



HONOURS

Onderzoekspapers van
het Pre-U Honoursprogramma

Volume 6 | Lichting 2023 - 2025

**UNIVERSITY
OF TWENTE.**

Pre-University

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
 Papers Specialise track	
M.L.A. Fisscher, T.B. Hoftijzer et al. "Natuurkundige simulatie van het afvuren van een railgun"	4
L. Hauser et al. "A Risk Reducing Stock Screener Utilizing Financial Ratios"	16
L. Hulsmeijer, L. Koelewijn et al. "Optimaliseren van de afstand van een wagentje met een aluminium-lucht batterij als energiebron"	24
Y.O. Janssen, T.I.E. Nijman et al. "Ontwikkeling van een sonar op basis van een phased array in lucht"	45
 Papers Academic track	
D. Atalla, S.R.F.M. Weidgraaf et al. "Het verschil in correlatie tussen Bitcoin en de S&P 500 vergeleken met de correlatie van Ethereum en de S&P 500"	56
L.K.V. Broekstra, S.L. Tan et al. "Het verband tussen persoonlijkheidstypen en instrumentgroepen onder Twentse jongeren (12-20) in een symfonieorkest"	70
M. Bruin, S.M.H. Lindeman, E. van der Wiel et al. "De resulterende gravitatiekracht op een vliegtuig gedurende het traject over de straal van een hypothetische platte aarde"	79
R.G.C. Dohmen, T.F. Van Mierlo et al. "De invloed van mobiele lichtvervuiling op de groei en ontwikkeling van het zomerkoolzaad (<i>Brassica napus</i>) en de zandraket (<i>Arabidopsis thaliana</i>)"	91
P.E.B. Emaus, L.K. Nieuwenhuis et al. "Een risicoanalyse voor de gaswinning in Eleveld, gemaakt aan de hand van historische data"	103
Z.C. Gönen, R.B. Jalloh et al. "Correlatie tussen persoonlijkheidskenmerken van leerlingen, gebaseerd op het Big Five-model, en verschillende onderwijsmethoden"	113
L.J. Kok, T.E. Weststrate et al. "De invloed van stromend water met verschillende brekingsindexen op het verschil in aankomsttijd van laserlicht dat twee tegenovergestelde banen door het water volgt"	123
S. Korte, L.A.H. Snippe et al. "De relatie tussen de juridische behandeling van slaven en het stoïcisme in de tijd van de heerschappij van Marcus Aurelius"	137
R. Loman, J.C.A. van Schie et al. "Efficiëntie van een draadloze lader bij verschillende frequenties en afstanden op de resonantiefrequentie"	149
L. Rekers, N. Tufek et al. "De correlatie tussen nieuws, partijprogramma's en de uitkomst van Hongaarse verkiezingen"	165
E. Scheffer, S.B.M. Vos et al. "De neutraliteit van interviewvragen in politieke interviews van Nieuwsuur, volgens mensen van minimaal zestien jaar uit het oosten van Nederland"	180
M. Tapper, M. Wegdam et al. "Het decoy-effect bij jongeren leeftijd 14 tot 18 uit verschillende financiële klassen in Twente"	199

Voorwoord

De achtste lichting van het Pre-U Honoursprogramma heeft na anderhalf jaar haar wetenschappelijke papers afgerond. Leerlingen presenteren hun bevindingen in deze zesde editie van het journal, een nieuw hoofdstuk in de traditie die een unieke groep leerlingen samenbrengt. Zowel in de Academic track als in de Specialise track hebben leerlingen niet alleen hun wetenschappelijke nieuwsgierigheid verkend, maar ook anderen ontmoet die dezelfde passie delen.

Ontmoeting en wetenschap; nieuwe ideeën ontstaan in de dialoog met anderen. In het Honoursprogramma hebben de leerlingen niet alleen kennisgemaakt met academisch onderzoek, maar ook met elkaar. Ze hebben samengewerkt, perspectieven uitgewisseld en elkaars inzichten verrijkt. De gesprekken met medeleerlingen, docenten en UT-studenten hebben hen geholpen om hun onderzoeksvaardigheden te ontwikkelen en hun blik te verbreden.

De weg naar een wetenschappelijk paper is er een van uitdagingen en ontdekkingen. Niet alleen zijn wetenschappelijke inzichten gegroeid, maar ook vriendschappen en samenwerkingen die vaak verder reiken dan dit programma. Samen hebben de leerlingen ervaren hoe complex en fascinerend het is om onderzoek te doen. Elke honoursleerling heeft in het programma een intensief leerproces doorlopen, waarbij toegewijde docenten en UT-studenten hen met begeleiding en feedback hebben ondersteund. Ik ben trots op de leerlingen en hoe zij deze unieke kans op persoonlijke groei met beide handen hebben aangegrepen. En dan denk ik ook aan de docenten; die leggen elk jaar de lat zo hoog dat ze een programma dat staat als een huis nog verder verbeteren. De leerling en een groeigerichte leermentaliteit staan daarbij altijd centraal.

Met bewondering voor de prestaties van de honoursleerlingen wens ik je heel veel leesplezier. Laat je inspireren door hun wetenschappelijke ontdekkingen en vergeet zeker niet het bijbehorende leerproces, chapeau!

Laura Holsbeeke

Projectleider Pre-U Honoursprogramma

Colofon

Dit is een bundel van de papers die geschreven zijn door de studenten van het Pre-U Honoursprogramma, lichting 2023-2025. Het Pre-U Honoursprogramma is een tweejarig programma met twee tracks: Academic en Specialise. Beide tracks richten zich (op verschillende manieren) op een combinatie van het bijbrengen van academische vaardigheden in de brede zin des woords, en persoonlijk groei.

In het tweede jaar van het programma werkten leerlingen in tweetallen (en soms drietallen) aan een zogenaamde Pre-bachelor thesis. Studenten voerden een onderzoek uit om een eigen onderzoeksvraag te beantwoorden (Academic track) of kregen een ontwerpdracht (Specialise track). Zij schreven daarover een paper, dat gepeerreviewed is door medestudenten, UT-studenten en docenten van het Honoursprogramma. De ontvangen feedback is verwerkt en het eindresultaat is in deze bundel te lezen.

Jaar:
2025

Vormgeving:
Eva Vogelesang

Papers Specialise track

Het Pre-U Honoursprogramma is een tweejarig programma met twee tracks: Academic en Specialise. In de Specialise track hebben leerlingen bachelor wiskunde vakken aan de Universiteit Twente gevolgd en gewerkt aan academische en ontwerpvaardigheden. Zij voerden een ontwerpdracht ('challenge') uit volgens de stappen van de ontwerpcyclus, inclusief toepassing van de wiskunde. De leerlingen schreven daarover een paper, dat gepeerreviewed is door medestudenten, UT-studenten en docenten van het Honoursprogramma. De ontvangen feedback is verwerkt en het eindresultaat is in deze bundel te lezen.

Natuurkundige simulatie van het afvuren van een railgun

M.L.A. Fisscher ¹, T.B. Hoftijzer ², I. Buiten ³, R. Kamperman ³, P. Nijland ¹ & W. Oortman ²

¹Lyceum de Grondel, Hengelo

²Twents Carmel College Lyceumstraat, Oldenzaal

³Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – This paper describes the process of making a computer model to simulate firing a projectile from a Lorentz-Force powered electromagnetic railgun. The simulation itself was programmed in C++. The data analysis and graphing part was programmed in Python. The simulation has many variables that can be set by the user, allowing the simulation to simulate many railgun designs. The data gathered during the simulation can be processed to be viewed in graphs. The simulation is not correct compared to real railguns. The discharge of capacitors does not match that of existing railguns. It can, however, still be used to research the effects of changing certain variables of the railgun. The simulation is able to finish in a few seconds on a Ryzen 5 7600X CPU with the default settings.

1. Introductie

Een railgun is een apparaat dat elektriciteit gebruikt om met de Lorentzkracht een geleidend projectiel te versnellen. Grote railguns kunnen projectielen naar meerdere malen de snelheid van het geluid versnellen [1]. Hierom zijn ze uitermate geschikt om met hoge precisie over lange afstanden in een rechte lijn te vuren. Daarom kunnen ze bijvoorbeeld gebruikt worden als wapen op het water. In fig. 1 is een Amerikaans prototype van een railgun te zien dat is gemonteerd op een oorlogsschip [2].



Figure 1: Amerikaans prototype van een railgun

Gezien de enorme hoeveelheid energie en de grote krachten die een rol spelen bij het afvuren van een railgun is het testen gevaarlijk. Daarnaast kunnen de grote hoeveelheden metalen die nodig zijn in de constructie veel kosten. Om die redenen is het verstandig om het ontwerp van de railgun eerst te simuleren voordat deze gebouwd wordt. Op die manier kan worden getest of het ontwerp correct functioneert.

Daarnaast kan met een simulatie het ontwerp geoptimaliseerd worden voordat deze gebouwd is. Dit bespaart geld voor prototypes.

Het maken van een dergelijke simulatie kan echter tijdrovend zijn en is ook gecompliceerd. Het vereist naast goede natuurkundige kennis ook verstand van software en natuurkundige simulaties. Daarom is het doel van deze paper om een algemene simulatie te maken die makkelijk kan worden ingesteld

op een door de gebruiker gekozen configuratie. Zo kan de gebruiker makkelijk een ontwerp testen en optimaliseren.

In deze paper worden eerst alle concepten uitgelegd die een rol spelen in de simulatie. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de simulatie zal worden gemaakt. Daarna wordt het ontwerp van de simulatie uitgelegd en hoe deze gerealiseerd is en tot slot worden de resultaten van de simulatie vergeleken met die van bestaande railguns om de precisie van de simulatie te testen.

2. Achtergrond

2.1. Railguns

Een elektromagnetische railgun is een apparaat dat met behulp van elektromagnetisme een projectiel in een korte tijd tot een hoge snelheid kan versnellen.

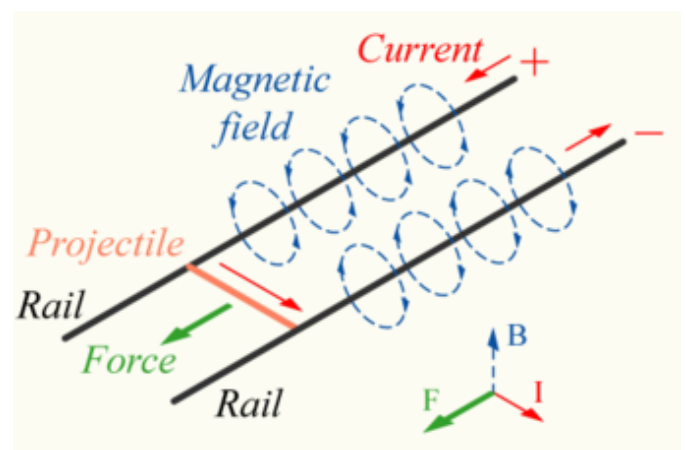


Figure 2: Lay-out van een railgun [3]

De basis van een railgun bestaat uit 3 onderdelen. Allereerst geleidende langwerpige staven. Dit zijn de rails. Tussen deze rails zit een geleidend object dat de rails verbindt. Dit heet de armatuur. Zie hiervoor Figuur 2. Hierin is de armatuur aangegeven als 'projectile'. De rails zijn verbonden met een voeding, waardoor er door de armatuur en rails stroom kan lopen. Dit is de 'Current' in figuur 2.

De simulatie van dit onderzoek is voor railguns die uit 2 in het horizontale vlak liggende, parallel lopende rails bestaan. De armatuur ligt tussen de rails. Er is gekozen om deze soort railguns te simuleren, omdat dit de meest eenvoudigste soort is. Er bestaan bijvoorbeeld ook railguns met 4 rails, maar het ondersteunen van alle verschillende soorten railguns zou te veel variabelen geven.

2.2. Wet van Biot-Savart

Als er stroom door de rails van een railgun loopt genereren deze een magnetisch veld om zich heen. Dit gaat volgens de wet van Biot-Savart. Voor een oneindig lange draad of rail, geldt de volgende formule voor de sterkte van dit magneetveld [4].

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (1)$$

Een draad kan uiteraard niet oneindig lang zijn, maar met deze formule is wel af te leiden dat het magneetveld B sterker wordt, als de stroomsterkte I toeneemt en de afstand tot de draad of rail (a) afneemt.

2.3. Soortelijke Warmte

Elke stof heeft een andere hoeveelheid energie nodig om 1 kilogram stof 1 K op te warmen. Deze hoeveelheid energie heet de soortelijke warmte. Met de volgende formule kan het temperatuurverschil berekend worden als een stof een bepaalde hoeveelheid energie ontvangt [4].

$$\Delta T = \frac{Q}{cm} \quad (2)$$

Hierbij is Q de toegevoegde hoeveelheid warmte, c de soortelijke warmte en m de massa.

2.4. Kamertemperatuur

Kamertemperatuur is $20^\circ\text{C} = 293\text{ K}$

2.5. Weerstand

De armatuur, rails en draden van de railgun hebben allemaal een natuurlijke weerstand, omdat de bewegende elektronen botsen met andere deeltjes. Deze weerstand heet de soortelijke weerstand. De totale soortelijke weerstand wordt gegeven door wet van Pouillet [4].

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (3)$$

Waarbij ρ de soortelijke weerstand is, l de lengte van de draad, en A het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de draad.

Als de temperatuur van de geleider toeneemt, neemt ook de soortelijke weerstand toe, en dus de weerstand. De weerstand R op een bepaalde temperatuur T wordt dan gegeven door de volgende formule [4].

$$R_T = R_{T_0} (1 + \alpha_T [T - T_0]) \quad (4)$$

Hierbij is α_T de temperatuurcoëfficiënt voor elektrische weerstand en T_0 kamertemperatuur.

2.6. Condensatoren

Condensatoren zijn elektrische componenten die een lading tijdelijk op kunnen slaan en vervolgens weer kunnen ontladen. Daardoor kunnen ze stroom leveren aan een circuit. Condensatoren hebben een capaciteit C en een maximale spanning. Condensatoren kunnen opgeladen worden tot een specifiek voltage U_0 . Zodra een condensator ontladzt zakt de spanning van de condensator volgens de volgende formule.

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

Deze formule is het resultaat van een differentiaalvergelijking. Met een grotere lading ontladzt de condensator in het begin sneller. Dit volgt uit de formule voor de capaciteit [4].

$$C = \frac{Q}{V} \quad (6)$$

Hierbij is Q de lading. Condensatoren kunnen bij een railgun worden gebruikt om in korte tijd de grote hoeveelheden stroom te leveren. Er kan bijvoorbeeld geen normaal stopcontact worden gebruikt omdat die niet is gebouwd op hoge spanningen en stroomsterktes.

2.7. Stroomsterkte

De stroomsterkte van een circuit is te berekenen met de volgende formule.

$$I = \frac{U}{R} \quad (7)$$

Hierbij is U de spanning en R de totale weerstand in het circuit. Door U te substitueren met formule 5 ontstaat een functie voor de stroomsterkte over de tijd bij een circuit dat gevoed wordt door een condensator.

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (8)$$

Hierbij is I_0 de stroomsterkte bij R_0 , de weerstand vlak voor het afvuren, en U_0 . Uit deze formule volgt dat als t groter is, I kleiner is, en dat als t kleiner is, I groter is. Een railgun zal de condensators dus snel ontladen (kleine t), om een grote stroomsterkte I te creëren.

2.8. Lorentzkracht

Een geladen deeltje in een elektrisch- en magnetisch veld ondervindt Lorentzkracht. Als er stroom door een draad loopt ontstaat er een elektrisch veld en lopen er elektronen door de draad, dus een draad in een magnetisch veld ondervindt ook Lorentzkracht. Lorentzkracht is het principe waarop railguns gebaseerd zijn. Door de armatuur loopt namelijk ook stroom en de armatuur bevindt zich in het magneetveld gegenereerd door de rails volgens de wet van Biot-Savart. Voor een simpele railgun kan de volgende formule worden gebruikt om de Lorentzkracht op de armatuur te berekenen [5].

$$F_l = \frac{1}{2} F' I^2 \quad (9)$$

Waarbij I de stroomsterkte is en F' de inductance gradient. De inductance gradient is een grootheid die onder andere afhangt van de afmetingen en vorm van de railgun.

2.9. Wrijving

Wrijving is de weerstand die 2 oppervlakten of vloeistoffen ten opzichte van elkaar ondervinden. Er zijn meerdere soorten wrijving.

Een object ondervindt statische wrijving wanneer deze stil ligt op een oppervlak. De kracht die nodig is om het object in beweging te krijgen is te berekenen met de volgende formule.

$$F_w = \mu_s F_n \quad (10)$$

Hierbij is μ_s de wrijvingscoëfficiënt voor statische wrijving.

Wanneer objecten langs elkaar schuiven ondervinden ze weerstand door dynamische wrijving. De kracht van dynamische wrijving is te berekenen met de volgende formule.

$$F_w = \mu_k F_n \quad (11)$$

Hierbij is μ_k de wrijvingscoëfficiënt voor dynamische wrijving.

2.10. Warmteontwikkeling

Het vermogen van een circuit is te berekenen met de volgende formule.

$$P = I^2 R \quad (12)$$

De energie die dan in een bepaalde tijd t vrijkomt, is te berekenen met de volgende formule.

$$E = Pt \quad (13)$$

Een deel van deze energie zal worden omgezet in warmte. De hoeveelheid warmte die vrijkomt kan worden berekend door van de totale geleverde energie de nuttige energie af te halen. De nuttige energie is de energie die daadwerkelijk is gebruikt voor het doel van het systeem. In het geval van de railgun is deze nuttige energie de arbeid geleverd door de Lorentzkracht; de kinetische energie van de armatuur.

$$W = F_l \cdot s \quad (14)$$

Hierbij is s de afstand waarover deze kracht is geleverd. De kinetische energie kan ook afzonderlijk berekend worden.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (15)$$

Met de totale energie en de nuttige energie kan ook het rendement van de railgun worden berekend.

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100 \quad (16)$$

Het rendement geeft aan hoeveel procent van totale energie nuttig is gebruikt.

2.11. Thermische Uitzetting

Thermische uitzetting is het uitzetten van stoffen als ze opwarmen. Met de volgende formule kan de toename in volume berekend worden voor een toename in temperatuur ΔT [4].

$$\Delta V = V_0 \alpha_V \Delta T \quad (17)$$

Hierbij is V_0 het volume op T_0 en α_V de volumetrische uitzettingscoëfficiënt. In de literatuur wordt vaak de lineaire uitzettingscoëfficiënt α_L gegeven. Deze is om te rekenen met de volgende formule [4].

$$\alpha_V = 3\alpha_L \quad (18)$$

Als de stof geen ruimte heeft om uit te zetten zal het druk uitoefenen op hetgeen dat de stof tegen houdt. Deze druk is te berekenen met de volgende formule.

$$P = k_T \frac{\Delta V}{V_0} \quad (19)$$

Hierbij is k_T de bulk modulus. Dit volgt uit Hooke's law dat *strain* evenredig is aan *stress*. De bulk modulus is hierbij de constante voor die evenredigheid.

2.12. Zwaartekracht

De zwaartekracht F_z is de aantrekkingskracht die de aarde op een object met massa m uitoefent en is gegeven door de volgende formule.

$$F_z = mg \quad (20)$$

Hierbij is g de valversnelling. In een railgun trekt de zwaartekracht het afgevuurde projectiel richting de aarde.

2.13. Luchtweerstand

Luchtweerstand is de wrijving die een object ondervindt door lucht. De luchtweerstand wordt gegeven door de volgende formule.

$$F_{w,l} = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2 \quad (21)$$

Hierbij is c_w de luchtweerstandscóëfficiënt die afhangt van de vorm van het object, ρ de dichtheid van lucht, A het frontaal oppervlak van het object en v de snelheid van het object.

2.14. Versnelling, snelheid en verplaatsing

De 2e wet van Newton stelt dat de resulterende kracht F_{res} op een object gelijk is aan de versnelling a maal de massa m van het object [4].

$$\vec{F}_{res} = m\vec{a} \quad (22)$$

Dit kan worden omgeschreven om de versnelling a te berekenen op basis van de resulterende kracht F_{res} :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{res}}{m} \quad (23)$$

2.15. Natuurkundige Simulaties

Natuurkundige simulaties gebruiken natuurkundige wetten om de werkelijkheid te simuleren. Dit gebeurt in stappen van een bepaalde hoeveelheid tijd, zogeheten tijdstappen. De grootte van de tijdstap wordt aangeduid met Δt .

Door te simuleren in tijdstappen kunnen berekeningen worden uitgevoerd die niet makkelijk in één keer kunnen worden gedaan. Dit is bijvoorbeeld het geval bij bewegingen met veranderende krachten. Omdat hierbij elke tijdstap de resultante kracht en dus de versnelling verandert is het moeilijk om de beweging met één of enkele formules te beschrijven.

Een voorbeeld van een simulatie is die van het vallen van een bol: neem een bol met een bekende massa en een bekende straal, je laat deze bol (vanuit stilstand) recht naar beneden vallen. In deze voorbeeldsimulatie worden drie formules toegepast: Formule 20 voor zwaartekracht, formule 21 voor luchtweerstand en formule 23 voor de versnelling. Elke tijdstap wordt nu

1. De zwaartekracht berekend
2. De luchtwrijving berekend
3. De resultante kracht berekend door de zwaartekracht en luchtwrijving bij elkaar op te tellen
4. De versnelling berekend

Stap 2 is laat zien waarom het makkelijker is om met tijdstappen te werken dan om alles met één berekening te doen: Formule 21 voor luchtweerstand heeft de huidige snelheid van de bol nodig. Als er in tijdstappen wordt gesimuleerd is telkens de huidige snelheid van de bol bekend waardoor formule makkelijk gebruikt kan worden. Als de tijdstap klein genoeg is mogen de waarden uit de vorige tijdstap namelijk worden geïnterpreteerd als de huidige waarde, omdat de verandering van andere variabelen er dan al in is meegenomen.

In een simulatie kan met de versnelling en de tijdstap de snelheid worden berekend.

$$\vec{v}_t = \vec{v}_{t-1} + \vec{a}_t \Delta t \quad (24)$$

Hierin staat het subscript t voor waardes uit de huidige tijdstap en $t - 1$ voor waardes uit de vorige tijdstap. Met deze snelheid kan dan uiteindelijk de nieuwe plaats berekend worden.

$$\vec{x}_t = \vec{x}_{t-1} + \vec{v}_t \Delta t \quad (25)$$

Zo kan dus ook de snelheid en plaats van de bol gedurende de val worden gesimuleerd.

3. Methode

Om een succesvol ontwerp te maken moeten een aantal stappen worden genomen.

3.1. Ontwerpeisen

Om uiteindelijk te kunnen zeggen of het ontwerp geslaagd is, zijn de volgende ontwerpeisen opgesteld.

- De simulatie moet overeen komen met bestaande railguns
- De simulatie moet binnen een uur op een moderne mid-range CPU kunnen draaien
- De simulatie moet instelbare variabelen hebben
- De data uit de simulatie moet op een overzichtelijk manier weergegeven kunnen worden

De simulatie moet overeenkomen met bestaande railguns

Voor de simulatie om bruikbaar te zijn voor het testen en optimaliseren van een ontwerp moet hij overeenkomen met de werkelijkheid.

De simulatie moet binnen een uur op een moderne mid-range CPU kunnen draaien Om de simulatie voor een zo groot mogelijke range aan budgetten bruikbaar te maken moet de simulatie binnen een uur kunnen draaien op een systeem met een mid-range CPU. Dit is een AMD Ryzen 5600 of beter. Als de simulatie te lang duurt kan dit het ontwerpproces namelijk vertragen. Om de simulatie sneller te maken moet hij geoptimaliseerd worden om minimale rekenkracht te vereisen. Minder benodigde rekenkracht betekent meer tijdstappen per seconde en dus een snellere simulatie.

De simulatie moet instelbare variabelen hebben Instelbare variabelen zijn nodig om de gebruiker in staat te stellen de simulatie in te stellen op het ontwerp dat de gebruiker voor ogen heeft.

De data uit de simulatie moet op een overzichtelijk manier weergegeven kunnen worden Om de data van de simulatie toe te kunnen toepassen moet deze data duidelijk en overzichtelijk kunnen worden weergegeven.

3.2. Algemene Tests

Voordat de simulatie kan worden vergeleken met bestaande railguns moet eerst worden gekeken of de simulatie theoretisch klopt. Dit wordt tijdens de realisatie voor elk deel van de simulatie gedaan om eventuele fouten eruit te halen. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de ontwerpeisen.

3.3. Vergelijken

Als de simulatie theoretisch correct is kan hij worden vergeleken met bestaande railguns. Ook wordt dan gekeken of de simulatie voldoet aan de ontwerpeisen. Hieruit kan vervolgens worden bepaald of het ontwerp succesvol is.

4. Specificatie

4.1. Programmeertaal

Het is van groot belang dat de simulatie snel uitvoert, omdat hij enkele miljarden tijdstappen binnen een uur moet doorlopen. Het is daarom belangrijk om een programmeertaal te kiezen die een compiler gebruikt.

Programmeertalen die compilers gebruiken kunnen veel sneller code uitvoeren dan talen die dat niet doen. Compilers zetten de code namelijk voor het uitvoeren om naar een formaat dat een computer kan uitvoeren. Dit is sneller dan een programmeertaal die geen compiler gebruikt, omdat bij programmeertalen die geen compiler gebruiken de code niet direct door de computer kan worden uitgevoerd.

Bij een programmeertaal die geen compiler gebruikt zit er een laag tussen de code en de computer. Deze laag moet als het ware de code tijdens het uitvoeren van het programma vertalen naar iets wat voor de computer te begrijpen is. Bij een programmeertaal met een compiler is dat van tevoren al gebeurd, dus veroorzaakt dit geen vertraging tijdens het daadwerkelijke uitvoeren van het programma.

Daarnaast kunnen compilers bepaalde patronen in de code tijdens het omzetten naar het voor de computer begrijpbare formaat, optimaliseren. Bij veel van deze optimalisaties is het niet goed mogelijk om ze in de code zelf al toe te passen.

Er is gekozen voor de programmeertaal C++, omdat C++ gebruik maakt van een compiler en makkelijk te gebruiken is.

4.2. Simuleren

De simulatie zal verlopen volgens het principe van een natuurkundige simulatie. Hierbij worden alle eerder genoemde formules gebruikt om het verloop van de armatuur zo precies mogelijk te berekenen.

Elke tijdstap wordt de versnelling berekend met de krachten en aan de hand van deze versnelling wordt de snelheid en plaats berekend. Deze tijdstappen worden in de code doorlopen door een loop. Dit is een manier om een stukje code een bepaald aantal keer opnieuw uit te voeren. In het geval van deze simulatie wordt de loop dus herhaald tot het einde van de simulatie. Een iteratie is één uitvoering van de loop. Na elke iteratie neemt de totale verlopen tijd dan toe met Δt .

De simulatie zal uit twee losse loops bestaan: De eerste loop is de simulatie die wordt uitgevoerd terwijl het projectiel zich nog in de railgun bevindt. De tweede loop is de simulatie die wordt uitgevoerd terwijl het projectiel zich niet meer in de railgun bevindt en stopt als het projectiel niet meer beweegt. De eerste loop heeft een kleine tijdstap en gebruikt geen vectoren, omdat de armatuur in de railgun niet verticaal kan bewegen, omdat er een plaat onder zit. Het tweede deel heeft een grotere tijdstap en gebruikt 2-dimensionale vectoren, omdat de armatuur nu wel verticaal kan bewegen.

Dit wordt gedaan om rekenkracht te besparen. Minder iteraties kost minder rekenkracht. De tweede loop bevat minder variabelen die invloed op elkaar hebben en geen variabelen die in korte tijd extreem veel veranderen. Er dus geen extreem kleine tijdstap meer nodig.

4.3. Data verzamelen

De data uit de simulatie wordt opgeslagen in binair bestand waarin voor elk gesimuleerde moment de waarden van de variabelen in staan. Vervolgens kunnen bepaalde variabelen tegen elkaar of tegen de tijd worden uitgezet in grafieken of andere diagrammen om (een subset van) de data duidelijk weer te geven.

In dit onderzoek wordt Python gebruikt voor het maken van diagrammen op basis van deze verzamelde data, omdat Python een erg geschikte programmeertaal is voor dataverwerking en data-analyse. Het is niet erg dat Python wat langzamer is dan C++, omdat het computer-intensieve deel (het échte simuleren) wél in C++ wordt gedaan.

4.4. Opbouw

In figuur 3 is de opbouw van de gesimuleerde railgun te zien. Deze bestaat uit 2 parallel lopende rails met daar tussen de armatuur. De met rood aangegeven maten zijn in de simulatie variabelen die door de gebruiker aangepast kunnen worden.

Aan zowel de bovenkant als de onderkant van deze constructie zit een plaat. Deze platen zorgen er in de echte wereld voor dat de armatuur niet omhoog of omlaag kan bewegen of uitzetten. De eigenschappen van deze platen kunnen ook worden ingesteld.

Beide rails zijn aan de achterkant verbonden met de voeding via kabels. De eigenschappen van deze kabels kunnen ook worden aangepast, aangezien deze invloed hebben op de totale weerstand.

De simulatie wordt weergegeven in een tweedimensionale wereld, de eerste dimensie is de verplaatsing in de richting van de railgun, en de tweede dimensie is de verplaatsing in de hoogte. De 3^e dimensie is niet van belang, aangezien het projectiel niet opzij kan bewegen. Ook wordt er vanuit gegaan dat de railgun parallel aan het aardoppervlak vuurt, aangezien dit de berekeningen erg versimpelt, waardoor de simulatie minder rekenkracht kost. Railguns worden normaal ook niet op een hoek afgevuurd.

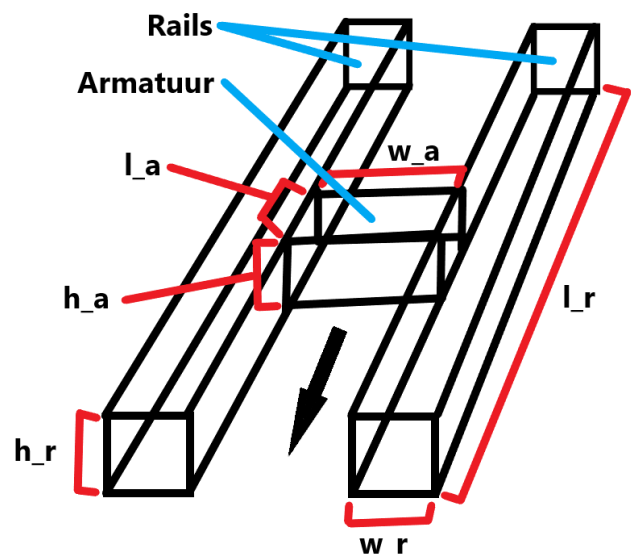


Figure 3: Opbouw gesimuleerde railgun

4.5. Variablen

Om de simulatie te laten verlopen en ook aanpasbaar te maken worden alle waarden van de simulatie opgeslagen in variabelen. Een deel van deze variabelen kan dan worden ingesteld door de gebruiker om de simulatie naar eigen ontwerp aan te passen. Dit zijn bijvoorbeeld variabelen voor de materiaaleigenschappen van de verschillende onderdelen van de railgun en de afmetingen. Alle variabelen worden dikgedrukt genoemd zoals ze ook in de code staan.

4.5.1 Verplaatsing

Om de verplaatsing van de armatuur bij te houden worden de volgende variabelen gebruikt.

- **vel**, de snelheid van de armatuur als vector
- **loc**, de plaats van de armatuur als vector
- **acc**, de versnelling van de armatuur als vector

- **speed**, de snelheid van de armatuur
- **dist**, de afgelegde afstand van de armatuur
- **ddist**, de afgelegde afstand van de armatuur in de tijdstap

4.5.2 Tijd

Om de tijd in de simulatie bij te houden zijn de volgende variabelen nodig.

- **dt_in**, **dt_out**, de tijdstappen voor de loops binnen en buiten railgun respectievelijk.
- **t**, de verlopen tijd in de simulatie.

4.5.3 Materiaaleigenschappen

De materiaaleigenschappen van de rails, armatuur en platen kunnen in variabelen worden ingesteld, afhankelijk van welke materialen worden gebruikt. Om de simulatie uiteindelijk te kunnen testen wordt het materiaal standaard ingesteld op koper voor alle onderdelen, omdat van koper de benodigde eigenschappen al onderzocht en bekend zijn. Deze eigenschappen kunnen door de gebruiker worden aangepast naar die van andere materialen. De eigenschappen zijn:

- Dichtheid **dens** = $8.933 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ [6].
- Wrijvingscoëfficiënten **mu_s** = 1.5 en **mu_k** = 1.1 op koper [7].
- Soortelijke weerstand **resistiv** = $1.678 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$ bij kamertemperatuur [8].
- Soortelijke warmte **SpecHeat** = $24.4 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ = $383.9 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ bij kamertemperatuur [6].
- Lineaire uitzettingscoëfficiënt α_L = $16.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, dus **alpha_V** = $49.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ bij kamertemperatuur [8].
- Bulk Modulus **k_T** = $140 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ bij kamertemperatuur [9].

Bij de platen aan de bovenkant en onderkant van de railgun wordt er vanuit gegaan dat deze niet direct verbonden zijn met de rails, omdat er anders ook stroom door de platen zou lopen.

Aangezien de onderdelen van de railgun uit verschillende materialen kunnen bestaan hebben al deze waardes 4 verschillende varianten: **a**, **r**, **pw** en **pl**. Dit staat respectievelijk voor de armatuur, de rails, de draden tussen voeding en rails, of platen boven en onder de railgun.

4.5.4 Afmetingen

De benodigde afmetingen van de railgun worden in de volgende variabelen opgeslagen.

- **l_a**, **w_a**, **h_a**, de lengte, breedte en hoogte van de armatuur respectievelijk
- **l_r**, **w_r**, **h_r**, de lengte, breedte en hoogte van de individuele rails respectievelijk
- **A_pw**, **l_pw**, de dwarsdoorsnede en de totale lengte van de draden die de rails met de voeding verbinden respectievelijk

Met deze afmetingen kunnen nog enkele andere variabelen worden berekend

- **Afront_a**, **Aside_a**, **Atop_a**, het frontaal-, zij- en boven oppervlak van de armatuur
- **V_a**, **V_rs**, het volume van de armatuur en een individuele rail respectievelijk
- **V0_a**, het beginvolume van de armatuur
- **m_a**, de massa van de armatuur
- **m_tot**, de totale massa van alle onderdelen die warmte opnemen

4.5.5 Stroom

Om de stroom te simuleren zijn de volgende variabelen nodig

- **R**, **U**, **I**, de weerstand, spanning, en stroomsterkte over het complete circuit van de railgun respectievelijk
- **R_pw**, **R_a**, **R_rs**, de weerstand van de draden naar de voeding, de weerstand van de armatuur en de weerstand van één rail respectievelijk

Om condensatoren te simuleren zijn de volgende variabelen nodig:

- **U0**, het beginvoltage van de condensator
- **I0**, de beginstroomsterkte bij **U0**
- **C**, de totale capaciteit van de condensator

Als in het ontwerp van de gebruiker meerdere condensatoren gebruikt worden kan met formules voor condensators in parallel en serie de totale capaciteit en de totale stroom berekend worden.

Met behulp van Excel en gegevens van de soortelijke weerstand van koper [8] is een formule opgesteld voor de soortelijke weerstand van koper afhankelijk van de temperatuur.

$$\rho = (0.0077T - 0.7175) \cdot 10^{-8} \quad (26)$$

4.5.6 Krachten

Om alle relevante krachten te berekenen zijn nog enkele niet genoemde variabelen nodig:

- Luchtweerstand (**F_d**): **c_w** en **AirDens**, de luchtweerstandcoëfficiënt van de armatuur en de dichtheid van lucht.
- Lorentzkracht (**F_l**): **IndGrad**, de inductance gradient.
- Wrijvingsweerstand (**F_f**): **F_n**, de normaalkracht, waarvoor de valversnelling **g** nodig is van 9.80 m s^{-2} [4] en **m_a**, de massa van de armatuur, of de druk **Press**

4.5.7 Inductance Gradient

De inductance gradient is te berekenen met de volgende formule [10].

$$L' = \frac{10^{-6}}{0.5986 \frac{h}{s} + 0.9683 \frac{h}{s+2w} + 4.3157 \frac{1}{\ln(\frac{4(s+w)}{w})} - 0.7831} \quad (27)$$

Hierbij zijn h en w de hoogte en breedte van de individuele rails, en is s de afstand tussen de rails. Deze formule is het resultaat van een onderzoek. Er is voor dit onderzoek gekozen omdat het een redelijk eenvoudige formule geeft die volgens het onderzoek wel accuraat is. Ook is deze formule speciaal voor simpele railguns, het type railgun dat in dit onderzoek gesimuleerd zal worden.

4.5.8 Warmteontwikkeling

Om de warmteontwikkeling in de railgun te berekenen en bij te houden zijn de volgende variabelen nodig.

- **E_{tot}**, **E_{use}**, de totale en nuttige energie gebruikt tijdens de tijdstap
- **Q**, de warmte die is ontstaan
- **T_a**, **T_{rs}**, **T_{pl}**, **T_{pw}**, de temperatuur in alle onderdelen van de railgun.

4.6. Tabellen met berekeningen

In tabel 1 en 2 staan de belangrijkste berekeningen voor de simulatie op volgorde. Hierbij staat (**x**) voor variabelen die bij bepaalde onderdelen horen. **T_(x)** kan bijvoorbeeld **T_a** zijn. **[0/1]** staat voor het element in de vector. 0 is het x-component en 1 is y-component. Verwijzen naar bepaalde berekeningen gebeurt in de tekst met [nummer berekende waarde]([nummer berekening van waarde]). Dus de formule voor de druk in tabel 1 is bijvoorbeeld 8.2. Achter de meeste berekeningen staan verwijzingen naar de gebruikte formules uit het literatuuronderzoek. In subsectie 4.7 wordt verwezen naar tabel 1 en in subsectie 4.8 naar tabel 2.

4.7. Berekeningen binnen de railgun

Eerst worden de luchtweerstand en Lorentzkracht berekend. Vervolgens wordt de weerstand van de armatuur met de rails en platen berekend. Als de armatuur stil staat wordt in 3.2 **mu_s** gebruikt en anders **mu_k**. Ook moet voor de onderste plaat de zwaartekracht nog bij de normaalkracht worden opgeteld. Vervolgens wordt bij 4 de totaalcracht berekend. Met deze totaalcracht wordt bij 5 de verplaatsing van de armatuur berekend.

Bij 6 wordt de totale vrijgekomen warmte berekend door de warmte die in de tijdstap is vrijgekomen te berekenen. Bij 7 wordt de temperatuur voor de platen en rails berekend. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de helft van de energie die vrijkomt bij wrijving naar het onderdeel gaat en de rest naar de armatuur. Dit kan omdat de armatuur zich kort in de railgun bevindt, en er daardoor verwaarloosbaar weinig tijd is voor de onderdelen om warmte uit te wisselen. De warmte die de armatuur opneemt is gelijk aan de opgenomen warmte van de rails en platen bij elkaar opgeteld plus de warmte van luchtweerstand. Bij 8 wordt hiermee de druk door thermische expansie van de armatuur berekend.

Verder wordt bij 9 de nieuwe weerstand van de rails berekend die afhankelijk is van de temperatuur van de rails en de afstand die de armatuur in de railgun heeft afgelegd. De afstand die de stroom moet afleggen neemt namelijk toe naarmate de armatuur zich verder voorin in de railgun bevindt. Tot slot wordt

bij 10 de nieuwe weerstand van de armatuur berekend die ook afhankelijk is van temperatuur.

Zodra **dist** groter is dan **L_r** en de armatuur zich dus buiten de railgun bevindt, wordt de loop met deze berekeningen beëindigd. Hierna start de loop voor buiten de railgun.

4.8. Berekeningen buiten de railgun

De loop buiten de railgun loopt tot de armatuur een hoogte van 0 bereikt. In deze loop spelen minder natuurkundige fenomenen een rol, maar kan de armatuur ook omhoog en omlaag bewegen. Hier moeten dus vectoren gebruikt worden. Dit komt door de zwaartekracht waardoor de hoogte van de armatuur afneemt. Verder speelt alleen de luchtweerstand nog een rol.

Uit de loop voor in de railgun wordt de huidige snelheid en versnelling omgezet naar vectorvorm. Hierbij blijft de y-waarde 0 omdat de snelheid en versnelling in de railgun alleen in de x-richting werken.

Eerst worden bij 1 en 2 de krachten berekend. De zwaartekracht beïnvloedt alleen de y-richting van de versnelling. De luchtweerstand beïnvloedt beide richtingen. Daarom wordt hij ook in beide richtingen apart berekend. Hiervoor zijn ook de snelheden in beide richtingen apart nodig.

Vervolgens wordt bij 3.1 de versnelling berekend. Omdat zowel de zwaartekracht als de luchtweerstand een rol spelen in de y-richting worden ze daar eerst samengesteld voor ze worden gebruikt in de berekening. Bij 3.2 en 3.3 wordt hierna met de versnelling de nieuwe snelheid en plaats berekend.

Tot slot wordt bij 4 de nieuwe afgelegde afstand berekend.

4.9. Dataverzameling

Welke variabelen worden opgeslagen is in te stellen door de gebruiker door een paar regels code toe te voegen. Deze variabelen worden dan elke tijdstap opgeslagen in zowel de loop binnen de railgun als er buiten. Door de loop buiten de railgun uit te schakelen worden de variabelen alleen tijdens het deel binnen de railgun opgeslagen. Dit is nodig voor de variabelen die alleen in dat deel een rol spelen, zoals de temperaturen.

Het Python script verwerkt deze data vervolgens zodanig dat het makkelijk toegankelijk is in de code. Hierna kan de gebruiker zelf code toevoegen om de data weer te geven in bijvoorbeeld grafieken.

5. Realisatie

5.1. Druk

Na een eerste versie geprogrammeerd te hebben met alleen de loop binnen de railgun was er eerst een probleem met een extreem hoge druk en daardoor een extreem hoge wrijving. Omdat de maximale weerstandskracht werd genomen werd de resultante kracht negatief. Dit zorgde ervoor dat de armatuur extreem hard achteruit versnelde en de loop binnen de railgun en dus de simulatie nooit eindigde. Dit kwam door een verkeerde formule voor de druk. Na meer literatuuronderzoek is formule 19 gevonden. De druk volgens deze formule was echter nog steeds zo hoog dat de armatuur nooit de railgun verliet.

Berekende Waarde	Gebruikte berekening(en)
1. F_d	$F_d = 0.5 * \text{AirDens} * c_w * A_{\text{front}_a} * (\text{speed}^2)$ 21
2. F_l	1. $I = I_0 * (e^{-(t*-1)/(R*C)})$ 8 2. $F_l = 0.5 * \text{IndGrad} * (I^2)$ 9
3. $F_f(x)$	1. $F_n = P * A(x)_a$ 2. $F_f(x) = [\mu_k / \mu_s] * (F_n [+ F_g])$
4. F	$F = F_l - F_d - F_{f_{\text{tot}}}$
5. dist	1. $\text{acc} = F / m_a$ 23 2. $\text{speed} = \text{speed} + \text{acc} * dt$ 24 3. $\text{dist} = \text{dist} + \text{speed} * dt$ 25
6. Q_{tot}	1. $E_{\text{tot}} = (I^2) * R * dt$ 12, 13 2. $E_{\text{use}} = F_l * d_{\text{dist}}$ 14 3. $dQ = E_{\text{tot}} - E_{\text{use}}$ 4. $Q_{\text{tot}} = Q_{\text{tot}} + dQ$
7. $T_{\text{--}}(x)$	1. $Q_{\text{--}}(x) = 0.5 * F_f(x) * d_{\text{dist}}$ 14 2. $d\text{Temp}_{\text{--}}(x) = Q_{\text{--}}(x) / (\text{SpecHeat} * m_{\text{--}}(x))$ 2 3. $T_{\text{--}}(x) = T_{\text{--}}(x) + d\text{Temp}_{\text{--}}(x)$
8. P	1. $dV_a = V0_a * \alpha_V * (T_a - T0)$ 17 2. $P = k_T * (dV_a / V0_a)$ 19
9. R_{rs}	$R_{rs} = ((0.0077 * T_{rs} - 0.7175) * (\text{dist} + l_a) * 10^{-8}) / A_{rs}$ 26, 3
10. R_a	$R_a = ((0.0077 * T_a - 0.7175) * w_a * 10^{-8}) / A_{\text{side}_a}$ 26, 3

Table 1: Berekeningen in de railgun

Berekende Waarde	Gebruikte berekening(en)
1. F_z	$F_z = m_a * g$
2. $F_d[0/1]$	$F_d[0/1] = 0.5 * \text{AirDens} * c_w * A_{\text{front}_a} * (\text{vel}[0/1]^2)$
3. loc	1. $\text{acc} = -F_d[0] / m_a, (F_g - F_d[1]) / m_a$ $\text{vel} = \text{vel} + (\text{acc} * dt)$ $\text{loc} = \text{loc} + (\text{vel} * dt)$
4. dist	$\text{dist} = \text{dist} + \text{sqrt}((\text{vel}[0])^2 + (\text{vel}[1])^2)$

Table 2: Berekeningen buiten de railgun

Er is uiteindelijk gekozen om de druk niet mee te nemen in de berekeningen voor de beweging van de armatuur. De druk werkte in de simulatie namelijk in alle richting evenveel relatief aan het oppervlak in de desbetreffende richting, en dit is niet realistisch. De armatuur zal in de echte wereld voornamelijk uitzetten in de richting van de minste druk. Een groot deel van de druk zal dus niet tegen de rails en platen aan zijn, maar tegen de lucht aan de voor- en achterkant. De druk wordt wel nog elke tijdstap berekend. Dit aangezien de impact op de duur van de simulatie minimaal is en de gegevens van pas kunnen komen bij verifiëren.

5.2. Temperatuurstijging

De temperatuur van de armatuur ging amper omhoog en die van de andere onderdelen zo goed als niet. Dit bleek te komen door de manier waarop de warmte werd berekend. Hierbij werd namelijk alleen de warmte van de wrijving meegenomen.

Dit is veranderd naar een berekening waarbij de totale warmte wordt berekend uit de elektrische energie die niet is omgezet naar kinetische energie. Zo wordt ook de warmte door elektrische weerstand meegenomen. Deze warmte wordt vervolgens verdeeld over de onderdelen afhankelijk van hun massa gedeeld door de totale massa van alle onderdelen. Met deze berekening ging de temperatuur wel realistisch omhoog; de temperatuur ging niet voorbij de smeltpunten van de materialen, maar nam wel met tientallen graden Kelvin toe. Ook kwam de kinetische energie opgeteld bij de totale warmte uit op de initiële energie uit de condensatoren. Uiteindelijk is nog besloten om de platen uit deze berekening voor warmte te halen. Aangezien hier geen stroom doorheen loopt en er ook niet veel tijd is om warmte op te nemen zullen ze in de werkelijkheid amper een rol spelen voor de warmte.

