalde LED iets te versturen heeft naar 1 bepaalde fotodiode, geven we een adressering mee in het begin van de informatieoverdracht. Ontvangers die hun adres niet herkennen slaan de boodschap over.

A picture containing text, handwriting, font, line

Description automatically generatedWe werkten een praktisch voorbeeld van een basisprotocol uit op papier.

Ons protocol zorgt ervoor dat de verbinding tussen 2 apparaten robuuster wordt. Wij hebben de opbouw aangepakt met behulp van pakketten. Deze staan op de afbeelding voorgesteld als blokjes met tekst in. De afbeelding geeft visueel voor wat de verzender doorstuurt. Bij LPV1 (Li-Fi Protocol Versie 1) zorgen we ervoor dat de ontvanger kan weten welke pakketten er verloren zijn gegaan. Indien er geen pakketten weg zijn, beantwoord de ontvanger met "OKE", anders kan de ontvanger vragen aan de verzender om de ontbrekende pakketten opnieuw door te sturen aan de hand van hun PID.

In LPV2 implementeerden we de communicatie met meer dan 2 personen. Dit gebeurt aan de hand van een verzender- en ontvangersadres op te stellen. De adresseringen worden aan elke LED in de codering meegegeven. We versturen deze voordat het door te sturen bericht verzonden wordt. Hierdoor weten alle apparaten aan wie het bericht bedoeld is, en kan de ontvanger weten van wie het bericht komt om een boodschap terug te sturen.

Het eerste pakket is steeds dezelfde; SOH en Lenght. SOH staat voor Start-Of-Heading en laat weten dat er een bericht start. Hierbij wordt ook een adressering meegegeven. Length geeft weer uit hoeveel pakketten het bericht bestaat. Hierdoor kan de ontvanger controleren of het weldegelijk alle pakketten ontvangen heeft.

Ieder pakket wordt onderbroken door een Package Break (PB). Dit zorgt ervoor dat het eenvoudiger is om pakketten te onderscheiden. De groene nummers representeren het aantal bytes dat voorbehouden is voor elk deeltje.

Aanpassingen?

1. Deze literatuurstudie werd onderzocht tijdens het uitvoeren van de verkennende experimenten. Het implementeren van dit protocol was een basisdoelstelling. We beseften te laat dat dit veel tijd zou innemen, en net iets boven onze vaardigheden uitschuift. We besloten hierna deze doelstelling als uitbreiding te verplaatsen. In de plaats kwam de uitbreidingsdoelstelling 2 weg communicatie naar boven geschoven. Deze werkten we uit als eindresultaat voor ons onderzoek. Weliswaar is deze opstelling minder robuust, maar slagen we er wel in bidirectioneel te versturen.

## Is er nood aan een actieve hoogdoorlaatfilter?

Na enkele verkennende experimenten uit te voeren kwamen we een botsing tegen met de literatuurstudie. Terwijl we in vorige onderzoeken afleden dat daglicht geen probleem zou vormen, keken we iets groots over het hoofd. De inkomende bundel lichtstralen, afkomstig van de zon, heeft een heel hoge intensiteit. Onze LED’s daarentegen niet. Dit wil zeggen dat wanneer de fotodiode zich in rechtstreeks zonlicht bevond, het toegevoegd verschil van de knipperende LED niet meer op te merken was. Zo konden we toch geen informatie meer ontvangen.

Samen met onze leerkracht kwamen we op het idee een laagdoorlaatfilter in te brengen in onze schakeling, die daarbij ook versterkt. Hierover moest er dus onderzoek uitgevoerd worden.

1. Bronnen:
   * 1. <https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_6.html>
     2. <https://nl.wikibooks.org/wiki/Elektronica/Opamps/Niet_Lineaire_Schakelingen/Schmitt_Trigger>
     3. <https://www.circuits-diy.com/lm348-quad-741-op-amp-datasheet/>
2. Gevonden info

A diagram of a circuit

Description automatically generated with low confidencePuur theoretisch gezien is een OpAmp een goede oplossing voor ons probleem. Onderstaande schakeling zou hiervoor moeten werken.