Bij een aantal eerste tests van het volledige model leken de algemene resultaten grotendeels realistisch. De stroomsterkte en exit velocity waren in de orde van grootte van railgun ontwerpen die zijn bekeken tijdens het literatuuronderzoek.

5.3. Eerste Resultaten

In fig. 4 is de snelheid van de armatuur in de x-richting te zien, uitgezet tegen de tijd. Hier is te zien dat de snelheid eerst langzaam afvlakkend toeneemt vanwege de afnemende stroomsterkte. Vervolgens verlaat de armatuur de railgun en begint de snelheid afvlakkend af te nemen door de luchtweerstand. De top van de grafiek ligt op ongeveer 80 m/s. Dit is de snelheid waarmee de armatuur de railgun verlaat; de *exit velocity*.

In fig. 5 is de baan van de armatuur te zien. De hoogte blijft eerst constant terwijl de armatuur zich in de railgun bevindt. Vervolgens valt de armatuur steeds sneller naar beneden door zwaartekracht. Te zien is dat de armatuur een afstand van ongeveer 21 meter aflegt voor hij de grond raakt bij een afschiet hoogte van 1 meter.

Door de loop buiten de railgun uit te schakelen kunnen beter leesbare grafieken worden gemaakt voor de variabelen die alleen een rol spelen binnen de railgun.

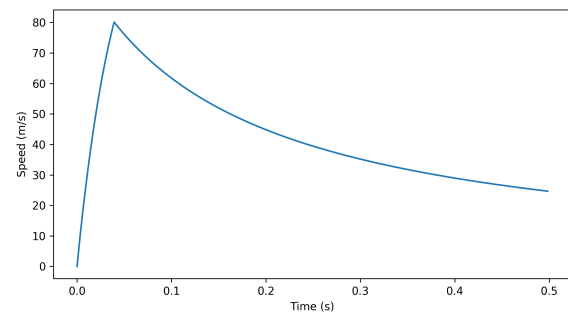


Figure 4: *x*-snelheid van armatuur uitgezet tegen tijd

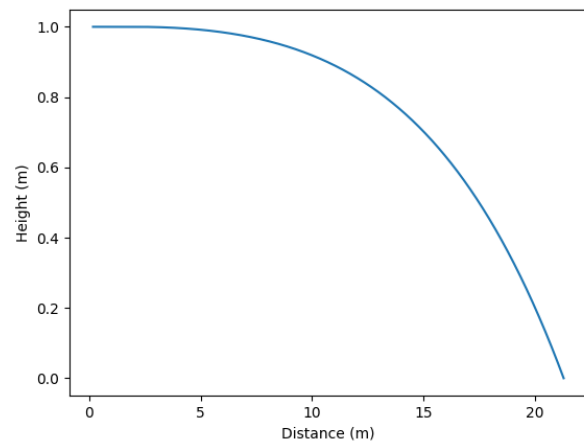


Figure 5: *Baan van de armatuur*

In fig. 6 is de toename van de totale elektrische weerstand in de railgun te zien. Deze toename komt onder andere door het vooruit bewegen van de armatuur. Het feit dat de grafiek bij ongeveer 40 ms stopt, geeft aan dat de armatuur zich ongeveer 40 ms in de railgun bevond.

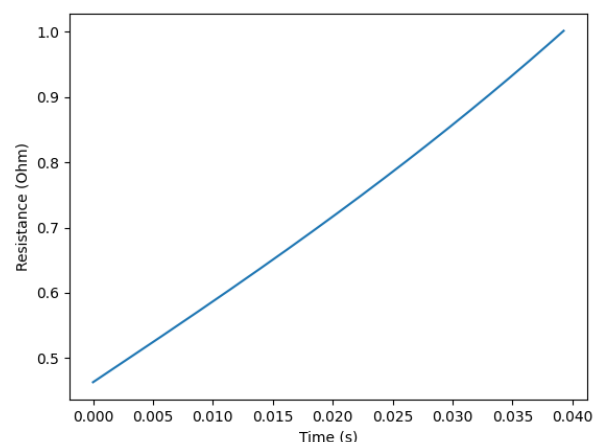


Figure 6: *Totale weerstand in het circuit van de railgun*

In fig. 7 is de afname van de stroomsterkte te zien tijdens het afvuren. Dit komt door het dalen van de spanning terwijl de

condensatoren ontladen. Daarnaast zorgt de toenemende totale weerstand ook voor een afname in stroomsterkte.

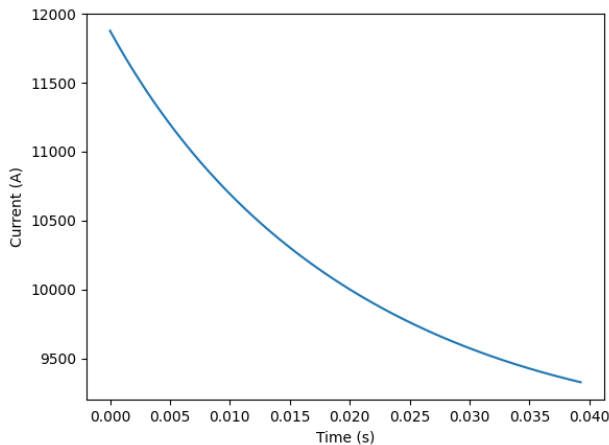


Figure 7: Stroomsterkte tijdens het afvuren

De resultaten die in de grafieken te zien zijn, zijn in de orde van grootte van andere railguns, of zijn met theoretische berekeningen te verifiëren.

6. Evaluatie

6.1. Railguns voor vergelijking

De simulatie is eerst vergeleken met de NGL-60 railgun [11]. Hierbij werden de volgende variabelen overgenomen van de NGL-60:

- **L_r**: 2
- **w_a, l_a**: 0.0114
- **h_a**: 0.056
- **w_r**: 0.04
- **h_r**: 0.06
- **m_a**: 0.770
- **C**: 0.043333
- **U₀**: 6000
- **ConstR**: 0.0046875

Daarnaast is de simulatie vergeleken met de railgun uit een onderzoek over controle over de exit velocity. [12]. Hierbij werden de volgende variabelen ingesteld op basis van het ontwerp van die railgun:

- **L_r**: 1.610
- **w_r, h_r**: 0.015
- **w_a, h_a**: 0.0145
- **l_a**: 0.03
- **m_a**: 0.009
- **C**: 0.004175
- **U₀**: 4210
- **ConstR**: 0.0505

Deze railgun heeft *augmentation* rails. Deze zorgen voor een sterker magneetveld en dus een hogere versnelling. Daarnaast

gebruikt deze railgun condensatoren die in 4 stappen achter elkaar beginnen te ontladen. Dit verhoogt het rendement en geeft dus bij volledig ontladde condensatoren ook een hogere exit velocity. De simulatie zou dus een lagere exit velocity moeten hebben. De vergelijking met deze railgun is dan ook niet bedoeld om exact dezelfde resultaten te krijgen met de simulatie. Alleen om te testen of de resultaten relatief kloppen, dus of de railgun bijvoorbeeld een lagere exit velocity heeft.

Aangezien de exacte afmetingen van alle onderdelen van beide railguns niet te bepalen waren is een instelbare weerstand geïntroduceerd. De weerstand wordt bij de totale weerstand van de onderdelen opgeteld. In beide railguns zal de meeste weerstand komen van de weg van de condensatoren naar de rails. Dit zijn veel losse kabels, dus die zullen geen grote rol spelen bij de warmteontwikkeling. De kabels komen pas bij elkaar bij de rails.

6.2. Resultaten

De resultaten van het model bleken ver van die van de NGL-60 te liggen. De stroomsterkte van de NGL-60 liep tijdens het afvuren af van 1.28 MA tot 0.23 MA. Dit duurde ongeveer 4 ms [11]. In fig. 8 is echter te zien dat de condensatoren in de simulatie in minder dan een milliseconde al volledig ontladen waren.

Door formule 8 om te schrijven kan de tijd worden berekend om bij een vaste weerstand van een initiële stroomsterkte I_0 af te zakken naar een stroomsterkte I .

$$t = RC \ln \frac{I_0}{I} \quad (28)$$

Wanneer in formule 28 de waardes van de NGL-60 worden ingevuld komt er een tijd van ongeveer 0.33 ms uit.

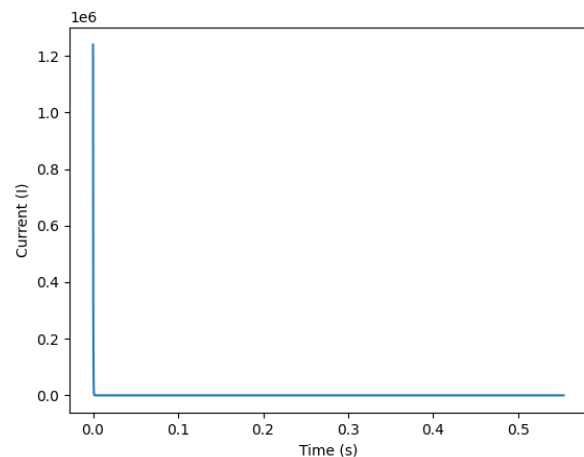


Figure 8: Stroomsterkte tijdens simulatie van NGL-60

Het rendement van de NGL-60 blijkt ook vele malen hoger te zijn dan die van de simulatie. De NGL-60 had een rendement van 14% [11] terwijl de simulatie een rendement van 0.016% gaf. Wanneer in de simulatie een constante stroomsterkte werd gebruikt die gelijk was aan de gemiddelde stroomsterkte van de NGL-60 kwam de exit velocity beter overeen, alleen klopte de energiebalans na het afvuren niet meer; de totale warmte plus

de kinetische energie was meer dan wat er eerst in de condensatoren zat.

Ondanks dit alles gaf de simulatie verder wel op het eerste gezicht realistisch ogende resultaten over het deel binnen de railgun. De exit velocity was kleiner dan die van grotere railguns, maar was wel zo groot dat de armatuur de railgun verliet. Ook de tijd klopt bij de snelheid. De temperaturen waren niet te vergelijken, omdat die data niet beschikbaar was bij de railguns, maar die lagen wel onder het smeltpunt van de materialen en waren enkele graden toegenomen.

- Exit Velocity: 17.99 m s^{-1}
- Tijd: 0.108 s
- Armatuur en Rail Temperatuur: 316 K (43°C)

Ook de tijd waarop de stroomsterkte gezakt was tot 0.23 MA kwam erg dicht in de buurt van formule 28 met een tijd van 0.317 ms .

Bij de andere railgun speelde exact hetzelfde probleem; de condensatoren waren te snel ontladen. Wel kwamen er weer redelijk realistisch ogende resultaten uit.

- Exit Velocity: 16.21 m s^{-1}
- Tijd: 0.0942 s
- Armatuur en Rail Temperatuur: 308 K (35°C)

De variabelen zoals de temperatuur kunnen niet gecontroleerd worden, aangezien die data niet beschikbaar was in de papers van de railguns.

De laatste versies van de bestanden met code zijn te vinden in de appendices.

7. Discussie

Bij het literatuuronderzoek is een verkeerde formule gevonden om de druk te berekenen. Voor volgende onderzoeken moet informatie grondiger worden gecontroleerd alvorens de informatie te gebruiken.

De simulatie bleek tijdens de realisatie veel sneller te zijn dan gedacht. Met een tijdstap van $0.1 \mu\text{s}$ binnen de railgun en 0.1 ms buiten de railgun duurt de simulatie hooguit een seconde, ook op oudere, minder krachtige systemen. Het verkleinen van de tijdstappen veranderde resultaten niet met de precisie waarmee ze worden weergegeven, dus dat zijn de optimale tijdstappen. Ook het verwerken en plotten van de data in python duurt niet lang.

De simulatie komt niet overeen met andere railguns. De reden hiervoor heeft te maken met het rendement. Als de simulatie voor de stroomlevering werd uitgeschakeld en werd vervangen door een constante stroomsterkte gelijk aan de gemiddelde stroomsterkte van de NGL-60, kwam de exit velocity in de buurt van de werkelijke exit velocity. Hierdoor hadden de onderdelen van de railgun echter meer energie na het afvuren waardoor de energie balans niet meer klopte. De simulatie had dus meer energie nodig om dezelfde snelheid te bereiken.

Een verklaring voor het verschil in rendement zou de inductance gradient kunnen zijn. Dit onderzoek maakt gebruik van

een formule die de Inductance Gradient benadert. Dit scheelt rekenkracht, maar is vermoedelijk minder precies dan een simulatie die op een andere manier de Lorentzkracht simuleert. Een formule voor de inductance gradient is namelijk een vereenvoudiging van een grootheid waar veel delen van de railgun invloed op hebben. Een volgend onderzoek zou kunnen overwegen om individuele elektronen of groepen elektronen te simuleren in plaats van een formule te gebruiken voor de Inductance Gradient. Dit zou precisie moeten verhogen, omdat het verloop van de elektriciteit gerelateerde variabelen zo veel preciezer is. Aangezien de Lorentzkracht hier direct van afhankelijk is, wordt die ook preciezer. Dit zou ook de problemen met het simuleren van de condensatoren op kunnen lossen.

Aangezien er weinig variabelen van de railguns voor de vergelijking beschikbaar waren, was het onderzoeken van de problemen lastig. Zo was het onder andere niet mogelijk om de temperatuur van de onderdelen te verifiëren, omdat deze data niet gegeven wordt in onderzoeken naar bestaande railguns. Voor een volgend onderzoek zou voor het onderzoek een verstelbare railgun gebouwd kunnen worden waarvan alle variabelen bekend zijn. Dit maakt het vergelijken preciezer en kan ook helpen met het oplossen van problemen in de simulatie.

In de tests van dit model is er gekozen voor een `t_simfloat` van `long double`, dit is preciezer dan wat Python ondersteunt, want Python ondersteunt niet preciezer dan `float`. De simulatie wordt dus wel gedaan met `long double`, maar voordat de grafieken met Python worden geplotted moeten de getallen worden omgezet naar `float`, waarbij precisie verloren gaat. In een volgend onderzoek zou er voor kunnen worden gekozen om op een andere manier te plotten, waarbij er geen precisie verloren gaat. Het is echter onwaarschijnlijk dat dit een heel groot verschil zou maken, omdat de doorrekenfout van een minder precies nummer-type al wordt voorkomen door een precies datatype als `long double` te gebruiken in het simulatiedeel.

De simulatie van de condensatoren en de krachten is theoretisch wel correct. De simulatie zou dus wel gebruikt kunnen worden om de invloed van die variabelen onderling te testen. De waardes moeten dan als relatieve waardes worden beschouwd, en niet als werkelijke waardes. De simulatie is dan dus alleen nuttig voor het bekijken van de invloed van variabelen op elkaar.

8. Conclusie

In dit paper is een simulatie van een railgun ontworpen en in C++ en python geprogrammeerd. De simulatie geeft resultaten die op het eerst gezicht realistisch lijken (bv. figuur 4 en 5). Echter, door fouten in de simulatie van de stroomlevering en mogelijk nog in andere onderdelen van de simulatie, komen deze resultaten niet overeen met een echte railgun die de ingestelde eigenschappen heeft. Toen de simulatie voor de stroomlevering werd uitgeschakeld en werd vervangen door een constante stroomsterkte leken de resultaten wel overeen te komen met de werkelijkheid, maar toe klopte de energie balans niet meer.

Omdat de simulatie theoretisch correct is, kan de simulatie wel worden gebruikt om de invloed van variabelen op elkaar te bepalen. Zo kunnen railguns dus toch relatief geoptimaliseerd

worden.

Met een tijdstap van $0.1\mu\text{s}$ binnen de railgun en 0.1ms buiten de railgun duurt de simulatie hooguit een seconde. Ook duurt het plotten van de grafieken niet meer dan een minuut. Het is dus wel gelukt om de simulatie snel genoeg te maken. Ook worden de resultaten van de simulatie overzichtelijk weergegeven (zie bijvoorbeeld figuur 4 en 5), en zijn bijna alle eigenschappen van de railgun in de simulatie als variabelen in te stellen.

References

- [1] Stephan Hundertmark and Daniel Lancelle. "A scenario for a future European shipboard railgun". In: *IEEE Transactions on Plasma Science* 43.5 (2015), pp. 1194–1197.
- [2] Richard de Silva. *US Navy railgun prototype*. July 2017. URL: <https://www.defenceiq.com/naval-maritime-defence/articles/us-navy-prototype-railgun-is-awe-inspiring>.
- [3] Feb. 2024. URL: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Railgun>.
- [4] John W. Jewett and Raymond A. Serway. *Physics for scientists and engineers with modern physics*. 7th ed. Pacific Grove, Calif, London: Brooks/Cole; Thomson Learning distributor, 2008.
- [5] Asghar Keshtkar, Sadjad Bayati, and Ahmad Keshtkar. "Derivation of a Formula for Inductance Gradient Using Intelligent Estimation Method". In: *2008 14th Symposium on Electromagnetic Launch Technology*. 2008, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ELT.2008.25.
- [6] Vitalii Ya Chekhovskoi, Yurii V Gusev, and Valerii D Tarasov. "Experimental study of the specific heat and enthalpy of copper in the range 300–2000 K". In: *High Temperatures-High Pressures* 34.3 (2002), pp. 291–298.
- [7] Tung Liu. "Sliding friction of copper". In: *Wear* 7.2 (1964), pp. 163–174.
- [8] Richard Allen Matula. "Electrical resistivity of copper, gold, palladium, and silver". In: *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 8.4 (1979), pp. 1147–1298.
- [9] Janusz Chrzanowski and Bohdan Bieg. "Bulk modulus of copper alloys in context of modern metal theory". In: *New Trends in Production Engineering* 1 (2018), pp. 681–686.
- [10] Asghar Keshtkar, Sadjad Bayati, and Ahmad Keshtkar. "Derivation of a formula for inductance gradient using intelligent estimation method". In: *IEEE Transactions on Magnetism* 45.1 (2009), pp. 305–308.
- [11] S Hundertmark et al. "The NGL-60 railgun". In: *IEEE Transactions on Plasma Science* 47.7 (2019), pp. 3327–3330.
- [12] Thorbjörn Siaenen, Markus G. Schneider, and Markus J. Löffler. "Rail Gun Muzzle Velocity Control With High Accuracy". In: *IEEE Transactions on Plasma Science* 39.1 (2011), pp. 133–137. DOI: 10.1109/TPS.2010.2052072.

A Risk Reducing Stock Screener Utilizing Financial Ratios

L. Hauser¹, K. de Vries², R. Kamperman² & G. Weldink¹

¹Bonhoeffer College van Der Waalslaan, Enschede

²Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – Risicoverlaging is een fundamenteel doel bij beleggen en financiële analyse. Dit artikel onderzoekt de effectiviteit van financiële ratio's als maatstaven om risicovollere aandelen uit te filteren. Met behulp van een steekproef van meer dan 3000 aandelen die genoteerd staan op de NASDAQ, past dit onderzoek een stock screener toe op basis van de Z-score van Altman en wordt de Altman Z-score opnieuw geëvalueerd met moderne gegevens, waaronder 132 gevallen van faillissement. Hoewel de bevindingen suggereren dat de Z-score van Altman en de herziene versie robuuste voorspellers zijn van faillissementen, erkent dit onderzoek de beperkingen van backtesting en de behoefte aan verdere validatie. Het resulterende stock screeners zijn gericht op het identificeren van stabiele aandelen die kunnen worden gecombineerd met aanvullende handelsstrategieën om de algehele veerkracht van de portefeuille te vergroten.

1. Introduction

Reduced risk is a much sought-after outcome for investors of all kinds. Many hedge funds such as market-neutral hedge funds attempt to minimize risk and maximize returns at the same time. Reducing risk is even a part of the name hedge fund. To hedge means to aim to limit losses by purchasing investments that provide an opposite position [1]. Hedge funds, and other investing entities, attempting to reduce risk, utilize various analytics strategies such as hedging. Among these strategies, the use of financial ratios has been an accepted practice due to its ability to offer insights into the company's financial health and operational efficiency. Financial ratios distill complex financial data into accessible metrics.

This paper examines the role of financial ratios in predicting bankruptcy, focusing specifically on their use as independent predictors. While financial ratios are often employed in combination with other analytical tools, serving as a foundation for filtering extreme cases, this study narrows its scope to the standalone application of these ratios for a stock screener that will be used in combination with other strategies. Following research will explore how financial ratios can be used in conjunction with other strategies for a more comprehensive approach to stock evaluation.

2. Background

To fully understand the use of financial ratios in this research it is essential to first understand the basic concepts of stocks, financial ratios, and linear discriminant analysis. This section will give an overview of these concepts with explanations and definitions. This section will also cover previous research that has been done into the use of financial ratios in different contexts.

2.1. Stocks

A stock represents a share in the ownership of a company and a claim on a portion of that company's assets and earnings. Stocks, also known as equities, can be traded in financial markets where investors may buy and sell shares. Supply and de-

mand, company performance, investor sentiment, and macroeconomic factors such as inflation influence the price of a stock. Stocks are generally bought and sold electronically through stock exchanges [2]. For this paper stocks on the New York Stock Exchange (NYSE) and the National Association of Securities Dealers (NASDAQ) have been analyzed due to accessibility. Companies generally have the right to issue new stocks with approval from their board of directors and to buy stocks back from current shareholders [3]. This system enables companies to raise capital from investors in exchange for equity. Investors in turn seek profit by buying low and selling high or by holding shares to receive a portion of the company's earnings in the form of dividends.

2.2. Financial Ratios

Financial ratios are key metrics used to analyze a company's financial health and performance. They are often derived from three financial statements: the income statement, the balance sheet, and the cash flow statement. Each provides important financial information about a company and is publicly available.

The income statement contains information about the profitability of a company over a period of time. This includes for example the revenue, gross profit, and more. The balance sheet is a snapshot of a company's assets, liabilities (debts), and shareholders' equity. Finally, the cash flow statement shows various movements of cash from operating, investing, and financing activities [4].

In this paper, financial ratios will be grouped into five categories. The next section will briefly describe the different categories and their uses. Due to the sheer number of financial ratios, this paper will not explain all of them.

Liquidity ratios Liquidity ratios measure the ability of the company to pay current debt obligations without raising external capital. Liquidity is the ability to convert assets into cash in a short period of time. If a company can't pay off its current debt obligations it can lead to bankruptcy.

Solvency ratios Solvency ratios are key metrics used to calculate the ability of a company to meet its long-term debt obligations. An unfavorable ratio can indicate a higher likelihood of bankruptcy.

Profitability ratios Profitability ratios are measures of a company's ability to generate earnings relative to its revenue, operating costs and more. Profitability ratios can be divided into two different categories: Margin ratios and return ratios. Margin ratios measure the ability of a company to generate profit from its sales. Return ratios measure the ability of a company to generate returns for its shareholders. There are also other profitability ratios that do not fit into the categories of margin ratios and return ratios.

Efficiency ratios Efficiency ratios are measures of a company's ability to use its assets and manage its liabilities in the short term. Efficiency ratios are generally measures of the time it takes a company to generate revenue. Efficiency ratios are commonly used to assess the management of a company and are not generally used to calculate financial health.

Market value ratios Market value ratios are used to evaluate the share price of a company's stock. They include ratios such as the earnings per share (eps). Using the eps investors can evaluate if a stock is overpriced or underpriced in a simple way. However, such measures tend to not take all variables into account.

2.3. Measuring Risk

Quantifying risk is essential in professional investment management. One standard method to measure risk is the use of variance. A stock or portfolio with a higher historical variance in returns is considered more volatile and inherently riskier [5].

Variance In statistics, variance measures the variability from the mean. It is calculated by taking the differences between each number in the data set and the mean, squaring these differences to make them positive, and then dividing the sum of the squares by the number of values in the data set. The formula for variance is [6]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (1)$$

Where:

x_i = Any value in the data set

$\bar{x}$ = Average (mean) of all values in the data set

N = Number of values in the data set

2.4. Altman's Z-score

Altman's Z-score is a financial formula that attempts to predict bankruptcy. It was derived by Edward Altman in 1968 with the use of linear discriminant analysis on financial data from his

time. The prediction accuracy is impressively high at 0.75 to 0.90 depending mainly on the country in which it is tested in [7]. The formula for Altman's Z-Score is:

$$Z = 1.2X_1 + 1.4X_2 + 3.3X_3 + 0.6X_4 + 1.0X_5 \quad (2)$$

[8] Where:

- X_1 = Working Capital / Total Assets
- X_2 = Retained Earnings / Total Assets
- X_3 = Earnings Before Interest and Taxes / Total Assets
- X_4 = Market Value of Equity / Total Liabilities
- X_5 = Sales / Total Assets

Altman also developed alternative versions of the Z-Score formula tailored for private non-manufacturing companies and emerging market firms [9]. However, the original formula designed for manufacturing companies is widely accepted in the financial field and performs better for the purposes of this paper.

This formula does have some limitations and is not suitable for all situations. For example, some abnormalities are not signs of bankruptcy, but do lead to a lower Z-score, such as the example used by Wallstreet Prep. Companies in the restaurant industry often have a negative working capital cycle, which means that negative working capital can indicate effective cash flow management rather than potential insolvency [9].

2.5. Linear Discriminant Analysis

Linear Discriminant Analysis, commonly referred to as LDA, is a supervised machine learning technique primarily utilized when facing classification problems. LDA can be used for multi-class classification problems and binary class classification problems.

Linear Discriminant Analysis (LDA) identifies a linear combination of features that best separates or distinguishes between two or more classes of data. By projecting data from higher dimensions into a lower dimension, LDA simplifies classification tasks, making it easier to differentiate between classes. This process is often called dimensionality reduction. Unlike logistic regression, which is typically used for binary classification, LDA is versatile and can handle multi-class classification problems effectively [10].

LDA makes three assumptions when implemented.

1. **Multivariate Normality:** The predictor variables are assumed to follow a normal distribution within each group or class [11].
2. **Homogeneity of Variance/Covariance (Homoscedasticity):** The variance and relationships (covariance) between predictor variables are assumed to be the same across all groups [11].
3. **Independence of Data Points:** Each observation is assumed to be independent, meaning one observation's value does not influence another's [12].

If Linear Discriminant Analysis (LDA) assumptions are violated, the model's accuracy and reliability may suffer. Non-

normal predictor variables can distort class separation, but simple transformations can resolve this. Unequal variances or covariances between groups, which can be tested with Box's M statistic [12], may lead to poor classification but can be addressed using Quadratic Discriminant Analysis (QDA) or by reducing variability through techniques like winsorization. Non-independent observations, such as repeated measures, can bias results and are more challenging to handle. While LDA is somewhat robust to minor assumption violations, significant issues require preprocessing or alternative models [13].

2.6. Backtesting

Backtesting is a fundamental technique in finance used to assess the performance of trading strategies by applying them to historical data. While it offers valuable insights, it's essential to recognize its limitations and the impact of factors like liquidity on its outcomes.

Limitations of Backtesting While useful, backtesting has some limitations:

1. **Overfitting:** This happens when a strategy is too closely tailored to past data, making it less effective in new, real-world situations.
2. **Ignoring Transaction Costs:** Real trading involves costs like broker fees and price changes during trades. If these aren't included in backtesting, the strategy might seem more profitable than it actually is.
3. **Liquidity Issues:** Backtesting often assumes you can always buy or sell assets without problems. In reality, low liquidity can make it hard to execute trades at desired prices, affecting the strategy's success.

3. Research Methods

In this study, Python was employed to acquire, filter, and analyze stock data from a dataset comprising over 3000 unique stocks listed on the NASDAQ, spanning the period from 2000 to 2023. The NASDAQ was chosen as the target market because of the accessibility to financial information and the representation of diverse public companies.

To evaluate the predictive power of financial ratios, backtesting was performed on historical stock data. This methodology provided insight into how these ratios might have functioned as indicators under past market conditions.

Given the large number of financial ratios and their tendency to overlap, it was necessary to identify and select specific ratios for the final analysis. The initial version of the stock screener focused on Altman's Z-score.

Building on this foundation, further research was conducted to explore the use of machine learning—similar to the approach Edward Altman adopted—to derive formulas for bankruptcy prediction, such as the Z-score. Linear Discriminant Analysis (LDA), a technique also used by Altman, produced the most effective results compared to various techniques such as linear regression and lasso regression. It was subsequently employed to redefine the Z-score formula and develop a new

bankruptcy prediction model. Following the development of a new bankruptcy prediction model various stock screeners were built and tested on historical data.

4. Specification

4.1. Product Design and Functionality

The end product is a software-based stock screener designed to identify a subset of stocks with minimal risk of bankruptcy or financial stress. This subset can serve as a standalone investment option or as a foundation for implementing more complex strategies while reducing associated risks.

The stock screener is implemented entirely in Python, leveraging its robust data manipulation capabilities and seamless integration with APIs. To operate the stock screener efficiently, a subscription to the Financial Modelling Prep (FMP) API is recommended, costing 30 USD per month. Alternatively, a free API key can be used, but this involves significant delays due to rate limitations.

4.2. Research and Development Process

4.2.1 Programming Language and Data Source Selection

Python was selected for this project due to its versatility, ease of use, and extensive ecosystem of libraries, such as Pandas, for data manipulation. Additionally, Python's compatibility with JSON and CSV formats enabled efficient storage and management of stock data.

Financial data was sourced using the FMP API. This API was selected for its straightforward setup, comprehensive dataset, and the availability of a free tier for initial research. Historical price data was downloaded from the NASDAQ. These factors ensured that the dataset could cover a broad range of stocks while keeping costs manageable.

4.2.2 Backtesting as a Validation Method

Backtesting was employed to evaluate the effectiveness of the financial ratios as indicators of stock performance under historical market conditions. Liquidity and trade sizes was not tested. As such, while the results provide useful insights, they should be interpreted cautiously.

4.3. Design Criteria and Methodology

4.3.1 Criteria for Ratio Selection

The design of the stock screener required selecting ratios that could provide meaningful insights into stock performance. Given the extensive range of financial ratios available, the project focused on Altman's Z-score as a starting point.

4.3.2 Iterations of Altman's Z-score

Further research was conducted to refine Altman's Z-score by remaking it using the same methods Altman used (LDA). This iterative approach aimed to improve the formula's robustness for practical application in the modern era of finance by utilizing modern data.

4.3.3 Outlier Management

During the initial research phase, only extreme outliers with exceptionally high returns, such as percent returns in the thousands, were removed. These accounted for less than 5 percent of the dataset and were excluded to prevent skewing the analysis. This adjustment ensures that the stock screener used in real-world applications should perform slightly better, as it would account for a more comprehensive range of scenarios. Additionally, the Linear Discriminant Analysis (LDA) model was trained on the full dataset, including these outliers and stocks without price data dating back to 2000, to maximize its robustness and predictive capabilities.

4.4. Final Design

The resulting stock screener combines financial ratio analysis utilizing the Altman Z-score with an LDA model trained on modern data to enhance its predictive capabilities.

5. Realisation

After the initial data gathering, several steps were needed to transform the data into a usable form. The data was organized by stock symbol into the three financial statements and saved in JSON format. First, Python was used to reformat this data into one file per stock symbol. A roadblock emerged in the form of missing data, as financial statements do not include market cap data. Querying this additional data from the API took over 20 hours due to the API's inefficient design, after which it was merged into the JSON files. The price data was obtained directly from the NASDAQ and merged into the JSON files in the same manner.

From this stage onward, CSV files and Pandas, a Python module, were used to store and analyze the data. The data was saved into data frames, one for each year, which proved much faster and more efficient than working with separate JSON files for each stock. With the data in this form, stock price growth over one- to five-year horizons was calculated.

The next step involved calculating the various financial ratios for the initial analysis, beginning with Altman's Z-scores. The ratio data, along with the corresponding Altman Z-scores, was initially stored separately in a different data frame however it was later added to the JSON files on a year-by-year basis.

5.1. Altman Z-scores

This section refers to the original Altman Z-score for manufacturing companies. Other iterations were tested but the original version was the best for the uses of this papers.

The Altman Z-score formula was originally designed to predict bankruptcy in large manufacturing companies, with a Z-score below 1.80 indicating bankruptcy risk and scores above 3 considered safe. These bounds were arbitrarily chosen by Edward Altman. Upon analyzing the data, it was observed that the Z-score had some correlation to return after 1 year and a strong correlation to variance in the return after 1 year. Revealing that using the Z-score it is possible to separate a subset of companies with higher average growth and lower variance. Lower variance in return coincides with reduced risk when investing.

To better visualize this correlation with Z-score, percent returns and variance in returns figure 1 and figure 2 have been plotted below. In figure 1 the Z-score is plotted as the x-axis and the moving average percent return is plotted as the y-axis. It is visible in figure 1 that the moving average percent return is much more stable between a Z-score of 0 and 7.5. Outside of these bounds the correlation between the Z-score and the percent returns is less present.

In figure 2 the Z-score is plotted as the x-axis and the moving variance is plotted as the y-axis. This plot shows a much stronger correlation between variance of return (risk) and the Z-score. Once again we see a sweet spot where companies are predictable and safe between values of 0 to 7.5. A risk reducing stock screener could remove all the stocks on the NASDAQ with an Altman Z-score outside of this range.

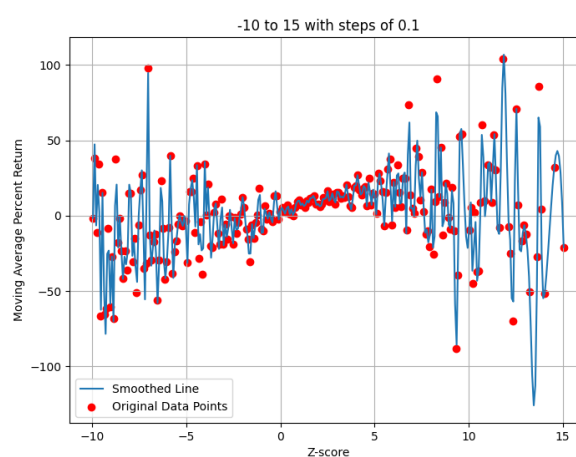


Figure 1: Z-score and moving average percent return plot from -10 to 15

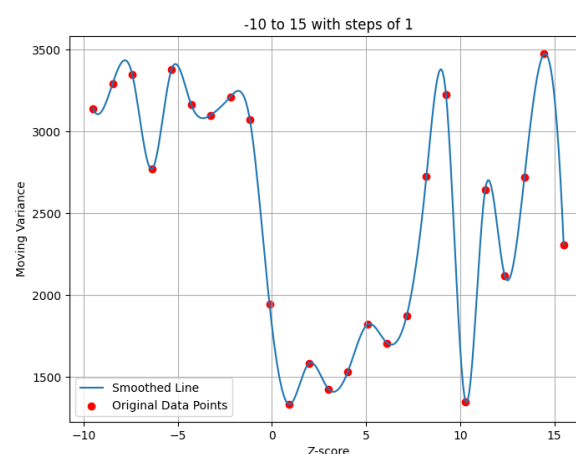


Figure 2: Z-score and moving variance plot from -10 to 15

The moving average percent return refers to a method of plotting the average stock returns within a specific Z-score window. For instance, a single point on the first figure is calculated by taking the average of the percent returns for stocks with Z-scores within a 0.1 range centered on the Z-score value of the

point. This approach smooths out fluctuations and highlights trends in stock performance relative to Z-scores.

Similarly, the moving variance is calculated for Figure 2, but with a larger window size. This adjustment ensures that variance, which requires multiple data points for accurate calculation, is more stable and effectively represents the correlation observed. The use of a larger window for variance also provides a clearer depiction of the relationship between Z-scores and the variability in returns, avoiding noise that might obscure meaningful trends.

In both figures, the blue line is a smoothed line generated using `scipy.interpolate.spline`. It is included solely for visualization purposes and does not represent any additional data or statistical analysis. Its role is to enhance the interpretability of the graphs by emphasizing the general trend in the plotted data.

Filtering the data based on the Z-score with bounds of 0 and 7.5 leads to the divisions displayed in Table 1. The mid-range Z-score group represents the selected stocks, characterized by lower variance and higher average returns. Another noteworthy observation from the table is that the low Z-score group exhibits both higher variance and higher returns compared to the high Z-score group.

This phenomenon could be attributed to the actions of companies with poor financial ratios. Companies in this category may actively strive to improve their performance, unlike those in the high Z-score group who may perceive their financial health as sufficient. Such efforts could result in a higher average return and increased variance due to outliers—companies that successfully turned their performance around. However, exploring this hypothesis falls outside the scope of this paper.

Z-score	Average Percent Return	Variance in return
high	-16.31	4711
mid	6.30	3003
low	-4.77	6767

Table 1: Z-score division with bounds of 0 and 7.5 for all data

5.2. Machine Learning Approach (LDA)

The next research steps involve analyzing the effects of training an LDA model on the financial ratios found in the Altman Z-score formula and select other financial ratios. In research conducted by Edward Altman and three other economical scientists, they proposed that the Z-score formula could be improved by adjusting the coefficients, as the original coefficients were determined in the financial markets of 1968. In 1983, Altman recommended using the most current data available when developing a bankruptcy prediction model. They tested eight different model adjustments, each yielding varied results [7].

To recreate Altman’s Z-score model, modern stock data from 2000 to 2023 was used to train a Linear Discriminant Analysis (LDA) model. The dataset consisted of 44,794 cases where the stock did not go bankrupt within the subsequent year and 132 cases where bankruptcy occurred within the following year. Proper machine learning techniques were employed throughout the training and testing phases to ensure the model’s reliability.

Further research should investigate the performance of a similar model over a longer horizon, as the current one-year prediction window may not capture the full range of factors that contribute to financial distress over extended periods. A longer horizon could provide deeper insights into the early warning signs of bankruptcy and improve the model’s utility in practical applications.

The financial ratios for all iterations of the Z-score were compiled into a comprehensive dataset. This dataset included a column labeled bankruptcy, where a value of 1 indicated that the stock experienced bankruptcy in the next fiscal year, and 0 indicated otherwise. This structured approach allowed the LDA model to analyze the data effectively and refine Altman’s Z-score formula to align with contemporary financial data and trends.

5.2.1 Model Training and Testing

To train and test the model, the following methodology was applied:

Data Splitting: The dataset was randomly divided into a training set (75 percent) and a test set (25 percent). This ensured that the evaluation of the model was performed on unseen data, providing a realistic measure of its performance.

Data Standardization: A standard scaler was used to normalize the data, ensuring that all features were on the same scale. This step is crucial for machine learning algorithms, particularly those sensitive to feature magnitudes.

Class Imbalance Handling: Given the imbalance in the dataset, with far fewer bankruptcy cases compared to non-bankruptcy cases, near-miss under-sampling was employed. This technique selectively undersamples the majority class to balance the dataset, improving the model’s ability to recognize minority class patterns.

Hyperparameter Optimization: An exhaustive grid search with 10-fold cross-validation and three repetitions was conducted to identify the optimal hyperparameters. The first evaluation metric used was the Area Under the Curve (AUC) of the Receiver Operating Characteristic (ROC). This metric evaluates the model’s ability to distinguish between the two classes. The second evaluation metric used was weighted recall. This is a performance metric used in classification tasks to handle imbalanced datasets where the classes are not equally represented. It is particularly useful when the importance of correctly predicting certain classes varies, or when you want to account for the class imbalance in your evaluation.

The model demonstrated intriguing results. It consistently achieved a false negative rate close to zero, effectively identifying nearly all cases of bankruptcy, when scoring with ROC AUC. However, the false positive rate was notably high, indicating that while the model was proficient at recognizing bankruptcies, it often misclassified companies as bankrupt when they were not. This led to a persistent issue where a small subset of non-bankrupt companies was erroneously flagged. Adjusting the scoring parameter to prioritize weighted recall produced a significant improvement. The model maintained its low false negative rate while correctly identifying a much

larger proportion of non-bankrupt companies. Despite testing other scoring metrics, they did not yield meaningful improvements. Introducing additional financial ratios, other than financial ratios found in Altman’s Z-scores, to the predictive dataset led to marginally better predictive results, further enhancing the model’s effectiveness. However, in testing the resulting stock screener, the extra ratios served as a hindrance to performance (see evaluation).

The final LDA parameters resulted in a model which tested as shown in table 2 below. In this instance false negative regards to a stock that was falsely predicted as a non-bankrupt case. In other words an instance were the model predicted that a stock would not go bankrupt and it did within 1 year.

False negative	20
True negative	10603
False positive	599
True positive	10

Table 2: Final LDA model results

Since the goal of this research was to develop a stock screener that could support further investment strategies, it was essential for the screener to yield an ample selection of stocks. A screener that is too restrictive would limit subsequent strategies by providing insufficient data to work with. This balance ensures the stock screener can be a foundational tool for broader applications.

5.3. Combined approach

Combining the LDA approach with the Z-score stock screener was hypothesized to enhance the screening process and yield improved results. However, the observed improvements were minimal. This outcome could be attributed to the Z-score stock screener selecting a broader range of stocks compared to the more selective LDA stock screener. Combined with the majority of stocks passing the LDA stock screener also meeting the criteria of the Z-score stock screener, resulting in significant overlap between the two methods. This overlap likely limited the potential for meaningful improvement.

6. Evaluation

The research successfully developed several stock screeners that reduce risk, some even achieving slightly above-average market returns compared to the S&P 500. The various types all have different strengths. The stock screener that reduces risk the best is the combined approach (Altman Z-score screening and LDA screening) utilizing only the financial ratios found in the Altman Z-score formula resulting in a variance of return of 1538. This result is slightly lower than the variance of return of 1552 achieved by purely the LDA screening model utilizing only the Altman Z-score financial ratios.

The drawback to the stock screeners which achieve the best reduction in risk is that they chosen stocks number less than 3000 of the 12000 tested. Thus only approximately 25 percent of the stocks pass the test. When training and testing the LDA models a 25 - 75 percent train test split was used where the 25 percent test split all have price change data. The dataset utilized was the

same as referred to in the realization section with 44,794 cases where the stock did not go bankrupt within the subsequent year and 132 cases where bankruptcy occurred within the following year.

If an investor requires an abundance of stocks to pass the stock screener the Z-score stock screener, LDA stock screener with additional ratios or the combined stock screener with additional ratios may be a better fit. These all let more stocks pass however they achieve lesser results in the risk reduction apartment.

The test results are shown in table 3. Price data was only available from 2015 to present day so the stock screeners could only be tested on this data. However the LDA models could be trained on the broader data set.

7. Discussion

The research presented here has provided valuable insights into the application of financial ratios and machine learning for stock analysis. However, several limitations and areas for improvement must be acknowledged to better understand the implications of this work and guide future research.

The analysis and model training were restricted to NASDAQ-listed companies, leaving out data from other markets. Expanding the dataset to include stocks from other exchanges, such as the NYSE or international markets, would enhance the generalizability of the findings.

The choice of Linear Discriminant Analysis (LDA) as the machine learning model is another area of potential limitation. While LDA showed promise, it is not guaranteed to be the optimal choice. Other machine learning models, such as support vector machines (SVM), or ensemble methods like random forests or gradient boosting, may offer improved predictive performance. A systematic comparison of these models would provide more clarity on the best approach.

Additionally, the assumptions of LDA, such as multivariate normality and homoscedasticity, were not thoroughly tested. Violations of these assumptions could compromise the reliability of the results. Future research should include rigorous testing for these assumptions and consider sister models, such as quadratic discriminant analysis (QDA), if they are violated. However current results are promising and the model was able to predict bankruptcies with adequate accuracy.

The backtesting methodology employed in this research provides valuable insights but has inherent limitations. Backtesting assumes that past trends will continue into the future, which may not always hold true due to changes in market conditions. While the large dataset used here adds credibility, forward testing is essential to validate the real-world applicability of the model.

Another limitation lies in the selection of financial ratios. While the study explored the Z-score and a few additional financial ratios, it is likely that the choice of ratios is not optimal. Many other financial ratios with potential predictive power were not included in this analysis. A more comprehensive evaluation of available financial ratios could yield better results and potentially uncover ratios that are more effective for

	Average percent return	Filtered Variance of return	Unfiltered variance of return	Stock count
LDA	9.29	1565	5009	2912
Combined	9.31	1549	4946	2918
Z-score	6.30	3003	6498	14069
LDA (additional ratios)	6.69	2956	6485	7194
Combined (additional ratios)	7.58	2733	7162	7174

Table 3: Comparison of stock screener types tested on data from 2015 to 2024

predicting bankruptcy and financial health.

Another area worth exploring is the extension of the predictive time horizon. While the current model focused on a one-year window for predicting bankruptcy, financial distress often develops over a longer period. Extending the time horizon to two, three, or even five years could provide valuable insights into earlier warning signs of bankruptcy and help investors make more informed decisions. A longer horizon may also capture gradual financial deteriorations that are missed in shorter-term predictions. This approach could enhance the model's practical applications, particularly for institutional investors and credit risk analysts who require a broader view of financial health trends. However, this would necessitate adjustments to the model and careful consideration of the potential increase in uncertainty over longer periods.

Lastly liquidity is a critical factor that this research does not address but significantly impacts the real-world application of the stock screener. Low-liquidity stocks may make it challenging to execute trades without affecting prices, especially for larger portfolios. Future work should incorporate metrics like trading volume or bid-ask spreads to ensure selected stocks are both promising and practical for trading, improving the model's real-world applicability.

In conclusion, while the research demonstrates the promise of LDA and financial ratio-based stock screening, it also highlights several areas requiring further investigation and refinement. Expanding the dataset to other markets, testing alternative machine learning models, validating assumptions, and considering extensive prediction horizons are critical steps to improve the robustness and applicability of the findings. Moreover, integrating forward testing alongside backtesting would provide a more reliable measure of the model's real-world effectiveness. Despite its limitations, this work provides a solid foundation for future research into financial risk prediction and stock screening strategies.

8. Conclusion

This research explored the use of financial ratios and machine learning, specifically Linear Discriminant Analysis (LDA), to develop a stock screener for identifying financially unstable stocks. By analyzing over two decades of stock data (2000–2023) and leveraging ratios such as those found in Altman's Z-score, the study aimed to develop a stock screener to identify less risky stocks that could be used as a foundation for further investment strategies.

The LDA model demonstrated strong potential, particularly with its ability to filter most high-variance stocks. However, this approach could greatly benefit from more exploration. The

assumptions made by LDA were not well tested and a different model such as QDA may achieve better results.

Despite this limitation, both approaches have their strengths, and combining them led to a marginally more robust screening mechanism. By applying both the Z-score stock screener and the LDA algorithm, the subset of stocks that passed both stock screeners had an even lower variance in return.

In conclusion, while the LDA algorithm shows significant potential and may benefit from farther development. Combining both stock screeners presents a practical path forward, offering a more refined approach to identifying financially sound stocks for investment. Future research could focus on improving the LDA model's robustness and exploring additional methods to optimize this combined screening strategy.

References

- [1] TD. *Hedging in investing: Techniques for securing your financial future*. URL: <https://www.td.com/ca/en/investing/direct-investing/articles/hedging#:~:text=Hedging%20is%20a%20method%20that,options%2C%20futures%20or%20other%20derivatives..> (accessed: 07.01.2025).
- [2] Charles Schwab. *What are stocks?* URL: <https://www.schwab.com/stocks/understand-stocks>. (accessed: 13.10.2024).
- [3] J.B. Maverick. *Is an Increase in a Company's Capital Stock a Bad Sign?* URL: <https://www.investopedia.com/ask/answers/050415/why-increase-capital-stock-companys-balance-sheet-bad-sign-stockholders.asp#:~:text=However%2C%20a%20company%20commonly%20has,back%20existing%20shares%20from%20stockholders..> (accessed: 13.10.2024).
- [4] Jeff Schmidt. *Three Financial Statements*. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/accounting/three-financial-statements/>. (accessed: 26.11.2024).
- [5] James Chen. *Mean-Variance Analysis: Definition, Example, and Calculation*. URL: <https://www.investopedia.com/terms/m/meanvariance-analysis.asp>. (accessed: 24.01.2025).
- [6] Adam Hayes. *What Is Variance in Statistics? Definition, Formula, and Example*. URL: <https://www.>

- investopedia . com / terms / v / variance . asp. (accessed: 04.09.2024).
- [7] Edward I. Altman et al. “Financial Distress Prediction in an International Context: A Review and Empirical Analysis of Altman’s Z-Score Model”. In: *Journal of International Financial Management & Accounting* 28.2 (2017), pp. 131–171. DOI: <https://doi.org/10.1111/jifm.12053>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jifm.12053>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jifm.12053>.
- [8] Will Kenton. *Altman Z-Score: What It Is, Formula, How to Interpret Results*. URL: <https://www.investopedia.com/terms/a/altman.asp>. (accessed: 26.11.2024).
- [9] Wallstreet Prep. *Altman Z-Score*. URL: <https://www.wallstreetprep.com/knowledge/altman-z-score/>. (accessed: 26.11.2024).
- [10] IBM. *What is linear discriminant analysis (LDA)?* URL: <https://www.ibm.com/think/topics/linear-discriminant-analysis>. (accessed: 07.01.2025).
- [11] Ö. Büyüköztürk Ş. & Çokluk-Bökeoğlu. “Discriminant function analysis: Concept and application”. In: *Egitim Arastirmalari - Eurasian Journal of Educational Research*, 33, 73-92. (2008).
- [12] John Hansen. “Using SPSS for Windows and Macintosh: Analyzing and Understanding Data”. In: *The American Statistician*. 59: 113 (2005).
- [13] Peter A. Lachenbruch. “Discriminant Analysis”. In: *Encyclopedia of Statistical Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd, 2006. ISBN: 9780471667193. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471667196.ess0507.pub2>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/0471667196.ess0507.pub2>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471667196.ess0507.pub2>.

Optimaliseren van de afstand van een wagentje met een aluminium-lucht batterij als energiebron

L. Hulsmeijer ¹, L. Koelewijn ², I. Buiters ³, R. Kamperman ³, K. Krabbe ¹ & A. van Duinen ²

¹Bonhoeffer College Van der Waalslaan, Enschede

²Greijdanus, Zwolle

³Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – This paper focuses on designing and optimizing a sustainable vehicle powered by an aluminum-air battery, known for its high theoretical energy density and environmentally friendly characteristics despite practical challenges like low current and voltage output. Experiments aimed to optimize battery configurations by increasing electrode surface area and minimizing energy losses using lightweight materials. The final battery design successfully powered a motor, although voltage output remained below theoretical expectations. Two vehicle prototypes were developed: a lightweight foam-based model to test battery efficiency and a sturdier wooden version embodying the study's design principles. A sensitivity analysis identified key factors affecting vehicle performance, though time constraints limited further optimizations. The study highlights the potential of aluminum-air batteries for sustainable mobility solutions and sets the foundation for future refinements.

1. Introductie

Het klimaat op aarde is sterk aan het veranderen. Door de toename van broeikasgassen in de lucht stijgt de temperatuur op aarde. Met grote gevolgen van dien [1].

Een sector die een grote bijdrage levert aan deze toename van broeikasgassen in de lucht, is het wegvervoer. Het wegvervoer draagt de verantwoordelijkheid van ongeveer één vijfde van de emissies van de EU en is hiermee een zeer grote vervuiler. Binnen het wegvervoer zijn het de passagiersauto's met verbrandingsmotor die de kroon spannen. Deze passagiersauto's vertegenwoordigen namelijk maar liefst 60,6 procent van de totale CO₂-uitstoot van het wegtransport in Europa [2]. Bovendien zullen de fossiele brandstoffen die deze auto's gebruiken over ongeveer 50 jaar op zijn en veroorzaken de auto's schade aan onze gezondheid, de natuur en gebouwen door de fijnstof en stikstofoxiden die ze uitstoten [3, 4].

Een milieuvriendelijke alternatief voor de brandstofauto is de elektrische auto. Inclusief de productie van de auto en accu stoot een elektrische auto gedurende de gehele levenscyclus tot wel 60 procent minder CO₂ uit dan een brandstofauto. Bovendien ligt het rendement van elektrische motoren tussen de 85 procent en 90 procent, terwijl dit bij een verbrandingsmotor slechts tussen de 20 procent tot 30 procent ligt. Daarbij komt de benodigde elektriciteit met een grote regelmaat uit duurzame, onuitputtelijke bronnen [5]. De elektrische auto kent echter ook verscheidene nadelen. Zo is de afstand die met een volle accu kan worden afgelegd (de actieradius) klein in vergelijking met brandstofauto's. Volgens fabrikanten is het gemiddelde bereik van een elektrische middenklasser 320 kilometer, maar de praktijk leert ons dat deze waarde lager uitvalt. Ook duurt het lang om de accu's weer (volledig) op te laden en zijn er niet overal voldoende oplaadpunten beschikbaar [6, 7].

Reden genoeg dus voor een alternatief. Want hoe mooi zou het zijn als er een auto bestaat met een aanzienlijk lagere CO₂-uitstoot dan een brandstofauto, en tegelijkertijd een grotere actieradius dan de reeds bekende elektrische auto? Het doel van dit onderzoek is dan ook het ontwerpen van een duurzame auto

(wagentje) die gebruik maakt van een specifiek type redox-batterij om binnen 2 minuten een zo groot mogelijke afstand af te leggen en tegelijkertijd voldoet aan enkele belangrijke eisen die later in de paper worden geformuleerd.

Deze paper start met een theoretische uitleg over verschillende mogelijke onderdelen van het wagentje en een aantal wiskundige concepten die toegepast zullen worden. Deze toelichting draagt bij aan een beter begrip en bevordert uiteindelijk de leesbaarheid van de paper. Vervolgens wordt een gedetailleerde beschrijving gegeven van hoe het onderzoek zal worden uitgevoerd, inclusief de toegepaste methoden en technieken. In het hoofdstuk Specificatie worden een aantal criteria geformuleerd waar het uiteindelijke ontwerp aan zal moeten voldoen en wordt er inzicht gegeven in de keuzes die worden gemaakt. Ook wordt hier het ontwerp beschreven zoals deze in eerste instantie is opgesteld. Wat volgt is een beschrijving van het proces van bouwen, testen, analyseren en aanpassen van het wagentje om deze te optimaliseren. Aan het eind van deze paper zal elke fase van het ontwerp worden gereflecteerd en verbeteringen worden geïdentificeerd. In de conclusie worden vervolgens de belangrijkste bevindingen gepresenteerd en de betekenis van het onderzoek voor de samenleving omschreven. Er zal worden afgesloten met een korte samenvatting van de belangrijkste lessen die zijn geleerd.

2. Achtergrond

2.1. Elektrochemische cel

Een elektrochemische cel is de algemene term voor elk systeem/apparaat die het mogelijk maakt om chemische energie direct om te zetten in elektrische energie. Er bestaan twee hoofdtypen elektrochemische cellen, namelijk de elektrolytische cel en de galvanische cel.

Bij de elektrolytische cel wordt er elektrische energie gebruikt om *niet-spontane* chemische reacties op te wekken. Een voorbeeld hiervan is elektrolyse, waarbij bijvoorbeeld water wordt omgezet in waterstof en zuurstof. De processen in een elektrolytische cel zijn over het algemeen complex en kosten veel

elektriciteit.

De galvanische cel is een elektrochemische cel waarin *spontane* redoxreacties plaatsvinden, met als gevolg dat er elektrische energie wordt opgewekt. Er bestaan veel varianten van de galvanische cel (vaak batterij genoemd wanneer er meer dan één cel bij betrokken is) [8].

2.1.1 Metaal-metaalbatterij

Een galvanische metaal-metaalbatterij bestaat uit metaalstaven (elektrodes), een vloeistof (elektrolyt, vaak water met opgeloste zouten), een zoutbrug en een stroomdraad. In tegenstelling tot de situatie bij een 'normale' redoxreactie, zijn de halfreacties van elkaar gescheiden en vinden plaats in twee verschillende halfcellen. De halfreacties komen tot stand doordat de metaalatomen in de metaalstaven de eigenschap hebben op te lossen in het elektrolyt, dat zich om deze metaalstaven bevindt. Hoe onederler het metaal is, hoe groter de oplossingsdrang ervan zal zijn. Om ervoor te zorgen dat de halfreacties in de twee afgescheiden halfcellen toch plaatsvinden, zijn de halfcellen met elkaar verbonden via een stroomdraad. Hierdoor is er een manier waarop de elektronen die los komen bij de redoxreactie zich kunnen verplaatsen [9, 10].

Daniell Cell

De een van de eerst ontwikkelde en zeer bekende elektrochemische cel (galvanische cel), ook wel de Daniell Cell genoemd (zie afbeelding 1), maakt gebruik van de twee metalen zink (Zn) en koper (Cu) [9]. Doordat zink onedeler is dan koper, zullen de zinkatomen in de zinkstaaf sneller hun elektronen afgeven. Zink wordt hierbij de reductor genoemd en de zinkstaaf de anode. De elektronen die vrijkomen bij de oxidatie – oftewel het afstaan van elektronen – in de zink-oplossing verplaatsen zich naar het eerste gedeelte van de stroomdraad van de voltmeter. Het eerste deel van de stroomdraad wordt hierdoor een beetje negatief geladen.

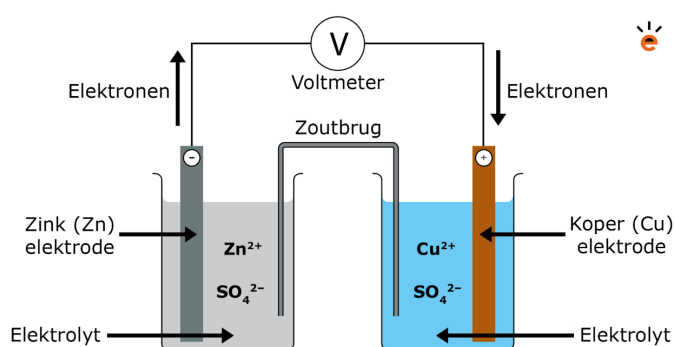


Figure 1: Daniell Cell

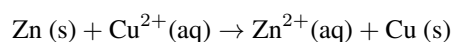
Aan de andere kant, bij de koper-oplossing, worden er juist elektronen bij de stroomdraad weggetrokken. Dit komt doordat de koperionen in de koper-oplossing oxidatoren zijn die elektronen willen opnemen. Het deel van de stroomdraad waarbij elektronen worden weggetrokken wordt hierdoor een beetje positief geladen. Door dit verschil in lading is het mogelijk voor de elektronen om zich te verplaatsen. De elektronen bewegen nu van de meer negatief geladen zink-elektrode (de anode) naar de gedeeltelijke positief geladen koper-elektrode, die

de kathode wordt genoemd. Op dit moment loopt er een elektrische stroom die tegengesteld is aan de elektronenstroom.

Tegelijkertijd is er ook sprake van een ionenstroom. Voor iedere twee elektronen die van de zink- naar de koperstaaf lopen, is er een Zn-atoom veranderd in een Zn^{2+} -ion. De koperstaaf krijgt er door de elektronenstroom twee elektronen bij, die gebonden worden aan een Cu^{2+} -ion uit het elektrolyt. Dit Cu^{2+} -ion zal als een koperatoom neerslaan op de koperstaaf. Dit proces – het opnemen van elektronen – wordt reductie genoemd [10].

- Anode: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^{-}$
- Kathode: $Cu^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow Cu(s)$

De totaalreactie is:



Zoutbrug

Het elektrolyt in de elektrochemische cel bestaat uit water waarin een zout is opgelost. Deze zout-ionen hebben meerdere functies. Zo dienen ze aan de kant van de kathode als oxidator, maar zorgen ze ook tot op een bepaalde hoogte voor het behouden van de lading-balans. Toch ontstaat er op een gegeven moment een tekort aan negatieve ionen in het elektrolyt aan de kant van de anode, terwijl er een overschot van deze negatieve ionen ontstaat aan de kant van de kathode. Dit komt doordat er bij de anode positieve zink-ionen het elektrolyt ingaan en bij de kathode positieve koper-ionen neerslaan op de koperstaaf.

Wanneer er een te groot ladingsverschil ontstaat stoppen de half-reacties en is er geen elektronenstroom meer. Om dit te voorkomen is het essentieel om de stroomkring te sluiten door middel van een zoutbrug. Hiervoor wordt vaak een rubberen buisje gebruikt met een gel erin. Deze gel bestaat uit positieve en negatieve ionen die ervoor zorgen dat de lading behouden blijft. In de zoutbrug gaan de negatieve ionen naar de kant van de anode. Andersom gaan de positieve ionen naar de kant van de kathode. Het ladingsverschil wordt hierdoor gecompenseerd en het evenwicht weer hersteld, waardoor de elektronenstroom door kan blijven gaan [9, 11].

2.1.2 Redox-flowbatterij

Een redox-flowbatterij is een type elektrochemische cel dat gebruikmaakt van vloeibare elektrolyten die opgeslagen zijn in twee grote externe tanks. De elektrolyten bevatten opgeloste redox-actieve stoffen (metaalionen) die elektriciteit kunnen opslaan en afgeven door middel van elektrochemische reacties en hebben een tegenovergestelde lading. De negatieve elektrolyt wordt de anolyt genoemd, de positieve elektrolyt de katholyt. Tussen deze tanks met elektrolyt bevindt zich een elektrochemische cel met in het midden een ion-selectief membraan en aan de zijkanten elektrodes. De elektrodes zijn met elkaar verbonden door een stroomdraad (zie afbeelding 2).

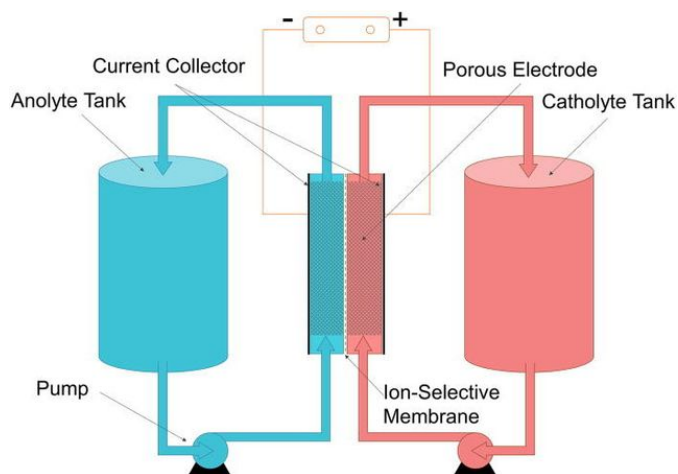
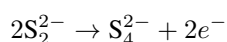


Figure 2: Redox-flowbatterij

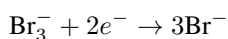
Tijdens de ontladingscyclus worden de elektrolyten door de elektrochemische cel gepompt. Gedurende dit proces vinden oxidatie- en reductiereacties plaats aan de elektroden, waarbij elektronen worden uitgewisseld tussen de elektrolyten via het stroomdraad. Net als bij de galvanische cel creëert dit proces een potentiaalverschil, afhankelijk van de specifieke redoxreactie. Gelijktijdig stromen er positieve ionen uit het anolyt door het membraan naar het katholyt om de ladingbalans te behouden. De elektrolyten blijven tijdens de redoxreacties en ionenstroom volledig van elkaar gescheiden dankzij het ion-selectief membraan. Het proces van oxidatie- en reductiereacties gaat net zo lang door, totdat de reductor in het anolyt volledig is geoxideerd en de oxidator in het katholyt is gereduceerd (bij gelijke concentraties). Bij het opladen van de batterij door middel van een externe energiebron worden de elektrolyten weer door de cel gepompt, maar nu in tegengestelde richting. De stroom gaat vervolgens, net als de positieve ionen, ook de andere kant op [12].

Voorbeeld [13]

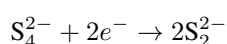
Anolyt bevat Na^+ , S_2^{2-} en H_2O en katholyt bevat Na^+ , Br_3^- en H_2O . Tijdens de ontladingscyclus vindt bij de elektrode aan de kant van het anolyt de volgende oxidatiereactie plaats:



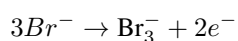
De elektronen komen via het stroomdraad terecht bij de elektrode van het katholyt. Daar vindt de reductiereactie



plaats. Om de ladingbalans te behouden stromen tegelijkertijd de Na^+ -ionen via het ion-selectieve membraan van het anolyt naar het katholyt. Na een bepaalde tijd heeft al het S_2^{2-} gereageerd tot S_4^{2-} en is al het Br_3^- omgezet tot Br^- . Om de batterij op te laden stromen de elektronen en de Na^+ -ionen de andere kant op. De omgekeerde halfreacties vinden plaats:



en



Een redox-flowbatterij wordt vooral gebruikt in grote industriële processen, waar grote hoeveelheden energie moeten worden opgeslagen. In de kleine industrie is de redox-flowbatterij

namelijk vanwege de grote energieverliezen door de pompwerking vaak niet rendabel. Een redox-flowbatterij is daarentegen wel zeer flexibel. Om de opbrengst en opslagcapaciteit van de batterij te verhogen, hoeft alleen de grootte van de tanks of de concentratie redox-actieve stoffen worden veranderd. De elektrochemische cel hoeft hierbij dus niet aangepast te worden.

Bovendien is het zeer eenvoudig meerdere cellen in serie te schakelen voor een grotere spanning, mits er genoeg elektrolyt beschikbaar is [14].

2.1.3 Metaal-luchtbatterij

Bij een metaal-lucht batterij is de oxidator zuurstof en de reductor een metaal. De reductor is de anode en de oxidator is de kathode. Beide worden geplaatst in een bak met een elektrolyt, dit is meestal een zoutoplossing, en worden aan de bovenkant met elkaar verbonden door een elektriciteitsdraad (zie afbeelding 3) [15, 16].

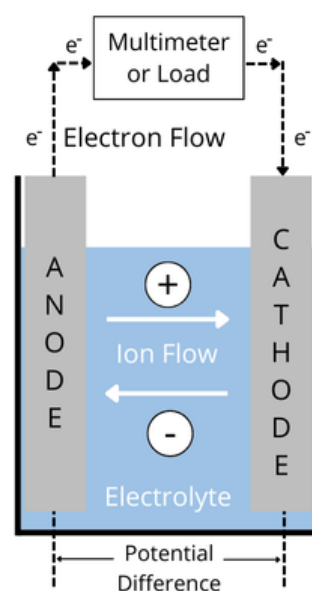


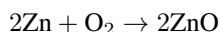
Figure 3: Metaal-luchtbatterij

Er zijn veel soorten metaal-lucht batterijen. Veelbelovende batterijen zijn de zink-lucht batterij (ZABs), de aluminium-lucht batterij (AABs) en de magnesium-lucht batterij (MgABS). Hierdoor is naar deze batterijen in de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan. Ze hebben alle drie een hoge theoretische energiedichtheid, waardoor ze zeer geschikt zijn als metaal-lucht batterij [15].

De zink-lucht batterij (ZAB)

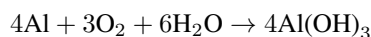
Zink is veel beschikbaar en goedkoop verkrijgbaar, daarnaast zorgt het voor een stabiele en veilige batterij. Ook hebben ZABs een hoge theoretische bronspanning van 1,6 V. Hierdoor is dit een van de milieuvriendelijkste opties. De ZABs worden al gebruikt voor gehoorapparaten, camera's en andere kleine apparatuur. Voordat er grotere ZABs gemaakt kunnen worden zal er onderzoek moeten zijn naar welke kathode goed werkt en hoe de batterij na iedere cyclus zijn capaciteit zo veel mogelijk behoud. Daar zitten nu namelijk de grootste problemen [15].

De totaalreactie is:



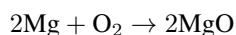
De aluminium-lucht batterij (AABs)

Aluminium is net zoals zink veel beschikbaar en goedkoop verkrijgbaar. Daarnaast heeft het een erg hoge energiedichtheid. Ook de theoretische bronspanning van de AABs is erg hoog, namelijk 2,06V. Helaas valt de spanning in de praktijk tegen en is er in de juiste omstandigheden een spanning van 1,7V mogelijk. Ook werken de AABs beter met een alkaline oplossing dan met een zoutoplossing. Er bestaan al AABs met een kleine capaciteit, maar er moet nog veel onderzoek gedaan worden voordat er grotere herlaadbare AABs geproduceerd kunnen worden. Want voordat er grote AABs gemaakt kunnen worden moet in de praktijk de spanning omhoog. Om dit voor elkaar te krijgen wordt er onderzoek gedaan naar verschillende anodes en elektrolyten. De totaalreactie is:



Magnesium-lucht batterij (MgABs)

Magnesium is ook een goedkoop en milieuvriendelijk materiaal. MgABs hebben een erg hoge theoretische bronspanning van 2,8V en een hoge energiedichtheid die vergelijkbaar is met die van aluminium en zink. Er zijn nog wel wat moeilijkheden bij het produceren van MgABs, want magnesium corrodeert snel, waardoor de capaciteit van de batterij redelijk snel af neemt. Ook is het nog lastig om de batterij op te laden dit komt door de kenmerken van MgO. Naar oplossingen voor deze problemen wordt dan ook onderzoek gedaan. De totaalreactie is:



2.2. Aandrijfsysteem

Een aandrijfsysteem verwijst naar de combinatie van motoren en de bijbehorende benodigde elektronica die samen zorgen voor de beweging van een apparaat. Dit kan gaan om zeer complexe technieken voor bijvoorbeeld industriële machines, maar ook om eenvoudigere systemen [17].

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een relatief ongecompliceerd systeem, bestaande uit een microcontroller en enkele motoren.

2.2.1 Microcontroller

Een microcontroller is een op een enkele chip geïntegreerd compact computersysteem dat speciaal ontworpen is om taken te automatiseren en te besturen. Dankzij microcontrollers is het niet nodig om een duur en complex besturingssysteem te gebruiken. Bovendien zijn microcontrollers erg energie-efficiënt en flexibel.

Er bestaan veel verschillende soorten microcontrollers, elk met hun eigen kenmerken, toepassingen en mogelijkheden. Wat al deze microcontrollers gemeen hebben, is dat ze uit veel verschillende componenten bestaan die samenwerken om een breed scala aan taken uit te kunnen voeren. De belangrijkste onderdelen van een microcontroller zijn:

- **CPU (Central Processing Unit):** Dit is het brein van de microcontroller en is verantwoordelijk voor het verwerken van gegevens en het uitvoeren van instructies.
- **Geheugen:** Het geheugen van een microcontroller heeft de functie om de data die de CPU ontvangt en verwerkt op te slaan. Een microcontroller heeft twee soorten geheugen:
 - **RAM (Random Access Memory):** Dit wordt gebruikt voor tijdelijke opslag van gegevens tijdens het uitvoeren van instructies. De gegevens die het bevat worden alleen opgeslagen als het apparaat is aangesloten op een stroombron.
 - **ROM (Read-Only Memory):** Dit slaat informatie op over de instructies die de CPU uitvoert, zonder dat het aangesloten hoeft te zijn op een stroombron.
- **I/O-poorten:** Deze poorten zorgen ervoor dat de microcontroller in staat is om te communiceren met andere componenten van het aandrijfsysteem, zoals sensoren en motoren. De invoerpoorten ontvangen informatie en sturen deze naar de CPU. De CPU ontvangt en verwerkt dit en stuurt noodzakelijke instructies via de uitvoerpoorten naar de uitvoerapparaten [18].

Een microcontroller is bevestigd aan een zogeheten microcontroller-board. Hieronder staan een aantal bekende en vaak gebruikte microcontroller-boards:

- **Arduino Nano:** De Arduino Nano gebruikt de microcontroller ATmega328 en is geschikt voor projecten waar maar een kleine ruimte beschikbaar is.
- **Arduino Mega:** De Arduino Mega gebruikt een krachtigere microcontroller, de ATmega2560, met onder andere meer geheugen. De Arduino Mega is erg geschikt voor iets complexere projecten.
- **Arduino Uno:** De Arduino Uno is een van de meest populaire microcontroller-boards binnen het Arduino-ecosysteem. Het board maakt gebruik van de ATmega328 microcontroller en is erg eenvoudig en gebruikersvriendelijk [19].
- **ESP32 Development Board:** De ESP32 Development Board is een heel krachtig microcontroller-board en biedt veel meer mogelijkheden dan de Arduino-board. Dit komt vooral door de meer geavanceerde functies voor onder andere draadloze communicatie [20].

2.2.2 Motoren

Motoren worden vaak gebruikt in combinatie met microcontroller-boards om kleine voertuigen of robotica aan te drijven. Deze motoren zetten elektrische signalen om in beweging en worden aangestuurd door de microcontroller, die de snelheid, richting en soms de positie van de motor kan regelen. Voor kleine wagentjes zijn DC-motoren, zoals de TT-gear motor en de N20-motor, veelgebruikte opties.

TT-gear motoren zijn erg populair vanwege hun compacte formaat en goede precisie. TT-gear motoren zijn bovendien makkelijk te integreren met microcontrollers zoals Arduino [21].

N20 motoren zijn nog lichter en kleiner dan TT-gear motoren. Ze worden vaak gebruikt voor precisie en duurzaamheid, maar

kunnen kleinere belastingen aan. N20 motoren zijn ook vaak iets duurder dan de TT-gear motoren [22].

2.3. Belangrijke concepten

2.3.1 Bronspanning

De bronspanning, oftewel de spanning die onder *standaard-omstandigheden* door een elektrochemische cel wordt geleverd als er geen stroom loopt, is te bepalen aan de hand van het verschil van de elektrodepotentialen van de reductor en oxidator. In een formule:

$$\Delta V = V_{\text{ox}} - V_{\text{red}} \quad (1)$$

Deze elektrodepotentialen zijn gelijk aan de (beetje) negatieve en positieve lading aan de uiteinden van het stroomdraad. Bij de Daniell Cell bijvoorbeeld heeft de reductor (zink) een potentiaal van -0,76 V en de oxidator (Cu^{2+} -ion) een potentiaal van +0,34 V. De bronspanning is dan gelijk aan:

$$\Delta V = +0,34 - (-0,76) = 1,10 \text{ V}$$

Dit verschil in elektrodepotentialen zal veranderen naarmate de batterij stroom levert. Doordat het evenwicht van de halfreacties zal verschuiven, zullen er minder vrije elektronen beschikbaar zijn en wordt de bronspanning na verloop van tijd steeds kleiner. Uiteindelijk zal de bronspanning helemaal gelijk zijn aan 0 en is de batterij leeg [9].

2.3.2 Wet van Nernst

De Wet van Nernst is een formule die gebruikt kan worden om de maximale spanning van een redox-batterij bij *afwijkende omstandigheden* theoretisch te bepalen. Deze wet beschrijft het verband tussen het standaardpotentiaalverschil tussen twee elektroden en de concentraties van de componenten die bij de elektrodereacties zijn betrokken.

De Wet van Nernst luidt bij een redoxreactie als volgt:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (2)$$

of

$$E = E^0 - \frac{2.303 RT}{nF} \log Q$$

met

E	= verschil in elektrodepotentiaal
E^0	= verschil in standaardelektrodepotentiaal
Q	= $\frac{[\text{Red}]^a}{[\text{Ox}]^b}$ (concentratiebreuk)
R	= gasconstante van 8,314 J/mol.K
F	= faradayconstante van 96485,34 C/mol
T	= temperatuur in kelvin (K)
n	= aantal mol overgedragen elektronen

Bij 298 K geldt bij benadering:

$$E = E^0 - \frac{0,0592}{n} \log Q \quad (3)$$

Bij de Daniell Cell kan gelden dat $[\text{Cu}^{2+}] = 0.5 \text{ mol/L}$ en $[\text{Zn}^{2+}] = 0.2 \text{ mol/L}$.

De Wet van Nernst bij 298 K geeft dan:

$$E = 1,10 - \frac{0,0592}{2} \log \left(\frac{0,2}{0,5} \right) = 1,11 \text{ V}$$

Deze waarde verschilt dus inderdaad van de bronspanning [23].

2.3.3 Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse op een wiskundige formule of model onderzoekt hoe de uitkomst ervan verandert wanneer de invoerparameters (inputs) variëren. Het doel is te begrijpen welke parameters het meest invloed hebben op de uitkomst en hoe stabiel het model is voor kleine variaties in deze inputs. De gevoeligheidsanalyse stelt men in staat zich te concentreren op de meest essentiële factoren en aan de hand van deze factoren het model te optimaliseren, terwijl de minder belangrijke factoren verwaarloosd kunnen worden. Hierdoor worden tijd, moeite, middelen en kosten bespaard [24].

Er bestaan verschillende methodes om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren, onder andere met behulp van partiële afgeleiden. Dit biedt een wiskundige benadering, waarbij de verandering van de output ten opzichte van elke parameter direct wordt berekend door de partiële afgeleiden van de functie te vinden. Deze methode is vooral handig als het model uit een expliciete formule bestaat, zoals dat bij dit ontwerp het geval zal zijn [25].

Neem bijvoorbeeld het eenvoudige model

$$Y = aX^2 + bX + c$$

Waarbij:

- Y de uitkomst is,
- X de onafhankelijke variabele is,
- a , b , en c de parameters zijn.

De partiële afgeleiden van Y zijn dan:

$$\frac{\partial Y}{\partial a} = X^2, \quad \frac{\partial Y}{\partial b} = X, \quad \frac{\partial Y}{\partial c} = 1$$

Met de standaardwaarde $X = 1$, wordt dit:

$$\frac{\partial Y}{\partial a} = 1, \quad \frac{\partial Y}{\partial b} = 1, \quad \frac{\partial Y}{\partial c} = 1$$

De partiële afgeleiden vertellen ons hoe Y verandert bij kleine veranderingen in de parameters a , b en c . Echter, om dit als een gevoeligheidsanalyse te behandelen, willen we de relatieve gevoeligheid berekenen door de partiële afgeleiden te vermenigvuldigen met de nominale waarden van de parameters en deze vervolgens te delen door de nominale waarde van Y .

Aangenomen wordt dat de nominale waarden van de parameters als volgt zijn:

$$a = 2, \quad b = 3, \quad c = 5$$

De nominale waarde van Y kan dan berekend worden:

$$Y_{\text{nominiaal}} = 2 \times (1)^2 + 3 \times (1) + 5 = 2 + 3 + 5 = 10$$

De relatieve gevoeligheden worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$S_x = \frac{\frac{\partial Y}{\partial x} \cdot x}{Y} \quad (4)$$

waarbij x een van de parameters is (a , b of c). De relatieve gevoelheden zijn dus:

$$S_a = \frac{\frac{\partial Y}{\partial a} \cdot a}{Y} = \frac{1 \cdot 2}{10} = 0.2, \quad S_b = \frac{\frac{\partial Y}{\partial b} \cdot b}{Y} = \frac{1 \cdot 3}{10} = 0.3,$$

$$S_c = \frac{\frac{\partial Y}{\partial c} \cdot c}{Y} = \frac{1 \cdot 5}{10} = 0.5$$

Uit deze relatieve gevoelheden is het mogelijk om te concluderen dat de uitkomst Y het meest gevoelig is voor veranderingen in c . Om het model op de efficiëntste manier te optimaliseren, kan er volgens de gevoeligheidsanalyse dus het best gefocust worden op deze parameter.

3. Methode

Dit onderzoek begint met het maken van keuzes over de verschillende onderdelen van het wagentje, aan de hand van enkele eisen en de informatie die te vinden is in het voorgaande hoofdstuk. Na het maken van de keuzes is het tijd om het wagentje daadwerkelijk te realiseren. Hiervoor wordt een gestructureerde aanpak gevolgd, waarbij verschillende fases stapsgewijs door het ontwerp- en bouwproces leiden.

Fase 1: Voorbereiding

Er zal begonnen worden met het verzamelen van de benodigde materialen. Dit omvat onder andere geschikte materialen voor de wagenstructuur, de wielen, het aandrijfsysteem en de gekozen batterij. Daarnaast wordt gezorgd voor de juiste gereedschappen, zoals basisgereedschap voor het op maat maken en monteren van onderdelen, een voltage- en ampèremeter voor het testen van de batterij, en een computer voor het programmeren van de microcontroller.

Fase 2: Ontwerp en constructie van batterij

In deze fase wordt het uiteindelijke ontwerp en de vormgeving van de batterij uitgewerkt. Op basis van dit ontwerp kan de constructie van de batterij starten. De benodigde materialen, verzameld in fase 1, worden hierbij gebruikt. Als eerste wordt een enkele batterijcel samengesteld en getest om de output te meten. Daarna worden meerdere cellen in serie geschakeld en wordt de volledige batterijconfiguratie getest om een stabiele stroom en spanning te garanderen. Na het testen van de volledige batterijconfiguratie wordt met behulp van de wet van Nernst de theoretische bronspanning berekend. Deze waarde wordt vergeleken met de werkelijke bronspanning, zodat eventuele verschillen duidelijk worden en de output van de batterij kan worden geoptimaliseerd.

Fase 3: Bepalen van afmetingen

Op basis van de afmetingen en het gewicht van de batterij in zijn uiteindelijke vorm, samen met de ruimte die nodig is voor het aandrijfsysteem, worden de afmetingen van het basismateriaal van het wagentje bepaald. Het ontwerp dat hieruit voortkomt, wordt op papier geprint om de dimensies te controleren. Indien nodig kan het ontwerp daarna nog worden aangepast.

Fase 4: Montage en programmering

Het uiteindelijke ontwerp uit fase 3 wordt gebruikt om het basismateriaal op maat te maken, waarna de motoren en wielen worden bevestigd. Ook de overige onderdelen van het aandrijfsysteem worden aangesloten en de batterij stevig gemonteerd.

Alle verbindingen worden bovendien nog eens zorgvuldig gecontroleerd. Vervolgens zal de basiscode voor de motorbesturing worden geschreven en getest om de respons van de motoren te verifiëren.

Fase 5: Testen en optimalisatie

Het wagentje is gebouwd en wordt in deze fase op een vlakke ondergrond getest. Tijdens deze test worden de batterijduur en de prestaties van de motoren gecontroleerd, en eventuele problemen geïdentificeerd. Deze testronde is vooral bedoeld om de juiste gegevens (nominale waarden) te verzamelen, zodat de gevoeligheidsanalyse uitgevoerd kan worden. Op basis van de uitkomsten van deze analyse wordt het wagentje geoptimaliseerd. Daarna volgt een tweede testronde om te controleren of het wagentje daadwerkelijk betere prestaties levert. Nieuwe gegevens worden verzameld, en een tweede of zelfs derde optimalisatie kan plaatsvinden.

4. Specificatie

4.1. Inzicht in keuzes

Er zijn een aantal criteria waar het uiteindelijke ontwerp aan moet voldoen en die in het achterhoofd worden gehouden tijdens het maken van belangrijke keuzes:

- Het wagentje moet eenvoudig te maken en gebruiken zijn, ook voor personen zonder specifieke voorkennis of ervaring.
- Er moet gebruik worden gemaakt van materialen waarvan minimaal 80 procent beschikbaar is via reguliere bouwmarkten of online winkels.
- Er moet gebruik worden gemaakt van betaalbare materialen, op zo'n manier dat het budget van 20 euro niet overschreden wordt.
- De benodigde stoffen en materialen voor de batterij en het wagentje moeten duurzaam en milieuvriendelijk zijn, waarbij minimaal 80 procent gerecycled of hernieuwbaar is en schadelijke stoffen worden vermeden.
- De werking van de batterij van het wagentje moeten zodanig zijn dat het rendement van de omzetting van chemische naar elektrische energie minimaal 85 procent bedraagt.

Door bij eis 2 het percentage van materialen dat beschikbaar is via reguliere bouwmarkten of online winkels op minimaal 80 procent te stellen, wordt een haalbare en toegankelijke norm gehanteerd. Dit percentage waarborgt dat het overgrote deel van de materialen eenvoudig verkrijgbaar is, maar biedt tegelijkertijd voldoende flexibiliteit om ruimte te laten voor een klein aantal gespecialiseerde onderdelen die elders ingekocht moeten worden. Het is namelijk vaak onrealistisch voor ontwerpen die specifieke, moeilijker verkrijgbare onderdelen vereisen, om de volledige 100 procent van de materialen uit standaard bouwmarkten of online winkels te halen.

Bij eis 4 geldt eigenlijk hetzelfde als bij eis 2. Bij het streven naar duurzaamheid is een grens van 80 procent een verstandige, maar wel haalbare keuze. Het volledig inzetten van gerecycled of hernieuwbare materialen kan namelijk uitdagend zijn, aangezien sommige componenten door bijvoorbeeld technische

beperkingen niet vervangen kunnen worden door volledig duurzame alternatieven. Het percentage van 80 procent zorgt ervoor dat duurzaamheid een belangrijke rol speelt in het ontwerp en stimuleert bewuste keuzes, terwijl het tegelijkertijd de mogelijkheid biedt om in de resterende 20 procent materialen te gebruiken die noodzakelijk zijn voor de functionaliteit van het wagentje.

Voor eis 5 is een rendement van 85 procent gekozen, omdat lithium-ion batterijen die doorgaans in elektrische auto's worden gebruikt, dit rendement kunnen behalen. Het doel is om het wagentje een beter alternatief te laten zijn, en een lager rendement dan dat van de batterij in een elektrische auto zou niet aansluiten bij dit doel.

4.1.1 Batterij

In 2.1 Elektrochemische cel zijn informatie en details te vinden over drie verschillende soorten batterijen. In de zoektocht naar de meest geschikte batterij voor het wagentje worden deze drie batterijen in overweging genomen.

De redox-flowbatterij bevat een ion-selectief membraan, dat essentieel is voor de werking van de batterij. Dit membraan is echter zeer kostbaar en voldoet daardoor niet aan het betaalbaarheids criterium. Bovendien maakt de redox-flowbatterij gebruik van een pomp om de elektrolyt door de elektrochemische cel te verplaatsen, wat zorgt voor aanzienlijk energieverlies en daarmee in strijd is met de gestelde criteria. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de redox-flowbatterij niet geschikt is en daarom afvalt als optie.

De resterende batterijen zijn de metaal-lucht batterij en de metaal-metaal batterij.

De metaal-metaal batterij genereert met één enkele cel, afhankelijk van de soort metalen die worden gebruikt, een spanning van ongeveer 1,1 V. De motor van het wagentje heeft een hogere voltage nodig om te kunnen functioneren. Dit betekent dat de metaal-metaal batterij in serie moet worden geschakeld. Het blijkt echter bijzonder moeilijk, of zelfs onmogelijk, om dit te realiseren, aangezien de metaal-metaal batterij bestaat uit twee half-cellen met verschillend elektrolyt.

De metaal-lucht batterij bestaat daarentegen maar uit één compartiment met hetzelfde elektrolyt. Het is dus veel makkelijker om de metaal-lucht batterij in serie te schakelen en de benodigde spanning te bereiken. Bovendien heeft de metaal-lucht batterij veel minder elektrolyt nodig (aangezien het maar om één compartiment gaat), waardoor het compacter is en een kleinere massa heeft. Door de verminderde massa ervaart het wagentje minder rolwrijving, wat resulteert in een lager energieverlies en dus in lijn is met het criterium van minimale energieverliezen.

Op basis van de gepresenteerde informatie en de geformuleerde criteria is de keuze dus gevallen op een metaal-lucht batterij. Zoals te lezen is in sectie 2.1.3, zijn er echter meerdere mogelijkheden voor de metaal-lucht batterij.

De magnesium-lucht batterij is in deze toepassing niet geschikt, aangezien magnesium gemakkelijk corrodeert, wat resulteert in een snelle afname van de capaciteit.

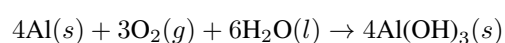
De zink-lucht batterij en de aluminium-lucht batterij zijn zeer vergelijkbaar. Toch is de aluminium-lucht batterij de meest geschikte optie. Aluminium heeft namelijk een hogere energiedichtheid dan zink. Bovendien wordt de spanning die de aluminium-lucht batterij kan leveren nóg hoger in een alkalische-oplossing.

De uiteindelijke keuze voor de batterij van het wagentje is dus een **metaal-lucht batterij**, met **aluminium** als metaal.

De halfreacties die in deze batterij plaatsvinden zijn:

- Anode: $\text{Al}(s) \rightarrow \text{Al}^{3+}(aq) + 3e^{-}$
- Kathode: $\text{O}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l) + 4e^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}(aq)$

De totaalreactie in deze batterij is dus:



4.1.2 Aandrijving

In 2.2 Aandrijfsysteem zijn de opties voor de microcontroller-board en motoren uitgewerkt.

De keuze voor de uiteindelijke aandrijving is gevallen op een combinatie van de Arduino Uno en twee TT-gearmotoren. De Arduino Uno is geselecteerd vanwege zijn gebruiksvriendelijke karakter en het feit dat deze relatief eenvoudig te programmeren is, wat aansluit bij het criterium van eenvoudig gebruik. Bovendien is de Uno kostenefficiënter dan bijvoorbeeld de Arduino Mega, die doorgaans wordt ingezet bij complexere projecten. Aangezien het aandrijfsysteem van dit ontwerp relatief eenvoudig is, is de Arduino Mega geen noodzakelijke keuze.

De Arduino Nano wordt vaak gebruikt wanneer ruimte een beperkende factor is, doordat deze compacter is dan de andere Arduino's. De kleinere vorm maakt het echter wel moeilijker om verbindingen te maken en ook het aansluiten is complexer dan bij de Arduino Uno. In dit ontwerp is er voldoende fysieke ruimte beschikbaar, waardoor de grotere Arduino Uno goed gebruikt kan worden zonder dat de ruimte een probleem vormt. Ook is overwogen om een ESP32 Development Board te gebruiken, dat in vergelijking met Arduino-boards aanzienlijk meer functionaliteiten biedt. Echter, gezien de eenvoud van de toepassing in dit project, zouden deze extra mogelijkheden ongebruikt blijven, waardoor de ESP32 ook niet de optimale keuze is.

De keuze voor TT-gearmotoren is gemaakt vanwege hun lage kosten, brede beschikbaarheid en eenvoudige installatie. Hoewel de N20-motor lichter is, biedt deze een lagere belastingscapaciteit, wat heeft geleid tot de voorkeur voor de TT-gearmotoren.

Er worden twee TT-gearmotoren gebruikt om de voorwielen van het voertuig aan te drijven. Omdat het doel van het project is om binnen een bepaalde tijd de grootste afstand af te leggen, is hoge mate van wendbaarheid niet essentieel. Om deze reden is er niet gekozen voor een achterwielaandrijving, maar voor een aandrijving op de voorwielen.

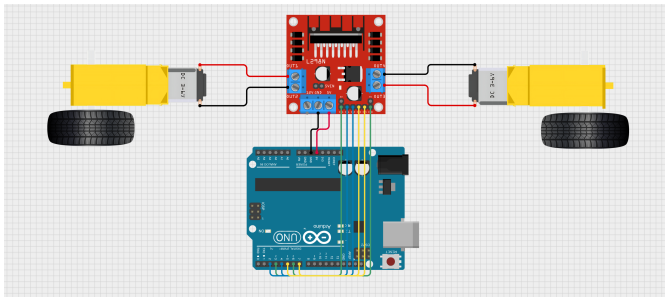


Figure 4: Aandrijfsysteem

In het uiteindelijke ontwerp wordt tussen de *Arduino Uno* en de *TT-gearmotoren* een *L298N* motor driver module met dubbele H-brug geplaatst. Deze module is belangrijk voor het zorgen van een goede stroomtoevoer en verdeling van de gelijkstroom naar de motoren, en voor het nauwkeurig regelen van de draairichting en snelheid. De L298N is bovendien eenvoudig aan te sluiten, waardoor deze geschikt is voor beginners. In afbeelding 4 is het volledige aandrijfsysteem te zien.

4.1.3 Basismateriaal en wielen

Er zijn slechts enkele geschikte materialen beschikbaar voor de constructie van het wagentje. Materialen zoals karton en piepschuim vallen af vanwege hun kwetsbaarheid en onvoldoende stevigheid, waardoor ze te gevoelig zijn voor beschadiging. Kunststof voldoet weliswaar aan criteria zoals sterkte en duurzaamheid, maar is niet gemakkelijk te bewerken met de beschikbare gereedschappen, wat het ongeschikt maakt voor dit project. Ook carbon biedt geen haalbare optie; hoewel het licht en sterk is, valt het buiten het beschikbare budget en is het bovendien moeilijk te verkrijgen in de directe omgeving.

Geconcludeerd is dat hout het meest geschikte materiaal is voor de constructie van het wagentje. Hout is een ideaal materiaal vanwege zijn sterkte, duurzaamheid en weerstand tegen beschadiging. Door gebruik te maken van dunne multiplexplaten wordt bovendien het nadeel van het zware karakter van hout vermeden [26]. Deze platen zijn ruim beschikbaar en passen binnen het gestelde budget. Daarnaast biedt multiplex veel precisie en efficiëntie, aangezien het gemakkelijk met een laser in de gewenste vorm kan worden gesneden.

Kortom, *hout* biedt de perfecte combinatie van sterkte, duurzaamheid, betaalbaarheid en toegankelijkheid, en voldoet het aan alle gestelde criteria voor dit project.

Rubberen wielen blijken de meest geschikte en logische keuze voor dit project. Ze zijn betrouwbaar en kunnen dankzij hun goede schokabsorptie soepel rijden op verschillende ondergronden, in tegenstelling tot bijvoorbeeld metalen wielen. Bovendien voldoen rubberen wielen aan de budgettaire eisen en minimaliseren ze de kans op technische problemen, gezien hun veelvuldig succesvolle toepassing in vergelijkbare projecten [27].

Andere opties, zoals wielen van PVC-buizen en hout, vielen af vanwege hun hoge rolweerstand en energie-inefficiëntie. PVC-buizen hebben weinig grip en vereisen een breed contactoppervlak met de grond om als wielen te functioneren, wat voor een hogere rolweerstand zorgt. Dit komt niet overeen met het doel

om de weerstand zo laag mogelijk te houden. Houten wielen zijn ongeschikt doordat ze vaak niet perfect rond zijn, wat leidt tot een hogere rolweerstand en dus energieverlies.

Ook 3D-geprinte wielen voldeden niet aan de eisen. De complexe ontwerpen zijn onnodig voor dit project, en de hogere kosten van dergelijke wielen wegen niet op tegen de voordelen die ze zouden kunnen bieden.

Rubberen wielen bieden dus de optimale balans tussen functionaliteit, kosten en betrouwbaarheid, en sluiten het beste aan bij de vereisten van het project.