Figuur : Actieve hoogdoorlaatfilter

1. Conclusies:
2. Een implementatie van een actieve hoogdoorlaatfilter zal ons probleem oplossen. De basisdoelstelling ‘Een theoretische/praktische idee opstellen dat het storende (DC) daglicht wegfiltert’ wordt hiermee verzekerd.
3. Aanpassingen?
   1. Na deze literatuurstudie moesten de doelstellingen niet aangepast worden.

# Plan van aanpak

Ons plan van aanpak is eenvoudig en helder. We gingen van start met het grondig bestuderen van relevante literatuur over Li-Fi-technologie. Deze verdeelden we onder elkaar, gaven elkaar deadlines en legden we daarna de gevonden informatie uit aan elkaar zodat we beiden de literatuur begrepen. Vervolgens pasten we deze kennis toe in verkennende experimenten, waarvan we de resultaten en conclusies vergeleken met wat we in de literatuur gevonden hadden. Op basis hiervan trokken we besluiten die we meenamen tot het einde. Zo verkregen we een betrouwbaar eindresultaat, dat we door en door begrepen.

# Experimenten en Resultaten

## Experiment 1

A picture containing diagram, text, line, plan

Description automatically generatedWe plaatsen de LED en de fotodiode voor elkaar. Op verschillende manieren testen we de componenten en de capaciteiten ervan.

Figuur : Opstelling experiment 1

**Onderzoeksvragen:**

* Werken beide componenten?
* Hoe ver kan de fotodiode consequent waardes opvangen van de LED?
* Slaagt de fotodiode erin het verschil in waardes van de LED correct op te vangen?
* Heeft het omgevingslicht een grote invloed?

**Hypothese:**Beide componenten werken zonder veel problemen. Met een afstand tot 1 meter zonder grote invloed van het omgevingslicht.

**Conclusie:**Na een kleine moeilijkheid met de connecties kregen we beide componenten aan de praat. Wanneer we de afstand testten, merkten we dat de opgevangen waarden sterk daalden in functie van de afstand. Dit gebeurde sterker dan verwacht. We maten we tot 90% verlies in amplitude bij een afstand van 61 cm. In theorie is dat geen probleem voor ons project, we gaan ervan uit dat de belichting van het hele lokaal met Li-Fi werkt. Hierdoor wordt storend buitenstaand licht met variërende frequentie uitgesloten.

## Experiment 2

A picture containing diagram, text, plan, line

Description automatically generatedIn dit experiment testten we 2 modulatietechnieken: amplitude modulatie (AM) en frequentie modulatie (FM). Hiermee willen we verder bouwen op de literatuurstudie 4.1.6 . We voegden 2 LED’s toe aan de schakeling, om de totale lichtsterkte te vergroten. Amplitude modulatie onderzochten we door de lichtsterkte van onze LED’s te laten variëren. Frequentie modulatie testten we door de frequentie van de knipperende LED’s aan te passen. Beide deden we dit naar ingestelde waardes. Deze waardes konden we dan aflezen via de fotodiode. We schakelden ook een potentiometer aan om de lichtsterkte en frequentie aan te passen volgens de waarde van de potentiometer. Hierdoor konden we de precisie testen van onze fotodiode.

Figuur : Opstelling experiment 2

**Onderzoeksvragen:**

* Slaagt de fotodiode erin het verschil in waardes van de LED correct op te vangen?
* Komen de frequenties tussen zender en ontvanger overeen?
* Wat is de minimumfrequentie? Wat is de Maximumfrequentie?
* Wat verandert er aan de maximum afstand?

**Hypothese:**De afgelezen waarden van de fotodiode komen, mits een klein beetje speling, zeer goed overeen. We verwachten een frequentie bereik van 1 Hz tot 5MHz, verwijzend naar de eigenschappen van een fotodiode. De fotodiode heeft voor AM een afwijking van 15% en voor FM 5%.