4.2. Het ontwerp

De geselecteerde onderdelen uit 4.1 vormen samen in eerste instantie een ontwerp dat overeenkomt met afbeelding 5.

Hierin is te zien dat de twee TT-gearmotoren, waaraan rubberen wielen zijn bevestigd, zich bevinden aan de voorkant van een op maat gemaakte multiplexplaat en aan de onderkant zijn vastgemaakt. De twee rubberen wielen aan de achterkant zijn verbonden door een as die draait in twee kogellagers. Er is gekozen voor kogellagers in plaats van andere lagers, zoals glijlagers of magneetlagers, vanwege hun relatief lage kosten, duurzaamheid, lage wrijving en veelzijdigheid. De kogellagers zijn bevestigd in houten blokjes, die op hun beurt aan de multiplexplaat zijn gemonteerd.

Op de multiplexplaat staan zes vierkante glazen bekertjes, die fungeren als de basis van de batterijcellen. Deze zes bekertjes met het elektrolyt en de elektroden zijn in serie geschakeld en zorgen er samen voor dat er een spanning ontstaat die groot genoeg is om de motoren te laten werken. Rond de batterijcellen is een vak van multiplex geplaatst, dat ervoor moet zorgen dat de batterijcellen stabiel blijven staan tijdens het rijden.

Aan de voorkant van het wagentje is er ruimte gereserveerd om de Arduino Uno en de L298N motorcontroller te bevestigen. Deze zijn met elkaar verbonden en ook gekoppeld aan de motoren, zoals te zien is in afbeelding 4. De batterij is ook op dit punt aangesloten.

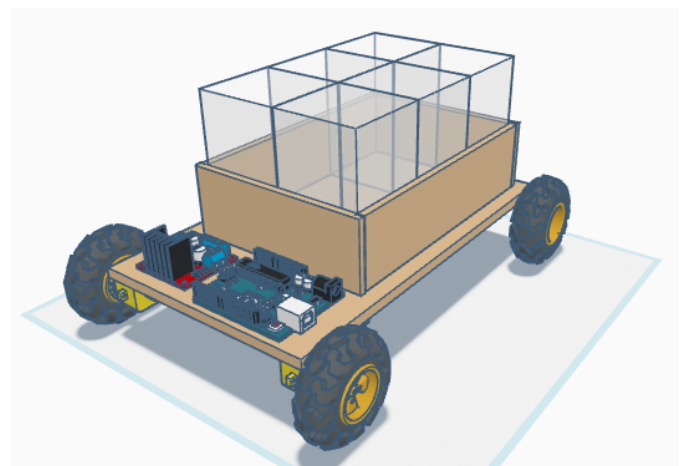


Figure 5: Eerste ontwerp wagentje

De extra ruimte aan de voorkant van het wagentje, bedoeld voor het plaatsen van de Arduino Uno en de L298N motorcontroller,

draagt echter bij aan een zwaarder wagentje en zorgt dus voor meer rolwrijving. Dit komt niet overeen met de eis van geen overbodig energieverlies, met als gevolg dat het ontwerp gelijk is aangepast. In het nieuwe ontwerp bevinden de Arduino Uno en de L298N motorcontroller zich aan de voorkant van het vak rondom de batterijcellen, wat zorgt voor een efficiënter gebruik van de ruimte en het gewicht. Daarnaast is de basis van de batterijcellen veranderd: in plaats van vierkante glazen bekken worden ronde bekerglazen gebruikt. Dit is een bewuste keuze, aangezien ronde bekerglazen veel gemakkelijker te verkrijgen zijn. De tweede versie van het ontwerp is te zien in afbeelding 6.

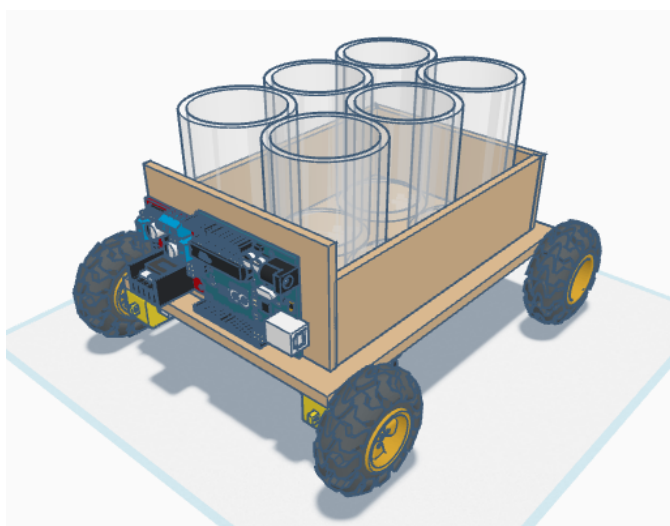


Figure 6: Tweede ontwerp wagentje

5. Realisatie

5.1. Constructie van batterij

Er is gestart met het verzamelen van de benodigde materialen voor de bouw van de batterij. Dit omvat 6 bekerglazen, kleine koper- en aluminiumstaafjes die als elektroden dienen, 1M natronloog als elektrolyt en een volt- en ampèremeter.

De keuze voor 1M natronloog is gebaseerd op het feit dat voor het correct functioneren van de batterij elektrolyt moet worden gebruikt dat sterk basisch is. Tegelijkertijd mag de pH van de oplossing niet hoger worden dan 14, omdat dit onveilige omstandigheden kan veroorzaken [28]. Om de juiste keuze te maken, is er berekend welke molariteit van natronloog nodig is om een pH van 14 te bereiken [29]:

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

Invullen van de maximale pH van 14 geeft:

$$\text{pOH} = 14 - 14 = 0$$

De relatie tussen pOH en de hydroxide-ionconcentratie ($[\text{OH}^-]$) wordt gegeven door:

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

Een pOH van 0 betekent:

$$[\text{OH}^-] = 10^0 = 1 \text{ mol/L.}$$

Dus, de molariteit van natronloog die overeenkomt met een pH van 14 is 1 mol/L.

De keuze voor 1M natronloog is niet alleen gemaakt vanwege de veiligheidsvoorschriften, maar ook op basis van de praktische beschikbaarheid van materialen (één van de eisen voor het project). 1M natronloog is namelijk standaard aanwezig op scholen en hoeft niet speciaal te worden gemaakt, wat het proces vereenvoudigd en de voorbereidingstijd doet verminderen.

Na het verzamelen van de benodigde materialen is de constructie van de batterij gestart in de vorm van een enkele batterijcel. Deze testopstelling, met als doel de werking van de materialen en het ontwerp op kleine schaal te analyseren, bestond uit een bekerglas met daarin het 1M natronloog en een staafje koper en aluminium, die verbonden waren met de volt- en ampèremeter (multimeter) (zie afbeelding 7). De voltmeter gaf een spanning aan die rond de 1V schommelde, terwijl de ampèremeter een stroomsterkte van ongeveer 10mA aangaf. Deze stroomsterkte was veel te laag om de TT-gearmotoren te laten draaien, aangezien deze motoren een ladingsstroom van $150\text{mA} \pm 10$ procent nodig hebben om correct te functioneren.

Na het vaststellen van de te lage stroomsterkte, werd geprobeerd de stroomsterkte te verhogen door het oppervlak van de elektroden te vergroten. Het vergroten van het elektroden-oppervlak zorgt er namelijk voor dat er meer actieve plaatsen beschikbaar komen waar redox-reacties kunnen plaatsvinden. Hierdoor vinden er per tijdseenheid meer reacties plaats en wordt de elektronenstroom versterkt. Dit zou kunnen helpen om de totale stroomoutput van de batterijcel te verhogen [30]. Als eerste stap werd het oppervlak van het aluminium vergroot door gebruik te maken van twee en later drie aluminium staafjes die naast elkaar werden geplaatst. Echter bleek dit de stroomsterkte niet significant te verhogen.

Daarna werd het oppervlak van de koper vergroot door gebruik te maken van een koperplaatje in plaats van een koperstaafje (zie afbeelding 7).

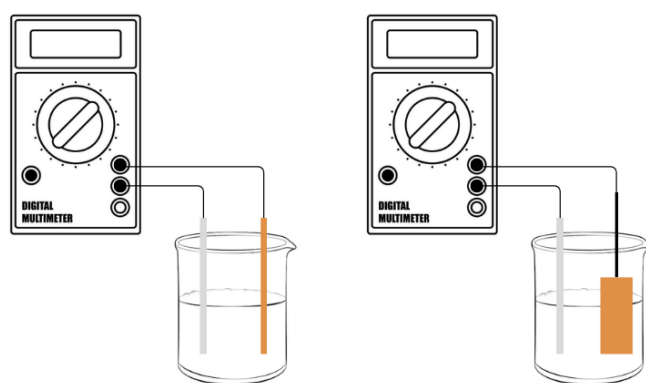


Figure 7: Ontwerp batterij met koperstaafje (links) en koperplaatje (rechts)

Dit zorgde wel voor een merkbare verandering in de stroomsterkte: de stroomsterkte bereikte tijdelijk 50mA, terwijl de spanning zo goed als constant rond de 1V bleef hangen. Omdat de vergroting van het koperoppervlak blijkbaar inderdaad een effect had, werd vervolgens geprobeerd het oppervlak nog verder te vergroten door twee koperplaatjes naast

elkaar te gebruiken. De stroomsterkte steeg hierbij heel even naar 200mA, maar zakte vrijwel meteen terug naar 150mA en daalde vervolgens verder naar 100mA. Uiteindelijk stabiliseerde de stroomsterkte zich weer rond de 50mA. Hoewel dit idee dus een (kleine) bijdrage leverde aan het verhogen van de stroomsterkte, bleek het nog steeds onvoldoende om de vereiste stroomsterkte te bereiken voor het aandrijven van de TT-gearmotoren.

Omdat de vergroting van het elektroden-oppervlak niet voldoende was om de gewenste stroomsterkte te bereiken, werd er daarna onderzoek gedaan naar andere manieren om de stroomsterkte wel te kunnen verhogen. Op een gegeven moment ontstond het idee om de concentratie van de natronloog te verhogen. Dit zou kunnen helpen omdat het de hoeveelheid hydroxide-ionen (OH^-) in de oplossing vergroot, wat de geleidbaarheid van de elektrolyt-oplossing verhoogt. Een hogere concentratie van ionen betekent namelijk een verbeterde ionenmobiliteit en maakt het dus mogelijk om meer lading per tijdseenheid over te dragen. Hierdoor ontstaat er een grotere kans op (efficiënte) redox-reacties aan de elektroden, wat in theorie uiteindelijk resulteert in een hogere stroomsterkte [30].

Er werd besloten om de concentratie van de natronloog te verhogen van 1M naar 2M en hierbij opnieuw de output van de batterij te meten. Tegen de verwachting in had deze verhoging echter geen positieve invloed op de hoogte van de stroomsterkte. Dit suggereert dat de ionenmobiliteit al groot genoeg was bij 1M natronloog en dat er blijkbaar voldoende OH^- ionen aanwezig waren om de redox-reacties effectief te ondersteunen. Aangezien het gebruik van 2M natronloog geen voordeel opleverde, is om praktische redenen besloten weer over te gaan naar 1M natronloog. Daarnaast toonde een berekening aan dat de pH van de 2M natronloog nog hoger was dan die van 1M natronloog:

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log(2) \approx -0.3$$

De pH wordt dan:

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pH} = 14 - (-0.3) = 14.3$$

Dus, de pH van 2M natronloog is 14.3. Vanwege deze hoge basische waarde en de daarbij behorende veiligheidsrisico's werd ook besloten om 2M natronloog niet verder te gebruiken. Bij het testen kon dit natronloog namelijk relatief veilig worden gebruikt aangezien dit onder gecontroleerde omstandigheden gebeurde, maar bij een rijdend wagentje zou dezelfde mate van controle niet mogelijk zijn.

Tot op dit punt werden de verschillende versies batterijcellen steeds geconstrueerd in bekerglazen. Bij nader inzien bleek dit echter niet geheel in lijn met de ontwerpeis om onnodige energieverliezen te vermijden. Bekerglazen zijn namelijk relatief zwaar, wat een aanzienlijke bijdrage levert aan de rolwrijving wanneer de batterij in een bewegende toepassing wordt gebruikt. Deze extra rolwrijving leidt tot een hoger energieverbruik en een lagere efficiëntie van het systeem.

Om het gewicht van de batterij te reduceren en daarmee de energieverliezen te minimaliseren, werd overgestapt op het gebruik van kleine plastic bakjes die aanzienlijk lichter zijn. De keuze voor het gebruik van de plastic bakjes bracht echter een probleem met zich mee: de reeds gebruikte elektroden pasten hier niet in. Hierdoor ontstond de noodzaak om alternatieve elektroden te ontwerpen om de beperkingen van de kleinere bakjes te compenseren, terwijl de functionaliteit van de batterij behouden bleef.

Een (mogelijke) oplossing werd gevonden in het gebruik van koper- en aluminiumtape, gescheiden door een semi-permeabel membraan om kortsluiting te voorkomen en vervolgens samen opgerold tot een compacte configuratie (zie afbeelding 8).



Figure 8: Ontwerp batterij met tape (links) en koper- en aluminiumtape (rechts)

Deze aanpak bood verschillende voordelen, waarvan het eenvoudig vergroten van het elektroden-oppervlak een van de belangrijkste was. Door simpelweg meer tape op te rollen, kon het oppervlak van de elektroden aanzienlijk worden vergroot zonder dat er extra complexe aanpassingen nodig waren. Dit maakt het ontwerp schaalbaar en flexibel, terwijl het tegelijkertijd lichtgewicht blijft en gemakkelijk kan functioneren binnen een beperkt volume.

Bij het testen van de opstelling met koper- en aluminiumtape leverde één batterijcel, bij een externe weerstand van 2 ohm, een stroomsterkte van 30mA en een spanning van 0,15V. Om aan de vereiste stroomsterkte van 300mA (bij gebruik van 2 TT-gearmotoren) en een spanning van 4V te voldoen, was het dus noodzakelijk de batterijcellen zowel in serie als parallel te schakelen. Door serie-geschakelde cellen kan de totale spanning namelijk worden verhoogd, terwijl parallel geschakelde cellen de stroomsterkte vergroten [31].

Bij het serie-schakelen van twee batterijcellen (koper verbonden met aluminium en andersom) werd het verwachte resultaat behaald: de spanning verdubbelde. Dit bevestigde dat het serie schakelen correct was uitgevoerd en bijdroeg aan het verhogen van de totale spanning van het batterijsysteem. Het parallel schakelen (koper met koper en aluminium met aluminium verbonden) verliep echter minder voorspoedig. De stroomsterkte nam slechts minimaal toe en verdubbelde zeker niet, zoals theoretisch wel verwacht. De exacte oorzaak van dit probleem is niet met zekerheid vast te stellen. Een mogelijke verklaring

ing is dat de schakeling niet volledig correct was uitgevoerd, waardoor de stroomverdeling niet optimaal functioneerde. Een andere mogelijkheid is dat de batterijen te lang hebben gestaan en daardoor hun werking gedeeltelijk hebben verloren, wat de prestaties negatief heeft kunnen beïnvloeden.

Doordat het parallel schakelen niet naar behoren werkte, bleek het zeer moeilijk om de vereiste stroomsterkte van 300 mA te bereiken. Zelfs indien het parallel schakelen wel volgens de theorie had gefunctioneerd, zou het alsnog een uitdaging zijn geweest om de benodigde 300 mA te leveren, aangezien hier een groot aantal batterijcellen voor nodig zou zijn. Dit zou het voertuig aanzienlijk groter en zwaarder maken, wat weer zou leiden tot onnodig energieverlies door onder andere verhoogde rolweerstand.

Om deze praktische problemen te omzeilen en het ontwerp haalbaar te maken, is ervoor gekozen om te wisselen van motoren en gebruik te maken van één RF-300CA DC-micromotor (zie afbeelding 9). Deze DC-micromotor staat bekend om zijn lage benodigde stroomsterkte, wat hem bijzonder geschikt maakt voor toepassingen met beperkte energiebronnen. Bij een maximale efficiëntie bedraagt de benodigde stroomsterkte 120mA, met een bijbehorende spanning van doorgaans 1,9V [32].

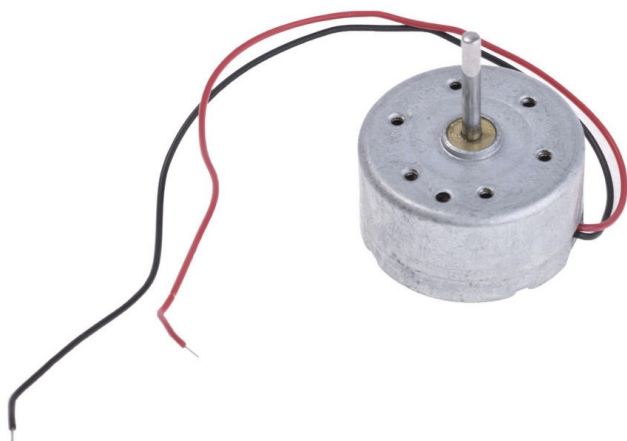


Figure 9: DC-micromotor

Om het DC-motortje te laten draaien, werd een opstelling van zes batterijcellen gebruikt. Hierbij werden drie batterijcellen in serie geschakeld en twee van deze serieschakelingen parallel geschakeld. Hoewel deze opstelling de motor in werking stelde, draaide deze niet sterk genoeg om in een latere fase het wagentje met massa daadwerkelijk in beweging te brengen.

Om dit probleem aan te pakken en een grotere stroomsterkte te verkrijgen, werd de opstelling uitgebreid naar een totaal van negen batterijcellen. Hierbij werd een extra reeks van drie batterijcellen in serie toegevoegd, waardoor drie serieschakelingen parallel werden geschakeld. Deze opstelling met negen batterijcellen bleek succesvol te zijn: de motor draaide een stuk krachtiger. Hierdoor ontstond er goede hoop dat de motor in staat zou zijn om het wagentje, inclusief zijn massa, in beweging te brengen.

De **uiteindelijke vorm** van de batterij bestaat dus uit negen bat-

terijcellen, georganiseerd in drie reeksen van elk drie cellen die in serie zijn geschakeld, met de drie reeksen parallel aan elkaar verbonden (zie afbeelding 10).

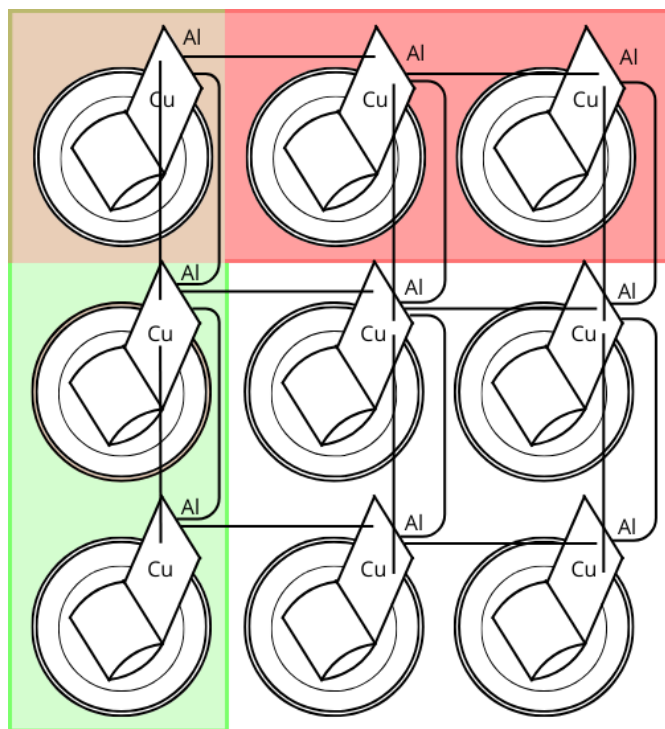


Figure 10: Negen batterijcellen in serie (rood) en parallel (groen) geschakeld

De verbinding tussen de cellen wordt tot stand gebracht door koperdraad en tin/koper draadsoldeer, die op de elektroden is gesoldeerd om voor een stevige verbinding met minimale weerstand te zorgen.

Elke individuele batterijcel bestaat uit een klein plastic bakje gevuld met 1M natronloog als elektrolyt. Binnen deze bakjes zijn als elektroden stroken koper- en aluminiumtape geplaatst, die van elkaar worden gescheiden door een semi-permeabel membraan en opgerold om een groot elektroden-oppervlak te realiseren.

Deze opstelling maakt het mogelijk om zowel de benodigde spanning als de vereiste stroomsterkte te behalen voor het aandrijven van de DC-micromotor.

5.2. Constructie van wagentje

Net als bij de constructie van de batterij werd gestart met het verzamelen van de benodigde materialen. Voor het wagentje omvatte dit een multiplex plaat, houten blokjes, rubberen wielen, een as, kogellagers, twee TT-gearmotoren, een Arduino Uno, en een L298N-motordriver. Daarnaast werden aansluitdraden verzameld om de Arduino, L298N en motoren correct met elkaar te verbinden.

De as moest specifiek worden ontworpen omdat de rubberen wielen een unieke vorm hadden die een nauwkeurige aansluiting vereiste (zie afbeelding 11). Na het voltooiën van het ontwerp werd de as geprint met een 3D-printer.

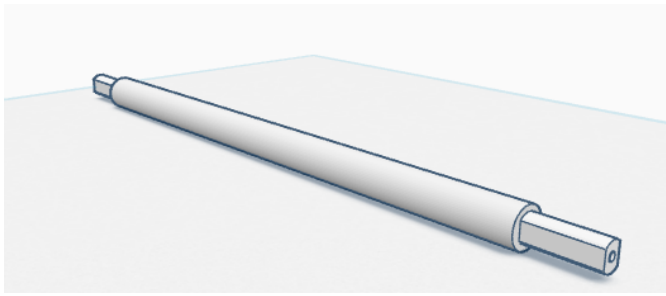


Figure 11: *Ontworpen wielas*

Met de juiste materialen beschikbaar, kon worden gestart met de bouw van het wagentje. Aanvankelijk was het plan om dit te doen volgens het ontwerp dat is beschreven in 4.2 Het ontwerp. Echter, de batterij is sinds dat ontwerp aanzienlijk veranderd, wat betekende dat ook het wagentje aangepast moest worden.

Doordat de batterij nu bestaat uit kleine plastic bakjes, waren de verticale wanden uit het oorspronkelijke ontwerp niet langer noodzakelijk. Dit komt doordat de batterij door haar lichtere gewicht en compacte vorm beter blijft staan, waardoor extra ondersteuning overbodig is.

Oorspronkelijk was het plan om de multiplex plaat op maat te maken met behulp van een lasersnijder. Dit was noodzakelijk vanwege het complexe ontwerp, waarbij de verticale wanden stevig moesten blijven staan. De lasersnijder zou zorgen voor een zeer nauwkeurige afwerking, zodat alles precies zou passen.

Nu het ontwerp is aangepast en de verticale wanden niet langer nodig waren, was het echter mogelijk het proces te vereenvoudigen en de multiplex plaat met de hand uit te snijden. Hiervoor moest eerst de juiste maat worden bepaald. Dit gebeurde op basis van de afmetingen van de batterij; voor negen batterijcellen moest de plaat een formaat van 21 cm bij 14 cm krijgen. Nadat deze afmetingen waren vastgesteld, werd de plaat zorgvuldig uitgesneden met een figuurzaag.

Vervolgens werd de maat van de houten blokjes waarin de kogellagers en as zouden komen bepaald. De hoogte van deze blokjes werd zodanig gekozen dat de multiplex plaat 0.5 cm boven de wielen zou blijven, om te voorkomen dat deze tegen de wielen zou kunnen gaan schuren. De breedte van de blokjes werd gebaseerd op de breedte van de kogellagers, met wat extra ruimte voor stevigheid. Uiteindelijk werd de hoogte vastgesteld op 5.7 cm en de breedte op 3 cm. Deze blokjes werden vervolgens zorgvuldig op maat gezaagd en nauwkeurig geschuurd.

In de houten blokjes werd een gat gemaakt, waar de kogellagers met diameter 14mm in konden worden geplaatst. Tot halverwege de dikte van elk blokje werd een gat met een diameter van 14mm geboord, en door het gehele blokje een gat van 10 mm (met hetzelfde middelpunt). Deze opzet zorgde ervoor dat de kogellagers stabiel in de blokjes konden liggen zonder dat ze vastgelijmd hoefden te worden.

Daarnaast werd de al eerder 3D-geprinte as iets bij geschuurd om deze volledig glad te maken. Hierdoor pasten de kogellagers nauwkeurig en soepel om de as, wat essentieel was voor een optimale werking van het systeem.

Zie afbeelding 12 voor de op maat gemaakte multiplex plaat en blokjes, de geschuurde as met kogellagers en de wielen.



Figure 12: *Multiplex plaat en blokjes, geschuurde as met kogellagers en wielen*

Alle bovenstaande onderdelen werden aanvankelijk gemaakt met de intentie het originele ontwerp met twee TT-gearmotoren te realiseren. Zoals echter beschreven in 5.1 Constructie van batterij, werd er noodgedwongen overgestapt naar het gebruik van één DC-micromotor. Deze verandering bracht met zich mee dat het ontwerp van het wagentje wederom aangepast moest worden.

In het nieuwe ontwerp zou de wagen rijden op drie wielen: twee achterwielen en één voorwiel dat werd aangedreven door de DC-micromotor. Dit betekende dat het voertuig ontworpen werd om in rondes te rijden.

Omdat er toch nog ergens enige onzekerheid bestond over het vermogen van de batterij (en dus de motor) om het houten wagentje effectief aan te drijven, werd besloten om voor het nieuwe ontwerp een wagentje met een basis van piepschuim te bouwen. Het bouwen van een piepschuimen wagentje gaat namelijk aanzienlijk sneller vanwege de eenvoud van het materiaal, en bovendien is het gewicht veel lager. Hierdoor kunnen de prestaties van de batterij onder gunstigere omstandigheden worden getest. Het bouwen van dit lichtere wagentje geeft hierbij meer zekerheid dat er uiteindelijk een wagentje zou bestaan dat daadwerkelijk kon rijden.

Naast de verandering in de hoeveelheid wielen, zou er bij dit ontwerp ook gebruik worden gemaakt van andere wielen die beter pasten bij de lichtere constructie. Dit heeft als gevolg dat ook de al eerder gemaakte as en de kogellagers niet gebruikt zouden worden in dit ontwerp.

Het piepschuimen wagentje is gemaakt door drie rechthoeken uit een stuk piepschuim te snijden: twee kleine rechthoeken en één grote rechthoek. Aan één uiteinde van een lange zijde van de grote rechthoek is met een lijpistool een motortje aan de onderkant bevestigd. Aan dit motortje is vervolgens een wiel bevestigd. Aan dezelfde lange zijde, maar aan de tegenoverliggende kant van dit uiteinde, is een kleine rechthoek met een lijpistool aan de onderkant van de grote rechthoek bevestigd. Hier is een wiel bevestigd door een spijker door het mid-

den van het 3D-geprinte wiel in het piepschuim te steken. De andere kleine rechthoek is zodanig aan de grote rechthoek vastgemaakt dat deze aan het andere uiteinde schuin naar buiten steekt. Dit is gedaan met behulp van een lijmpistool. Aan deze schuine rechthoek is een wiel bevestigd door een spijker door het midden van het wiel in het piepschuim te steken. Omdat de kleine rechthoek schuin uitsteekt, staat ook het wiel schuin ten opzichte van het wagentje. Hierdoor zal het wagentje in rondjes rijden. De batterijen zijn in plastic bakjes geplaatst en met dubbelzijdige tape op het wagentje bevestigd. Zie afbeelding 13 voor het wagentje van piepschuim.

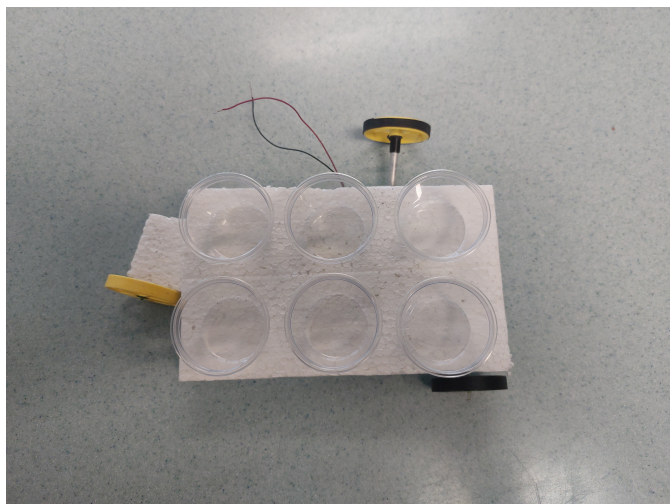


Figure 13: *Wagentje van piepschuim*

Echter werd na de bouw van het piepschuimen wagentje vastgesteld dat de materialen (en onderdelen) die gebruikt waren in dit wagentje, niet overeenkwamen met de materialen die eerder na veel afweging en onderbouwing zijn besloten te worden gebruikt. Dit leidde ertoe dat het piepschuimen wagentje niet voldeed aan de gestelde eisen en gewenste specificaties.

Hierdoor werd besloten om, parallel aan het piepschuimen wagentje, verder te gaan bouwen aan het houten wagentje. Het houten wagentje zou hierbij enkel gaan dienen als een visuele representatie van de basisprincipes van het oorspronkelijke ontwerp, waarbij gebruik wordt gemaakt van de originele materialen en wordt voldaan aan de gestelde eisen. Het houten wagentje gaat in deze oorspronkelijke vorm niet in staat zijn om daadwerkelijk op de ontworpen batterij te rijden en is dus ook niet bedoeld om functioneel te zijn voor metingen.

In tegenstelling tot het houten wagentje, is het piepschuimen wagentje wel bedoeld om functioneel te zijn. Dit wagentje zal daadwerkelijk gaan rijden op de ontworpen batterij, met als doel de prestaties te optimaliseren en de efficiëntie te verbeteren. Door deze twee wagentjes parallel te ontwikkelen, gaat het dus mogelijk zijn om tegelijkertijd het ontwerp te illustreren, te optimaliseren én te voldoen aan de opgestelde eisen.

Nu dit besluit was gemaakt, was het tijd om daadwerkelijk verder te gaan met het bouwen van het houten wagentje. Hierbij werd eerst bepaald op welke hoogte de multiplex plaat ten opzichte van de grond zou komen te liggen. Dit gebeurde door op te meten hoe hoog de houten blokjes kwamen wanneer de as (met daaraan de kogellagers) hierin lag en de wielen aan de

as waren gemonteerd.

Deze multiplex plaat, de as en de houten blokjes konden, door het besluit om door te gaan met het oorspronkelijke ontwerp, gelukkig nog steeds worden gebruikt. Dit zou niet het geval zijn geweest als uitsluitend voor het bouwen van het piepschuimen wagentje was gekozen.

Bij het meten bleek dat de houten blokjes een hoogte van 8 cm vanaf de grond hadden. Om de multiplex plaat perfect horizontaal te laten liggen, moest dus ook de bovenkant van de houten blokjes waaraan de TT-gearmotoren zouden worden bevestigd, een hoogte van 8 cm vanaf de grond hebben.

Het plan ontstond om de blokjes aan de TT-gearmotoren te bevestigen met spijkers die precies door drie gaten in de motoren pasten. Hiervoor moest er naast de spijkers, aan de zijkanten en onderkant, van de houten blokjes wat ruimte worden overgehouden. Rekening houdend met die extra ruimte, kwam de onderkant van de blokjes 2 cm vanaf de grond. Dit betekende dat de blokjes zelf een totale lengte van 6 cm moesten hebben.

Vervolgens werden de blokjes op de juiste maat gezaagd. In het midden van de blokjes, aan de onderkant, werd bovendien een groot gat geboord. De motoren hebben namelijk aan twee zijden een bevestigingspunt voor wielen, maar bij dit ontwerp wordt er slechts één wiel per motor gebruikt. Het andere bevestigingspunt moet echter wel vrij kunnen bewegen. Door een gat te maken waar dit bevestigingspunt in valt, kon dat worden gerealiseerd.

De houten blokjes werden na het boren met spijkers stevig bevestigd aan de TT-gearmotoren en vervolgens vastgeschroefd aan de multiplex plaat (zie afbeelding 14).



Figure 14: *Multiplex plaat met bevestigde motoren*

Ook de houten blokjes met daarin de kogellagers en de 3D-geprinte as zijn daarna vastgeschroefd aan de multiplex plaat. Vervolgens zijn de wielen aan de as bevestigd (zie afbeelding 15).



Figure 15: Multiplex plaat met bevestigde motoren, as en vier wielen

Eerder, nog voordat de keuze werd gemaakt om over te stappen van de TT-gearmotoren naar één DC-micromotor, is de benodigde code voor de Arduino Uno waarmee de motoren worden aangestuurd al geschreven. Ook zijn de Arduino Uno en de L298N al met elkaar verbonden door middel van de aansluitdraden volgens afbeelding 4.

De Arduino Uno en de L298N zijn na de bevestiging van de wielen vastgemaakt bovenop de multiplex plaat en met aansluitdraden bevestigd aan de twee TT-gearmotoren. Deze onderdelen, samen met de code, zouden wederom niet worden gebruikt in het piepschuimen wagentje, maar hebben in het houten wagentje gelukkig nog wel hun functie behouden. In afbeelding 16 is de uiteindelijke versie van het houten wagentje te zien.

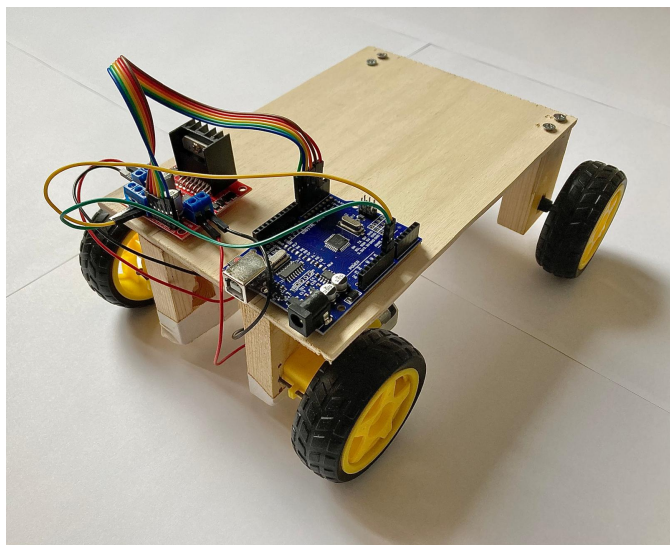


Figure 16: Uiteindelijke ontwerp van houten wagentje

6. Evaluatie

6.1. Batterij

In dit onderzoek werden verschillende aanpassingen aan de batterij doorgevoerd om de stroomsterkte te verhogen. Eerst werden extra elektroden toegevoegd om het reactieve oppervlak te

vergroten, maar dit leidde slechts tot een beperkte verbetering. Vervolgens werd de concentratie van de elektrolyt verhoogd, echter zonder merkbaar effect. Ter reductie van energieverlies werd bovendien overgestapt op lichtere behuizingen. Daarna werd koper- en aluminiumtape gebruikt, wat niet alleen een compact en schaalbaar ontwerp maar vooral een groter elektrodenoppervlak mogelijk maakte. Uiteindelijk resulteerde een opstelling met negen batterijcellen, georganiseerd in serie- en parallelconfiguraties, in voldoende vermogen om een micromotor aan te drijven.

6.1.1 Spanning vergelijken

Zoals te lezen in 5.1 leverde een enkele batterijcel, in zijn uiteindelijke vorm, bij een externe weerstand van 2 ohm een spanning van 0,15V. Zonder externe weerstand varieerde de spanning tussen 0,9V en 1,0V.

Volgens formule 1 (zie 2.3.1 Bronspanning) is de bronspanning gelijk aan:

$$\Delta V = +0,40 - (-1,66) = 2,06 \text{ V}$$

De werkelijke spanning van de ontworpen batterij (0.9V tot 1.0V) komt dus niet geheel overeen met de berekende bronspanning van 2.06V. In 2.3.1 is te lezen dat dit enkel de spanning die onder *standaard omstandigheden* wordt geleverd. Echter, in het geval van de metingen bij de ontworpen batterij was er sprake van *afwijkende omstandigheden*. Om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de prestaties van de batterij en deze goed te kunnen vergelijken, is het dus van belang om de theoretische spanning ook onder de afwijkende omstandigheden te bepalen.

Wet van Nernst

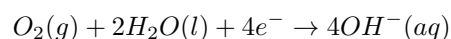
In 2.3.2 is te lezen dat de theoretische spanning onder *afwijkende omstandigheden* te berekenen is aan de hand van de Wet van Nernst.

De algemene vorm van de Wet van Nernst is:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (5)$$

Voor halfreacties zoals bij de anode (oxidatie van aluminium) en de kathode (reductie van zuurstof), kan de Nernst-vergelijking afzonderlijk worden toegepast.

De *kathodereactie* in de aluminium-lucht batterij is:



Voor deze kathodereactie kan de volgende Nernst-vergelijking worden opgesteld:

$$E_{kathode} = E^0_{kathode} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

De standaardelektrodenpotentiaal E^0 van deze zuurstofreductiereactie is gelijk aan +0.40V. Omdat er 4 elektronen worden uitgewisseld per zuurstofmolecuul geldt $n = 4$.

Aangezien zuurstof een gas is, moet de partiële druk van zuurstof (P_{O_2}) gebruikt worden in de reactiequotiënt in plaats van de concentratie. Voor hydroxide-ionen kan gewoon de concentratie gebruikt worden.

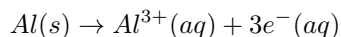
De reactiequotiënt Q wordt dus:

$$Q = \frac{[\text{OH}^-]^4}{P_{\text{O}_2}}$$

De Nernst-vergelijking van de kathodereactie wordt dan als volgt:

$$E_{\text{kathode}} = +0.40 - \frac{RT}{4F} \ln \frac{[\text{OH}^-]^4}{P_{\text{O}_2}}$$

De **anodereactie** in de aluminium-lucht batterij is:



Voor deze anodereactie kan de volgende Nernst-vergelijking worden opgesteld:

$$E_{\text{anode}} = E^0_{\text{anode}} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

De standaardelektrodenpotentiaal E^0 van deze aluminiumoxidatiereactie is gelijk aan -1.66V . Omdat er 3 elektronen worden vrijgegeven per aluminiumatoom geldt $n = 3$.

Aangezien aluminium een zuivere vaste stof is, wordt de concentratie hiervan niet gebruikt in de reactiequotiënt. Het aluminium-ion is hierdoor de enige (ionische) component in de reactiequotiënt.

De reactiequotiënt Q wordt dus:

$$Q = [\text{Al}^{3+}]$$

De Nernst-vergelijking van de anodereactie wordt dan als volgt:

$$E_{\text{anode}} = -1.66 - \frac{RT}{3F} \ln [\text{Al}^{3+}]$$

De **totale celpotentiaal** E_{cel} is het verschil tussen de kathode- en anodereactie:

$$E_{\text{cel}} = E_{\text{kathode}} - E_{\text{anode}}$$

De volledige Nernst-vergelijking voor de aluminium-lucht batterij is dus:

$$E_{\text{cel}} = \left(+0.40 - \frac{RT}{4F} \ln \left(\frac{[\text{OH}^-]^4}{P_{\text{O}_2}} \right) \right) - \left(-1.66 - \frac{RT}{3F} \ln [\text{Al}^{3+}] \right)$$

met

R	= gasconstante van 8,314 J/mol.K
F	= faradayconstante van 96485,34 C/mol
T	= temperatuur in kelvin (K)
$[\text{OH}^-]$	= concentratie hydroxide-ionen in mol/L
$[P_{\text{O}_2}]$	= partiële druk zuurstof in atm
$[\text{Al}^{3+}]$	= concentratie aluminium-ionen in mol/L

Om de spanning onder afwijkende omstandigheden te kunnen berekenen, is het dus noodzakelijk de concentraties van zowel de hydroxide- als aluminium-ionen te bepalen. Dit kan bijvoorbeeld worden gedaan via experimentele methoden, zoals titratie of spectrofotometrie. Het uitvoeren van dergelijke analyses is echter behoorlijk tijdrovend en vereist specifieke expertise. In dit onderzoek zijn deze analyses dus niet uitgevoerd en zijn de concentraties niet bepaald.

6.2. Wagentje

Tijdens het ontwerpen en realiseren van het wagentje zijn meerdere aanpassingen doorgevoerd om praktische en functionele uitdagingen op te lossen. De overgang van zware naar lichtere batterijen maakte verticale wanden overbodig, waardoor het ontwerp kon worden vereenvoudigd en multiplex handmatig kon worden bewerkt in plaats van met een lasersnijder. Door een beperking in motorcapaciteit werd later overgestapt van TT-gearmotoren naar een DC-micromotor, wat leidde tot een herontwerp met een lichtere piepschuimen basis. Dit hielp om de prestaties van de batterij onder gunstigere omstandigheden te testen. Dit wagentje van piepschuim voldeed echter niet aan de eerder gestelde eisen en specificaties. Parallel werd daarom het oorspronkelijke houten wagentje verder ontwikkeld als visuele representatie van het oorspronkelijke ontwerp, waardoor een balans ontstond tussen functionaliteit en ontwerpillustratie.

6.2.1 Afstand bepalen

Het piepschuimen wagentje is getest door het gedurende twee minuten te laten rijden op een vlakke ondergrond. Zoals al aangegeven in 5.2 Constructie van wagentje reed het wagentje in cirkels, aangezien het voorwiel schuin staat ten opzichte van het wagentje.

Op basis van deze test zijn verschillende waarden vastgesteld, waaronder het aantal gereden cirkels. Het wagentje reed in totaal 0.040 cirkels met een diameter van 1.59 meter. Met behulp van de formule voor de omtrek van een cirkel is berekend wat de afstand is die het wagentje gedurende de twee minuten heeft afgelegd:

$$\text{Omtrek van de cirkel} = \pi \cdot \text{diameter} = 1.59\pi \text{ meter}$$

$$\text{Afgelegde afstand} = \text{Omtrek van de cirkel} \cdot \text{Aantal}$$

$$\text{gereden cirkels} = 1.59\pi \cdot 0.04 = 0.20 \text{ meter}$$

In twee minuten heeft het wagentje dus 0.20 meter afgelegd.

Deze afstand is minder dan oorspronkelijk werd verwacht en voor ogen werd gehouden bij aanvang van het project. Na de verschillende complicaties rondom de batterij waren de aanvankelijk hogere verwachtingen echter al bijgesteld. De prioriteit was verschoven naar het laten rijden van het wagentje, zodat er in ieder geval een meting kon worden uitgevoerd. Ondanks de beperkte afstand is het dus positief dat het wagentje succesvol heeft gereden.

6.2.2 Gevoeligheidsanalyse uitvoeren

Zoals beschreven in sectie 2.3.3, biedt een gevoeligheidsanalyse een waardevol hulpmiddel om inzicht te krijgen in welke parameters de meeste invloed hebben op de uitkomst van een model. Dit inzicht stelt men in staat gerichte aanpassingen te doen aan deze bepalende parameters, wat bijdraagt aan het verbeteren van de prestaties en nauwkeurigheid van het model. Zo kan de gevoeligheidsanalyse worden ingezet om het model op een efficiënte manier te optimaliseren.

Afleidende van formule Om de gevoeligheidsanalyse uit te voeren is er echter wel een model (of een wiskundige formule) nodig die de relaties tussen de parameters en de uitkomst beschrijft. De gewenste formule, waarin de afstand s de afhankelijke variabele (uitkomst) is, wordt hieronder afgeleid.

De totale energie wordt uitgedrukt als:

$$E_{\text{kinetisch}} + E_{\text{weerstand}} = E_{\text{totaal}}$$

Waarbij:

- $E_{\text{kinetisch}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
- $E_{\text{totaal}} = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$
- $E_{\text{weerstand}}$ blijft als een onafhankelijke grootte in de formule.

De kinetische energie wordt bepaald door het verschil tussen E_{totaal} en $E_{\text{weerstand}}$:

$$E_{\text{kinetisch}} = E_{\text{totaal}} - E_{\text{weerstand}}$$

Substitueer $E_{\text{totaal}} = U \cdot I \cdot t$:

$$E_{\text{kinetisch}} = U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}}$$

De kinetische energie is ook gegeven door:

$$E_{\text{kinetisch}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Dus:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}}$$

Los op voor v^2 :

$$v^2 = \frac{2}{m} (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})$$

De snelheid v is de verandering van de afstand s per tijdseenheid:

$$v = \frac{s}{t}$$

Substitueer v in termen van v^2 :

$$\left(\frac{s}{t}\right)^2 = \frac{2}{m} (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})$$

Los s op door beide zijden te herschikken:

$$s = t \cdot \sqrt{\frac{2}{m} (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})}$$

De afstand s wordt dus gegeven door:

$$s = t \cdot \sqrt{\frac{2}{m} (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})} \quad (6)$$

Deze formule drukt de afstand s uit als functie van de tijd t , massa m , spanning U , stroomsterkte I en $E_{\text{weerstand}}$.

Formules partiële afgeleiden Hieronder worden de formules van de partiële afgeleiden van s naar alle variabelen bepaald.

De oorspronkelijke formule voor s is:

$$s = t \cdot \sqrt{\frac{2}{m} \cdot (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})} = t \cdot \sqrt{\frac{2}{m} \cdot C}$$

Hier is:

$$C = U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}}$$

De formule van de partiële afgeleide van s naar de massa m is:

$$\frac{\partial s}{\partial m} = t \cdot \frac{\partial}{\partial m} \left(\sqrt{\frac{2 \cdot C}{m}} \right) = t \cdot \frac{-1}{\sqrt{\frac{2 \cdot C}{m}}} \cdot \frac{C}{m^2} = -\frac{t \cdot \sqrt{C}}{\sqrt{2} \cdot m^{3/2}}$$

Dus:

$$\frac{\partial s}{\partial m} = -\frac{t \cdot \sqrt{U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}}}}{\sqrt{2} \cdot m^{3/2}}$$

De formule van de partiële afgeleide van s naar de spanning U is:

$$\frac{\partial s}{\partial U} = t \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot C}{m}}} \cdot \frac{\partial C}{\partial U} = t \cdot \frac{I \cdot t}{2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot C}{m}}} = \frac{\sqrt{m} \cdot t^2 \cdot I}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot C}}$$

Dus:

$$\frac{\partial s}{\partial U} = \frac{\sqrt{m} \cdot t^2 \cdot I}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})}}$$

De formule van de partiële afgeleide van s naar de stroomsterkte I is:

$$\frac{\partial s}{\partial I} = t \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot C}{m}}} \cdot \frac{\partial C}{\partial I} = t \cdot \frac{U \cdot t}{2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot C}{m}}} = \frac{\sqrt{m} \cdot t^2 \cdot U}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot C}}$$

Dus:

$$\frac{\partial s}{\partial I} = \frac{\sqrt{m} \cdot t^2 \cdot U}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})}}$$

De formule van de partiële afgeleide van s naar $E_{\text{weerstand}}$ is:

$$\frac{\partial s}{\partial E_{\text{weerstand}}} = t \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot C}{m}}} \cdot \frac{\partial C}{\partial E_{\text{weerstand}}} = -\frac{\sqrt{m} \cdot t}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot C}}$$

Dus:

$$\frac{\partial s}{\partial E_{\text{weerstand}}} = -\frac{\sqrt{m} \cdot t}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot (U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}})}}$$

Berekenen partiële afgeleiden Voor en tijdens de test van het piepschuimen wagentje zijn, naast de afgelegde afstand, ook de massa m van het wagentje, evenals de spanning U en de stroomsterkte I van de batterij gemeten. Deze waarden kunnen als de nominale waarden worden beschouwd en zijn als volgt:

- Massa: 240.1 gram = 0.2401 kilogram

- Spanning: 0.60V
- Stroomsterkte: 10mA = 0.010A

De gemiddelde snelheid v van het wagentje was gedurende de 2 minuten (120 seconden) gelijk aan:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0.20}{120} = 1.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Aan de hand van deze snelheid is het mogelijk $E_{\text{kinetisch}}$ te berekenen:

$$E_{\text{kinetisch}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.2401 \cdot (1.7 \times 10^{-3})^2$$

Tegelijk geldt ook:

$$E_{\text{kinetisch}} = U \cdot I \cdot t - E_{\text{weerstand}}$$

Voor C kan dus $E_{\text{kinetisch}}$ worden gebruikt.

Alle nominale waarden, $E_{\text{kinetisch}}$ en de standaardwaarde $t = 120$ kunnen worden ingevuld in de formules van de partiële afgeleiden.

De partiële afgeleide van s naar de massa m wordt dan:

$$\frac{\partial s}{\partial m} = -\frac{120 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 0.2401 \cdot (1.7 \times 10^{-3})^2}}{\sqrt{2} \cdot (0.2401)^{3/2}} = -0.42...$$

De partiële afgeleide van s naar de spanning U wordt dan:

$$\frac{\partial s}{\partial U} = \frac{\sqrt{0.2401} \cdot (120)^2 \cdot 0.010}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0.2401 \cdot (1.7 \times 10^{-3})^2\right)} = 42352.94...$$

De partiële afgeleide van s naar de stroomsterkte I wordt dan:

$$\frac{\partial s}{\partial I} = \frac{\sqrt{0.2401} \cdot (120)^2 \cdot 0.60}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0.2401 \cdot (1.7 \times 10^{-3})^2\right)} = 2541176.47...$$

De partiële afgeleide van s naar $E_{\text{weerstand}}$ wordt dan:

$$\begin{aligned} \frac{\partial s}{\partial E_{\text{weerstand}}} &= -\frac{\sqrt{0.2401} \cdot 120}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0.2401 \cdot (1.7 \times 10^{-3})^2\right)} \\ &= -35294.11... \end{aligned}$$

Bepalen relatieve gevoelheden Met behulp van formule 4 (zie 2.3.3) is het mogelijk om de relatieve gevoelheden te bepalen. Hiervoor moet eerst de nominale waarde van de afstand s worden berekend. Dit is mogelijk door alle nominale waarden in te vullen in de formule van s :

$$\begin{aligned} s_{\text{nominiaal}} &= 120 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.2401} \left(\frac{1}{2} \cdot 0.2401 \cdot (1.7 \times 10^{-3})^2\right)} \\ &= 0.204 \text{ meter} \end{aligned}$$

De relatieve gevoeligheid van de massa m is gelijk aan:

$$S_m = \frac{\frac{\partial s}{\partial m} \cdot m}{s_{\text{nominiaal}}} = \frac{-0.42... \cdot 0.2401}{0.204} = -0.50$$

$S_m < 0$, dus een toename van de massa m leidt tot een afname van s .

De relatieve gevoeligheid van de spanning U is gelijk aan:

$$S_U = \frac{\frac{\partial s}{\partial U} \cdot U}{s_{\text{nominiaal}}} = \frac{42352.94... \cdot 0.60}{0.204} = 1.2 \times 10^5$$

$S_U > 0$, dus een toename van de spanning U leidt tot een toename van s .

De relatieve gevoeligheid van de stroomsterkte I is gelijk aan:

$$S_I = \frac{\frac{\partial s}{\partial I} \cdot I}{s_{\text{nominiaal}}} = \frac{2541176.47... \cdot 0.010}{0.204} = 1.2 \times 10^6$$

$S_I > 0$, dus een toename van de stroomsterkte I leidt tot een toename van s .

Om de relatieve gevoeligheid van $E_{\text{weerstand}}$ te kunnen bepalen, moet eerst $E_{\text{weerstand}}$ worden berekend:

$$\begin{aligned} E_{\text{weerstand}} &= U \cdot I \cdot t - E_{\text{kinetisch}} \\ &= 0.60 \cdot 0.010 \cdot 120 - \frac{1}{2} \cdot 0.2401 \cdot (1.7 \times 10^{-3})^2 = 0.71... \text{ J} \end{aligned}$$

De relatieve gevoeligheid van $E_{\text{weerstand}}$ is gelijk aan:

$$\begin{aligned} S_{E_{\text{weerstand}}} &= \frac{\frac{\partial s}{\partial E_{\text{weerstand}}} \cdot E_{\text{weerstand}}}{s_{\text{nominiaal}}} \\ &= \frac{-35294.11... \cdot 0.71...}{0.204} = -1.2 \times 10^6 \end{aligned}$$

$S_{E_{\text{weerstand}}} < 0$, dus een toename van $E_{\text{weerstand}}$ leidt tot een afname van s .

Uit deze relatieve gevoelheden blijkt dat veranderingen in de stroomsterkte I en $E_{\text{weerstand}}$ de grootste invloed hebben op de afstand s die het wagentje aflegt. De absolute waarden van deze parameters zijn namelijk het hoogst. Om de afstand s die het wagentje in 2 minuten aflegt te maximaliseren, kan volgens de gevoeligheidsanalyse dus het beste worden gefocust op het optimaliseren van deze twee parameters.

6.3. Eisen

Gebruiksvriendelijkheid

Het houten wagentje voldoet volledig aan de eis dat het eenvoudig te maken en te gebruiken is, zelfs voor personen zonder specifieke voorkennis of ervaring. Het gebruik van multiplex platen als basis voor het wagentje zorgt voor een eenvoudig en toegankelijk bouwproces, doordat ze zeer gemakkelijk met de hand te bewerken zijn. Dit maakt het mogelijk om het wagentje te bouwen zonder toegang tot geavanceerde machines, wat het proces laagdrempelig houdt.

De TT-gearmotoren zijn eveneens eenvoudig te gebruiken. Ze kunnen snel en zonder ingewikkelde procedures worden bevestigd aan de houten structuur. Bovendien zijn er talloze uitlegvideo's online beschikbaar die stap voor stap laten zien hoe deze motoren correct geïnstalleerd kunnen worden.

Voor de besturing is gekozen voor een Arduino Uno, een microcontroller die bekend staat om zijn gebruiksvriendelijkheid

en eenvoudige configuratie. De installatie is overzichtelijk en vereist slechts een basisbegrip van elektronica. Daarnaast is een benodigde code voor de Arduino Uno reeds op het internet te vinden, wat betekent dat gebruikers geen uitgebreide programmeerkennis nodig hebben en direct aan de slag kunnen.

De bouw van het wagentje is in deze paper bovendien stap voor stap uitgelegd, wat ervoor zorgt dat anderen het ontwerp gemakkelijk kunnen reproduceren. Tot slot bevat de batterij geen ingewikkelde technieken en is deze eenvoudig na te maken, zolang de juiste materialen beschikbaar zijn.

Deze combinatie van gebruiksvriendelijke onderdelen, duidelijke uitleg en beschikbare hulpbronnen maakt het wagentje dus ideaal voor iedereen, ongeacht ervaring of achtergrond.

Beschikbare materialen

Het wagentje voldoet ook aan de eis dat minimaal 80 procent van de materialen beschikbaar moet zijn via reguliere bouwmarkten of online winkels. Zo zijn de multiplex plaat, koper-tape en aluminiumtape te koop in elke reguliere bouwmarkt.

De Arduino Uno, L298N motor driver, TT-gearmotoren en aansluitdraden kunnen zonder problemen besteld worden bij talloze online elektronica winkels, maar ook via grote platforms zoals Bol en Amazon. Bij deze twee platforms zijn ook de kogellagers en plastic bakjes eenvoudig te vinden.

De natronloog, die nodig is voor de batterij, moet wel worden aangeschaft bij speciale (online) laboratoriumwinkels. Als deze al beschikbaar is op school of een andere locatie is dit natuurlijk geen probleem. De as die voor de achterwielen is gebruikt is ook niet direct te koop, maar 3D-geprint.

Van de 11 benodigde producten zijn 9 producten dus inderdaad beschikbaar via reguliere bouwmarkten of online winkels. Hierdoor wordt de eis van minimaal 80 procent beschikbaarheid via deze kanalen gehaald.

Betaalbare materialen

Aan de eis dat er gebruik moet worden gemaakt van betaalbare materialen, op zo'n manier dat het budget van 20 euro niet overschreden wordt, is in het specifieke geval van deze paper voldaan. Dit komt doordat verschillende materialen/onderdelen al beschikbaar waren.

Zo was de multiplex plaat al aanwezig en kon deze gratis gebruikt worden; als deze bij een bouwmarkt gekocht zou worden, kost deze echter 13,99 euro. De koper- en aluminiumtape waren ook al beschikbaar op school, maar zouden bij een bouwmarkt samen rond de 20 euro kosten. Evenzo waren de plastic bakjes al beschikbaar, maar deze zouden voor ongeveer 2 euro gekocht moeten worden.

De TT-gearmotoren, rubberen wielen, Arduino Uno en L298N motor driver hebben samen 5,27 euro gekost. Afhankelijk van de website waar ze worden aangeschaft, kan de prijs echter zeer variëren. De kogellagers zijn voor 0,99 euro aangeschaft. De natronloog en de 3D-geprinte as werden gratis verworven, wat de kosten verder verlaagd heeft.

In totaal heeft het wagentje van dit project 6,26 euro gekost, wat ver onder het budget van 20 euro blijft. Daarmee is in dit specifieke geval de eis dus gehaald.

Als de benodigde materialen echter niet al beschikbaar zijn, lopen de kosten, nog zonder de natronloog en de 3D-geprinte as, al snel op naar de 40+ euro. De prijs valt zelfs nog veel hoger uit als de elektronica bij andere online platforms wordt besteld.

Over het algemeen blijkt dus dat de eis om het budget van 20 euro niet te overschrijden moeilijk te halen is, tenzij men al een aantal materialen ter beschikking heeft.

Duurzaamheid en milieuvriendelijkheid

Aan de eis die verteld dat de benodigde stoffen en materialen voor de batterij en het wagentje duurzaam en milieuvriendelijk moeten zijn, waarbij minimaal 80 procent gerecycled of hernieuwbaar is en schadelijke stoffen worden vermeden, wordt gedeeltelijk voldaan.

Het hout van de multiplex plaat is FSC-gecertificeerd, wat betekent dat het afkomstig is uit duurzaam beheerd bos en voldoet aan de E1-norm, wat de uitstoot van schadelijke stoffen bij de productie beperkt [33]. Bovendien is hout een hernieuwbare grondstof, wat de duurzaamheid verder bevordert.

De rubberen wielen die gebruikt zijn, zijn gemaakt van synthetisch rubber. Dit is minder milieuvriendelijk vanwege de CO₂-uitstoot die gepaard gaat met de productie. Wielen van natuurlijk rubber, dat biologisch afbreekbaar en een hernieuwbare grondstof is, pasten echter niet binnen het budget.

De Arduino Uno, L298N motor driver en de TT-gearmotoren zijn niet gemaakt van gerecycled of hernieuwbaar materiaal, wat een beperking vormt voor het volledig voldoen aan de eis.

De koper- en aluminiumtape en de plastic bakjes kunnen echter wel gemakkelijk gerecycled worden. Als dit efficiënt gebeurt, kunnen koper en aluminium als onuitputtelijke hulpbronnen worden beschouwd. Natronloog kan worden hergebruikt als het niet te veel vervuild is.

Net als koper- en aluminiumtape is natronloog niet schadelijk voor het milieu, mits het in kleine concentraties en hoeveelheden wordt gebruikt zoals bij de toepassing van de batterij.

Om wel volledig aan de eis van 80 procent gerecycled of hernieuwbaar materiaal te kunnen voldoen, moet ten eerste het aandrijfsysteem (Arduino Uno, L298N en TT-gearmotoren) niet in deze eis worden meegenomen, aangezien dit nooit volledig uit gerecycled of hernieuwbaar materiaal bestaat. Bovendien moet worden geaccepteerd dat er niet tegelijkertijd kan worden voldaan aan de eis het budget van 20 euro niet te overschrijden. Duurzame producten zijn namelijk duurder dan de goedkopere alternatieven die in dit project zijn gebruikt.

Rendement

Het is onduidelijk of er is voldaan aan de eis dat de werking van de batterij van het wagentje zodanig moet zijn dat het rendement van de omzetting van chemische naar elektrische energie minimaal 85 procent bedraagt.

Om de hoeveelheid chemische energie die is omgezet in elektrische energie te berekenen, is het namelijk noodzakelijk om te weten hoeveel mol aluminium heeft deelgenomen aan de reactie. Zoals eerder uitgelegd, is deze informatie echter niet beschikbaar. Zonder deze gegevens kan de omzetting van

chemische energie niet worden berekend, waardoor het niet mogelijk is om het rendement vast te stellen en te controleren of er voldaan is aan de eis van minimaal 85 procent.

7. Discussie

De voorbereiding en het verzamelen van de benodigde materialen verliepen verrassend soepel. Al snel waren alle benodigde onderdelen beschikbaar, wat een efficiënte start mogelijk maakte. Ook het literatuuronderzoek naar verschillende batterijen en aandrijfsystemen verliep over het algemeen goed.

Bij het ontwerpen en maken van de batterij werd wel op enkele complicaties gestuit. Zo werd in de meeste bronnen over de verschillende batterijen voornamelijk gesproken over de spanning en niet over de stroomsterkte. Hierdoor was lange tijd niet duidelijk hoe cruciaal de stroomsterkte was voor het functioneren van het systeem. Dit gebrek aan inzicht leidde ertoe dat er lang werd vastgehouden aan het proces van het bouwen van een batterij die sterk genoeg was, waarbij de batterij telkens werd aangepast in de hoop dat deze sterker zou worden. Deze focus op het optimaliseren van de batterij vergde veel tijd, waardoor uiteindelijk minder tijd beschikbaar was voor andere aspecten van het project.

Daarnaast bleek dus dat het parallel schakelen van de batterijcellen niet verliep zoals de theorie voorschrijft (zie hoofdstuk 5.1). Dit verschil tussen theorie en praktijk roept vragen op en verdient verder onderzoek. Het zou waardevol zijn als in een toekomstig project de oorzaak hiervan wordt onderzocht, zodat dergelijke problemen beter begrepen en mogelijk voorkomen kunnen worden.

Toen de batterij uiteindelijk in zijn definitieve vorm bestond, bleek het tot slot niet mogelijk om de spanning van de batterij te vergelijken met de theoretische bronspanning. Dit komt doordat de wet van Nernst niet volledig kon worden doorgerekend, zoals al is beschreven in hoofdstuk 6. Een meer diepgaande analyse van de wet van Nernst in relatie tot deze batterij zou in toekomstig onderzoek kunnen helpen om te bepalen of de batterij nog verder geoptimaliseerd kan worden. Hierdoor kan de output van de batterij eventueel meer in lijn worden gebracht met de theorie.

Ook bij het bouwen en testen van het wagentje bestaan er enkele verbeterpunten. Bij het maken van het wagentje was het bijvoorbeeld niet mogelijk om gebruik te maken van professioneel gereedschap en apparatuur. Alles is daarom handmatig uitgevoerd, wat kan leiden tot afwijkingen en onnauwkeurigheden. Voorbeelden hiervan zijn asymmetrische bevestigingen, ongelijke afmetingen van onderdelen en lichte scheefstand in de constructie. Deze onnauwkeurigheden kunnen van invloed zijn geweest op de prestaties en het rijgedrag van het wagentje.

Daarnaast heeft het wagentje bij het testen (een deel van) een ronde gereden, waarna de afgelegde afstand achteraf is berekend. Het is echter mogelijk dat de berekende afstand afwijkt van de afstand die het wagentje, met dezelfde output van de batterij, zou hebben afgelegd als het in een rechte lijn was bewogen. Deze mogelijke afwijking kan invloed hebben op de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse en verdient dus aandacht in toekomstige experimenten.

De uitvoering van deze gevoeligheidsanalyse, en daarmee het bepalen van de parameter die het meest gevoelig is voor veranderingen, is gedaan met de waarden die zijn afgeleid uit de test met het piepschuimen wagentje. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse, en de bijbehorende parameter, zijn dus specifiek van toepassing op het piepschuimen wagentje. Bij een test met het houten wagentje, dat oorspronkelijk het doel was om te optimaliseren, kunnen de waarden en de gevoeligste parameter mogelijk anders uitvallen. Het is belangrijk om hiermee rekening te houden bij toekomstig onderzoek als er wel gebruik wordt gemaakt van een houten wagentje.

Tot slot is na het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse het wagentje niet daadwerkelijk geoptimaliseerd, vanwege tijdgebrek. Daarom is geen tweede testronde uitgevoerd en kan niet met volledige zekerheid worden gesteld of de optimalisatie van de parameters uit de gevoeligheidsanalyse daadwerkelijk een grote invloed heeft op de gereden afstand. Een volgend onderzoek kan zich hier meer op richten en vaker optimaliseren voor een goed eindresultaat.

8. Conclusie

Het doel van dit onderzoek was het ontwerpen van een duurzaam wagentje dat gebruik maakt van een specifiek type redox-batterij om binnen twee minuten een zo groot mogelijke afstand af te leggen, terwijl tegelijkertijd wordt voldaan aan enkele vooraf vastgestelde eisen.

Gedurende het onderzoek is een wagentje ontwikkeld dat wordt aangedreven door een aluminium-luchtbatterij. De batterij is tijdens het onderzoek uitgebreid geoptimaliseerd, waarbij werd vastgesteld dat de oppervlakte van de koper-elektrode de grootste invloed had op de stroomsterkte. De uiteindelijke batterijconfiguratie bestaat uit negen in serie en parallel geschakelde cellen. Tijdens een test reed het wagentje, aangedreven door deze batterij, 0,20 meter in twee minuten. De batterij genereerde daarbij een stroomsterkte van 0,010 ampère en een spanning van 0,60 volt.

Uit de gevoeligheidsanalyse die is uitgevoerd aan de hand van de gegevens uit de test, blijkt dat de afstand die het wagentje aflegt het effectiefst kan worden vergroot door de focus te leggen op het verhogen van de stroomsterkte en het verminderen van de weerstanden.

De test is uitgevoerd met een wagentje van piepschuim, omdat in een eerdere fase al bleek dat de batterij te zwak was om een zwaarder houten wagentje voort te bewegen. Dit wagentje van piepschuim voldoet echter niet aan de opgestelde eisen, zoals het gebruik van betaalbare en duurzame materialen, wat tevens wel in het onderzoeksdoel stond. Het houten wagentje dat daarom ook tijdens het onderzoek is ontwikkeld, voldoet grotendeels wel aan deze eisen, maar is niet in staat te rijden op de ontwikkelde aluminium-luchtbatterij. Geen van beide wagentjes voldoet dus afzonderlijk volledig aan het onderzoeksdoel, maar in combinatie komen beide ontwerpen dicht in de buurt.

Een bijkomend doel van het onderzoek was het ontwerpen van een beter alternatief voor brandstof- en elektrische voertuigen. Dit doel is op dit moment nog niet bereikt. Toch kan dit onder-

zoek op termijn van betekenis zijn voor de samenleving, omdat het zich richt op de ontwikkeling van duurzame en milieuvriendelijkere alternatieven. Het behalen van dit doel is echter beperkt door enkele belangrijke factoren. Zo kon het rendement van de ontwikkelde batterij niet worden berekend, wat het moeilijk maakt om de efficiëntie en haalbaarheid ervan te evalueren. Bovendien is de afgelegde afstand van 0,2 meter onvoldoende om te spreken van een praktisch toepasbaar alternatief.

Tijdens dit onderzoek is duidelijk geworden dat het essentieel is om niet alleen te letten op de spanning die een batterij levert, maar vooral ook op de stroomsterkte, aangezien dit een grote impact heeft op de prestaties van het systeem. Daarnaast is geleerd dat het belangrijk is om op een gegeven moment een keuze te maken en deze door te zetten, zonder te lang te blijven hangen in twijfel of van idee te blijven wisselen. Tot slot is het duidelijk geworden dat het uitvoeren van volledig en diepgaand onderzoek aanzienlijk wordt vergemakkelijkt wanneer er meer tijd en financiële middelen beschikbaar zijn.

Voor toekomstig werk is het belangrijk om te zoeken naar een balans tussen de massa van de batterij en het wagentje en de output van het systeem, aangezien deze factoren sterk met elkaar samenhangen. Een overstap van een vloeibare batterij naar een vaste batterij, zoals een metaal-luchtbatterij zonder elektrolytische oplossing, kan hierbij een cruciale rol spelen.

Verder zou onderzocht moeten worden waarom het parallel schakelen van de batterijcellen niet volgens de theorie functioneerde. Een andere belangrijke suggestie is om te onderzoeken hoe de aluminium-luchtbatterij kan worden opgeladen, zodat het niet langer nodig is om telkens een nieuwe batterij te produceren, wat de duurzaamheid en toepasbaarheid van deze technologie aanzienlijk zou vergroten.

References

- [1] Rijksoverheid. *Klimaatverandering*. 2024. URL: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering>.
- [2] Europees Parlement. *CO₂-emissies door auto's: feiten en cijfers (infografieken) — Onderwerpen — Europees Parlement*. 2024. URL: <https://www.europarl.europa.eu/topics/nl/article/20190313STO31218/co2-emissies-van-auto-s-feiten-en-cijfers-infografieken>.
- [3] MilieuCentraal. *Autogebruik verminderen — milieucentraal.nl*. 2024. URL: <https://www.milieucentraal.nl/duurzaam-vervoer/alternatieven-voor-de-auto/autogebruik-verminderen/>.
- [4] Essent. *Enkele feiten over fossiele brandstoffen op een rij — Essent*. 2024. URL: <https://www.essent.nl/kennisbank/stroom-en-gas/energiebronnen/fossiele-brandstoffen>.
- [5] RVO. *Milieu en elektrisch vervoer*. Dec. 2023. URL: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/elektrisch-rijden/milieu-en-elektrisch-vervoer>.
- [6] Jordy Van Meerkerk, Robert van den Brink, and Gerben Geilenkirchen. "De elektrische auto: wie kan ermee uit de voeten". In: *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*, number november. 2011, p. 15.
- [7] MilieuCentraal. *Accu en bereik elektrische auto*. 2023. URL: <https://www.milieucentraal.nl/duurzaam-vervoer/elektrische-auto/accu-en-bereik-elektrische-auto/>.
- [8] LibreTexts. *Electrolytic Cells*. Oct. 2013. URL: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Electrochemistry/Electrolytic_Cells](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Electrolytic_Cells).
- [9] ExamenOverzicht. *Elektrochemische Cel: Wat Is Het & Hoe Werkt Het? (Uitleg)*. 2024. URL: <https://www.examenoverzicht.nl/scheikunde/elektrochemische-cel>.
- [10] Chemieleerkracht. *Galvanische Cel — Chemieleerkracht*. 2017. URL: <http://chemieleerkracht.blackbox.website/index.php/galvanische-cel-2/>.
- [11] Tyler DeWitt. *Galvanic Cells (Voltaic Cells)*. Aug. 2015. URL: <https://youtu.be/7b34XYgADlM?si=oZgqllhcWJg8lzDa>.
- [12] UwThuisBatterij. *Verschillende soorten — uwthuisbatterij.eu*. 2021. URL: <https://www.uwthuisbatterij.eu/verschillende-soorten>.
- [13] Chris Evers. *Redox flowbatterij*. Jan. 2021. URL: <https://youtu.be/PPTyIU8udos?si=8LfRnXFBca7cNgJR>.
- [14] Lorenz Gubler. *Membranes and separators for redox flow batteries*. 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451910319301322>.
- [15] Molla Asmare, Muluken Zegeye, and Ababay Ketema. *Advancement of electrically rechargeable metal-air batteries for future mobility*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723016621>.
- [16] Svenja Lohner. *How to Make a Battery with Metal, Air, and Saltwater*. Oct. 2023. URL: https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Chem_p107/chemistry/make-a-battery-with-metal-air-and-saltwater.
- [17] IndustrieVandaag. *De krachtige wereld van aandrijftechniek*. May 2024. URL: <https://industrievandaag.nl/aandrijftechniek/>.
- [18] Cameron Hashemi-Pour and Ben Lutkevich. *What is a Microcontroller? — Definition from TechTarget*. 2024. URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcontroller>.
- [19] Conrad. *Alles wat u wilt weten over Arduino — Conrad Electronic*. 2021. URL: <https://www.conrad.nl/nl/inspiratie/development-kits-en-bouwpakketten/arduino.html>.

- [20] ElektronicaVoorJou. *Alles over de ESP8266 & ESP32*. Oct. 2024. URL: <https://elektronicavoorjou.nl/alles-over-de-esp8266-esp32/>.
- [21] SunFounder. *TT Motor & 2014; SunFounder Ultimate Sensor Kit documentation*. 2024. URL: https://docs.sunfounder.com/projects/ultimate-sensor-kit/en/latest/components_basic/29-component_ttmotor.html.
- [22] INeedMicromotors. *What Is N20 Gear Motor-Professional Gear Motor Manufacturer*. Aug. 2023. URL: <https://ineedmicromotors.com/what-is-n20-gear-motor/>.
- [23] PalmSens. *Nernst Equation explained (practical example included)*. 2022. URL: <https://www.palmsens.com/knowledgebase-topic/nernst-equation/>.
- [24] FasterCapital. *Gevoeligheidsanalyse gemaakt gemakkelijk gemaakt met variatiecoefficient - FasterCapital*. June 2024. URL: <https://fastercapital.com/nl/inhoud/Gevoeligheidsanalyse-gemaakt-gemakkelijk-gemaakt-met-variatiecoefficient.html>.
- [25] FasterCapital. *Gevoeligheidsanalyse hoe u een gevoeligheidsanalyse voor uw investering uitvoert - FasterCapital*. June 2024. URL: <https://fastercapital.com/nl/inhoud/Gevoeligheidsanalyse--hoe-u-een-gevoeligheidsanalyse-voor-uw-investering-uitvoert.html>.
- [26] OpMaatZagen. *Veelgebruikte toepassingen van multiplex*. 2024. URL: <https://www.opmaatzagen.nl/toepassingen-multiplex>.
- [27] Kay Verhale. *Wat zijn elastisch rubber wielen? De voordelen en eigenschappen*. May 2023. URL: <https://www.interwiel.nl/blogs/termen/elastisch-rubber-wielen/>.
- [28] Leadlab. *What pH Level is Hazardous? — Environmental Hazards Services*. 2019. URL: <https://leadlab.com/what-ph-level-is-hazardous/>.
- [29] LumenLearning. *pH and pOH — Chemistry for Majors*. 2024. URL: <https://courses.lumenlearning.com/chemistryformajors/chapter/ph-and-poh/>.
- [30] JSTAGE. “Cyclic Voltammetry Part 2: Surface Adsorption, Electric Double Layer, and Diffusion Layer”. In: *JSTAGE* (2021). URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/electrochemistry/90/10/90_22-66084/_html/-char/en.
- [31] Acculaders. *Accu's parallel schakelen vs accu's in serie schakelen*. July 2016. URL: <https://www.accumad.nl/blogs/blog-accumad/accus-parallel-en-of-in-serie-schakelen/>.
- [32] MiniScience. *DC Motors - Wholesale distributor of small electric motors for hobby and technology education projects. Model: RF-300CA*. 2023. URL: <https://catalog.miniscience.com/motors/RF300CA.php>.
- [33] Gamma. *Multiplex timmerplaat 8 mm 122x61 cm — GAMMA*. 2024. URL: <https://www.gamma.nl/assortiment/multiplex-timmerplaat-8-mm-122x61-cm/p/B818522>.

Ontwikkeling van een sonar op basis van een phased array in lucht

Y. O. Janssen ¹, T. I. E. Nijman ², K. P. de Vries ³, R. Kamperman ³, P. Nijland ¹ & W. Olbertz ²

¹*Lyceum de Grundel, Hengelo*

²*Het Stedelijk Kottenpark, Enschede*

³*Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – This paper is about the development process of an active sonar in air and its capabilities at a hobbyist level. It uses an eight element phased array of T40-16 transmitters to create a beam pattern and measure in a specific direction dependant on the phase between elements. The signal is received by a R40-16 receiver and sent to the computer through a Raspberry Pi Pico, where it is turned into an image using a custom Python programme. To compare the elements and the final product results with theory, a simulation was written in Haskell. The sonar ended up satisfying all of the design criteria, but not perfectly.

1. Introductie

Dit paper gaat over de ontwikkeling van een sonar. De aanleiding voor, en het doel van, deze sonar is het in kaart brengen van ruimtes zonder de aanwezigheid van licht, zoals kamers in huizen. Vanwege deze beperking is een camera niet geschikt, maar een sonar perfect toepasbaar. Sonar staat voor *sound navigation and ranging*, en kan een beeld maken van de omgeving door geluidsgolven uit te zenden, en de weerkaatsingen die terugkomen op te vangen. [1] De voortplantingssnelheid van geluid in hetzelfde medium is constant, en in lucht bedraagt deze 343 m s^{-1} bij 293 K. [2] Door van dit gegeven gebruik te maken kan worden uitgerekend hoe ver de sonar verwijderd is van een object in de zendingsrichting. Vervolgens kan dit weergegeven worden op verschillende manieren, afhankelijk van de toepassing van de specifieke sonar.

De eerste sonar die zelf een signaal uitzond en luisterde ontstond als gevolg van het zinken van het schip *Titanic* in 1912. [3] Sonar wordt over het algemeen gebruikt voor het detecteren en het vinden van de locatie van objecten onderwater, vaak vissen, en het maken van kaarten en afbeeldingen van de zeebodem. [4] Het doel van de eerste sonars, die na het *Titanic*-incident tot stand kwamen, was om ijsbergen te kunnen detecteren op afstanden van zo'n 3 km. Dit concept is hetzelfde als dat dieren, zoals dolfijnen en walvissen, gebruiken. [3] Er zijn ook dieren op land die van echolocatie gebruikmaken, zoals een aantal vleermuissoorten. [5] Het concept waarop sonar berust, de weerkaatsing van golven, werkt namelijk in alle media, en zo ook in lucht.

In vergelijking met sonar in water, is het concept in lucht nog weinig onderzocht en getest. Daarom heeft dit paper tot doel om voor hobbyisten als leidraad te functioneren en te laten zien wat voor resultaten realistisch zijn om te bereiken met vergelijkbare ontwerpkeuzes.

Dit paper begint omwille van de leesbaarheid met een korte uitleg van gebruikte vaktermen. Vervolgens, om te verzekeren dat de te bouwen sonar zo geschikt mogelijk is voor zijn doeleinden, worden er een aantal eisen gesteld waaraan het ontwerp moet voldoen. Aan de hand van die eisen worden keuzes gemaakt over welke materialen en componenten gebruikt dienen te worden. Vervolgens wordt het bouwen en testen van de opstelling beschreven. Dan worden de capaciteiten van

de uiteindelijke sonar geëvalueerd en het onderzoek bediscussieerd. Als conclusie wordt benoemd wat de belangrijkste bevindingen zijn geweest bij de ontwikkeling van deze sonar.

2. Achtergrond

Om het hele ontwerp goed te kunnen begrijpen, zullen eerst wat vakspecifieke termen worden geïntroduceerd.

Een *array* is in het simpelste geval een rij met zenders of ontvangers, die elementen worden genoemd. De term array is erg breed, in de zin dat over de specifieke plaatsing van zenders of ontvanger niks aangenomen wordt.

Een *phased array* is een array waarbij de elementen met een tijdsverschil worden aangestuurd. Bij een array van ontvangers worden de signalen dan vertraagd aan de hand van hun positie in de array en daarna opgeteld, maar bij zenden worden de zenders aangestuurd met een vast tijdsverschil tussen elke opeenvolgende zender. In figuur 1 is een voorbeeld van een zendende phased array te zien met 8 elementen.

Een *interferentiepatroon* is het resultaat van golven die overlappen met elkaar en elkaar hierdoor versterken of uitdoven. Op sommige plekken zal de totale amplitude dus vergroot zijn, op anderen verkleind.

Een *bundel patroon* is het patroon dat wordt gevormd door het interferentiepatroon van meerdere zenders, die bijvoorbeeld een phased array vormen.

De *array factor* is een maat voor hoe een bepaalde eigenschap van elementen verandert doordat ze in een array zitten. In de context van dit ontwerp gaat het dan om hoe de amplitude van het bundel patroon verandert onder een bepaalde hoek. Ter verduidelijking wordt er verwezen naar figuur 2. Zoals in dit figuur te zien is, is de amplitude rondom het midden maximaal. Dit gebied wordt de *hoofdlob* genoemd. De andere maxima worden *zijlobben* genoemd.

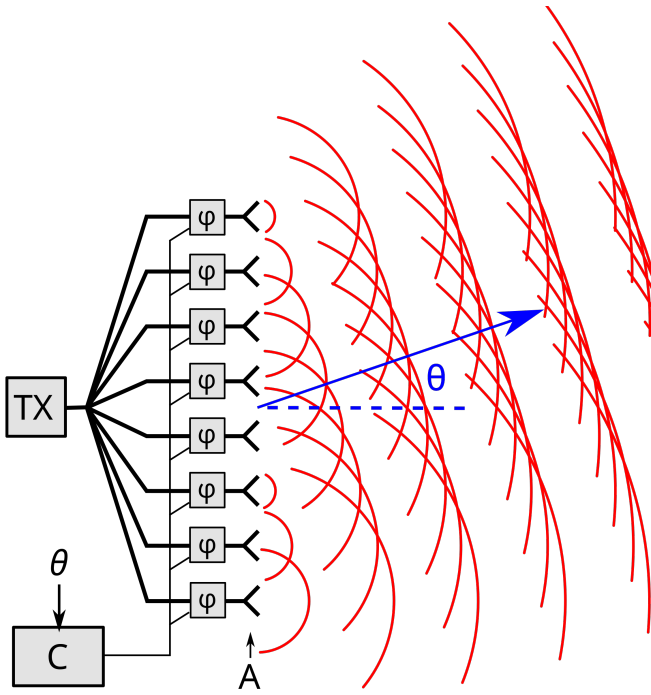


Figure 1: Een schematische afbeelding van een zenderarray met constante afstand en faseverschil van $\frac{\pi}{3}$ tussen zenders.

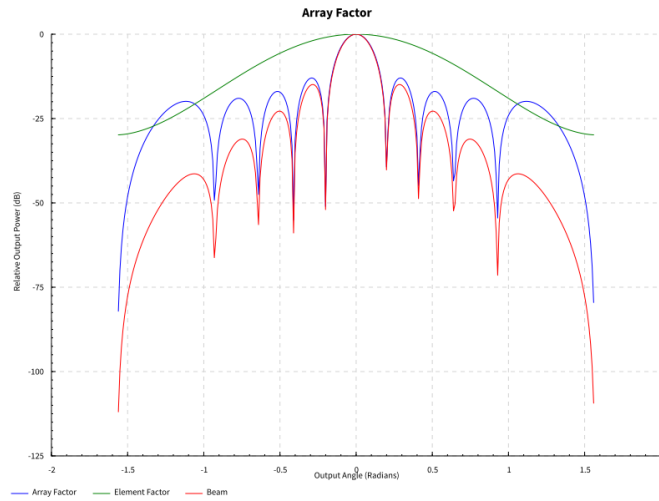


Figure 2: Een simulatie van de array factor van een phased array met 10 zenders, met een afstand van $d = \frac{\lambda}{2}$ tussen elementen. De x-as en y-as duiden respectievelijk de hoek aan in rad en amplitude in dB aan. De blauwe grafiek omschrijft de array factor voor 10 isotrope zenders. De rode grafiek neemt ook de non-isotropie van zenders mee. De groene grafiek beschrijft de array factor van een enkele zender.

Om de array factor uit te drukken als functie van de hoek, is de volgende formule gebruikt: [6]

$$AF(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{in \frac{2\pi d}{\lambda} (\sin \theta - \sin \phi)} \quad (1)$$

Waar:

- N de hoeveelheid zenders is,

- I_n de intensiteit van de n de zender is,
- ϕ de hoek is waar de array op gestuurd is,
- d de afstand tussen elementen is,
- λ de golflengte is.

Let wel: bij deze formule wordt aangenomen dat alle zenders een gelijke afstand uit elkaar staan. Dit is in de context van dit ontwerp een valide aanname, aangezien in het eindontwerp de afstand tussen opeenvolgende zenders ook constant is.

Om de bundel te sturen moeten er faseverschillen tussen elementen worden toegepast. De relatie tussen de hoek van de hoofdbol van de bundel en de faseverschillen is echter non-lineair en wordt omschreven door de volgende formule: [7]

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda} \quad (2)$$

Waar:

- $\Delta\Phi$ het faseverschil tussen elke zender is,
- θ de hoek is waar de array op gestuurd is,
- d de afstand tussen elementen is,
- λ de golflengte is.

3. Methode

Het doel van dit ontwerp is het bewerkstelligen van een zo goed mogelijke sonar. Om tot dit resultaat te komen wordt een ontwerpcyclus toegepast, en daarbinnen nog een aantal specifieke methoden.

3.1. Verkennen

Aangezien dit paper over een ontwerp gaat, is het nodig om richtlijnen op te stellen om vervolgens te kunnen kwantificeren of het ontwerp geslaagd is of niet. Om realistische richtlijnen op te stellen is gebruik gemaakt van literatuur. Hiermee is begrip en kennis opgedaan van sonars. Er is voornamelijk rekening gehouden met projecten die redelijk overeenkomen. [8]

3.2. Ontwerpvoorwaarden

Sonars hebben een aantal specificaties die aan te passen zijn en er zijn veel keuzes die gemaakt moeten in het ontwerp. Om de sonar zo geschikt mogelijk te maken voor het kijken zonder licht, moet eerst benoemd worden waar deze aan moet voldoen om geslaagd te zijn. De specificaties, ook wel ontwerpvoorwaarden, die hiertoe benoemd zijn, zijn de volgende:

- Er moet een fysiek product zijn.
- Het moet fysiek en financieel haalbaar zijn dit product te maken.
- Er kan een tweedimensionale afbeelding in de vorm van een cirkeldeel van het 'bekeken' gebied gegenereerd worden.
- De afbeelding heeft een FOV van 80° .
- De straal van het cirkeldeel is minimaal instelbaar tussen de 30 cm en 3 m.
- Het ontwerp is in staat 1 fps te genereren.

- Het ontwerp is in staat tot het maken van 30 metingen per frame.

3.2.1 Afhankelijkheid

Deze ontwerpvoorwaarden zijn afhankelijk van elkaar, wat inhoudt dat de sonar niet tegelijkertijd in staat hoeft te zijn 1 fps te genereren en 30 metingen per frame te doen. Hij moet enkel in staat zijn aan al deze voorwaarden individueel te voldoen, met hetzelfde fysieke product.

De reden hiervoor is dat het voordelig is om een sonar te hebben die zich door middel van software aan kan passen aan de specifieke benodigheden van de situatie. Hiermee zit je niet vast aan een sonar die alles een beetje kan, en voor specifieke situaties misschien opnieuw ontworpen moet worden, wat heel tijdrovend is. De verantwoording voor, en uitleg van, de voorwaarden is als volgt:

Er moet een fysiek product zijn. Het doel van dit ontwerp is een fysieke sonar met digitale aansturing, en geen simulatie of soortgelijk.

Het moet fysiek en financieel haalbaar zijn dit product te maken. Fysieke haalbaarheid houdt in dit geval in dat het mogelijk moet zijn voor hobbyisten om zonder gespecialiseerd materiaal een soortgelijk ontwerp uit te voeren. Het gebruiken van bijvoorbeeld een schroevendraaier of computer is dus wel fysiek haalbaar. Het gebruik van bijvoorbeeld een draaibank om gespecialiseerde onderdelen te maken voor de sonar is dus niet fysiek haalbaar.

Financiële haalbaarheid houdt in dit geval in dat de uitgaven geminimaliseerd worden waarbij er nog steeds gekeken wordt naar prijs-kwaliteit verhouding van gekochte componenten.

De afbeelding heeft een FOV van 80 graden Er is als doelstelling gekozen voor een totale FOV van 80 graden. FOV staat voor *Field Of View*, oftewel de gezichtshoek. Dit betekent dat vanaf de standaardrichting van de bundel naar beide kanten 40 graden gedraaid kan worden. Als deze hoek veel groter wordt, worden er meer en grotere zijlobben gevormd. [8] Dit zorgt voor meer ruis en verstoringen in de metingen, die in het geheel minder precies worden. Hier kan rekening mee gehouden worden in software, maar dat is complex en zou betekenen dat het berekenen van het beeld in alle gevallen trager gaat, ook als de meting verricht wordt binnen het bereik van -40 tot +40 graden. Om deze extra complexiteit te voorkomen, en omdat de sonar ook fysiek gedraaid kan worden, is gekozen voor een totale FOV van 80 graden. Dit is namelijk wel voldoende om bij stilstand een goed idee te krijgen van de posities van objecten in een deel van de ruimte.

De straal van het cirkeldeel is minimaal instelbaar tussen de 30 centimeter en 3 meter Een sonar kan niet oneindig ver weg kijken. Dit komt omdat het uitgezonden signaal verzwakt, en bij het weerkaatsen nog verder uiteenvalt. Dit gebeurt volgens het volgende verband: $I \propto r^{-2}$ Hierin is I de intensiteit

in Wm^{-2} en r de afstand tot de bron in m . Microfoons meten echter de geluidsdruk, ook wel de *Sound Pressure Level*, of SPL. Hiervoor geldt dat $p \propto r$, waar p de geluidsdruk is in Pa . [9] Om wel een aanzienlijke ruimte te kunnen scannen, is daarom gekozen voor een maximale straal van minimaal 3 meter. Dit zorgt ervoor dat de sonar in het midden van een kamer met gemiddelde Europese afmetingen bijna alles kan scannen in zijn FOV. [10]

Het ontwerp is in staat 1 fps te genereren. Bij het visualiseren van objecten in de ruimte zijn er twee dingen die het meest bijdragen aan een goed beeld. Dit zijn resolutie en verversingssnelheid van het beeld. [11] De verversingssnelheid van het beeld wordt gemeten in het aantal beeldjes dat per seconden getoond wordt. Dit getal wordt over het algemeen de fps genoemd, wat staat voor *Frames Per Second*, met de eenheid Hertz (Hz). Een hogere fps betekent dat bewegingen vloeierder te zien zijn. Moderne beeldschermen hebben vaak 60 fps of meer om beweging goed te laten zien. [12] Het meten en visualiseren van beeldjes is helaas redelijk zwaar voor de computer en kost veel tijd. Bij minder dan 5 fps gaat video er uitzien als individuele beelden, en bij minder dan 1 fps zal het moeilijk zijn om lopende mensen meerdere frames in beeld te zien. [11] [13] Om de beweging in een ruimte goed te kunnen weergeven wordt dus een minimum gesteld van 1 fps.

Het ontwerp is in staat tot het maken van 30 metingen per frame. Zoals genoemd in subsectie 3.2.1 over fps is de resolutie van het beeld belangrijk voor diens kwaliteit. [11] Des te meer metingen er in een frame verwerkt worden, des te beter de resolutie van de uiteindelijke afbeelding. Zo zijn kleinere details in objecten te zien. Het duurt echter ook langer om meer metingen te maken, aangezien er gewacht moet worden op de weerkaatsing van het uitgezonden geluid. Er is gekozen voor 30 metingen per frame. Op die manier is er op 3 meter afstand binnen de FOV van 80° elke $\pi \frac{80^\circ}{180^\circ} \frac{3m}{30} \approx 14cm$ een meting. Dit betekent dat objecten die vanuit de sonar gezien tenminste 14cm breed zijn sowieso op het beeld te zien zijn, en kleinere objecten een kans hebben om gezien te worden. Dit is voldoende resolutie om de indeling van een ruimte goed in te schatten.

3.3. Tussentijdse testen

Het is belangrijk om individuele componenten van het ontwerp te testen in tussentijdse testen. Dit vergemakkelijkt het proces van eventuele fouten spotten en traceren. Dat is veel eenvoudiger dan direct het eindontwerp bouwen aan de hand van de gebruikte en potentieel onvolledige theorie, en dan nog tekortkomingen te moeten verhelpen.

3.4. Ontwerpvoorwaarden toetsen

Om te bepalen of het ontwerp succesvol is uitgevoerd, is er een bevestiging nodig dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen. Hierom moeten de ontwerpvoorwaarden getoetst worden. Dit kan gedaan worden in vergelijkbare testen als de tussentijdse testen.

Voor beide fasen van testen zijn er tenminste de volgende tech-

nieken gebruikt:

3.4.1 Simuleren

Om te testen of een component van, of de sonar in zijn geheel, werkt zoals bedoeld is het eerst nodig om te visualiseren hoe goede resultaten bij deze test er uitzien. Hierom is het wenselijk om de te bouwen of gebouwde sonar te simuleren. Zo kunnen resultaten van (delen van) de sonar vergeleken worden met hoe ze er theoretisch uit zouden moeten zien, en eventuele afwijkingen aangepakt worden. Deze simulatie wordt geschreven in Haskell en Python vanwege hun gebruiksgemak.

3.4.2 Signaalanalyse

Om de resultaten van (delen van) de sonar te visualiseren op eenzelfde en overzichtelijke manier als dat de simulatie dat doet, moet het signaal dat de sonar uitzendt gemeten en geanalyseerd worden. Dit wordt gedaan met de Analog Discovery 2, een apparaat van Dilligent, en het softwareprogramma Waveforms, ook van Dilligent. Waveforms functioneert als een digitale oscilloscoop die gemakkelijk te gebruiken en uit te lezen is op een computer. Waveforms contacteert de Analog Discovery 2 via een aansluiting op de computer en leest vervolgens de gemeten geluidsgolven van diens microfoon uit. Dit resulteert in een grafiek die vergeleken kan worden met de het resultaat van de simulatie.

Wanneer deze relevant zijn zullen de simulaties en signaalanalyse verder verduidelijkt worden.