**Conclusie:**We merkten dat AM niet makkelijk toe te passen was. Dit komt omdat een Arduino UNO geen analoge output pinnen heeft. We konden hierbij wel werken met Pulse Width Modulation (PWM) maar we besloten dit niet uit te werken. Door onderzoek concludeerden we dat AM niet ideaal was aangezien dit zeer hard afhangt van de omgeving; Gedempt glas, buitenlicht, passerende objecten en mensen. Bij FM moesten we daar helemaal geen rekening mee houden.

Het deel rond FM liep ook niet even vlot als voorzien. De moeilijk zat hem in het implementeren van correcte codering aan de kant van de ontvanger. We probeerde dit te doen op verschillende manieren en hebben dus meerdere versies code gemaakt. In de laatste versie werkten we met interruptus. Dit gaf ons zeer mooie resultaten, een frequentiebereik van 1Hz tot ongeveer 1600 Hz en een precisie van 99,4%.

Voor wie aandachtig dit document doorneemt zou deze maximumfrequentie misschien als verassing binnenkomen. Uit de literatuurstudies haalden we een maximumfrequentie van 5 MHz. Dit is meer dan factor 2000 verschil. De grens zit hem echter in de capaciteiten van de Arduino. De fotodiode en de LED zijn perfect capabel op hoge frequenties te werken. We komen echter in de problemen wanneer we deze waardes willen printen in de seriële monitor van de Arduino. Het weergeven van de waardes neemt simpelweg te veel tijd in beslag, waardoor de loopfunctie niet op tijd eindigt. Stijgen we over 1600 Hz, dan slaan we éénmalig de functie over om de periode te meten. De frequentie halveerde dus weer, waardoor we nooit hoger konden.

## Experiment 3

Een andere reden dat ASK, of AM niet goed geschikt is voor ons project is omdat het spanningsverschil niet groot genoeg was. Wanneer de fotodiode in rechtstreeks daglicht staat merkten we dat de code, dat werkte met een interrupts, de frequentie niet konden lezen. Een interrupt is een functie binnen Arduino dat op de achtergrond steeds verifieerd of een verandering van waarde op een bepaalde pin plaatsvindt. Wanneer deze wisselt zal het een functie uitvoeren. We gebruikte dit om de periode te meten en hiermee de frequentie mee te berekenen. Het probleem lag hem echter in het feit dat een interrupt deze wisseling pas opmerkt als het een bepaalde spanningsdrempel over ging. Deze werd echter met een verlies van ongeveer 60% niet bereikt. Hierdoor werd de frequentie onberekenbaar.

Zoals al gedocumenteerd in de literatuurstudies is de oplossing een OpAmp, of operationele versterker. Bij de juiste aansluiting zal de OpAmp het inkomende signaal versterken met een externe bron van 0 tot 5 volt. Hierdoor zal het signaal dat binnenkomt in de Arduino steeds 0V of 5V zijn.

**Onderzoeksvraag:**

* Kunnen we het signaal versterken om tot voorbij de spanningsdrempel te raken?
* Kan de laagdoorlaatfilter het daglicht eruit filteren?

**Hypothese:**De waarden die we meten met de fotodiode zijn zeer duidelijk 0 of 5V. Het daglicht is bijna geen tot geen factor meer waar we rekening mee moeten houden.

**Conclusie:**

*A picture containing diagram, machine, plan

Description automatically generatedHet werken met OpAmps kan een uitdagende onderneming zijn, vol met verrassingen en onverwachte wendingen. Achter hun ogenschijnlijke eenvoud schuilt een complexiteit die soms tot geklungel kan leiden.*

Figuur : Opstelling experiment 3 Tinkercad

Wij slaagden er niet in de perfect werkende simulatie in Tinkercad om te vormen tot realiteit. We kregen een correct ingangssignaal tot de versterker, daarachter verdween het signaal. 2 verschillende schema’s en het vervangen van de OpAmp mocht niet baten. Weer waren we genoodzaakt een nieuwe oplossing te zoeken. We moesten dus code kunnen schrijven die zonder interrupts op de pin van de fotodiode zou werken. We keerden uiteindelijk terug naar de functie PulseIn().