4. Specificatie

4.1. Actief of passief

Uit de in 3.2 benoemde voorwaarden blijkt eigenlijk direct dat er een actieve sonar nodig is. In tegenstelling tot een passieve sonar die alleen luistert naar geluid uit de omgeving stuurt een actieve sonar zelf een signaal en luistert naar het object om met de reflectie een beeld te vormen van de omgeving. Dit zorgt voor de mogelijkheid een afbeelding te maken in welke omstandigheden dan ook, in tegenstelling tot een passieve sonar die moet wachten op omgevingsgeluid. Dit is een techniek die handig is om objecten te detecteren die van zichzelf geluid maken, zoals schepen, maar voor de toepassing van de sonar in dit paper is dit niet wenselijk. [14]

4.2. Frequentie

Een van de belangrijkste variabelen is frequentie. Een toon boven 20 kHz zorgt dat deze niet hoorbaar is voor mensen en niet stoort in het dagelijks leven. [2] Het blijkt dat zenders en ontvangers van 40 kHz het makkelijkst en goedkoopst te verkrijgen zijn, dus gebruiken we die. Helaas betekent dit wel dat we niet over zulke lange afstanden kunnen meten als mogelijk was geweest bij een lagere frequentie, omdat korte golven minder ver gedragen worden door media zoals lucht dan lange. [15]

4.3. Phased array

Verder wordt uit de eerder gestelde voorwaarden duidelijk dat we moeten kunnen 'rondkijken'. Om een beeld te maken met een FOV van 40 graden zijn namelijk meerdere metingen nodig

die de afstand tussen de sonar en het object in die richting bepalen om een gehele afbeelding te maken. Dit kan door het signaal dat de sonar uitzendt te draaien. Men kan hiertoe de gehele sonar draaien, of gebruik maken van een phased array waar de sonar op dezelfde plek blijft en de computer het bundel patroon aanstuurt en zo de richting van het zenden verandert. Ook zorgt een phased array ervoor dat een meting directer kan worden gericht op een punt vanwege de extra controle over de bundelvorming. Hiermee wordt de benodigdheid voor het exact fysiek meten van de draaiing van de array voorkomen. Aan deze phased array moeten vervolgens nog een aantal dingen gespecificeerd worden.

4.3.1 Dimensie

Ten eerste de dimensie; hierbij kan gekozen worden tussen een lineair, vlak of bolvormig ontwerp. Een lineaire array heeft alle elementen op een lijn. Hierdoor wordt de bundel verticaal of horizontaal stuurbaar afhankelijk van de oriëntatie. Een vlak heeft de zenders in twee dimensies. Het voordeel van een vlak is dat het zowel horizontale als verticale sturing heeft, en hierdoor dus een 3d-beeld kan genereren. Het nadeel is echter dat het kwadratisch meer zenders/ontvanger nodig heeft, en ook fysiek groter wordt en mogelijk meer besturingsapparatuur nodig heeft. Een bolvormig design is in essentie ook een vlak, maar dan verspreid over een bolvorm. Het voordeel hiervan is dat er een beeld volledig rondom de phased array kan worden gegenereerd (het heeft dus een bredere kijkhoek), maar het geeft niet inherent meer informatie over het gescande stuk.

Hierin wordt gekozen voor een lineair ontwerp omdat er alleen een tweedimensionale afbeelding gegenereerd hoeft te worden. Dit scheelt vervolgens in kosten vanwege de kleinere hoeveelheid nodige zenders en besturingsapparatuur.

4.3.2 Dynamisch of vast

Nog een keuze is of de faseverschillen vast staan of niet. Als deze vaststaan, wordt het ontwerp vast genoemd en wordt de straal mechanisch gestuurd. Als de fases veranderd worden om de straal elektronisch te sturen, dan wordt het ontwerp dynamisch genoemd. Het voordeel van een dynamisch ontwerp is het gebrek aan fysieke beweging. Zo hoeft niet te worden nagedacht over slijtage, motorprecisie, kabelflexibiliteit en andere mechanische obstakels. Het nadeel hiervan is dat het besturingssysteem geavanceerder moet zijn, en het meerdere zenders/ontvangers met verschillende fases moet kunnen aansturen.

Een van de voornaamste redenen voor het kiezen van een phased array is om fysieke beweging van de sonar te voorkomen. Daarom wordt gekozen voor een dynamisch ontwerp.

4.3.3 Ontvangen of zenden

Een phased array kan zowel gebruikt worden om te ontvangen als om te zenden. Bij het zenden met een phased array wordt de hoek van de straal steeds aangepast om zo stap voor stap de ruimte af te gaan. Bij ontvangen wordt er één puls alle kanten opgestuurd, en worden de invalshoeken van de reflecties berekend door te kijken naar de faseverschillen van de verschillende

microfoons.

Het voordeel van het gebruiken van een phased array voor het zenden is dat er maar één microfoon nodig is en de meting heel specifiek gericht kan worden. Bij een ontvanger-array is een besturingssysteem met genoeg input-poorten en gepaste analysesoftware voor het herleiden van de positie van de weerkaatsingen nodig. Het grootste voordeel is dat er maar een enkele puls hoeft te worden uitgezonden, en er dus in totaal minder lang gewacht hoeft te worden op het terugkeren van het geluid naar de sonar, wat de beeldverversing versnelt.

In dit geval is een zender array passender. Dit komt doordat de signaalanalyse significant minder complex is bij een zender array en dus minder rekentijd zal vereisen. Ook zijn problemen in de signaalanalyse makkelijker op te lossen bij een zender array. Een tragere beeldverversing is geen heel groot probleem bij een doel van 1 fps omdat dit doel niet moeilijk te behalen is, zelfs met meerdere metingen per frame.

4.3.4 Aantal zenders

Het aantal zenders in de array heeft een aantal invloeden op de kwaliteit van de sonar. Des te meer zenders, des te meer vermogen er in totaal uit de array komt en ook weer opgevangen kan worden. Zo is er dus bij een groter aantal zenders met hetzelfde vermogen een minder gevoelige ontvanger nodig. Ook kan er met meer zenders een meer gerichte bundel gevormd worden, met een bundel patroon met een grotere hoofdlob en kleinere zijlobben. Wel zorgen meer zenders voor een langere afstand die de bundel moet afleggen voordat het bundel patroon zich volledig heeft ontwikkeld vanwege de wijze waarop golven interfereren. Dit gebeurt volgens de volgende formule:

$$A = \sum_{n=0}^{N-1} \sin(2\pi \sqrt{d^2 + (\frac{Ns}{2} - sn)^2}) \quad (3)$$

waar

- A de amplitude in zendervermogens is,
- N het aantal zenders is,
- s de afstand tussen zenders in golflengten (λ) is,
- d de afstand tussen de array en het gemeten punt is,

Uiteindelijk is er besloten om een phased array van 10 zenders te maken. Deze beslissing is voortgekomen uit de afweging tussen de prijs van het toevoegen van een zender en de extra bundelkwaliteit die elke toegevoegde zender zou bijdragen.

4.3.5 Afstand tussen zenders

De afstand tussen de zenders heeft ook grote invloed op de sonar. Bij verschillende afstanden zal de uiteindelijke bundel er anders uit komen te zien. Uit literatuur [8] blijkt dat een afstand van $d = \frac{\lambda}{2}$ optimaal is. In het geval dat dit echter niet mogelijk bleek vanwege de grootte van de zenders, is de beste oplossing om de zenders zo dicht mogelijk op elkaar te zetten. [8]

4.4. Componenten

Nu de specificaties van de benodigde componenten bekend zijn, worden deze uitgekozen. Er is voor de volgende componenten gekozen:

4.4.1 Zenders en ontvanger

Er is gekozen voor Waitrony's T40-16 zenders. De zenders zijn cilindervormig, met een diameter van 10 mm. Er is gekozen voor een bijbehorende R40-16 ontvanger van Waitrony met een diameter van 16 mm. De zenders hebben een centrumfrequentie van 40.0 kHz en kunnen minimaal $d = 1 \text{ cm} = 1.17\lambda$ uit elkaar staan.

4.4.2 Microcontroller

Het belangrijkste doel van de microcontroller is het vormen van een efficiënt en makkelijk bruikbaar medium om de sonar aan te sturen en uit te lezen. Eerst is er gekozen voor een Arduino Nano omdat deze toegankelijk is qua programmeren en al in bezit was, en omdat de exacte specificaties en capaciteiten van de microcontroller niet heel belangrijk gedacht waren. Helaas bleek deze al snel inefficiënt in de context van dit ontwerp. De redenen hiervoor worden toegelicht in 5.4. Om deze redenen is er overgestapt naar een Raspberry Pi Pico. De voordelen daarvan worden ook benoemd in 5.4.

4.4.3 Versterker

Later in het ontwerpproces is een versterker nodig gebleken. Er is een elektrotechnicus ingeschakeld om deze te bouwen, omdat er geen goede kant-en-klare versterkers waren voor deze doeleinden. Deze doeleinden zijn de instelbaarheid van de versterking tussen de 10 en 100 keer, en goed rond 40 kHz te kunnen versterken. Dit heeft de elektrotechnicus succesvol gerealiseerd.

5. Realisatie

5.1. Het testen van de onderdelen

Als eerst zijn de individuele onderdelen getest. Hiervoor is een testopstelling gebruikt, om de ontvangers en zender tegelijkertijd te testen. Hiervoor is een Arduino Nano, die geprogrammeerd was om een signaal van 40 kHz te genereren, aangesloten op één van de zenders. Vervolgens is deze verbonden met de computer voor voeding.

De meetopstelling was ietwat ingewikkelder. Hiervoor is gebruik gemaakt van een Analog Discovery 2, samen met de Waveforms. Deze heeft geholpen met het opnemen en analyseren van de gemeten signalen. Ter verduidelijking wordt verwezen naar figuur 3. De zwarte, witte en rode draad die hier onder uitsteken, zijn verbonden aan aarde, 1+ en V+ (5 V) van een Analog Discovery 2, respectievelijk. Verder is uitgang 1- van de AD2 ook verbonden aan aarde. Hier is een *bias* toegevoegd, zodat de verandering in capaciteit van de ontvanger goed meetbaar wordt [16]. Dit is belangrijk, aangezien de capaciteit uiteindelijk gemeten wordt door de computer.

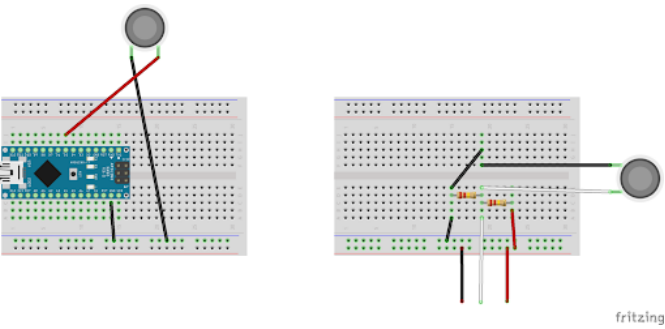


Figure 3: Testopstelling

5.2. Bouwproces

Na het testen van de zenders zijn deze op een perfbord gesoldeerd en is er één draad aan alle minpolen gesoldeerd. Hierna zijn de zenders individueel verbonden aan de Raspberry Pi Pico's digitale poorten met jumperdraden. Vervolgens zijn alle zenders nogmaals getest, om er zeker van te zijn dat de piëzo-elektroden niet hun lading hadden verloren door de temperatuur. Ook zijn er twee 200 Ω weerstanden direct van aarde naar de +5V geplaatst, zodat het stroomverbruik van de Arduino hoog genoeg was om de powerbank waaraan deze gekoppeld zat aan te houden.

5.3. Array factor testen

Voordat er verder gebouwd werd, is de phased array getest om te kijken of de gevormde bundel de verwachte array factor goed representeerde. Dit is gedaan door de phased array te monteren aan een scharnierend balkje, om zo de hoek te kunnen variëren. Aan het uiteinde van het balkje was een motor met een wiel gemonteerd, opdat de hoek zo gelijkmatig en automatisch kon worden veranderd. Vervolgens was de opstelling met de ontvanger op een afstand van 1.5 m geplaatst. Hierna is er met de Waveforms software een meting van 30 s gemaakt met een samplefrequentie van 500 Hz, terwijl de phased array fysiek werd gedraaid van -45 naar 45 graden. De resultaten van deze metingen zijn te zien in figuur 4.

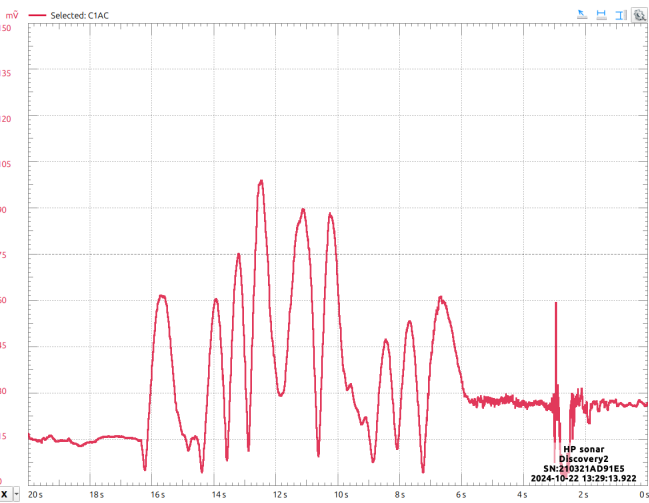


Figure 4: Het resultaat van de metingen, die moet lijken op de array factor.

Zoals te zien is in figuur 4, komen deze metingen helemaal niet

overeen met de verwachtingen van het bundel patroon vanuit de theorie. Dit bleek te komen doordat er schijnbaar willekeurige faseverschillen tussen zenders aanwezig waren. Dit faseverschil is per zender gemeten door een kanaal van de AD2 te koppelen aan de output van de Raspberry Pi Pico en door met een direct voor de zender geplaatste ontvanger te meten met het andere kanaal van de AD2 en vervolgens het faseverschil hiertussen te meten. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 1.

Zender	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faseverschil	140	120	50	30	43	50	26	122	120	60

Table 1: Faseverschillen van de zenders in graden

De oorzaak van deze schijnbaar willekeurige faseverschillen bespreken we in de discussie. De oplossing hiervoor was om softwarematig te compenseren voor de faseverschillen, opdat ze weg konden worden gekalibreerd. In de praktijk traden er wat problemen op, die uiteindelijk veroorzaakt bleken te zijn doordat de functie die gebruikt werd om de faseverschillen te meten enkel werkte voor sinusgolven en dus niet voor blokgolven. Na de faseverschillen met de hand weg te hebben gekalibreerd, was het gewenste resultaat behaald, zoals te zien is in figuur 5. De bundel was te sturen zoals verwacht, door de faseverschillen tussen zender aan te passen volgens formule 2.

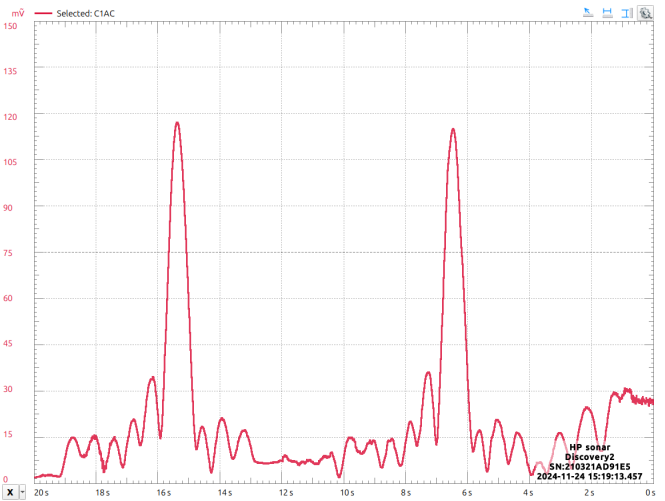


Figure 5: Het resultaat van de metingen, die lijken op de array factor.

5.4. Versterker en geen Arduino

Met de bundelvorming eenmaal goed werkend, is er een ontvangopstelling gemaakt. Deze bevatte eerst een Arduino, maar deze is later vervangen door de Raspberry Pi Pico die al gebruikt werd voor het zenden, omdat er geen twee onafhankelijke microcontrollers nodig bleken te zijn. Deze aanname was eerst gemaakt omdat er elektrische lek verwacht werd tussen het signaal dat werd gegenereerd en de ontvanger, maar dit fenomeen bleek niet op te treden, aangezien er in het uiteindelijke ontwerp niet tegelijkertijd gezonden en ontvangen werd. Doordat de Raspberry Pi Pico echter maar 8 PWM-kanalen had, is besloten om maar 8 zenders te gebruiken in het eindontwerp, in plaats van 10.

Hiernaast is er de eerder omschreven versterker toegevoegd, omdat het ontvangen signaal zonder versterker te zwak bleek

te zijn om goed te analyseren. Deze versterker is getest door de phased array en de ontvanger beide dezelfde kant op te richten, en vervolgens een reflectief object op een bepaalde afstand te houden. Hierna wordt gekeken hoe lang het duurt voor het signaal om terug te kaatsen. Zonder versterker konden accurate metingen verkregen worden tot 1 m. Met versterker werd dit tot 4 m vergroot. Hierdoor is gebleken dat de versterker correct werkte.

5.5. Software

De software aan de computerkant is geschreven in Python met PyQtGraph, gekozen wegens de snelle ontwerpcyclus en het gebruiksgemak. Software voor de Raspberry Pi Pico is geschreven in de Arduino in omgeving met behulp van Arduino-Pico (een superset van C++), voor de bindings naar de SDK en makkelijke, high-level toegang tot anderzijds low-level functies, die beiden het gebruiksgemak verhogen. De controle ligt bij de computer, die via de seriële poort twee bytes stuurt die het faseverschil tussen de elementen bepalen. De Pico wacht totdat de bytes binnenkomen, en begint daarna met meten. Dit gebeurt als volgt: de Pico maakt 24 metingen achter elkaar, die tijdelijk opgeslagen worden in een buffer en daarna in één keer verzonden worden over de seriële poort. Dit is om de overhead van het schrijven naar de seriële poort te minimaliseren en om een goed beeld te krijgen van de amplitude van de golf: elke meting van de ADC zit ongeveer $2\mu\text{s}$ uit elkaar en een trillingstijd is $25\mu\text{s}$, dus er zijn genoeg metingen om er vanuit te kunnen gaan dat er één daarvan dichtbij de maximale amplitude van het signaal zit. Hij stopt wanneer de (softwarematig) ingestelde time-out bereikt is.

Een schematische tekening van het uiteindelijke ontwerp is in figuur 6 te vinden. De geschreven software is te vinden in de appendix. Alle software geschreven voor dit project is te vinden op github.com/0-4849/hp-sonar.

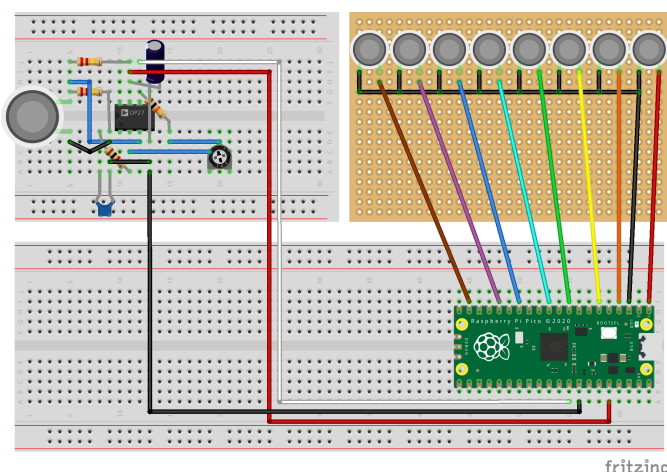


Figure 6: Een schematische tekening van de uiteindelijke sonar.

6. Evaluatie

De sonar en bijbehorend ontwerpproces zullen geëvalueerd worden aan de hand van eerder gestelde criteria.

6.1. Generatie afbeelding

De sonar en bijbehorende software zijn in staat om een tweedimensionale cirkelboogvormige afbeelding te genereren, zoals gespecificeerd in hoofdstuk 3. In figuur 7 zijn afbeeldingen te zien, met links een foto van de sonar met daarvoor een persoon, en rechts de scan die de sonar heeft gemaakt.

6.2. Hoek van 80 graden

Iets wat niet werkt zoals gewenst, is dat de sonar feilloos het gebied tussen de -40 en $+40$ graden kon scannen. Het is wel mogelijk om de hoek hierop in te stellen, maar dit veroorzaakt enkele artefacten. Zoals te zien is in figuur 8, zijn er twee maxima, aangegeven met de nummers 1 en 2. Deze twee maxima zijn echter niet veroorzaakt door verschillende objecten, maar door één en dezelfde. Dit komt doordat de afstand tussen elementen in de array zo groot is dat er meerdere hoofdlobben gevormd worden. De reden waarom dit gebeurt en een uitleg hiervan zullen in de discussie worden gegeven.

6.3. Instelbaarheid straal

Hoewel in te stellen is tot hoe ver de sonar meet door softwarematig de time-out te veranderen voor tot hoelang er signaal ontvangen wordt, is gebleken dat hiervoor niet erg veel nut is. De sonar kan namelijk tot 3 m meten, terwijl hij nog steeds aan alle andere criteria voldoet. Bovendien kan er niet meer data verzameld worden als deze time-out korter wordt ingesteld, aangezien de frequentie van de ADC en de snelheid van de seriële poort de beperkende factoren zijn. Voor langere time-outs is de snelheid van het geluid de beperkende factor.

6.4. Aantal metingen per beeld en beelden per seconde

De sonar doet er in totaal ongeveer 20 ms over om één keer te meten tot 3 m afstand. Hierom ligt de theoretische maximum meetsnelheid bij 50 Hz. In de werkelijkheid ligt deze snelheid echter dichterbij 30 Hz. De oorzaak hiervan wordt besproken in de discussie. Dit betekent wel dat de criteria wat betreft metingen per beeld en beelden per seconde beide behaald zijn.

7. Discussie

7.1. Reflectie ontwerpfasen

De signalerings- en verkenningfasen gingen vrij soepel. Tijdens de ontwerpfase had meer gebruikt kunnen worden gemaakt van al bestaande literatuur en andere bronnen om zo achteraf gezien onnodig werk te voorkomen, voornamelijk met betrekking tot formules over de close- en far-field radiation patterns en bundelbreedte.

7.2. Praktische realisatie

Tijdens de praktische realisatie is er veel tijd besteed aan het oplossen van het probleem betreffend de onopgemerkte faseverschillen, hoewel achteraf gezien de oplossing simpel was. Mochten anderen een soortgelijk ontwerp maken, dan raden wij aan rekening te houden met de mogelijk variatie in exacte resonantiefrequentie van de zenders, die de oorzaak van dit probleem vormt.

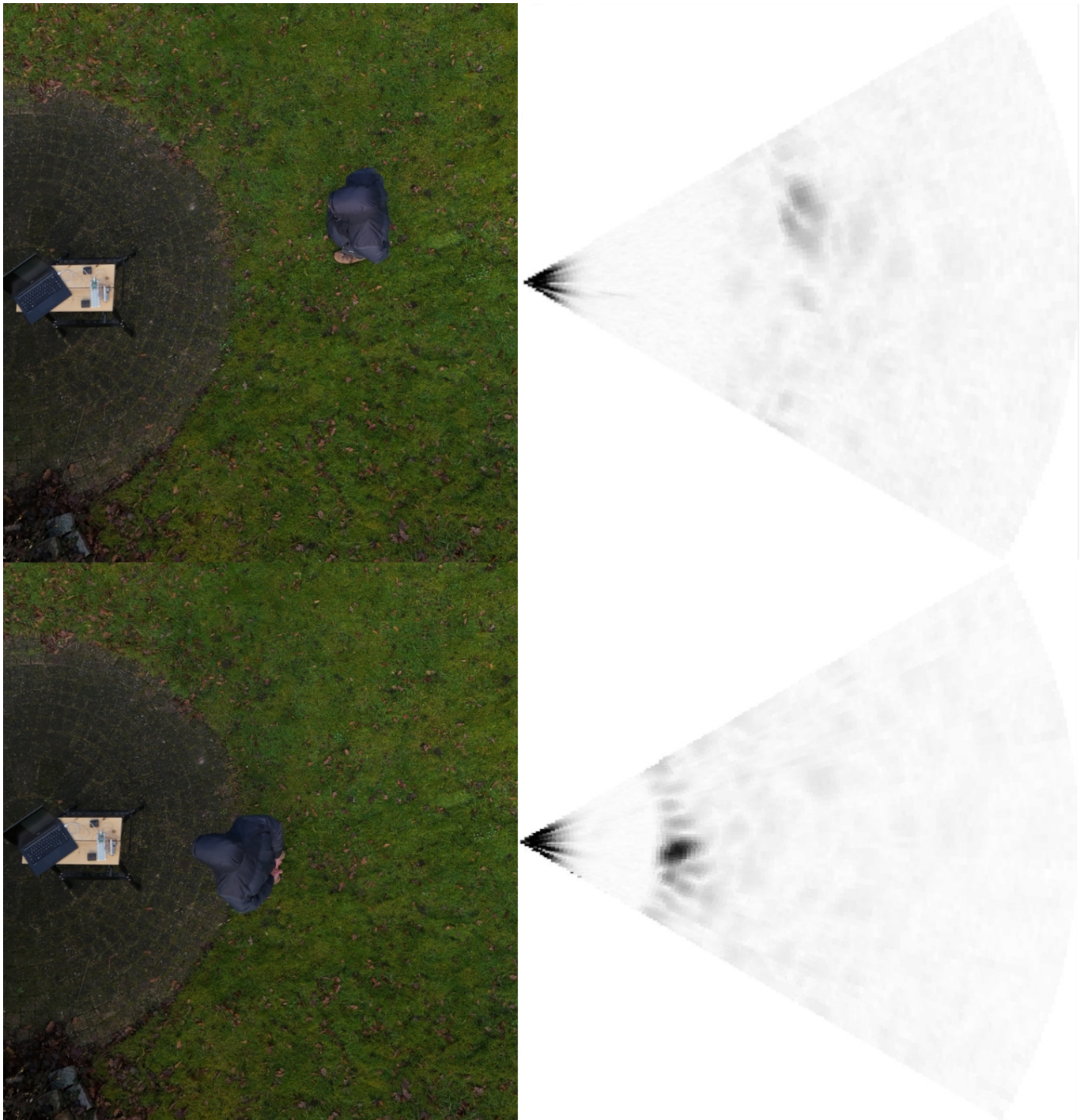


Figure 7: In de linkerhelft zijn twee foto's van bovenaf te zien, waarop links de opstelling tafeltje te zien is, en in het midden een persoon. In de rechterhelft staan de bijbehorende scans. Hier duiden donkere plekken een object aan.

7.3. Verbeterpunten

Ondanks dat het eindproduct redelijk voldoet aan de gestelde eisen, zijn er zeker nog wat verbeteringen die gemaakt zouden kunnen worden, die hieronder omschreven worden.

7.3.1 Afstand zenders

Momenteel is de afstand tussen zenders $d = 1 \text{ cm} = 1.17\lambda$. Het theoretische optimum ligt bij $d = \frac{\lambda}{2}$, maar door de fysieke afmetingen van de zenders is dit niet mogelijk. We schatten echter in dat door twee rijen van zenders, $\frac{d}{2}$ van elkaar verschoven, onder elkaar te maken, we de effectieve afstand tussen

elementen zouden kunnen halveren. De verticale afstand zou dan naar schatting verwaarloosbaar zijn. Het gevolg van de huidige afstand tussen zenders is dat er meerdere hoofdlobben zijn, zoals te zien is in figuur 9. Deze zitten ongeveer 60 graden uit elkaar. Als de bundel dus 25 graden naar rechts is gestuurd, zullen er ook objecten 35 graden naar links worden gedetecteerd, aangezien het verschil in hoek hiertussen 60 graden is. Dit verklaart dan ook de artefacten in figuur 8.

7.3.2 Software

De ontwikkelde software geeft de binnengekomen data weer op een simpele een-op-een manier: er is geen sprake van digi-

tale processing of anderzijds corrigerende algoritmen. Hoewel dit een beter idee geeft van de data die de sonar binnenkrijgt, zitten er ook nadelen aan. De voornaamste is dat er artefacten ontstaan: op de afstand die een prominent object verwijderd is van de sonar, zijn onder elke hoek pieken te zien in het signaal. Deze resulteren dan ook in een soort cirkelboog van artefacten. Hoewel de signaalsterkte van deze artefacten lager is dan het correct gemeten signaal bij de hoek waar het object zich daadwerkelijk bevindt, maakt het het niet erg makkelijk af te lezen onder welke hoek een object echt staat. Dit alles is echter oplosbaar door voor elke afstand individueel de maximale amplitude te bepalen, en vervolgens bij bijbehorende hoek een markering te maken. De implementatie van dit algoritme heeft momenteel niet de hoogste prioriteit, maar zal in toekomstige versies nog gerealiseerd kunnen worden.

Hiernaast is de software niet geoptimaliseerd voor snelheid. We verwachten dat desbetreffende optimalisatie het aantal metingen per seconde zou kunnen vergroten van 30 naar 50. Momenteel wacht het programma namelijk op inkomende data van de sonar, terwijl de computer verder geen rekenkracht besteedt aan het weergeven van eerder verkregen data.

8. Conclusie

Al met al werkt de sonar grotendeels zoals gehoopt. Er is met succes een fysiek product gemaakt op een fysiek en financieel haalbare wijze. De sonar met bijbehorende opstelling kan een cirkelvormige afbeelding genereren. Deze kan een FOV van 80° hebben, maar bevat dan wel artefacten. Deze afbeelding bevat de gewenste hoeveelheid metingen, met meer dan 1 beeldje per seconde. Hiermee is dit paper gangbaar als leidraad voor hobbyisten met interesse in het bouwen van een eigen sonar. Bovendien bewijst de sonar een geschikte oplossing te zijn voor waarnemen bij situaties zonder licht. Hiervoor zijn diverse praktische toepassingen, met onderwater waarnemen als voornaamste. Wij raden met betrekking tot toekomstig werk aan rekening te houden met de fysieke afmeting van zenders, en te proberen deze wel op een afstand van $d = \frac{1}{2}\lambda$ uit elkaar te zetten. Ook is het belangrijk om te letten op de verschillen in resonantiefrequentie die mogelijk kunnen optreden.

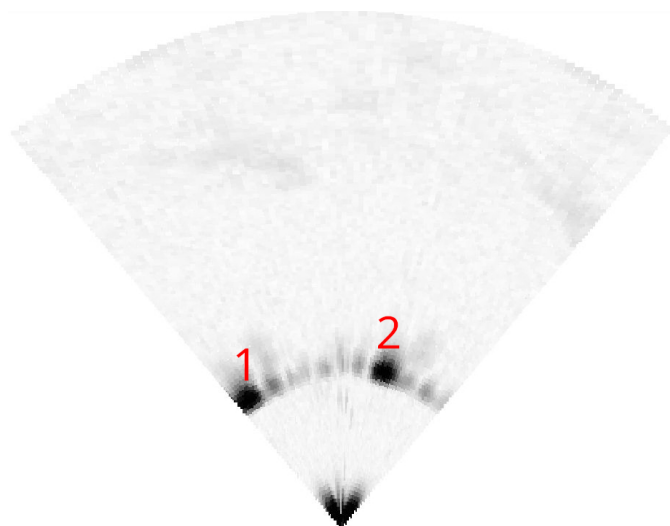


Figure 8: Een scan van de sonar, waarop artefacten te zien zijn.

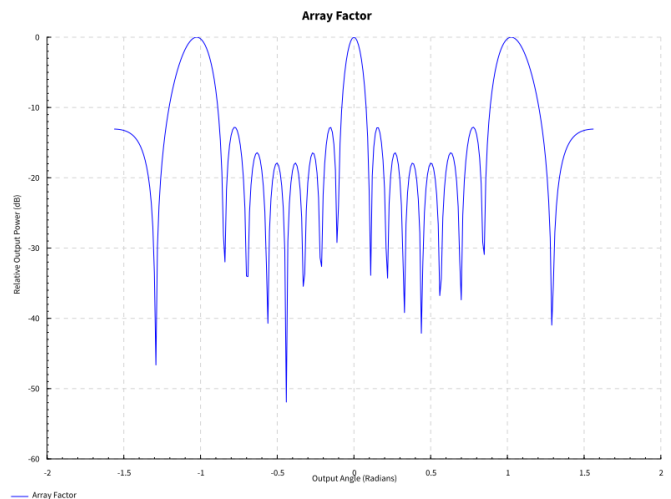


Figure 9: De array factor voor een phased array met 8 elementen, elk $d = 1.17\lambda$ uit elkaar.

References

- [1] United States. Department of the Air Force. *Administrative Practices Glossary of Standardized Terms*. Air Force AFM. U.S. Government Printing Office, 1961. URL: <https://books.google.nl/books?id=WAKoAQAAMAAJ>.
- [2] ir. R.E.A. Bouwens drs. W. Kranendonk ir. J.P. van Lune Drs. C.M. Prop - van den Berg drs. J.A.M.H. van Riswick drs. J.J. Westra. *Binas 7e ed informatieboek*. NL: Noordhoff Uitgevers, 2022. ISBN: 9789001007249. URL: https://openlibrary.org/books/OL49238780M/Binas_7e_ed_informatieboek.
- [3] Roy Edgar Hansen. *Introduction to sonar*. Sept. 2012. URL: https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF-GEO4310/h12/undervisningsmateriale/sonar_introduction_2012_compressed.pdf.
- [4] Haesang Yang et al. "Underwater acoustic research trends with machine learning: Active SONAR applications". In: *Journal of Ocean Engineering and Technology* 34.4 (2020), pp. 277–284.
- [5] RM Brigham et al. "Bat echolocation research: tools, techniques and analysis". In: *Bat Conservation International*. Austin, Texas (2004).
- [6] T.M. Bruintjes et al. "Shaped pattern synthesis for equispaced linear arrays with non-isotropic antennas". In: *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. 2015, pp. 1–5.
- [7] Peter Delos, Bob Broughton, and Jon Kraft. *Phased Array Antenna Patterns—Part 1: Linear Array beam Characteristics and Array Factor*. URL: <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/phased-array-antenna-patterns-part1.html>.

- [8] Alex Toussaint. *How I built an ultrasonic 3d scanner*. Apr. 2021. URL: https://www.alextoussaint.com/2021-04-28_How-I-built-an-ultrasonic-3d-scanner.html.
- [9] R.S. Longhurst. *Geometrical and physical optics*. Orient Blackswan, Jan. 1986.
- [10] Iman Khajehzadeh and Brenda Vale. "Large housing in New Zealand: Are bedroom and room standards still good definitions of New Zealand house size". In: *The 9th Australasian Housing Researchers Conference. The University of Auckland*. 2016, pp. 17–19.
- [11] Gert Hauske, Thomas Stockhammer, and Rolf Hofmaier. "Subjective image quality of low-rate and low-resolution video sequences". In: *Proceedings of the 8th International Workshop on Mobile Multimedia Communications*. Citeseer. 2003, pp. 5–8.
- [12] Rasoul Mohammadi Nasiri, Zhengfang Duanmu, and Zhou Wang. "Temporal Motion Smoothness and the Impact of Frame Rate Variation on Video Quality". In: *2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2018, pp. 1418–1422. DOI: 10.1109/ICIP.2018.8451613.
- [13] Richard W Bohannon and A Williams Andrews. "Normal walking speed: a descriptive meta-analysis". In: *Physiotherapy* 97.3 (2011), pp. 182–189.
- [14] Brian H. Maranda. "Passive Sonar". In: *Handbook of Signal Processing in Acoustics*. Ed. by David Havelock, Sonoko Kuwano, and Michael Vorländer. New York, NY: Springer New York, 2008, pp. 1757–1781. ISBN: 978-0-387-30441-0. DOI: 10.1007/978-0-387-30441-0_97. URL: https://doi.org/10.1007/978-0-387-30441-0_97.
- [15] H. E. Bass, L. C. Sutherland, and A. J. Zuckerwar. "Atmospheric absorption of sound: Update". In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 88.4 (Oct. 1990), pp. 2019–2021. DOI: 10.1121/1.400176. URL: <https://doi.org/10.1121/1.400176>.
- [16] G. M. Sessler and J. E. West. "Self-Biased Condenser Microphone with High Capacitance". In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 34.11 (Nov. 1962), pp. 1787–1788. DOI: 10.1121/1.1909130. URL: <https://doi.org/10.1121/1.1909130>.

Papers Academic track

Het Pre-U Honoursprogramma is een tweejarig programma met twee tracks: Academic en Specialise. In de Academic track hebben leerlingen onder andere gewerkt aan academische vaardigheden, wetenschapsfilosofie en onderzoeksvaardigheden. In tweetallen (en soms drietallen) voerden zij een onderzoek uit om een eigen onderzoeksvraag te beantwoorden. De leerlingen schreven daarover een paper, dat gepeerreviewed is door medestudenten, UT-studenten en docenten van het Honoursprogramma. De ontvangen feedback is verwerkt en het eindresultaat is in deze bundel te lezen.

Het verschil in correlatie tussen Bitcoin en de S&P 500 vergeleken met de correlatie van Ethereum en de S&P 500

D. Atalla ¹, S.R.F.M. Weidgraaf ², S. Langevoort ³, A.A. ten Cate ³, P. Nijland ¹ & G.J. de Wilde ²

¹ Lyceum de Grundel, Hengelo

² Bataafs Lyceum, Hengelo

³ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – How do crypto markets and stock markets respond to each other? What is the difference in how certain cryptocurrencies react to the stock market? In this study, we first investigate the relationship between relatively new cryptocurrencies, represented by Bitcoin and Ethereum, and the stock market, represented by the S&P 500, focusing on volatility and correlation. To achieve this, we use existing studies and employ an algorithm to better understand these relationships. This is essential because we then examine whether there is a difference in how Bitcoin and Ethereum respond to the S&P 500. For this purpose, we use Python code and draw on various academic papers. We will find that both cryptocurrencies have their own response on the price index from the S&P 500. During normal times, Bitcoin has a stronger reaction on the S&P500 than Ethereum. However, Ethereum has a stronger reaction on the S&P 500 than Bitcoin during periods of financial uncertainty.

1. Introductie

Met de komst van cryptomunten zijn de financiële markten erg veranderd. De twee bekendste cryptomunten zijn Bitcoin en Ethereum (Victoria et al., 2021). De S&P 500-index geeft de prestaties van de 500 grootste Amerikaanse bedrijven weer. Het onderzoeken van de correlatie tussen de S&P 500 en cryptocurrency, digitaal betaalmiddelen, zoals Bitcoin en Ethereum is belangrijk om te begrijpen hoe deze nieuwe valuta verschillen van elkaar in hun verhouding tot de traditionelere markten en welke implicaties dit heeft voor onder andere investeerders.

1.1. Motivatie

In deze paper wordt geprobeerd om een verbeterd inzicht te krijgen in hoe cryptomunten van elkaar verschillen wat betreft hun reactie op een prijsschommeling van de traditionelere financiële markten vertegenwoordigd door de S&P 500.

1.2. Doelstellingen

Met een beter begrip van het verschil tussen deze correlaties is het mogelijk om een betere voorspelling te kunnen maken over komende koersschommelingen en kan er een beter begrip worden verkregen over hoe deze verschillende markten nu met elkaar samenhangen. Deze inzichten zouden zowel academische als praktische toevoegingen kunnen bieden. Het zou namelijk kunnen worden gebruikt als basis voor een vervolgonderzoek over andere economische trends, maar zou ook kunnen worden gebruikt als een basis om komende prijsschommelingen te voorspellen in een meer praktische vorm zoals bij investeerders.

2. Theoretisch kader

2.1. Bitcoin

Bitcoin, geïntroduceerd door Satoshi Nakamoto in 2009, is een van de meest onstabiele digitale valuta's op de markt. Het concept achter bitcoin werd voor het eerst beschreven in Nakamoto's whitepaper, waarin de basisprincipes van de tech-

nologie werden uiteengezet (Nakamoto, 2008). Hoewel het idee in 2008 werd gepresenteerd werd Bitcoin pas in januari 2009 officieel gelanceerd via een open-sourceplatform (MW. Wu et al, 2001). Dit betekent dat de technologie openbaar beschikbaar werd gesteld, waardoor ontwikkelaars wereldwijd eraan konden bijdragen. Bitcoin maakt gebruik van een blockchain, een digitaal systeem dat transacties registreert en verifieert zonder de tussenkomst van een centrale autoriteit, zoals een bank of overheid. Deze gedecentraliseerde structuur biedt gebruikers een hoge mate van onafhankelijkheid en transparantie (E. Zaghloul et al, 2020). Echter, dit gebrek aan centrale controle draagt ook bij aan de volatiliteit (prijschommelingen) van Bitcoin (L. Pichl et al, 2017). Waar traditionele valuta's, zoals de euro en de Amerikaanse dollar, worden beheerd door centrale banken die monetair beleid uitvoeren om stabiliteit te waarborgen, is Bitcoin volledig afhankelijk van de dynamiek van vraag en aanbod op de markt. Hierdoor kunnen de prijzen snel en vaak onvoorspelbaar fluctueren.

Ondanks de volatiliteit tonen onderzoeken aan dat de betrouwbaarheid van Bitcoin als financieel instrument is toegenomen. Uit een studie van Kamer-ainur Aivaz et al. blijkt dat Bitcoin steeds meer wordt geaccepteerd als een serieuze valuta met het potentieel om een rol te spelen in grotere financiële markten. De volatiliteit van Bitcoin blijft echter een belangrijk aandachtspunt. Zoals besproken in het onderzoek van Lukáš Pichl kent Bitcoin een gemiddelde dagelijkse groei van 0,3283%, wat aanzienlijk is in vergelijking met traditionele activa (L. Pichl et al, 2017). Bovendien ligt het dagelijkse handelsvolume inmiddels zelden onder de 1 miljoen transacties, wat een teken is van de toenemende populariteit en activiteit binnen het netwerk.

2.2. Ethereum

Ethereum, besproken in een paper door Satpal Kushwaha verschild fundamenteel van Bitcoin (Satpal Kushwaha et al, 2022). Terwijl Bitcoin voornamelijk ontworpen is als een digitale valuta, biedt Ethereum een breder scala aan toepassingen. Dit verschil is grotendeels te danken aan de ondersteuning van smart contracts, zelfuitvoerende programma's die draaien op

de Ethereum-blockchain, een netwerk van gebruikers die gezamenlijk een database van transacties bijhouden.

Deze programma's kunnen overeenkomsten tussen twee partijen volledig autonoom uitvoeren en afdwingen zonder de tussenkomst van een derde partij. Hoewel Bitcoin een beperkte vorm van smart contracts - contract waarbij voorwaarden worden uitgevoerd als code - ondersteunt is, is de functionaliteit ervan minder geavanceerd dan die van Ethereum. Dit zorgt ervoor dat Ethereum qua transactie veiliger in gebruik is dan andere financiële middelen zoals de euro en de dollar, omdat het simpelweg een interactie is tussen twee partijen in plaats van dat er een partij tussen zit zoals een bank. Ook de mogelijkheid van de smart contracts om een overeenkomst af te dwingen kan wantrouwen tussen twee partijen weghalen.

Net als Bitcoin is Ethereum gebaseerd op een whitepaper, in dit geval geschreven door Vitalik Buterin (Vitalik Buterin et al, 2015). Hierin werd een visie gepresenteerd, die verder ging dan alleen digitale valuta met de nadruk op het creëren van een platform, waarop ontwikkelaars applicaties kunnen bouwen die vertrouwen op de betrouwbaarheid van de blockchain-technologie van Ethereum.

Een belangrijk verschil tussen Ethereum en Bitcoin ligt in hun volatiliteit. De waarde van Ethereum kent grotere schommelingen met een gemiddelde volatiliteit van 35% over een maand (Yahoo! Finance). Deze volatiliteit zorgt voor veel onzekerheid. Deze hoge volatiliteit komt voort uit de prijs, vaak gedreven door speculanten die reageren op korte-termijn nieuws en marktbewegingen (Bouri et al, 2017). Het relatief lage handelsvolume van Ethereum in vergelijking met traditionele valuta's, zoals de Amerikaanse dollar of euro, versterkt de prijsschommelingen. Dit betekent dat zelfs kleine veranderingen in vraag en aanbod een grote impact kunnen hebben op de prijs. Bovendien is de cryptomarkt 24/7 open, wat zorgt voor een constante stroom van handel en daarmee een hogere gevoeligheid voor nieuws en markttrends (M. Bez et al, 2019).

2.3. S&P 500

De S&P 500 werd opgericht in 1957 door het financiële bedrijf Standard & Poor's als een uitbreiding van eerdere marktdindexen die slechts 90 bedrijven volgden. In de index zijn de 500 grootste Amerikaanse bedrijven gemeten naar hun marktkapitalisatie/beurswaarde opgenomen.

Een ander belangrijk kenmerk van de S&P 500 is dat het een gewogen index is, wat betekent dat bedrijven met een grotere marktkapitalisatie meer invloed hebben op de prestaties van de index. Dit zorgt ervoor dat grote bedrijven zoals Apple, Microsoft en Amazon een zwaardere weging hebben binnen de index dan kleinere bedrijven.

De oprichting S&P 500 index betekende ook een verschuiving naar een meer dynamische en data-gedreven manier van beleggen. In de loop van de jaren is de index uitgegroeid tot een van de meest invloedrijke maatstaven in de wereld van beleggen en wordt het gezien als een benchmark voor zowel professionele als particuliere beleggers.

De S&P 500 wordt beschouwd als een graadmeter voor de algehele prestaties van de Amerikaanse economie, omdat de

bedrijven die in de index zijn opgenomen een grote invloed hebben op de wereldwijde markten. De waarde van de S&P 500 fluctueert continu, dit wordt beïnvloed door een breed scala aan factoren. Denk hierbij aan bedrijfsspecifieke prestaties, zoals kwartaalwinsten en groeicijfers, maar ook aan bredere economische ontwikkelingen zoals renteveranderingen, inflatie, en wereldwijde geopolitieke gebeurtenissen. Daarnaast speelt het sentiment onder investeerders een cruciale rol: hoe beleggers de toekomst zien heeft vaak een directe impact op de markten. Hierdoor is de S&P 500 niet alleen een weerspiegeling van het huidige economische klimaat, maar ook een indicator van verwachtingen en vertrouwen in de toekomst (J. Schnitzler et al, 2018).

2.4. S&P 500 en cryptomunt statische modellen

Onder de volgende kopjes worden verschillende analysemodellen uitgelegd. Deze modellen worden gebruikt in de onderzoeken die zijn geanalyseerd in het hoofdstuk resultaten. In de onderzoeken die daar zijn geanalyseerd worden veel berekeningen uitgevoerd aan de hand van de analysemodellen. Omdat er veel verschillende modellen bestaan, die elk net iets anders werken en verschillende onderdelen belichten, is het noodzakelijk om te begrijpen wat alle modellen nou precies berekenen om de betrouwbaarheid en de resultaten volgend uit de onderzoeken goed te kunnen begrijpen.

2.4.1 GARCH model

Het GARCH-model stelt dat niet alleen de residuen uit het verleden, maar ook de variantie uit eerdere perioden invloed heeft op de huidige volatiliteit. Hierdoor kan het model langere patronen van volatiliteit analyseren (T. Bollerslev et al, 2006).

De volatiliteit van de S&P 500 kan worden gemodelleerd met het GARCH-modellen om voorspellingen te doen. Ook kan dit model gebruikt worden om de volatiliteit van verschillende koersen met elkaar te vergelijken. Dit model wordt gebruikt in een groot aantal van de onderzoeken, die geanalyseerd zijn onder 'resultaten'.

Het GARCH-model berekent de volatiliteit door te kijken naar hoe sterk de koers in het verleden heeft bewogen en hoe volatiel de markt eerder was. Stel dat gisteren de markt onrustig was, dan is de kans groot dat vandaag ook schommelingen optreden. GARCH houdt hier rekening mee door de huidige volatiliteit te baseren op zowel recente schokken als eerdere volatiliteit. Dit gebeurt met een wiskundige formule die eerdere afwijkingen en trends combineert om een verwachting te maken van hoe volatiel de markt zal zijn in de toekomst. Zo helpt het model bij het voorspellen van risico's en prijsschommelingen.

2.4.2 (TVP-)VAR-model

Om de correlatie tussen verschillende koersen, zoals die van Bitcoin en de S&P 500 te analyseren wordt in een onderzoek door Jochie Nakajima het TVP-VAR-model (Time-Varying Parameter Vector Auto Regressief model) besproken (Jochie Nakajima et al, 2011).

Een VAR-model is een techniek om te begrijpen hoe meerdere tijdreeksen elkaar in de loop van de tijd beïnvloeden.

Het VAR-model helpt te analyseren of veranderingen in de ene koers invloed kan hebben op de andere en vice versa. Het doet dit door te kijken naar de "vertragingen" van beide variabelen, wat betekent dat het rekening houdt met eerdere waarden van beide reeksen om toekomstige veranderingen te voorspellen. Dit model is bijzonder geschikt voor situaties waarin dezelfde externe factoren, bijvoorbeeld de politieke situatie, invloed hebben op de koers van de S&P500, Bitcoin en Ethereum.

Bijvoorbeeld:

- Als de prijs van Bitcoin stijgt, beïnvloedt dat dan de S&P 500 op dezelfde dag, een dag later, of helemaal niet?
- Heeft een plotselinge daling in de S&P 500 op een bepaald moment invloed op de Bitcoin-markt?

2.4.3 Granger-causaliteit

De Granger-causaliteit is een statistische methode, die wordt gebruikt om te testen of de waarden van een bepaalde tijdreeks (bijvoorbeeld de koers van Bitcoin) informatie bevatten, die kan worden gebruikt om de waarden van een andere tijdreeks (bijvoorbeeld de S&P500-index) te voorspellen (A. Seth, 2007, KJ Friston et al, 2014).

Het is belangrijk te begrijpen dat Granger-causaliteit geen echte oorzakelijkheid bewijst, maar eerder aantoonst of twee variabelen van elkaar afhankelijk zijn. Het kijkt namelijk of als koers X stijgt, koers Y dan ook in de nabije toekomst stijgt. Dit kan helpen met het voorspellen van koers Y maar zegt natuurlijk niets over of koers X ook de oorzaak is.

2.4.4 Diebold en Yilmaz Spillover Index

De Diebold en Yilmaz Spillover Index is een statistische methode, die wordt gebruikt om de mate van invloed, het zogeheten spillover, tussen verschillende markten te berekenen (FX Diebold et al, 2012).

Het is gebaseerd op het al eerder besproken VAR model en geeft inzicht in de mate van de variatie in een tijdreeks, dat kan worden toegeschreven aan schokken in andere reeksen.

Als je bijvoorbeeld de Spillover index tussen Bitcoin en de S&P 500 wilt uitrekenen bereken je eerst de VAR van deze twee koersen. Vervolgens berekent de Spillover index aan de hand van de uitkomsten van het VAR-model hoeveel procent van de prijschommeling van Bitcoin wordt verklaard door schokken door de S&P 500.

2.4.5 Machine learning modellen (ANN)

Machine learning modellen zijn algoritmes die computers gebruiken om verschillende variabelen te analyseren, zonder een door een wetenschapper ingevoerde specifieke formule. (Y. Huang et al, 2021, K. Pahwa et al, 2019).

ANN (Artificial Neural Networks) ANN modellen lijken tot op een bepaalde hoogte erg op het menselijk brein. Ze maken gebruik van kunstmatige neuronen die onderling verbonden zijn (RY choi et al, 2020).

Elke neuron ontvangt informatie, verwerkt deze en stuurt het door naar de volgende laag.

Een groot voordeel van ANN is de mogelijkheid om, net als de mens, niet-lineaire relaties te kunnen herkennen. Dit betekent, dat het netwerk verbanden kan vinden in data die voor andere modellen, zoals het GARCH- en VAR-model, lastig te analyseren zijn. ANN-modellen worden bijvoorbeeld gebruikt om te analyseren hoe macro-economische factoren en marktsentiment, de stemming op de markt, gezamenlijk de prijs van een cryptocurrency beïnvloeden.

3. Methode/ Aanpak

Dit onderzoek bestaat uit twee fases. De eerste fase bestaat uit literatuuronderzoek. Tijdens de tweede fase wordt er doormiddel van een Python-code een analyse uitgevoerd.

Vervolgens wordt in de conclusies een conclusie getrokken over fase 1, en een conclusie over het verschil tussen de uitkomsten van fase 1 en 2.

3.1. Fase 1: Voorgaande studies

Voor dit onderzoek is gebruikgemaakt van eerdere studies naar de correlatie tussen Bitcoin en de S&P 500 en Ethereum en de S&P 500. Deze onderzoeken worden uitgebreid geanalyseerd om de invloed van de S&P 500 op de cryptomunten verder in kaart te brengen en eventuele reactiepatronen te identificeren. Om het overzichtelijk te houden zijn er 4 groepen gevormd:

1. De correlatie tussen Bitcoin en S&P 500 tijdens stabiele periodes (5 bronnen)
2. De correlatie tussen Ethereum en S&P 500 tijdens stabiele periodes (4 bronnen)
3. De correlatie tussen Bitcoin en S&P 500 in onstabiele periodes (5 bronnen)
4. De correlatie tussen Ethereum en S&P 500 in onstabiele periodes (5 bronnen)

Er is gekozen bij groep 1, 3 en 4 voor 5 bronnen en bij groep 2 voor 4 bronnen, dit is vanwege de beschikbaarheid van bronnen die voldoen aan de validiteit zoals beschreven bij het kopje 3.2. Er is gekozen voor minimaal 4 bronnen aangezien er dan tot op een zekere hoogte een wetenschappelijk consensus onder de bronnen kan worden bereikt.

Er is een onderscheid gemaakt tussen stabiele en onstabiele periodes vanwege de invloed die economische onzekerheid heeft op de correlatie tussen de S&P 500 en cryptomunten. Doordat de invloed van financiële stress vaak de correlatie op onvoorspelbare manieren beïnvloedt en de cryptomunten hierdoor anders reageren op de S&P 500, is in dit onderzoek een onderscheid gemaakt tussen stabiele en onstabiele periodes. Een periode met economische onzekerheid oftewel financiële stress is vaak het gevolg van ingrijpende gebeurtenissen die onzekerheid en instabiliteit in de financiële markten veroorzaken. Voorbeelden hiervan zijn wereldwijde crises zoals de COVID-19-pandemie, politieke instabiliteit, en/of geopolitieke conflicten zoals een oorlog.

3.2. Fase 1: Validiteit van de bronnen

Elke studie is beoordeeld op basis van specifieke criteria:

Recente publicatie De studie mag niet ouder zijn dan negen jaar, 1 januari 2016. Dit is omdat Bitcoin en Ethereum nog relatief nieuw zijn en er zoveel ontwikkelingen op technologisch gebied zijn, dat eerdere onderzoeken een geringe toevoeging hebben op de hedendaagse situatie.

Wetenschappelijke herkomst om de kwaliteit en betrouwbaarheid van de gebruikte studies te garanderen is het belangrijk, dat onderzoek is uitgevoerd door wetenschappers die verbonden zijn aan gerenommeerde universiteiten of onderzoeksinstituten. Deze voorwaarde zorgt ervoor dat de studies voldoen aan academische standaarden, zoals bijvoorbeeld peer review. Ook worden toonaangevende instituten geprefereerd, deze hebben namelijk doorgaans een grotere impact en worden breder geaccepteerd.

Reproduceerbaarheid Er moeten andere onafhankelijke onderzoeken beschikbaar zijn, die dezelfde resultaten bevestigen. Dit voorkomt eventuele meet/rekenfouten en verkleint de kans op eventuele verkeerde interpretatie van de al voorgaand uitgevoerde onderzoeken.

3.3. Fase 1: Methode bronselectie

Voor het zoeken van bronnen is met name gebruik gemaakt van Google Scholar. Veel gebruikte zoektermen zijn: 'Bitcoin S&P 500 correlation' en 'Ethereum market influence S&P 500'. Ook wordt er gebruikt gemaakt van Yahoo! Finance, een platform met vele koersen van aandelen en cryptomunten, voor onder andere markt koersen. Deze koersen zijn niet alleen belangrijk voor het gebruik in de Python-code, maar zorgen er ook voor dat eventuele aannames in de voorgaande onderzoeken wat betreft de koersvorming kunnen worden gecontroleerd.

3.4. Fase 2: Python

Met gebruik van een Python-code wordt er gekeken of er tot dezelfde conclusies kan worden gekomen als de conclusies uit het voorgaande literatuuronderzoek. Het was de bedoeling om in de Python-code de GARCH-modellen en de VAR-modellen toe te voegen. Echter, er is vanwege de complexiteit ervoor gekozen om in de Python-code een versimpelde variant van de al eerder uitgelegde statische modellen te maken. Er is besloten om de code meer te gebruiken als een visualisatie van de prijschommelingen van bijvoorbeeld Bitcoin en de S&P 500 vergeleken met elkaar. De GARCH- en VAR-modellen hadden een grote toevoeging kunnen hebben op de Python-code. Deze modellen hadden kunnen worden gebruikt om de afhankelijkheid van de S&P 500 en bijvoorbeeld Bitcoin te berekenen. Dit had de betrouwbaarheid van de Python-code kunnen verbeteren, omdat er dan uit kan worden gegaan van harde cijfers in plaats van een grafiek met blauwe punten. In de onderzochte literaire bronnen uit fase 1 wordt de modellen ook vaak toegepast. Deze onderzoeken krijgen daar goede resultaten uit, waardoor ze relatief makkelijk een conclusie kunnen

trekken. Echter is voor het goed en betrouwbaar implementeren van deze formules erg veel programmeer kennis nodig om de juiste variabelen aan de juiste onderdelen van de formule te koppelen.

3.5. Fase 2: Benodigdheden voor Python

Als benodigdheden zijn er vooral veel databases nodig om de informatie uit te halen, die de Python-code kan analyseren. Deze databases zijn: Yahoo! Finance, Alpha Vantage, Google Finance, FRED (Federal Reserve economic Data). Dit zijn betrouwbare databases, die veel gebruikt worden door professionals. Om de code te kunnen delen wordt gebruik gemaakt van replit.com en om de code in te kunnen schrijven wordt gebruik gemaakt van coderunner 4. Om de code binnen een relatief acceptabele periode te kunnen doorlopen wordt gebruik gemaakt van een laptop met 16 GB intern geheugen.

3.6. Fase 2: Stappenplan Python-code

Stap 1

De Python-code begint met het verzamelen van de benodigde data. Er worden echter ook drie parameters vastgesteld, de eerste vanaf 1 januari 2018 tot 1 juni 2024, de tweede vanaf 1 januari 2018 tot 1 januari 2020 en de derde vanaf 1 januari 2020 tot 1 januari 2022. Deze parameters zijn belangrijk omdat de periode 1-1-2018 tot 1-6-2024 bestaat uit de periode die daadwerkelijk wordt onderzocht. De periode van 1-1-2020 tot 1-1-2022 bestaat echter uit een relatief onstabiele periode op de aandelen-/cryptomarkt, aangezien er toen een marktval was door de Covid-19 periode. Dit kan interessante uitkomsten tonen, die wij kunnen vergelijken met het literatuuronderzoek uit fase 1.

Stap 2

Daarna gaat de code over op de Data-analyse. Eerst worden de datasets samengevoegd.

Stap 3

Vervolgens wordt er een correlatie diagram gemaakt. Met op de x-as van -1 tot +1 en de y-as ook van -1 tot +1. Elk puntje in het correlatie diagram vertegenwoordigt een enkele dag schommeling. De prijsfluctuatie van bijvoorbeeld de S&P 500 wordt dus getoond doormiddel van een getal tussen de -1 en +1. Als een punt dus op de rode $x=y$ lijn ligt betekent dat, de prijschommeling van de twee onderzochte variabelen, bijvoorbeeld de S&P 500 en Bitcoin gelijk aan elkaar is.

4. Resultaten

Weergave tabel 1:

Overzicht resultaten literatuuronderzoek In de eerste kolom is de auteur van het onderzoek genoemd. In de tweede kolom staat de gebruikte methode voor het onderzoek. En in de derde kolom staat kort genoteerd wat het resultaat van het onderzoek was (positief [+] / negatieve [-] / afwezige [0] correlatie). Een prijscorrelatie wordt aangegeven met +p, p, 0p. Een volatiliteit correlatie wordt aangegeven met +p, p, 0p.

Dit is een zeer verkorte weergave. Voor de uitgebreide toelicht-

ing wordt er verwezen naar de hierop volgende resultaten.

Voor resultaten van de Python-code wordt verwezen naar nr. 8 Figuren 1 t/m 6 met weergave van de resultaten aan van de Python-code.

4.1. De correlatie tussen Bitcoin en de S&P 500 tijdens stabiele periodes

4.1.1 Artikel 1

Analysis of the correlation between cryptocurrencies, S&P500 and US 10-year treasury bond index with Granfer Causality. (Kartal, C., Öztürk Can, Ü., 2022)

- Doel van het onderzoek: Analyse van de correlatie tussen Bitcoin, de S&P 500-index en de US 10 year treasury index over een periode van een jaar (16.01.2020 – 16.01.2021).
- Gebruikte methode: Granger causaliteitstest met data van wekelijkse rendementen. Stationariteit werd getest met ADF-test
- Resultaten van het onderzoek:

Lage tot afwezige causaliteit tussen Bitcoin en de S&P 500. De getallen wijzen op een lichte negatieve correlatie (stijging van S&P 500 geeft een daling van Bitcoin) tussen Bitcoin en de S&P 500, maar deze is statistisch niet significant en kan als verwaarloosbaar worden beschouwd, vanwege $p < 0,05$ of $p > 0,05$.

4.1.2 Artikel 2

Bitcoin volatility, stock market and investor sentiment. Are they connected? (Ángeles M. López-Cabarcos, Ada M. Pérez-Pico, Piñeiro-Chousa J., Sevic A., 2021)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar de invloed van de S&P 500 op Bitcoin prijs en volatiliteit. (4.1.2016 – 30.9.2019)
- Gebruikte methode: GARCH-modellen met data van StockTwits-sentiment en historische prijzenda van Bitcoin.
- Resultaten van het onderzoek:

Het onderzoek maakt gebruik van drie subsamples:

- Subsample 1 (2016-2017): negatieve prijs en volatiliteit correlatie.
- Subsample 2 (2017): geen prijs en volatiliteit correlatie.
- Subsample 3 (2017-2019): negatieve prijs en volatiliteit correlatie.

Deze samples gelden voor beide Bitcoin prijs en de Bitcoin volatiliteit in vergelijking met de S&P 500. Bovendien wordt er een correlatiecoëfficiënt gegeven: hoe groter deze is, des te hoger de correlatie is (sterker op elkaar reageren). De coëfficiënt geeft aan hoeveel de Bitcoin prijs of volatiliteit verandert per eenheid verandering in de S&P 500 returns.

Toelichting

Bitcoin prijs:

- Subsample 1: gaf een negatieve correlatie tussen de Bitcoin prijs en de S&P 500 prijs. Als de prijs van S&P 500 steeg, daalde de Bitcoin prijs. De correlatiecoëfficiënt was -27,3435.
- Subsample 2: gaf geen significante correlatie. Dit geeft aan dat beiden geen invloed op elkaar hadden tijdens die periode. De correlatiecoëfficiënt is niet significant.
- Subsample 3: gaf wederom een negatieve correlatie, maar zwakker dan de genoemde correlatie in subsample 1. De correlatiecoëfficiënt was -22,30379.

Bitcoin volatiliteit:

- Subsample 1: toont aan dat er een negatieve correlatie aanwezig is tussen de Bitcoin volatiliteit en de S&P 500 volatiliteit. Als de volatiliteit van S&P 500 toenam, nam de volatiliteit van Bitcoin af. De correlatiecoëfficiënt was -26,66757.
- Subsample 2: gaf geen correlatie aan van de S&P 500 volatiliteit. De correlatiecoëfficiënt is niet significant.
- Subsample 3: gaf een zwakkere negatieve invloed van de S&P 500 volatiliteit op de Bitcoin volatiliteit dan in
- Subsample 1. De correlatie coëfficiënt was -16,4723.

4.1.3 Artikel 3

Mutual coupling between stock market and cryptocurrencies (Ahmeda Y. Maruf, Sarkodieb S. Asumadu, Leirvik T., 2023)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar de relatie tussen de top vijf cryptocurrencies en de S&P 500 van 01.2018 – 12.2021.
- Gebruikte methode: Gebruik van VAR-modellen, aangevuld met de spillover-index en AAM.
- Resultaten van het onderzoek

De prijs van Bitcoin geeft een positieve correlatie met de S&P 500 prijs. Dit betekent dat stijgingen in de S&P 500 gepaard gaan met stijgingen in Bitcoin. Het onderzoek toont een spillover aan van 84,6% van de S&P 500 naar Bitcoin, wat betekent dat 84,6% van de verandering van de Bitcoin prijs vanwege de S&P 500 was. De volatiliteit van Bitcoin stijgt met de volatiliteit van S&P 500 (als de S&P 500 markt meer fluctueert, zal dit insgelijks met Bitcoin gebeuren). Dit duidt een positieve correlatie aan tussen de volatiliteit van de twee markten.

4.1.4 Artikel 4

The Relationship Between Bitcoin and Stock Market. (Wang X., Chen X., Zhao P., 2020)

- Doel van het onderzoek: Analyse van de invloed van de S&P 500 op Bitcoin-prijzen (23.02.2013 – 20.02.2018).
- Gebruikte methode: VAR-modellen gecombineerd met de Sliding Window-techniek.
- Resultaten van het onderzoek:

Het onderzoek heeft een korte termijn en lange termijn analyse gemaakt. De korte termijn analyse van de prijs is over een lengte van 1 maand en in die maand is er een relatief zwakke correlatie tussen de prijs van Bitcoin en S&P 500 waargenomen: een waarde van 0,265. Dit betekent dat 26,5% van de verandering van Bitcoin komt door de S&P 500. De korte termijn analyse van de volatiliteit gaf een sterke correlatie aan, met een waarde van 0,747. De lange termijn analyse was over een lengte van 54 maanden en die gaf voor de prijs van Bitcoin en S&P 500 een waarde van 0,49, terwijl de volatiliteit van Bitcoin en S&P 500 een waarde van 0,583 ervaarde. Beide waarden tonen een relatief sterke correlatie aan. De gegeven coëfficiënt is dus positief. Het meet hoeveel procent van de reactie als oorzaak S&P 500 heeft. Dit betekent dus niet dat er een positieve correlatie is voor de volatiliteit.

4.1.5 Artikel 5

Analyzing Bitcoin Price Volatility. (Estrada, C., 2018)

- Doel van het onderzoek: Analyse van de causaliteit tussen Bitcoin-prijs, S&P 500, VIX en Google Trends-data. (15.09.2010 – 13.04.2017)
- Gebruikte methode: VAR-modellen en Granger causaliteitstests en SVR.
- Resultaten van het onderzoek:

De prijs van Bitcoin heeft een erg sterke positieve correlatie met de S&P500 met een coëfficiënt van 0,81. Een verhoging in de prijs van de ene (bijv. Bitcoin) zorgt voor een verhoging in de prijs van een ander (bijv. S&P500). De volatiliteit coëfficiënt tussen Bitcoin en de S&P500 heeft een waarde van -0,46 wat een relatief sterke negatieve correlatie aanduidt. Een verhoogde volatiliteit van de ene (bijv. Bitcoin) zorgt voor een verlaagde volatiliteit van de ander (bijv. S&P500). Hoe hoger de correlatiecoëfficiënt, hoe sterker de correlatie. De prijs correleert dus erg sterk, terwijl de volatiliteit relatief sterk correleert.

Samenvatting: *Correlatie tussen Bitcoin en S&P 500 tijdens stabiele periodes* Uit de vijf onderzoeken is een patroon te herkennen.

De volatiliteit van Bitcoin vertoont een negatieve correlatie met de S&P 500, ongeacht de tijdsperiode: een verhoogde volatiliteit van de ene resulteert in een verlaagde volatiliteit van de andere. De relatie tussen de prijs van Bitcoin en de S&P 500 is echter afhankelijk van de gemeten periode en de gebruikte methode. Volgens het tweede onderzoek werd in de periode 2016-2017 een negatieve correlatie vastgesteld. In de periode 2017-2019 werd ook een negatieve correlatie gevonden, maar deze was minder sterk. Dit kan verklaard worden aan de hand van het derde onderzoek, waarin wordt aangegeven dat Bitcoin in de periode 2018-2021 een positieve prijs correlatie vertoonde. Aangezien de periode 2018-2019 hieronder valt is de correlatie tussen 2017 en 2019 minder negatief dan in de periode 2016-2017. Het eerste onderzoek maakt gebruik van een Granger causaliteitstest, waarvan de resultaten geen of een zeer zwakke correlatie aantonen. Dit komt doordat de Granger-test zich richt op de korte termijn. Hierdoor is het mogelijk dat er in een bepaalde periode geen correlatie wordt gemeten, terwijl die er wel is over een bredere tijdsperiode. Daarnaast speelt de complexiteit van het model een rol, aangezien de Granger-test

met minder variabelen rekening houdt dan de VAR-modellen. In de periode 2017 is er geen correlatie gevonden voor zowel de prijs als de volatiliteit. Het vierde onderzoek, periode 2013-2018, geeft aan dat Bitcoin en S&P 500 een relatief sterke invloed op elkaar hebben. Dit sluit aan bij de rest van artikelen, maar het vierde onderzoek geeft niet specifiek aan wat voor soort correlatie het is. Het vijfde onderzoek, toont een positieve waarde aan voor de prijsrelatie tussen Bitcoin en de S&P 500 in de periode 2010-2017. Dit is wederom een Granger causaliteitstest. De resultaten zijn gedeeltelijk in strijd met de resultaten van het tweede onderzoek, die aantoont dat er een negatief verband is in 2016-2017. De oorzaak hiervan is, zoals hierboven benoemd, doordat de Granger causaliteitstest zich op korte termijnen richt. Het onderzoek onderbouwt het vierde onderzoek wel, wat bewijst dat er in de periode 2013-2017 een aanwezige en dus positieve correlatie was. Een positief getal als coëfficiënt betekent niet in alle gevallen dat het een positief verband is en een negatief getal betekent niet altijd dat het een negatief verband is. Dit is doordat het gegeven getal aangeeft hoeveel procent van de reactie van een variabele daadwerkelijk vanwege de andere variabele is. Bijvoorbeeld: een coëfficiënt van 86,4 van S&P 500 op Bitcoin betekent dat 86,4% van de verandering door S&P 500 komt. Dit betekent slechts dat de S&P 500 een sterke invloed uitoefent op Bitcoin, niet dat het een positieve correlatie is.

4.2. De correlatie tussen Ethereum en de S&P 500 tijdens stabiele periodes

4.2.1 Artikel 1

Popular cryptoassets (Bitcoin, Ethereum, and Dogecoin), Gold, S&P500 and their relationships: volatility and correlation modelling (Stephen Zhang, Ganesh Mani, 2021)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar de tijdsafhankelijke correlaties en volatiliteitspatronen tussen Bitcoin, Ethereum, Dogecoin, houd en de S&P500 in de periode van 07.2016 – 07.2021.
- Gebruikte methode: GARCH-modellen
- Resultaten van het onderzoek:

De prijs van Ethereum heeft een zeer zwakke positieve correlatie met de S&P 500 met een Pearson-correlatiecoëfficiënt van 0,095. Dit betekent, dat een stijging in de prijs van de S&P 500 slechts een minimale stijging in de prijs van Ethereum voorspelt. Over volatiliteit wordt geen directe correlatiecoëfficiënt tussen Ethereum en de S&P 500 vermeld, maar Ethereum toont gelijke patronen als S&P 500.

4.2.2 Artikel 2

Mutual coupling between stock market and cryptocurrencies (Ahmeda Y. Maruf, Sarkodieb S. Asumadu, Leirvik T., 2023)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar de relatie tussen de top vijf cryptocurrencies en de S&P 500 van 01.2018 – 12.2021
- Gebruikte methode: Gebruik van VAR-modellen aangevuld met de spillover-index.
- Resultaten van het onderzoek:

Ethereum prijs heeft een positieve correlatie met S&P 500 met een coëfficiënt van 0,42. Een stijging in de prijs van Ethereum zorgt voor een stijging in de prijs van S&P 500. Volatiliteit-shocks van Ethereum veroorzaakte een verhoogde volatiliteit voor S&P 500, maar hier is geen coëfficiënt aan te verbinden uit het onderzoek. Doordat een verhoogde volatiliteit van Ethereum een verhoogde volatiliteit van S&P500 betekende kan er beredeneerd worden dat het een positief verband is.

4.2.3 Artikel 3

The Underlying Factors of Ethereum Price Stability: An Investigation on What Underlying Factors Influence the Volatility of the Returns of Ethereum. (Hannson, P., 2022)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar interne en externe factoren die Ethereum-volatiliteit beïnvloeden. (17.06.2018 – 18.01.2022)
- Gebruikte methode: GARCH-modellen en log-transformaties
- Resultaten van het onderzoek:

Het GARCH-model toonde dat de S&P 500 een negatieve invloed had op Ethereum-volatiliteit met een coëfficiënt van -0,32. Deze coëfficiënt geeft aan hoeveel de Ethereum volatiliteit verandert per eenheid verandering in de S&P 500 returns. Dit houdt in dat een stijging van de S&P 500 volatiliteit een daling van de Ethereum volatiliteit veroorzaakte.

4.2.4 Artikel 4

Nonlinear tail dependence in cryptocurrency-stock market returns. (Lahiani, A., Jeribi, A., Boukef Jlassi, N., 2022)

- Doel van het onderzoek: Analyse van de afhankelijkheid van Ethereum van de S&P 500 tijdens extreme marktomstandigheden. (2016-2019)
- Gebruikte methode: Tail dependence.
- Resultaten van het onderzoek:

De prijs van Ethereum had een hoge afhankelijk, met een coëfficiënt van 0,62, voor en na 2017. De coëfficiënt betekent, dat er een 62% kans is dat Ethereum een extreme waarde van S&P 500 aanneemt. Dit betekent dat de kans op correlatie tussen de Ethereum prijs en S&P 500 prijs 62% is.

Samenvatting: *De correlatie tussen ETH en de S&P 500 tijdens stabiele periodes*

Uit de vier artikelen blijkt dat Ethereum in de periode 2016-2021 een positieve prijs correlatie had met de S&P 500. Dit houdt in, dat wanneer de prijs van Ethereum stijgt de prijs van de S&P 500 ook steeg. Uit het tweede artikel is te zien, dat Ethereum een positieve prijs correlatie had in de tijdsperiode 2018-2021. Het onderzoek gaf geen volatiliteit correlatie aan, maar doordat beide de volatiliteit van Ethereum en de S&P 500 steeg, kan het zijn dat dit verband positief is. Echter, het derde onderzoek ontkracht dit: de gevonden correlatie van de volatiliteit was een negatieve.

In dezelfde periode (2018-2022) was er dus een negatieve correlatie gevonden tussen de volatiliteit van Ethereum en die van

de S&P 500. Dit betekent dat wanneer de prijsbewegingen van Ethereum heviger werden, de prijsbewegingen van de S&P 500 juist rustiger werden en omgekeerd.

Opvallend is dat de correlatie tussen Bitcoin en de S&P 500 sterker was dan die van Ethereum met de S&P 500. Dit wordt ondersteund door hogere correlatiecoëfficiënten van Bitcoin. Dit betekent dat Bitcoin over het algemeen een nauwere relatie heeft met de prijsbewegingen van de S&P500 dan Ethereum.

Deze coëfficiënten tonen aan, dat hoewel beide cryptomunten enige mate van correlatie hebben met de S&P 500, Bitcoin duidelijk sterker met de S&P500 samenhangt.

4.3. De correlatie tussen Bitcoin en de S&P500 tijdens onzekere periodes

4.3.1 Artikel 1

Are Bitcoin and Ethereum safe-havens for stocks during the COVID-19 pandemic? (Mariana, C. D., Ekaputra, I. A., Husodo, Z. A., 2021)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar correlaties tussen Bitcoin en de S&P500 en of ze als veilige havens kunnen dienen tijdens de COVID-19-pandemie. (01.07.2019 – 06.04.2020)
- Gebruikte methode: GARCH-modellen
- Resultaten van het onderzoek:

Tijdens de pandemie vertoonde de Bitcoin prijs negatieve correlaties met S&P 500 met als waarde -0,0393. Dit betekent dat een stijging van de Bitcoin prijs een daling voor de S&P 500 prijs was en vice versa. De Bitcoin volatiliteit steeg van 3,44% voor de pandemie naar 9,11% tijdens de pandemie. Er is niks verteld over de volatiliteit van de S&P 500 tijdens de pandemie. Bovendien is er ook geen correlatiecoëfficiënt van de volatiliteit gegeven m.b.t. Bitcoin en S&P 500.

Dit artikel is ook gebruikt bij 4.4.1 aangezien het beide Bitcoin en Ethereum analyseert.

4.3.2 Artikel 2

Co-movements of high-order moments in the time-frequency domain. (Bouri, E., Kristoufek, L., Azoury, N., 2022)

- Doel van het onderzoek: Analyse van co-movement tussen Bitcoin en S&P 500 met hogere-orde momenten. (19.08.2011 – 14.12.2022)
- Gebruikte methode: GARCH-modellen en wavelet-coherence techniek
- Resultaten van het onderzoek:

Bitcoin en de S&P 500 vertonen een positieve prijs correlatie vanaf 2018 vooral tijdens de COVID-19 pandemie. Dit is te bewijzen met een significante co-movement in volatiliteit en prijzen. De prijs van Bitcoin stijgt als de prijs van S&P 500 stijgt. De maximale conditionele volatiliteit van Bitcoin (587.771) in vergelijking met die van de S&P 500 (13.106) toont aan, dat Bitcoin veel volatieler is. Dit betekent dat de prijzen van Bitcoin veel meer schommelen. De correlatie tussen

Bitcoin volatiliteit en de S&P 500 wordt aangetoond door de co-movement analyse, die laat zien dat de volatiliteit van beide markten vanaf 2018 en vooral tijdens de COVID-19 pandemie vergelijkbare patronen vertoont. Dit betekent dat wanneer de volatiliteit in de ene markt toeneemt, deze ook in de andere markt toeneemt, wat wijst op een positieve correlatie in hun volatiliteitsbeweging.

4.3.3 Artikel 3

COVID-19 and information flow between cryptocurrencies, and conventional financial assets (Assaf, A., Mokni, K., Youssef, M., 2023)

- Doel van het onderzoek: Analyse van informatie-uitwisseling tijdens de COVID-19-pandemie. (01.10.2017 – 05.01.2021)
- Gebruikte methode: Transfer entropy
- Resultaten van het onderzoek:

De transmissiewaarde van S&P 500 naar Bitcoin was 0,67. Dit betekent dat 67% van de verandering van de prijs van Bitcoin door de S&P 500 kwam. Dit was bovendien een positieve correlatie: een stijging van de S&P 500 prijs betekende een stijging voor de Bitcoin prijs en vice versa.

4.3.4 Artikel 4

Is there one safe-haven for various turbulences? The evidence from gold, Bitcoin, and Ether. (Bedowska-Sójka, B., Kliber, A., 2021)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar safe-haven eigenschappen van Bitcoin en Ethereum.
- Gebruikte methode: VAR-model
- Resultaten van het onderzoek:

Bitcoin had een negatieve prijs correlatie met een waarde van -0,03. Deze correlatie is zeer zwak. Een stijging van de prijs van Bitcoin zal resulteren in een lichtelijke daling in de prijs van de S&P500 en vice versa.

4.3.5 Artikel 5

The nexus between the volatility of Bitcoin, gold, and American stock markets during the COVID-19 pandemic: evidence from GARCH and ANN models. (Terraza, V., Boru İpek, A., Rounaghi, M.M.)

- Doel van het onderzoek: Dynamische relatie tussen volatiliteit van Bitcoin en S&P 500 tijdens de COVID-19-pandemie.
- Gebruikte methode: GARCH-modellen en ANN-methoden.
- Resultaten van het onderzoek

Bitcoin toont een correlatie met S&P 500 met als coëfficiënt tussen 0,35 en 0,52 tijdens de pandemie. De volatiliteit van Bitcoin was 9,11%. Die van S&P 500 was 6,07%. Volgens het onderzoek stegen beide volatiliteiten gedeeltelijk als gevolg van

elkaar. Dit houdt in dat er een positieve correlatie is tussen de volatiliteit van Bitcoin en de S&P 500.

Samenvatting: *De correlatie tussen BTC en de S&P 500 tijdens onstabiele periodes*

Uit de vijf artikelen kan worden geconcludeerd dat Bitcoin en de S&P 500 tijdens onzekere periodes een sterke correlatie vertonen, maar op een manier die afwijkt van hun gedrag in stabielere tijden. In periodes van onzekerheid was de prijs correlatie tussen Bitcoin en de S&P 500 positief. Dit betekent dat wanneer de prijs van Bitcoin steeg, de prijs van de S&P 500 steeg en omgekeerd. Twee gevonden correlatie- coëfficiënten hadden een negatieve waarde en lijken daarmee in tegenspraak met de conclusie. Echter, deze coëfficiënten zijn zeer klein en betreffen alleen de periode 2019-2020. Uit de andere geanalyseerde onderzoeken, die een breder tijdscale hebben geanalyseerd waarin 2019 en 2020 zijn inbegrepen, blijkt een duidelijke positieve correlatie. Dit wijst erop dat de positieve correlatie veel sterker is dan de negatieve waarden, waardoor deze laatste verwaarloosbaar zijn. Het tweede onderzoek gaf geen coëfficiënt, maar analyseerde de zogenaamde 'co-movement'. De conclusie van het onderzoek was dat Bitcoin en S&P 500 vergelijkbaar bewogen, wat een positieve correlatie benadrukt. Naast de prijs correlatie was er tijdens deze periodes een positieve correlatie in de volatiliteit van beide markten. Dit houdt in dat een toename in de volatiliteit van Bitcoin werd gevolgd door een toename in de volatiliteit van de S&P 500 en andersom. De geanalyseerde onderzoeken leverden geen coëfficiënten, maar analyseerden de verandering van de volatiliteit van Bitcoin en de S&P 500. Deze hadden vergelijkbare patronen, dit suggereert dat er een positief verband is tussen de twee markten.

4.4. De correlatie tussen Ethereum en de S&P 500 tijdens onstabiele periodes

4.4.1 Artikel 1

Are Bitcoin and Ethereum safe-havens for stocks during the COVID-19 pandemic? (Mariana, C. D., Ekaputra, I. A., Husodo, Z. A., 2021)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar correlaties tussen Bitcoin, Ethereum en de S&P500 en of ze als veilige havens kunnen dienen tijdens de COVID-19-pandemie. (01.07.2019 – 06.04.2020)
- Gebruikte methode: GARCH-modellen
- Resultaten van het onderzoek

Tijdens de pandemie vertoonde de Ethereum prijs negatieve correlaties met S&P 500 met als waarde -0,0499. Deze waarde is zeer dichtbij 0 wat aangeeft, dat het een zeer zwakke correlatie is. Dit betekent dat een stijging van de Ethereum prijs een gevolg van een daling voor de S&P 500 prijs is. De Ethereum volatiliteit steeg van 4,34% voor de pandemie naar 10,96% tijdens de pandemie. Over de S&P 500 volatiliteit is niks gezegd en er is bovendien geen coëfficiënt over de correlatie van de volatiliteit gegeven.

4.4.2 Artikel 2

COVID-19 and information flow between cryptocurrencies, and conventional financial assets (Assaf, A., Mokni, K., & Youssef, M., 2023)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar de impact van de COVID-19-pandemie op de informatie uitwisseling tussen Ethereum en traditionele financiële activa zoals de S&P500 en de verandering in correlatie met de S&P 500. (01.07.2019 – 11.11.2020)
- Gebruikte methode: Transfer entropy-methode met data van Ethereum en de S&P 500 verzameld van 7 januari 2019 tot 11 november 2020. De transfer entropy-methode wordt uitgevoerd door de gegevens van de S&P 500 en Ethereum te analyseren over de tijd, waarbij gekeken wordt naar hoe veranderingen in de S&P 500 de veranderingen in Ethereum beïnvloeden en of deze invloed voorspelbaar is.
- Resultaten van het onderzoek:

Tijdens de pandemie was Ethereum sterker verbonden met de S&P 500 wat betekent, dat de prijs van Ethereum meer werd beïnvloed door de aandelenmarkt. De transmissiewaarde van Ethereum prijzen was 0,61 wat betekent dat 61% van de prijsveranderingen van Ethereum direct volgde op een soortgelijke verandering van de S&P 500. Voor de volatiliteit van Ethereum was er een waarde van 0,47 gevonden. Dit is een positieve waarde. Een stijging in de volatiliteit van Ethereum betekende een stijging van de volatiliteit van S&P500.

4.4.3 Artikel 3

The contagion effects of the COVID-19 pandemic: Evidence from gold and cryptocurrencies. (Corbet, S., Larkin, C., & Lucey, B., 2020)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar de effecten van de COVID-19 pandemie op de volatiliteit en correlaties tussen Ethereum en de S&P500 index.
- Gebruikte methode: GARCH-modellen werden gebruikt om de dynamische correlaties tussen Ethereum en de S&P 500 te analyseren.
- Resultaten van het onderzoek:

De correlatie tussen Ethereum en de S&P 500 was laag voor de pandemie, maar nam tijdens de pandemie toe wat wijst op een sterkere onderlinge relatie tussen de twee markten tijdens financiële stress. De toegenomen correlatie betekent, dat de prijs van Ethereum tijdens de pandemie meer beïnvloed werd door de prijsbewegingen van de S&P 500. De coëfficiënt voor de prijs correlatie had een waarde van 0,45 tot 0,62. De coëfficiënt voor de correlatie van de volatiliteit voor Ethereum was 0,39. Dit benadrukt dat een stijging van de volatiliteit van Ethereum een stijging van de volatiliteit van S&P 500 betekende.

4.4.4 Artikel 4

The Impacts of the Conflicts Between Israel and Hamas, as well as Between Russia and Ukraine, on Financial Assets and Crypto-Currencies. (Mgadmi, N., Abidi, A., Hachicha, N. et al., 2024)

- Doel van het onderzoek: Onderzoek naar de impact van conflicten tussen Israël en Hamas en tussen Rusland en Oekraïne op Ethereum en de S&P 500.
- Gebruikte methode: GARCH-modellen werden gebruikt om tijdreeksen van S&P500 en Ethereum te modelleren en de wavelet coherence techniek voor het onderzoeken van co-movement.
- Resultaten van het onderzoek:

Ethereum vertoonde een sterke correlatie met de S&P 500 index vooral zichtbaar op bepaalde tijdschalen tussen 2022 en 2023, waarbij zowel Ethereum als de S&P 500 nauw samen bewogen tijdens politieke spanningen. Dit betekent dat Ethereum de S&P 500 vaker volgt en minder afhankelijk is. De Ethereum prijs toonde een hoge positieve correlatie met S&P 500 tijdens deze crises met een waarde van 0,63. Een stijging in de prijs van Ethereum betekende een stijging in de prijs van de S&P 500. Voor de volatiliteit van Ethereum was een coëfficiënt van 0,52 gevonden. Ook deze was positief. Een stijging van de volatiliteit van de S&P 500 resulteerde in een stijging van de volatiliteit van Ethereum en vice versa.

4.4.5 Artikel 5

The interconnectedness of stock indices and cryptocurrencies during the Russia-Ukraine war. (Nidhal Mgadmi, Tarek Sadraoui, Waleed Alkaabi, Ameni Abidi, 2023)

- Doel van het onderzoek: De interconnectie en causaliteit tussen stock indices en cryptocurrencies tijdens de Rusland-Ukraine oorlog.
- Gebruikte methode: GARCH-modellen
- Resultaten van het onderzoek:

Het onderzoek vond een positieve invloed van de S&P 500 op Ethereum en vice versa met een prijsrelatie coëfficiënt van 0,180. Hoewel deze waarde positief is, is deze zeer laag en is het dus een zwak verband. Het onderzoek vermeldt niet expliciet de correlatie van de volatiliteit van de twee markten.

Samenvatting: *De correlatie tussen ETH en de S&P 500 tijdens onzekere periodes*

Uit de vijf artikelen kan worden geconcludeerd, dat Ethereum tijdens gevoelige periodes een positieve prijs correlatie had met de S&P 500. Dit betekent, dat wanneer de prijs van Ethereum steeg de prijs van de S&P 500 eveneens steeg en omgekeerd.

Ook op het gebied van volatiliteit was de correlatie sterk positief, wat inhoudt dat een toename in de volatiliteit van Ethereum gepaard ging met een sterke toename in de volatiliteit van de S&P 500. De coëfficiënten voor deze correlatie waren relatief hoog, wat suggereert dat de prijs- en volatiliteitsbewegingen van Ethereum sterk samenhangen met die van de S&P 500.

Opvallend is dat tijdens onstabiele periodes Ethereum een stuk sterker reageerde op de bewegingen van de S&P 500 dan Bitcoin. Dit blijkt uit de correlatiecoëfficiënten, die voor Ethereum hoger lagen dan voor Bitcoin in deze periodes. Deze bevindingen suggereren dat Ethereum met zijn sterke correlaties in zowel prijs als volatiliteit tijdens gevoelige en onzekere periodes vaak nauw samenhangt met de S&P 500.

4.5. Python

Figuur 1: Correlatie tussen Bitcoin en S&P 500 (1-1-2018 tot 1-1-2020)

In de figuur is een verzameling blauwe stippen te zien met een rode lijn. De blauwe stippen geven de resultaten aan van het Python onderzoek. Elk stipje toont een resultaat aan. Een stip op de rode lijn geeft een 1:1 correlatie aan: Bitcoin correleert dan evenveel met S&P 500 als S&P 500 met Bitcoin. Dat houdt in, dat de verandering in prijs van Bitcoin evenveel is als de verandering in de prijs van de S&P500. De waardes van de Bitcoin rendementen verschillen wat meer met waardes die variëren tussen -0,2 en 0,2. De waardes van de S&P500 rendementen zijn vrijwel altijd tussen de -0,5 en 0,5. Dit houdt in dat er vaak zeer dichtbij een 1:1 correlatie is. Bovendien betekent dat dat veranderingen in de S&P 500 gepaard gaan met vergelijkbare veranderingen in Bitcoin.

Figuur 2: Correlatie tussen Bitcoin en S&P 500 (1-1-2020 tot 1-1-2022)

In deze figuur is (niet heel duidelijk) te zien dat, er meer blauwe stippen bij de rode lijn zijn. Dit betekent dat er nóg vaker een 1:1 – of dichtbij een 1:1 – correlatie is. Dit houdt in dat Bitcoin en S&P 500 nauwer samenhangen tijdens periodes van financiële onzekerheid.

Figuur 3: Correlatie tussen Bitcoin en S&P 500 (1-1-2018 tot 1-6-2024)

In deze figuur is een grotere verzameling blauwe stippen te zien bij de rode lijn. Het vergrote aantal stippen is vanwege de grotere geanalyseerde tijdsperiode, doordat er meer resultaten beschikbaar zijn. Ook hier is te zien dat het vaak dichtbij, of volledig, een 1:1 correlatie is. Doordat dit een grotere tijdsperiode is, toont het aan dat Bitcoin over het algemeen veel samenhangt met de S&P 500 en ook gelijke patronen heeft.

In vergelijking met de literatuur is dit net iets anders. De literatuur geeft een meer gemengd beeld qua correlatie. Echter, is de figuur op veel manieren te interpreteren en aangezien de Python-code veel minder complex is dan de literatuuronderzoeken, omdat die veel berekeningen uitvoeren, kan er eigenlijk geen daadwerkelijke conclusie uit dit figuur worden gehaald, dat kan worden vergeleken met de conclusie uit de literatuur onderzoeken.

Figuur 4: Correlatie tussen Ethereum en S&P 500 (1-1-2018 tot 1-1-2020) In deze figuur is een smalle verzameling blauwe stippen te zien bij de rode lijn. Dit is vanwege de beperkte beschikbare informatie over Ethereum. De resultaten zijn vergelijkbaar met die van Bitcoin in dezelfde periode. Het verschil is dat de blauwe stippen bij Bitcoin iets breder waren, wat een grotere correlatie met de S&P 500 aantoont. Dit verschil is wel minimaal.

Figuur 5: Correlatie tussen Ethereum en S&P 500 (1-1-2020 tot 1-1-2022) In deze figuur is te zien, dat er meer blauwe stippen bij de rode lijn zijn dan bij figuur 4. Dit toont aan dat, net als Bitcoin, Ethereum nauwer samenhangt met de S&P 500 en vaker gelijke patronen hebben. Het verschil met figuur 4 is wel aanzienlijk groter dan de verschillen tussen figuur 1 en 2. Dit benadrukt, dat Ethereum sterker is gaan reageren op de S&P

500 (en nauwer samenhangt) dan Bitcoin tijdens periodes van financiële onzekerheid.

Figuur 6: Correlatie tussen Ethereum en S&P 500 (1-1-2018 tot 1-6-2024) In figuur 6 is te zien dat er wederom meer stippen zijn. Dit is vanwege de grotere periode. Er zijn simpelweg meer gegevens om te analyseren. Het blijft vaak of een 1:1 correlatie, of dichtbij een 1:1 correlatie. Dit toont aan dat Ethereum over het algemeen een correlatie heeft met de S&P500 en dus ook gelijke patronen aantoont.

De Python-visualisatie bevestigt grotendeels de prijs correlatie tussen Ethereum en de S&P 500 uit het literatuuronderzoek. Tevens laat het zien dat er veel datapunten rond de 1:1 lijn liggen, wat betekent dat Ethereum vaak dezelfde patronen volgt als de S&P 500. Dit sluit aan bij eerdere bevindingen. Echter, de punten in de figuur liggen veel meer verspreid en er kan dus niet echt een conclusie uit worden getrokken. De literatuuronderzoeken kunnen dat wel, omdat die er ook berekeningen op los laten en dat dus veel complexer is.

5. Algehele conclusie

Uit de voorgaande onderzoeken is gebleken, dat tijdens onstabiele periodes de prijscorrelatie van Bitcoin en de S&P 500 een positieve waarde hadden evenals de correlatie van de volatiliteit. Ethereum reageert op een soortgelijke manier aangezien de prijscorrelatie en de volatiliteit beiden positief waren. Echter, Ethereum reageerde sterker op de S&P 500 dan Bitcoin, wat de verhoogde coëfficiënten aantonen.