## Experiment 4

A picture containing diagram, line, plot, parallel

Description automatically generatedWe voorprogrammeren een string aan bits in de zender. We versturen deze reeksen aan de hand van de best werkende methode in vorige experimenten en kijken of de ontvanger deze reeksen herkent. Om de bits om te zetten in frequentieverschillen werkten we volgend idee uit (Figuur 2: Datavorming bij frequentiemodulatie).

In de code gaan we controleren op 0’s en 1’tjes in de string. We geven beide Arduino’s referentiefrequenties mee, een 0 bit zal 600Hz en een 1 bit 800Hz zijn. Afhankelijk van de bit die verstuurd werd in de string zal de frequentie van de LED zich aanpassen. De ontvanger zal deze frequentie meten en om basis van de referentiefrequenties een 0 of een 1 opslaan. We printen de string in de seriële monitor.

Figuur : Datavorming bij frequentiemodulatie

In het programma voegen we ook een klok toe. Dit zorgt ervoor dat de ontvanger niet 2 keer dezelfde bit leest, met als resultaat een fout in de string.

**Onderzoeksvraag:**Slaagt de fotodiode de string aan bits juist te interpreteren?

**Hypothese:**Alles zou goed moeten verlopen. Dit is enkel maar te concluderen met Trial-and-error. We denken dus met een beetje speling van wel.

Na dit experiment met succes afgerond te hebben gaan we nog eens enkele storingen nabootsen die we zullen linken aan de literatuurstudies en ons zullen voorbereiden op volgende doestellingen. Een voorbeeld is om nogmaals de maximale afstand, waarin de string nog heelhuids wordt doorgegeven, op te meten.

# Eindresultaat: 2 weg communicatie

De uitbreidingsdoelstelling die veranderde naar basisdoelstelling is het ontwerpen van 2 weg communicatie. Hiermee beëindigden we de praktische uitwerking van ons project. Andere uitbreidingsdoelstelling waren niet meer mogelijk aangezien het onderwerp Li-Fi meer tijd in beslag nam dan verwacht.

Deze doelstelling blijkt uiteindelijk even essentieel om het beeld van de toepassing van Li-Fi aan te tonen. Hierdoor komen we dichter bij de werkelijke applicatie. Arduino 1, stelt een gebruiker voor. Arduino 2 de klaslampen aan de bovenkant van het lokaal.

A picture containing design

Description automatically generated with low confidence2 weg communicatie betekent dat beide computers een bericht zowel kunnen versturen als ontvangen. Hierbij komt er al een groot probleem naar boven: wat als beiden op het zelfde moment versturen? We kozen ervoor om de prioriteit te geven aan het ontvangen van een bericht. Dit betekent dat we eerst checken of we een bericht ontvangen vooraleer we iets versturen. Zo kan er maximaal 1 bericht tegelijkertijd verstuurd worden. Een oorspronkelijk ontwerp zag er ongeveer zo uit.

Figuur : Oorspronkelijke opstelling eindresultaat

We gingen echter iets verder om een proper eindresultaat te kunnen presenteren. De vader van Hannes knutselde een maquette ineen, waardoor de praktische uitwerking, het idee waarmee we ooit gestart mee zijn, terugkomt in het finaleproduct. Het eindresultaat zag er uiteindelijk als volgt uit:

A picture containing indoor, text, computer, computer

Description automatically generated

Figuur : Uiteindelijk opstelling eindresultaat

## Programmacode

Gezien de omvang van onze code, hebben we een GitHub-pagina aangemaakt om alle code en documentatie in te plaatsen. Hieronder staan de linken naar de programmacode van 2 weg communicatie.

Code voor plafond: <https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/src/Exp9a5%20-%20Definitief%20-%202-Way%20Ceiling/Exp9a5_2Way_Ceiling>

Code voor laptop: <https://github.com/SibaldH/Li-Fi_EndProject/tree/main/src/Exp9b5%20-%20Definitief%20-%202-Way%20Laptop/Exp9b5_2Way_Laptop>

## Flowchart

A diagram of a flowchart

Description automatically generated with low confidenceAchter onze programmacode schuilt een logische redenering met een stroomdiagram.

Figuur : Flowchart 2 weg communicatie

# Besluit

## Invloed daglicht

Oorspronkelijk hadden we het idee dat de invloed van het daglicht een factor zou zijn die moeilijk weg te werken was. Het zou de amplitude van het invallend signaal kunnen beïnvloeden. Er was misschien een manier om het te verwerken met een formule.

Na de literatuurstudie geloofden we echter dat door werken met de modulatie van frequentie, we geen problemen meer zouden ondervinden met daglicht. Het is echter een constante straal, en de fotodiode zou het verschil in frequentie van de LED kunnen opnemen, ondanks de eventuele verhoging van de amplitude door de zonstralen.

Aan de hand van experimenten merkten we dat de invloed van het daglicht overduidelijk meer op de fotodiode viel in plaats van de stralen uit de LED. De simpele witte Led was simpelweg te zwak. De fotodiode werd zo overbelicht dat het in verzadiging ging en het dus geen verschil in frequentie meer kon lezen. Hierdoor moesten we tijdens de meeste experimenten het daglicht afscheiden en de LED en fotodiode zeer dicht bij elkaar plaatsen.

In het uiteindelijke eindresultaat deden we een poging het invallend daglicht af te dekken. Toch bleef de het feit de LED en de fotodiode dicht bij elkaar te plaatsen een noodzaak.

## Parameters

### Maximale afstand

Uit de verklaring van vorige alinea kunnen we afleiden dat de fotodiode weldegelijk dicht op de LED moet staan. Er bestaan oplossing die in realiteit toegepast worden, zoals werken met krachtige, meer geconcentreerde lichtbronnen, zoals sterkere LED-lampen of lasers. Kijken we terug naar het praktisch idee, dan zullen de klaslampen zich dicht genoeg bij elkaar bevinden om de communicatie te doen slagen. Een andere manier is de omgeving af te sluiten van daglicht en volledig te steunen op de belichting van de lampen.

### Maximum frequentie

Wanneer we ons project starten hadden we geen enkel idee wat de maximum frequentie zou worden voor het doorsturen van info tussen de LED en de fotodiode. Beide waren we onbekend met een fotodiode. Ook de kennis van LED’s was ook bij beide miniem.

Het is belangrijk te weten dat de frequentie van de knipperende LED eigenlijk weinig invloed heeft in ons project. We bepalen de doorgestuurde bit enkel door de invallende frequentie te vergelijken met de frequentie voor bit 0 en 1. We kunnen dit op elke frequentie laten gebeuren. De minimumfrequentie van de LED wordt bepaald door de eis dat deze niet waarneembaar mag zijn voor het menselijk oog. Een hogere frequentie van de LED klinkt enkel en alleen aantrekkelijker.

Uit de literatuurstudie haalden we concrete waardes. De fotodiode zou frequenties kunnen opvangen tot 5 MHz hoog, de LED zou in theorie even snel moeten kunnen knipperen als de kloksnelheid van de Arduino UNO, 16 MHz.

Na de experimenten bleek de maximumfrequentie toch tegen te vallen. We bereikten een maximale frequentie van ongeveer 1,6 kilohertz. Er bestaat echter wel een verklaring voor dit fenomeen. De loop in onze code heeft een aanzienlijke hoeveelheid tijd nodig om volledig te worden doorlopen. Wanneer we dus de frequentiewaarde willen weergeven in de seriële monitor, neemt dit enkele honderden microseconden in beslag, waardoor de PulseIn()-functie niet op tijd terug wordt opgeroepen. Dit leidt ertoe dat we één puls missen wanneer de LED op een hogere frequentie knippert. Hierdoor wordt de frequentie foutief weergegeven in de seriële monitor.

Een manier om wel de juiste waarde te verkrijgen zou zijn door gebruik te maken van een externe frequentiemeter, namelijk een oscilloscoop. Zo hoeft de code zich niet bezig te houden met het weergeven van de frequentie, terwijl we deze wel kunnen verkrijgen. We voerden dit echter niet uit en besloten door te gaan met een maximum van 1600 Hertz.

### Maximum communicatiesnelheid

De communicatiesnelheid is ook bekend als de kloksnelheid. Deze zorgt ervoor dat de zender en ontvanger aan dezelfde snelheid versturen en ontvangen. Indien de beide kloksnelheden niet overeen komen zal de ontvanger 1 bit 2 keer lezen. Of omgekeerd, dan zal de ontvanger een bit overslaan. Dit zou betekenen dat alle apparaten die met elkaar communiceren op dezelfde kloksnelheid moeten communiceren. Voor het internet zoals we het nu kennen heeft men daar een oplossing voor gevonden. Door op de juiste manier data door te sturen moeten de 2 apparaten niet eens de kloksnelheid van elkaar weten.

Bij ons was dit niet het geval. De implementatie van het internet is niet simpel en vraagt veel rekenkracht, dat de Arduino niet heeft. Aangezien we ook maar met 2 apparaten werkten was het dus veel eenvoudiger om een snelheid af te spreken.

De kloksnelheid is de snelheid waarmee een bit verstuurd wordt. Als deze 1 seconde is, dan zal er om de seconde een bit verstuurd worden. Dit is niet zo realistisch, het zou al 8 seconden duren om maar 1 karakter door te sturen.

Bij onze eerste experimenten hadden we nog geen kloksnelheid. Dit komt omdat we voor beide kanten van de communicatie een Arduino UNO gebruikten. Deze hebben dezelfde verwerkingssnelheid. Aangezien onze code nog niet zo zwaar was in het begin was dit geen probleem.

Latere experimenten hadden dit probleem wel. Onze code werd meer uitgebreid en werd moeilijker om te verwerken. Hierdoor duurde het soms wat langer voor de ene Arduino om een bit te ontvanger en verwerken dan dat het duurde voor de andere Arduino om de volgende te versturen. Met als gevolg dat sommige bits dubbel werden gelezen en andere werden overgeslagen.

Door de implementatie van een kloksnelheid in onze code merkten we direct resultaat. De metingen waren veel correcter en we konden langere zinnen doorsturen. We begonnen met een kloksnelheid van 40 ms. Dit klinkt misschien niet zo heel veel maar als je een woord van 5 letter wilt doorsturen dan kost je dat 1,6s. Na een klein beetje Trail-and-error merkten we dat 20 ms de limit was voordat we weer te snel gingen voor een van de twee Arduino’s en data verloren. Om een zeker marge in te werken hebben we besloten dat 35 ms optimaal is voor snelheid en zekerheid.

## A screenshot of a computer Description automatically generatedGlobale haalbaarheid en gebruiksvriendelijkheid.

### Gebruiksvriendelijkheid

Algemeen ligt de gebruiksvriendelijkheid van Li-Fi ligt niet ver van die van Wi-Fi. Op het toestel verbind je zoals bij Wi-Fi met het Li-Fi-netwerk onder de internetinstelling. Vanaf je verbonden bent ben je vrij te bewegen in de ruimte binnen het bereik van de lichtbronnen. Waarschijnlijk ondervind je zelfs een hogere internetsnelheid, wat ervaren kan worden als een betere gebruiksvriendelijkheid dan Wi-Fi.

### Haalbaarheid

Dankzij de efficiëntie en hoge kwaliteit is deze manier van communiceren een haalbaar doel in welvarende landen. Vooral op industrieel vlak, op kantoor of binnenshuis is dit zeker waard om te overwegen.

Op gebied van schoolomgevingen is er twijfel mogelijk. De meeste scholen hebben nog niet eens complete LED-verlichting. Daarbij zit de technologie nog altijd in ontwikkelingsfase. In de nabije toekomst kunnen we wel verwachten dat modernere klaslokalen deze manier van communicatie zullen implementeren.

Als we kijken op vlak van schoolverlichting, straatverlichting, verlichting van gebouwen of vervoersverlichting is het een ander verhaal. We kunnen niet verwachten dat elke verlichting buitenshuis via Li-Fi technologie zal werken. Het bereik blijft een grote factor. Ook in landen met een lagere economische status is het niet vanzelfsprekend.

# Bibliografie

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Y. Perwej, “The Next Generation of Wireless Communication Using Li-Fi (Light Fidelity) Technology,” Science and Education Publishing, Al Baha, 2017. |
| [2] | Prateek Gawande, Aditya Sharma, Prashant Kushwaha, “Various Modulation Techniques for LiFi,” International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Gyan Ganga, 2016. |
| [3] | Taiba Wani, Syed Asif Ahmad Qadri, “An Insight into the Modulation schemes for Visible light,” Taiba Wani and Syed Asif Ahmad Qadri, ?, 2019. |
| [4] | Wikipedia, “Modulation,” 22 03 2023. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation. |
| [5] | Wikipedia, “Light,” 6 Oktober 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Light. |
| [6] | Wikipedia, “Foton,” 6 Oktober 2022. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Foton. |
| [7] | Wikipedia, “Candela (eenheid),” 18 march 2023. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Candela\_(eenheid)#Verwante\_eenheden:\_lux\_en\_lumen. |
| [8] | vishay.com, 30 11 2022. [Online]. Available: https://www.vishay.com/docs/81159/vlhw5100.pdf. |
| [9] | Vishay, “Ultrabright White LED, Ø 5 mm Untinted Non-Diffused Package,” 21 03 2023. [Online]. Available: https://www.vishay.com/docs/81159/vlhw5100.pdf. |
| [10] | Vishay, “Silicon PIN Photodiode,” 21 03 2023. [Online]. Available: https://components101.com/sites/default/files/component\_datasheet/bpw34-datasheet.pdf. |
| [11] | Revistaespacios, “Revistaespacios,” 05 10 2022. [Online]. Available: http://www3.revistaespacios.com/a20v41n29/a20v41n29p02.pdf. |
| [12] | purelifi.com, “lifi technology,” 11 30 2022. [Online]. Available: https://purelifi.com/lifi-technology/. |
| [13] | e. Mouser, “Alpha B10K potentiometer,” 21 03 2023. [Online]. Available: https://datasheetspdf.com/pdf-file/866974/ALPHA/RV24AF-10-40R1-B10K/1. |
| [14] | lifitn.com, “Li-Fi misconceptions,” 02 02 2023. [Online]. Available: https://www.lifitn.com/blog/2018/8/5/li-fi-misconceptions. |
| [15] | lifi.nl, “lifi.nl,” 05 10 2022. [Online]. Available: https://www.lifi.nl/lifi-technologie/#:~:text=Met%20LiFi%20technologie%20kunnen%20gegevens,extreem%20hoge%20snelheden%20worden%20gemoduleerd.. |
| [16] | Lifi.co, “lifi misconceptions,” 02 02 2023. [Online]. Available: https://lifi.co/lifi-misconceptions/. |
| [17] | lifi.co, “lifi pros-cons,” 22 11 2022. [Online]. Available: https://lifi.co/lifi-pros-cons/. |
| [18] | Jimblom, “Digital Signals,” 15 February 2023. [Online]. Available: https://learn.sparkfun.com/tutorials/analog-vs-digital/digital-signals. |
| [19] | Ggz, “het-belang-van-licht-voor-onze-fysieke-en-mentale-gezondheid,” 6 Oktober 2022. [Online]. Available: https://ggz.nl/het-belang-van-licht-voor-onze-fysieke-en-mentale-gezondheid/. |
| [20] | J. Franson, “coe.edu,” 6 Oktober 2022. [Online]. Available: https://sites.google.com/a/coe.edu/principles-of-structural-chemistry/relationship-between-light-and-matter/electromagnetic-spectrum. |
| [21] | electronics-notes.com, “Electronic components - transistor - what is a phototransistor?,” 30 11 2022. [Online]. Available: https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\_components/transistor/what-is-a-phototransistor-tutorial.php. |
| [22] | electronicshub.org, “Photodiode working characteristics applications,” 30 11 2022. [Online]. Available: https://www.electronicshub.org/photodiode-working-characteristics-applications/. |
| [23] | ednique.com, “Light dependent resistor - LDR,” 30 11 2022. [Online]. Available: http://lednique.com/opto-isolators-2/light-dependent-resistor-ldr/. |
| [24] | P. V. Duppen, “Wat is licht?,” 6 Oktober 2022. [Online]. Available: E-tcetera.be/wat-is-licht/. |
| [25] | T. Desu, “LIFI: How two-way communication is performed?,” 15 February 2023. [Online]. Available: https://www.quora.com/LIFI-How-two-way-communication-is-performed. |
| [26] | datasheetspdf.com, “RV24AF-10-40R1-B10K,” 30 11 2022. [Online]. Available: https://datasheetspdf.com/pdf-file/866974/ALPHA/RV24AF-10-40R1-B10K/1. |
| [27] | components101.com, “bpw34 datasheet,” 30 11 2022. [Online]. Available: https://components101.com/sites/default/files/component\_datasheet/bpw34-datasheet.pdf. |
| [28] | M. Barendse, “Kattenvisie,” 6 Oktober 2022. [Online]. Available: https://www.newscientist.nl/blogs/kattenvisie/. |
| [29] | K. Awasthi, “Personalized And Bi-Directional Communications For Enhanced CX,” 15 February 2022. [Online]. Available: https://www.fci-ccm.com/blog/personalized-and-bi-directional-communications-for-improving-customer-experience/#:~:text=communications%20in%20business.-,Bidirectional%20Communications,information%20between%20business%20and%20customer.. |

## Afbeeldingen

[Figuur 1: Het elektromagnetisch spectrum 5](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798159)

[Figuur 2: Intensiteit i.f.v. de golflengte LED 8](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798160)

[Figuur 3: Formule candela naar Lumen (naar [7]) 8](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798161)

[Figuur 4: Gevoeligheid i.f.v. de golflengte fotodiode 9](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798162)

[Figuur 5: Schematische voorstelling Li-Fi communicatie 10](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798163)

[Figuur 6: Actieve hoogdoorlaatfilter 14](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798164)

[Figuur 7: Opstelling experiment 1 16](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798165)

[Figuur 8: Opstelling experiment 2 17](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798166)

[Figuur 9: Opstelling experiment 3 Tinkercad 19](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798167)

[Figuur 10: Datavorming bij frequentiemodulatie 19](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798168)

[Figuur 11: Oorspronkelijke opstelling eindresultaat 21](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798169)

[Figuur 12: Uiteindelijk opstelling eindresultaat 22](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798170)

[Figuur 13: Flowchart 2 weg communicatie 23](file:///C:\Users\Evelyn\Downloads\EindRapport%20-%20Onderzoek.docx#_Toc136798171)

## Tabellen

[Tabel 1: Vergelijking Li-Fi & Wi-Fi 6](#_Toc136798174)

[Tabel 2: Eigenschappen potentiometer 8](#_Toc136798175)

[Tabel 3: Eigenschappen LED 8](#_Toc136798176)

[Tabel 4: Eigenschappen fotodiode 9](#_Toc136798177)