Tijdens stabiele periodes is dit niet zo. Dit wordt ondersteund door hogere correlatiecoëfficiënten voor Bitcoin. Hieruit kan dus worden geconcludeerd, dat Bitcoin tijdens stabielere periodes een hogere correlatie heeft van zowel de prijs als volatiliteit met de S&P 500 dan Ethereum.

6. Discussie

6.1. Literatuuronderzoek

Tijdens het literatuuronderzoek hebben zich diverse obstakels voorgedaan. Een van de grootste uitdagingen was, dat de onderzochte studies verschillende onderzoeksperiodes hanteerden. Geen enkel onderzoek gebruikte exact dezelfde parameters: de ene studie liep bijvoorbeeld tot 1 januari 2022, terwijl een andere doorliep tot 1 juni 2022.

Om dit probleem op te lossen hadden de berekeningen in elk onderzoek afzonderlijk geanalyseerd kunnen worden en hadden de berekeningen opnieuw uitgevoerd moeten worden met één vaste parameter. Dit zou echter te tijdrovend zijn geweest waardoor de planning in gevaar liep. In plaats daarvan is er geprobeerd om de verschillen zoveel mogelijk te compenseren en zijn de berekeningen, die niet binnen de onderzoeksperiode pasten weggelaten. Deze aanpak had echter zijn beperkingen, waardoor de validiteit van de resultaten zijn afgenomen.

Daarnaast verschilden de gebruikte literaire bronnen sterk in hun methodologie (zie tabel 1), hierdoor waren de cijfers vaak niet direct met elkaar te vergelijken. In plaats van de ruwe data te gebruiken was het noodzakelijk om de conclusies van de verschillende studies als vergelijkings- materiaal te hanteren. Een

ander obstakel was, dat de onderzoeksvragen in de literatuur soms net anders werden geformuleerd, bijvoorbeeld: "Hoe verhoudt Bitcoin zich tot de S&P 500?" versus "Hoe verhoudt de S&P 500 zich tot Bitcoin?" Hoewel het verschil minimaal lijkt, heeft het wel degelijk invloed op de uitkomsten, met name bij de verschillende analysetechnieken, die in het theoretisch kader worden besproken. Afhankelijk van welke variabele als X of Y wordt ingevoerd kunnen de resultaten van de formules aanzienlijk verschillen. In theorie zou dit gecompenseerd kunnen worden door de berekeningen opnieuw uit te voeren, maar door het gebrek aan tijd is ervoor gekozen om dit niet te doen. Daarom moesten er opnieuw vertrouwd worden op de conclusies van de literatuur in plaats van een directe vergelijking van de data te kunnen maken. Deze beperkingen werden nog versterkt door het beperkte aantal relevante bronnen dat beschikbaar was. In een vervolgonderzoek zou het verstandiger zijn om alle resultaten uit de gebruikte studies opnieuw door te rekenen. Dit zou de validiteit van het onderzoek aanzienlijk verbeteren.

6.2. Python

Het oorspronkelijke idee was om een Python-script te schrijven, dat de correlatie tussen Bitcoin en de S&P 500 over een bepaalde periode kon berekenen en dit vervolgens te vergelijken met de correlatie tussen Ethereum en de S&P 500. Daarnaast zou een kort literatuuronderzoek worden toegevoegd, voornamelijk gericht op het vinden van de beste aanpak voor het ontwikkelen van deze code.

Al snel werd echter duidelijk, dat het schrijven van alleen een Python-code erg complex zou zijn. De wiskundige formules die nodig zijn voor een perfecte correlatieberekening, waarbij met alle variabelen rekening wordt gehouden, zijn buitengewoon ingewikkeld. Het idee ontstond om daarom een basisversie van de statistische modellen in de Python-code te implementeren en deze aan te vullen met een literatuurstudie. De bedoeling was om modellen zoals VAR en GARCH toe te voegen. Dit zijn essentiële modellen voor een betrouwbare analyse: VAR kan berekenen hoe de koers van een bepaalde activa een andere koers beïnvloedt, terwijl GARCH zich richt op het inschatten van volatiliteit. Vrijwel alle onderzochte literaire bronnen maakten gebruik van deze statistische modellen. Zonder dergelijke berekeningen zou de code immers niet de correlatie analyseren, maar slechts een visuele weergave bieden van koersbewegingen over tijd.

Naarmate het literatuuronderzoek vorderde werd steeds duidelijker, dat de integratie van statistische modellen noodzakelijk was om tot een goed functionerende Python-code te komen. Anders is het niet mogelijk alle variabelen die op elkaar reageren goed te vertegenwoordigen in de code. Echter, bij de daadwerkelijke implementatie bleek dat het integreren van deze modellen buitengewoon ingewikkeld was, omdat het goed koppelen van de juiste variabelen aan de juiste formule en het verwerken van alle variabelen moeilijker was dan verwacht. Hierdoor ontstond tijdsdruk en doordat er steeds verder werd afgedreven van het eerdere plan is ervoor gekozen om in plaats van te focussen op de python-code te focussen op een visualisatie van koersbewegingen ten opzichte van elkaar in de vorm van een figuur met blauwe stippen. Op deze manier kon er toch nog een Python-code worden toegepast, al was deze minder geavanceerd dan oorspronkelijk gepland. De gegenereerde fig-

uren werden vervolgens kort vergeleken in de resultaten met de bevindingen uit het literatuuronderzoek, dat uiteindelijk de kern van het onderzoek vormde.

Vanwege de beperkte betrouwbaarheid van de Python-code werd deze niet meegenomen in de algehele conclusie. Uiteindelijk bleek, dat een goed werkende Python-code, waarin alle statistische modellen correct zijn geïntegreerd, aanzienlijk veel tijd en kennis vereist. De moeilijkheid hiervan is onderschat tijdens het begin van dit onderzoek maar is zeker mogelijk voor een vervolgonderzoek.

Referenties

- Abdullah, D.M., Choi, R.Y., Soman, K.P., & Murphy, M.J. (2021). Advances in Predictive Financial Models. *Blockchain Finance Quarterly*.
- Aivaz, K., Zaghloul, E., Chai, W., & Kushwaha, S. (2017). Analyzing Bitcoin's Evolution in Financial Markets. *Cryptocurrency Studies*.
- Aloui, C., Bez, M., Pichl, L., & Diebold, F.X. (2014). Wavelet Coherence in Financial Market Analysis. *Journal of Financial Research*.
- Arslanian, H. (2019). The Future of Decentralized Financial Systems. *Blockchain Review*.
- Assaf, A., Kristoufek, L., Azoury, N., & Mariana, C.D. (2023). Information Flow Between Cryptocurrencies and Traditional Financial Assets During Crises. *Economic Research Journal*.
- Bez, M., Zaghloul, E., & Wang, C. (2019). Market Dynamics and the Adoption of Cryptocurrencies. *Global Finance Quarterly*.
- Bollerslev, T., Nakajima, J., Corielli, F., & Cohen, L. (2006). ARCH and GARCH Models in Financial Data Analysis. *Statistical Innovations*.
- Bohte, F., Wang, X., & Lahiani, A. (2019). Cryptocurrencies and Macro-Economic Stability. *Journal of Economic Policy*.
- Bouri, E., Kristoufek, L., Azoury, N., & Mariana, C.D. (2017). Dynamics of Cryptocurrency and Traditional Market Correlations. *Financial Dynamics Journal*.
- Bouri, E., Kristoufek, L., & Azoury, N. (2022). Co-movements of High-order Moments in Cryptocurrency and Stock Markets. *Financial Time Series Research*.
- Bedowska-Sójka, B., Wang, C., Schnitzler, J., & Pahwa, K. (2021). Safe-Haven Properties of Cryptocurrencies During Market Turbulences. *Financial Stability Research*.
- Cerqueti, R., Zaghloul, E., Corielli, F., & Mariana, C.D. (2020). Macroeconomic Uncertainty and Cryptocurrency Behavior. *Economic Studies*.
- Chai, W., Dantu, R., Kushwaha, S., & Friston, K.J. (2019). Ethereum as a Platform for Decentralized Applications. *Tech Journal of Blockchain Systems*.
- Cheng, Y., Li, B., & Murphy, M.J. (2022). Security Issues in

- Smart Contracts: A Case for Ethereum. *International Journal of Blockchain Research*.
- Choi, R.Y., Wang, C., Kushwaha, S., & Murphy, M.J. (2020). Deep Learning Approaches to Financial Forecasting. *Economic Technology Journal*.
- Cohen, L., Sedwick, P., & Li, B. (2009). Analyzing Correlations in Financial Systems. *Applied Financial Research*.
- Corielli, F., Zaghloul, E., & Bez, M. (2002). Factor-Based Index Tracking in Financial Analysis. *International Journal of Economics*.
- Dantu, R., Diebold, F.X., & Wang, C. (2018). Blockchain Security for Decentralized Networks. *Journal of Cryptographic Systems*.
- Diebold, F.X., & Friston, K.J. (2012). Measuring Spillover Effects in Financial Markets. *Economic Statistics Journal*.
- Estrada, C., Bez, M., Zaghloul, E., & Wang, C. (2018). Analyzing Bitcoin Price Volatility. *Journal of Financial Volatility Studies*.
- Frino, A., Wang, C., Mariana, C.D., & Schnitzler, J. (2001). S&P 500 as a Barometer for Global Markets. *Financial Markets Analysis*.
- Friston, K.J., Wang, X., López-Cabarcos, Á.M., & Mariana, C.D. (2014). Advanced Statistical Models in Financial Research. *Econometric Studies*.
- Fung, Y.F., Zaghloul, E., & Corielli, F. (1994). Economic Modeling of Time Series Data. *Economic Studies Journal*.
- Huang, Y., Wang, X., & Lahiani, A. (2021). Machine Learning Models in Cryptocurrency Prediction. *Blockchain Analytics Quarterly*.
- Kushwaha, S., Wang, X., & Bez, M. (2022). Ethereum Smart Contracts and Their Impact on Market Efficiency. *Blockchain Applications Quarterly*.
- Lahiani, A., Mariana, C.D., & Schnitzler, J. (2022). Nonlinear Tail Dependence in Cryptocurrency Markets. *Applied Economics Research*.
- Li, B., Wang, C., & Diebold, F.X. (2017). Stability in Cryptocurrency Markets. *Blockchain Economics Quarterly*.
- López-Cabarcos, Á.M., Wang, X., Schnitzler, J., & Mariana, C.D. (2021). Bitcoin Volatility and Stock Market Sentiment. *Quantitative Finance and Economics*.
- Lopez, J.H., Wang, C., & Mariana, C.D. (1997). Unit Roots and Stationarity in Market Analysis. *Econometric Insights*.
- Mariana, C.D., Wang, X., & Lahiani, A. (2021). Are Bitcoin and Ethereum Safe-Havens During the COVID-19 Pandemic? *Financial Markets Analysis*.
- Maruf, A.Y., López-Cabarcos, Á.M., Wang, X., & Lahiani, A. (2023). Mutual Coupling Between Stock Markets and Cryptocurrencies. *Cryptocurrency Studies*.
- Mgadmi, N., López-Cabarcos, Á.M., & Mariana, C.D. (2023). The Interconnection Between Cryptocurrencies and Stock Markets During Geopolitical Conflicts. *Conflict and Financial Stability Journal*.
- Murphy, M.J., Friston, K.J., López-Cabarcos, Á.M., & Mariana, C.D. (2015). Machine Learning Techniques in Stock Market Analysis. *Journal of Econometric Modeling*.
- Nakajima, J., López-Cabarcos, Á.M., & Lahiani, A. (2011). Time-Varying Parameter Models for Financial Markets. *Journal of Applied Econometrics*.
- Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *Whitepaper*.
- Nguyn, K., Mariana, C.D., & Wang, C. (2022). Cryptocurrencies and Traditional Indices: A Comparative Study. *Applied Financial Analysis*.
- Pahwa, K., Choi, R.Y., & Murphy, M.J. (2019). Artificial Neural Networks for Cryptocurrency Market Prediction. *Advanced Financial Models*.
- Pichl, L., López-Cabarcos, Á.M., & Wang, X. (2017). The Dynamics of Cryptocurrency Markets. *Journal of Statistical Analysis*.
- Soman, K.P., López-Cabarcos, Á.M., & Lahiani, A. (2009). Support Vector Machines in Financial Analysis. *Financial Modeling Journal*.
- Schnitzler, J., Wang, X., & Mariana, C.D. (2018). Understanding Investor Behavior During Market Stress. *Financial Trends*.
- Sedwick, P., Wang, X., & Mariana, C.D. (2012). Statistical Methods in Cryptocurrency Analysis. *Financial Analytics Quarterly*.
- Seth, A., López-Cabarcos, Á.M., & Lahiani, A. (2007). Granger Causality in Financial Time Series. *Journal of Statistical Econometrics*.
- Terraza, V., López-Cabarcos, Á.M., & Wang, X. (2023). The Nexus Between Bitcoin Volatility and Global Stock Markets. *Journal of Financial Volatility*.
- Victoria, L., López-Cabarcos, Á.M., & Wang, X. (2021). The Role of Cryptocurrencies in Modern Financial Markets. *Journal of Economic Perspectives*.
- Wang, C., López-Cabarcos, Á.M., & Lahiani, A. (2021). Cryptocurrencies as Alternatives in Times of Crisis. *International Finance Review*.
- Wang, X., López-Cabarcos, Á.M., & Lahiani, A. (2020). The Relationship Between Bitcoin and Stock Market Performance. *Journal of Financial Systems*.
- Witt, A., López-Cabarcos, Á.M., & Wang, X. (1998). Stationarity in Financial Time Series Analysis. *Financial Econometrics Review*.
- Wu, M.W., Wang, C., & Mariana, C.D. (2001). Early Models of Bitcoin Volatility. *International Economic Systems*.
- Zaghloul, E., López-Cabarcos, Á.M., & Wang, X. (2020). Un-

derstanding the Volatility of Bitcoin Through Blockchain Models. Applied Economics Research.

Zhang, L., López-Cabarcos, Á.M., & Wang, X. (2024). Cryptocurrencies and Financial Stability. Journal of Banking and Finance.

Zhang, S., & Mani, G. (2021). Popular cryptoassets (Bitcoin, Ethereum, and Dogecoin), Gold, S&P500 and their relationships: Volatility and correlation modeling

Estrada, C., López-Cabarcos, Á.M., & Wang, X. (2018). Analyzing Bitcoin Price Volatility. Journal of Financial Volatility Studies

7. Figuren

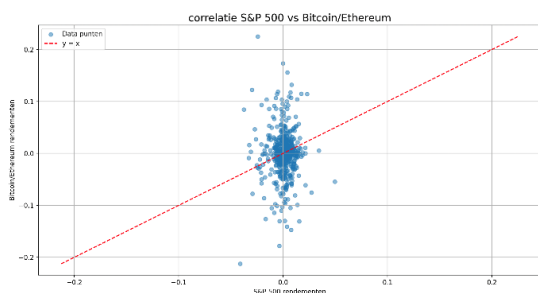


Figure 1: Correlatie Bitcoin en S&P 500 tussen 1-1-2018 en 1-1-2020

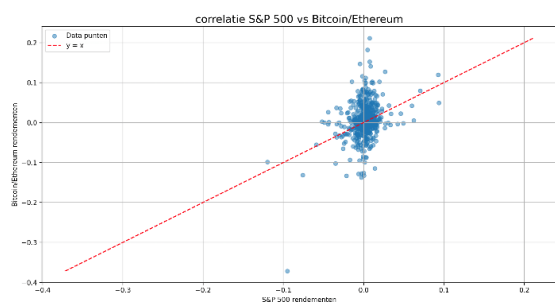


Figure 2: Correlatie Bitcoin en S&P 500 tussen 1-1-2020 en 1-1-2022

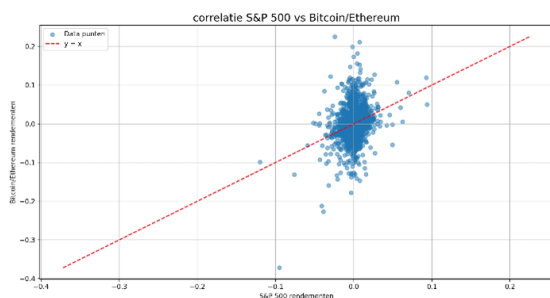


Figure 3: Correlatie Bitcoin en S&P 500 tussen 1-1-2018 en 1-6-2024

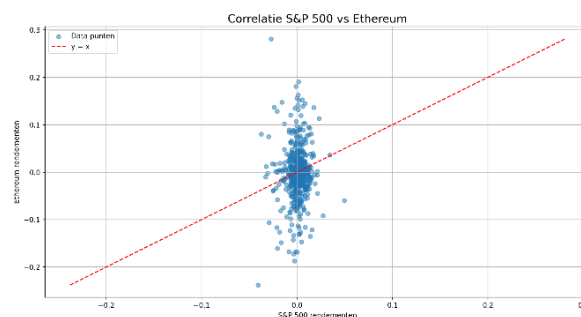


Figure 4: Correlatie Ethereum en S&P 500 1-1-2018 en 1-1-2020

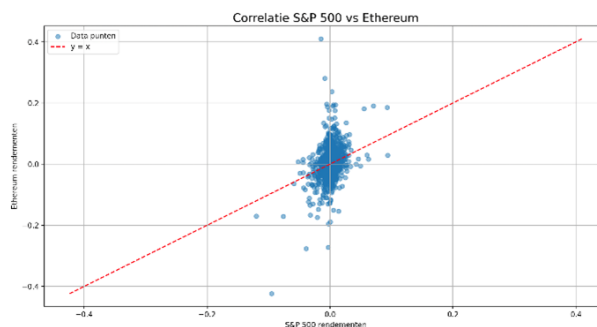


Figure 5: Correlatie Ethereum en S&P 500 tussen 1-1-2020 en 1-1-2022

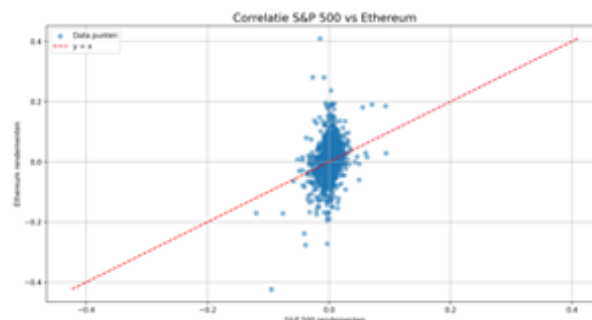


Figure 6: Correlatie Ethereum en S&P 500 tussen 1-1-2018 en 1-6-2024

8. Tabel

Artikel	Gebruikte methode	Conclusie (wel of geen correlatie)
4.1.1 Kartal, C. et al., 2022	Granger causaliteitstest	2020-2021: 0p
4.1.2 Ángeles M. López-Cabarcos et al., 2021	GARCH-modellen	2016-2017: -p, -v 2017: 0p, 0v 2017-2019: -p, -v
4.1.3 Ahmeda Y. Maruf et al., 2023	VAR-modellen met spillover-index	2018-2021: +p, -v
4.1.4 Wang X. et al., 2020	VAR-modellen met Sliding Window techniek	2013-2018: +p, -v
4.1.5 Estrada, C., 2017	VAR-modellen en Granger causaliteitstest	2010-2017: +p, -v
4.2.1 Zhang, S. et al., 2021	GARCH-modellen	2016-2021: +p
4.2.2 Ahmeda Y. Maruf et al., 2023	VAR-modellen met spillover-index	2018-2021: +p
4.2.3 Hannson, P., 2022	GARCH-modellen	2018-2022: -v
4.2.4 Lahiani, A. et al., 2022	Tail dependence	2016-2019: +p
4.3.1 Mariana, C. et al., 2021	GARCH-modellen	2019-2020: -p
4.3.2 Bourri, E. et al., 2022	GARCH-modellen en wavelet coherence	2011-2022: +p, +v
4.3.3 Assaf, A. et al., 2023	Granger causaliteitstest	2019-2021: +p
4.3.4 Bedoska-Sójka, B. et al., 2021	VAR-modellen	-p
4.3.5 Terraza, V. et al., 2024	VAR-GARCH modellen en ANN-modellen	Tijdens COVID-19: +p, +v
4.4.1 Mariana, C. D. et al., 2021	GARCH-modellen	2019-2020: -p
4.4.2 Assaf, A. et al., 2023	Granger causaliteit	2019-2021: +p, +v
4.4.3 Corbet, S. et al., 2020	GARCH-modellen	Tijdens COVID-19: +p, +v
4.4.4 Mgadmi, N. et al., 2024	GARCH-modellen en wavelet coherence techniek	+p, +v
4.4.5 Mgadmi, N. et al., 2023	VAR-modellen	+p

Table 1: Een overzicht van de resultaten

Het verband tussen persoonlijkheidstypen en instrumentgroepen onder Twentse jongeren (12-20) in een symfonieorkest

L.K.V. Broekstra ¹, S.L. Tan ², L. Blommers ³, A.A. ten Cate ³, E.M.A. Beernink ¹ & H.C.H.F. Wittrock ²

¹ *Het Stedelijk Kottenpark, Enschede*

² *Het Twickel College, Hengelo*

³ *Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – This study investigates the relationship between personality types and instrument groups in people aged 12-20. The NERIS Type Explorer ® was conducted on 36 musicians who all played in the Twente Youth Symphonic Orchestra (TJSO). All participants did the test and filled their answers in on a given form as well as some demographic characteristics like age, gender and music grade. The instruments were divided into the category's woodwind, brass, strings and other players (piano and percussion). The demographic characteristics are used for repeatability and to check that all participants meet predetermined conditions. The paper form ensures the least chance of copying wrong information. The Fisher's Exact Test was used to determine whether there is a correlation between personality and instrument group. There was no correlation found, however there was not a large and random enough sample size to apply these findings to a bigger group. In conclusion, the results show that there is no correlation between personality types and instrument groups in TJSO, further research with a bigger sample size can lead to different results.

1. Introductie

1.1. Voorwoord

Blazers hebben in een symfonieorkest meer rust dan strijkers. Om verveling tegen te gaan worden er tijdens de repetitie vaak dingetjes bedacht om die tijd te vullen. Zo bewegen de blazers gezellig mee met het ritme, (terwijl de rest van het orkest doorspeelt): een idee van de trompetten. De trompetten sectie doet wel meer bijzondere dingen zoals het bouwen van een demper-toren of de dempers als hoedjes gebruiken tijdens het spelen, maar toch zijn ze niet de enige die zoiets doen. Het slagwerk deelde bijvoorbeeld tijdens een repetitie opgewarmde poffertjes uit en speelden ongezien UNO tijdens een kerstconcert toen ze drie stukken niks te spelen hadden. Er lijken verschillen te zijn in hoe verschillende groepen muzikanten met elkaar omgaan en hoe ze zich gedragen. De vraag is of dit verschillen in persoonlijkheid zijn, of het de functie in het orkest is of toeval.

1.2. Inleiding

Op het internet circuleren stereotypes over persoonseigenschappen die bij specifieke instrumentgroepen horen (Cereseto, 2024). Er is experimenteel onderzoek gedaan uitgaand van instrumenten stereotypen voor een project op school, maar daar werd van bestaande stereotypes uitgegaan en werd er geprobeerd een verklaring te vinden waarom die stereotypen bestaan. Toch is de literatuur het er nog niet over eens of de stereotypen überhaupt bestaan bij de verschillende instrumentgroepen, daarom staat in dit artikel de volgende onderzoeksvraag centraal: 'Is er een verband aan te tonen tussen persoonlijkheidstypen volgens de NERIS Type Explorer ® en instrumentgroepen onder Twentse jongeren (12-20) in een symfonieorkest?'

2. Theoretisch kader

2.1. Eerder onderzoek

Het is onduidelijk of er een verband is tussen persoonlijkheidstypen en instrumentkeuze. Mihajlovski (2013) vond wel een verband tussen de persoonlijkheid en instrumentkeuze, terwijl Butkovic en Modrusan (2019) geen significant verband vonden.

Mihajlovski (2013) onderzocht of er bepaalde persoonlijkheidseigenschappen zijn die overeenkomen bij iedereen uit die instrumentengroep. Hiervoor werden drie verschillende persoonlijkheidstesten gebruikt: de Sixteen Personality Factor Questionnaire (16PF), de Eysenck Personality Questionnaire en NEO-PI-r (herziene NEO Persoonlijkheid Inventaris). Daarnaast testten ze ook intelligentie met de Figure Reasoning Test (FRT). Hierbij vonden zij verschillen tussen de instrumentgroepen en persoonlijkheid. Volgens de resultaten komen de persoonlijkheidseigenschappen van pianospelers, strijkers en houtblazers voor het grootste deel overeen en is de persoonlijkheid van koperblazers het meest verschillend. Zo waren koperblazers meer extravert dan de andere instrumentgroepen. Ook bleek dat ze dominanter en zorgelozer dan strijkers waren.

Butkovic en Modrusan (2019) onderzochten ook of er een relatie tussen persoonlijkheid en het gespeelde instrument is, maar vonden deze niet. In dit onderzoek werden verschillende instrumentalisten verzocht de persoonlijkheidstest 10-Item Big Five Inventory zelf in te vullen. Alle resultaten zijn geanalyseerd met Kruskal-Wallis test, daaruit bleek dat er geen significant verschil is tussen de instrumentgroepen en hun gemeten persoonlijkheid.

Hiermee is er een duidelijk gat in de kennis, verschillende onderzoeken zijn het niet eens over of er nou wel of niet een verband is. Daarover wil dit onderzoek duidelijkheid creëren.

2.2. Stereotypes

2.2.1 Stereotypes volgens Cumberledge

Cumberledge (2015) laat ook een duidelijke relatie tussen de instrumentgroepen en persoonlijkheid zien, maar focuste op de stereotypes die bepaalde groepen van elkaar en zichzelf hebben. Zo zouden trompettisten extravert en zelfverzekerd zijn, terwijl fluitisten meer introvert en gereserveerd zijn. In dat onderzoek werden instrumentalisten van een conservatorium in de Verenigde Staten gevraagd karaktereigenschappen over zichzelf en andere instrumentalisten aan te geven. Ze kregen een lijst waaruit ze vijf eigenschappen moesten kiezen voor zichzelf en anderen. Bijvoorbeeld, trompettisten beoordeelden zichzelf als: “egotistic,” “competitive,” “confident,” and “aggressive”. Anderen beoordeelden trompettisten als “egotistic,” “competitive,” “confident,” and “macho”. Er werd gekeken of de karaktereigenschappen tussen de verschillende instrumenten met elkaar verschilden. Dat was het geval, trompettisten werden vaker dan andere groepen als “egotistic” en “competitive” beschreven. Fluitisten werden veel vaker als “feminine” en “emotional” beschreven. De verschillen tussen de instrumenten waren significant, zowel bij de zelfbeoordelingen als bij de beoordeling van anderen. Dit onderzoek toont dus aan dat er een verschil is in hoe verschillende muzikanten elkaar beoordelen op basis van karaktereigenschappen. Dit geeft aan dat muzikanten stereotypes over elkaar hebben en dat deze zelfbevestigend kunnen zijn. Hoe muzikanten over elkaar denken, komt dus overeen met hoe ze over zichzelf denken. Maar dit betekent niet dat de er een verband is tussen de persoonlijkheidstypen van de muzikanten en het bespeelde instrument.

2.2.2 Bestaande stereotypes

Er zijn bestaande stereotypes onder muzikanten bekend. Zo zouden strijkers over het algemeen nauwkeuriger, conservatiever en emotioneel gevoeliger zijn (Bell Cresswell, 1984). Koperblazers worden gezien als egocentrisch, sociaal, competitief, als vatbaarder voor alcoholgebruik, maar ook als doelmatiger en afhankelijker van de groep (Cumberledge, 2015; Butkovic Modrusan, 2019; Bell Cresswell, 1984). Houtblazers worden gezien als emotioneel, sociaal, vrouwelijk en als meer liberaal-radicalistisch (Cumberledge, 2015; Bell Cresswell, 1984).

2.3. Persoonlijkheidstesten

Makwana en Dave (2020) definiëren betrouwbaarheid als nauwkeurigheid, consequentie en stabiliteit van scores. Zonder valide persoonlijkheidstest is het onmogelijk een valide conclusie te trekken over iemands persoonlijkheid. Daarom is het erg belangrijk van tevoren te onderzoeken hoe betrouwbaar de beoogde test is voor het type onderzoek dat wordt uitgevoerd. In de persoonlijkheidswetenschap wordt de Big Five Inventory het meest gebruikt. Daarnaast is de Myers-Briggs Type Indicator één van de meest bekende testen (Grant, 2013). Recent wordt de NERIS Type Explorer® (Gratis Persoonlijkheidstest — 16Personalities, z.d.) ook in verschillende soorten onderzoek gebruikt, zoals bijvoorbeeld bij Moran (2021), Alagić (2022) en Griffin (2022).

2.3.1 Myers-Briggs Type Indicator

Een andere bekende test die persoonlijkheid zou meten is de Myers-Briggs Type Indicator (MBTI), maar veel onderzoeken geven aan dat die test niet betrouwbaar of valide is. Dit is voornamelijk omdat de test-hertest betrouwbaarheid erg laag is (Grant, 2013; Pittenger, 2005), maar ook omdat de categorieën niet volledig zijn of elkaar overlappen (Grant, 2013) en er geen sprake is van wetenschappelijke onderbouwing (Boyle, 1995; Pittenger, 2005). Aspecten die de Big Five Inventory wel heeft.

2.3.2 Big Five Inventory

De Big Five Inventory wordt vaak gebruikt in onderzoeken en wordt wel als valide gezien (Hee, 2014). De Big Five Inventory bestaat uit de categorieën Neuroticisme (N, emotionele instabiliteit), Extraversie (E, sociale energie), Consciëntieusheid (C, ordelijkheid), Agreeableness (A, vriendelijkheid) en Openheid (O, avontuurlijkheid), vandaar dat dit model ook het OCEAN-model of het Big Five Factor Model (BFFM) wordt genoemd (Satow, 2021 ; Veloso Gouveia et al., 2021). Deze test bestaat uit 44 vragen waar de gebruiker antwoord op geeft met een schaal van 1 tot 5, van minst eens tot zeer eens. Hee (2014) heeft onderzoek gedaan naar de interne betrouwbaarheid van de Big Five Inventory en vond dat deze inderdaad betrouwbaar is. Hierna hebben zij een factoranalyse uitgevoerd. Uit deze factoranalyse kwam ook dat de vragen overeenkomen met wat er getest hoort te worden. Voordat de testen voor dit onderzoek zijn afgenomen is het niet gelukt te vinden hoe de Big Five een uitslag geeft aan de hand van de ingevulde vragen. Zoiets is wel nodig om de test valide af te kunnen nemen.

2.3.3 De NERIS Type Explorer®

De NERIS Type Explorer® is qua vraagstelling gebaseerd op de Big Five Test (Limited, 2013) en hier is wel duidelijkheid gevonden over hoe de test aan de uitslag komt, daarom is er voor deze test gekozen.

De NERIS Type Explorer® bestaat uit 60 vragen die persoonlijkheid meten op 5 gebieden: Energy, Mind, Nature, Tactics en Identity (Limited, 2013). De vragen worden beantwoord met behulp van een symmetrische Likert-schaal. Dit is een schaal die ontworpen is om de houding te bepalen van de respondent tegenover een bepaalde situatie of onderwerp (Joshi et al., 2015). Dit wordt gedaan door de respondent een zin te geven (zoals 'Je maakt regelmatig nieuwe vrienden.'). De respondent wordt gevraagd deze vraag te beantwoorden op een eens/oneens schaal, waarbij optie 1 het meest eens, optie 7 het meest oneens en optie 4 neutraal is. In vergelijking met een 5-punt schaal biedt een 7-punt schaal meer nuance waardoor de respondent een antwoord kan kiezen dat de persoon beter bij zich vindt passen (Joshi et al., 2015).

Na het maken van deze test komt er een persoonlijkheidstype uit dat van elk gebied één letter krijgt. Hierdoor bestaat het persoonlijkheidstype uit een code van 5 letters. Bij elk gebied horen twee letters. Er zijn 32 verschillende combinaties mogelijk.

Energy bestaat uit Extraversie en Introversie. Extraverte mensen krijgen energie van sociale interactie, terwijl dat introverte mensen juist energie kost. De corresponderende letters

zijn E en I. Corresponderende vragen gaan over hoe iemand snel vrienden maakt of hoe gemakkelijk iemand op mensen afstapt die interessant lijken. Het tweede gebied is Mind, dat bestaat uit Intuïtief (N) en Realistisch (S). Hierbij horen vragen over de hoeveelheid creativiteit een persoon heeft of hoeveel iemand op deze creativiteit vertrouwd in het dagelijkse leven. Vervolgens zijn er de gebieden Rationeel (T) en Emotioneel (F), die worden samen ondergebracht bij Nature, hierbij horen vragen over gevoeligheid boven eerlijkheid. Tactics bestaat uit Plannend (J) en Zoekend (P) met vragen zoals hoe geordend het persoon zijn omgeving houdt of hoe spontaan er wordt gereageerd. Tenslotte bestaat Identity uit Assertief (A) en Turbulent (T). Dit gebied meet hoe gevoelig iemand is voor stress. Waarbij Turbulente mensen meer gevoelig zijn voor stress en Assertieve mensen minder gevoelig zijn. Vragen hierbij gaan bijvoorbeeld over hoeveel iemand twijfelt aan gemaakte keuzes (Makwana, 2020).

Origineel is de test in het Engels geschreven. In dit onderzoek spreken de participanten Nederlands. Om verwarring te voorkomen, gebruikt dit onderzoek de geverifieerde Nederlandse vertaling.

2.3.4 Betrouwbaarheid van de NERIS Type Explorer®

Makwana en Dave (2020) hebben onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid en de validiteit van de NERIS Type Explorer®. Om te kunnen testen of de NERIS Type Explorer® betrouwbaar is hebben zij Cronbach's Alpha en Confirmatory Factor Analysis (CFA, Bevestigende Factoranalyse) gebruikt. Cronbach's Alpha geeft aan hoe vragen van verschillende categorieën elkaar overlappen. Als hieruit een score tussen de 0.70 en 0.90 uitkomt, overlappen de vragen elkaar niet te veel en hiermee is de test valide. Makwana en Dave (2020) kwamen er in hun onderzoek achter dat Cronbach's Alpha inderdaad steeds tussen de 0.70 en 0.90 ligt voor de vragen van de NERIS Type Explorer®. Ook gaf de Bevestigende Factoranalyse een bevestigend resultaat voor de betrouwbaarheid en validiteit van de test. Aan de hand van deze analytische methodes is te concluderen dat de test valide is (Makwana en Dave, 2020) (Limited, 2013).

2.4. Fisher's Exact test

Dit onderzoek gebruikt de Fisher's Exact test. Om deze test uit te kunnen voeren is gebruik gemaakt van de analysesoftware SPSS. Deze test meet het verband tussen twee (onafhankelijke) variabelen, waarbij er een 'random sample' is. Deze test wordt vaak gebruikt voor onderzoeken waar de verwachte uitkomst bij de vergelijking tussen de twee variabelen per tabel cel onder de zes ligt. Om de test te kunnen gebruiken is er een aanvaardelijke hypothese (H_0) nodig (er is geen verband) en een alternatieve hypothese (H_a) (er is wel een verband). H_0 wordt verworpen als blijkt dat de P onder de α is. De α laat zien hoe significant het is dat deze data gevonden wordt in de testgroep van de populatie. De H_0 is dat er geen verband is tussen persoonlijkheidstype en een bepaalde instrumentengroep (de H_a is dus dat er wel een verband is). Er wordt een α gebruikt van 0,05 (deze wordt in de volledige statistiek met 0,05/5 % genomen).

2.5. Beschrijvende statistiek

Naast testen om statistiek te onderzoeken, bestaat er ook beschrijvende statistiek. Dit wordt gebruikt om overzicht over de data te geven die is verzameld. Dit kan bijvoorbeeld door op te noemen welke data er is: zoveel personen doen dit elke dag en zoveel personen doen dat elke dag, maar dit kan ook door het gemiddelde te noemen of te zeggen wat het meeste was (Bhandari, 2023). Het bijzondere van beschrijvende statistiek is dat het geen conclusies trekt, het vraagt niet hoe het kan dat de data er op deze manier uitziet en het doet geen voorspellingen over de data, het beschrijft alleen de gevonden data (Hassan, 2024).

3. Methode

3.1. Testgroep

Voor dit onderzoek is de NERIS Type Explorer® gebruikt. Er 42 deelnemers uitgenodigd en de gegevens van 36 mensen zijn meegenomen.

De deelnemers zijn verdeeld in instrumentgroepen: strijkers ($N=16$), houtblazers ($N=7$), koperblazers ($N=11$) en een overige sectie ($N=2$) waar piano, slagwerk en harp in vallen. Voor de optie geslacht konden de deelnemers kiezen uit de opties man ($N=18$), vrouw ($N=17$) en anders ($N=1$). De leeftijd was tussen de 12 en 20 jaar. Iedereen die meedeelt speelt in het Twents Jeugd Symfonie Orkest (TJSO) en komt uit de omgeving van Twente, Nederland.

Van de 42 deelnemers, zijn 6 niet meegenomen in het onderzoek omdat niet alles was ingevuld of omdat ze niet voldeden aan de vastgestelde voorwaarden: jongeren tussen de 12 en 20 jaar met minimaal muziekniveau B. Sommigen hebben hun leeftijd niet ingevuld ($N=2$), de instrumentgroep was onduidelijk ($N=1$), alleen niveau A was behaald ($N=1$), de leeftijd was hoger dan 20 jaar ($N=1$) en de persoonlijkheidscode was onvolledig ingevuld ($N=1$).

3.2. Procedure

De deelnemers zijn ingelicht dat ze anoniem een persoonlijkheidstest gaan maken, waarbij de uitslagen gebruikt worden voor het onderzoek. Ze geven toestemming voor het gebruiken van alle gegevens die worden ingevuld op het formulier. De deelnemers vullen een aantal demografische kenmerken (leeftijd, speelniveau/-ervaring, geslacht en instrumentgroep) in en maken vervolgens de persoonlijkheidstest op hun eigen telefoon. Nadat ze de test hebben gemaakt, vullen ze de resultaten in op een formulier (zie bijlage). De deelnemers maken onafhankelijk de test. Het is de bedoeling dat ze niet met elkaar communiceren, daar wordt toezicht op gehouden tijdens het maken van de test. De deelnemers worden verzocht de test zo eerlijk mogelijk in te vullen.

3.3. Data-analyse

Om te kijken of er een verband is tussen persoonlijkheid en instrumentgroepen, wordt de Fisher's Exact test gebruikt. Er is voor deze test gekozen omdat de test voor kleine groepen te gebruiken is, en deze groep telt als kleine groep. Het wordt verwacht dat de celfrequentie namelijk onder de 6 is. Om de Fisher's Exact test uit te voeren wordt er gebruik gemaakt van

de analysesoftware SPSS.

Naast de uitslag van het verband uit de Fisher's Exact test, wordt er ook gekeken naar de verdeling en de opvallende resultaten per lettercombinatie. Dit wordt gedaan aan de hand van beschrijvende statistiek.

4. Resultaten

4.1. Ontbrekende persoonlijkheidscodes

In figuur 1 zijn de instrumentgroepen uitgezet tegen de persoonlijkheidscodes. Niet alle codes zijn voorgekomen. ENTJ-A, ENTJ-T, ESFJ-A, ESTJ-T, ESTP-A, ESTP-T, INFJ-A, INFJ-T, INFP-A, INTP-A, ISFJ-A, ISFJ-T, ISFP-A, ISTJ-A en ISTJ-T zijn niet voorgekomen.

4.2. Resultaten uit Fisher's Exact test

De celfrequentie van de persoonlijkheidscodes per instrumentgroep was inderdaad overall onder de zes. Uit de Fisher's Exact test kwam het resultaat $P=0.561$.

4.3. Opvallende resultaten

Daarnaast zijn er ook opvallende resultaten. Het valt op dat de combinatie ENF in totaal 15 keer voorkomt. Daarvan komen er 9 bij de strijkers voor. Dat is 56 % van de totale strijkers. Hiernaast zijn er veel meer extraverte strijkers dan introverte strijkers (figuur 2). Van de 16 strijkers zijn er 12 extravert, dat is dus 75 %, waarbij er meer koperblazers (67 %) extravert zijn en meer houtblazers (71 %) introvert. Bij de combinatie N/S valt het op dat 88 % (14 van de 16) van de strijkers en 86 % (6 van de 7) van de houtblazers Intuïtief is (figuur 3). Koper heeft zich gelijk verdeeld. Bij Emotioneel/Rationeel zijn alle secties meer emotioneel dan rationeel (figuur 4). Procentueel zijn de strijkers het meest emotioneel: driekwart heeft de F in hun persoonlijkheidscode (t.o.v. een kwart met T). Koperblazers komen daarna met een verdeling van 64 % emotioneel en 36 % rationeel. De houtblazers zijn redelijk verdeeld met 57 % emotioneel. De strijkerssectie komt bij de vierde categorie als meer Plannend uit de test dan Zoekend (figuur 5). Koper en hout hebben zich redelijk verdeeld, maar neigen allebei meer richting Zoekend. Alle secties zijn meer Turbulent (meer gevoelig voor stress, ze twijfelen meer aan keuzes) (figuur 6). Koperblazers zijn Turbelenter met 73 % en strijkers met 69 %. Houtblazers zijn nog steeds redelijk verdeeld met 57 %.

5. Conclusie

Met de gevonden gegevens ($P=0.651$) is er geen verband aan te tonen tussen persoonlijkheidstypen volgens de NERIS Type Explorer® en instrumentgroepen onder Twentse jongeren (12-20) in een symfonieorkest. Dit betekent dat er dus binnen instrumentgroepen geen significant overeenkomende karaktereigenschappen zijn.

Wel zijn er opvallende resultaten beschreven, deze zeggen niet iets over de onderzoeksvraag, maar benadrukken wel belangrijke onderdelen van persoonlijkheid in relatie tot andere onderzoeken. Hierbij valt het meest op dat strijkers overwegend extravert zijn, wat in strijd is met eerder onderzoek waar ze juist werden gekarakteriseerd als introvert (Kemp, 1996).

Koperblazers en houtblazers voldoen wel aan de stereotypes voor extraversie. Houtblazers zijn opvallend vaak evenredig verdeeld, behalve bij Intuïtief/Realistisch, waar ze overwegend Intuïtief zijn en Introvert/Extravert waar ze als enige sectie meer Introvert zijn. Ook strijkers zijn meer Intuïtief. Deze Intuïtiviteit van houtblazers en strijkers kan onder de emotionele gevoeligheid vallen waar strijkers en houtblazers vaker mee worden geassocieerd (Bell & Cresswell, 1984). Alle instrumentgroepen zijn meer Turbulent en Emotioneel. Dat in deze categorieën meer dan de helft van de muzikanten in alle groepen dezelfde letter toegewezen hebben gekregen, klopt met de bevindingen van andere onderzoeken, dat muzikanten over het algemeen een gemeenschappelijke persoonlijkheid hebben vergeleken met de algemene bevolking (Witherow, 2003; Vaag, 2017; Butkovic & Rancic Dopudj, 2017).

6. Discussie

6.1. Afnemen testen

Zoals bij de meeste onderzoeken, ging ook hier niet alles zoals van tevoren was gepland of verwacht. Wat er anders ging bij het afnemen van de testen, is dat iedereen op hetzelfde moment de persoonlijkheidstest heeft ingevuld. Van tevoren was bedacht in groepjes een paar deelnemers voor/na de repetitie de test te laten maken. Nu heeft iedereen tegelijk op repetitieweekend de test ingevuld. Hierdoor zaten de deelnemers dicht naast elkaar en hebben ze soms wat overlegd. Er is van tevoren aangegeven dat ze niet met elkaar mochten communiceren. Over het algemeen is dat ook wel gelukt, maar het is moeilijk te stellen of dit wel of niet een invloed op de resultaten heeft gehad.

6.2. Verklaring resultaten

Uit de resultaten van het onderzoek is gebleken dat er tussen de persoonlijkheidscodes en instrumentgroepen geen verband is gevonden aan de hand van de Fisher's Exact test. Echter, dit onderzoek heeft enkele beperkingen. De test vraagt namelijk om een random sample, de sample in dit onderzoek is niet helemaal random. De meeste mensen die de persoonlijkheidstest hebben ingevuld komen uit het TJSO, hier is niet random op geselecteerd. Voor een meer representatieve uitslag zouden andere jonge muzikanten uit de omgeving Twente de persoonlijkheidstest ook moeten invullen. Ook is de testgroep erg klein ($N=36$), hierdoor is het niet mogelijk om conclusies te trekken over andere jonge muzikanten in Twente of in een grotere omgeving. Met meer deelnemers stijgt de kans dat de testgroep representatief is (Islam, 2018).

In de resultaten staan wel opvallende testuitslagen, deze zijn gemaakt aan de hand van beschrijvende statistiek. Dit betekent dat er alleen is opgeschreven wat er is waargenomen bij de testgroep. Dit wil niet zeggen dat deze waarnemingen ook representatief voor een hele populatie zijn. Daarom kunnen uit deze resultaten geen conclusies worden getrokken. Van de instrumentgroep 'overig' hebben maar weinig mensen ($N=2$) de test ingevuld. De instrumenten daarvan verschillen al veel van elkaar, zo zijn slagwerk, piano en harp niet met elkaar te vergelijken. Er is niet genoeg data om conclusies te trekken bij deze subgroep. Daarom wordt de instrumentgroep 'overig' bij de opvallende resultaten buiten beschouwing gelaten.

6.3. Procentuele uitslagen

Eén van de verdere redenen om de NERIS Type Explorer® te gebruiken, was om zijn specificatie over de behaalde resultaten in procenten. Zo is iemand niet alleen Extrovert, maar kan dit verschillen van 51 % tot 100 % Extrovert (of één van de andere letters). Het idee hierachter was om beter de nuances van persoonlijkheid weer te kunnen geven. Iemand die 52 % Introvert is, zit namelijk in persoonlijkheid veel dichterbij iemand die 56 % Extrovert is (die dus 44 % Introvert is), dan bij iemand anders die 94 % Introvert is. Het verschil bij de eerste is 8 % en bij de tweede 42 %. Toch zijn persoon 1 en 3 Introvert en is persoon 2 Extrovert. De procentuele uitslag is bekend van de deelnemers (zie bijlage), maar met de Fisher Exact Test was het onmogelijk hier iets mee te doen. Daarom is er toch voor gekozen om van persoonlijkheidscodes uit te gaan. Verder onderzoek zou wel kunnen proberen de procentuele uitslag te gebruiken in hun benadering van persoonlijkheid.

6.4. Beperkingen van de NERIS Type Explorer®

6.4.1 Responsbias

Ondanks dat de NERIS Type Explorer® als valide en betrouwbaar wordt gezien, is er nog steeds sprake van menselijke inbreng. Mensen zijn vaak onvoorspelbaar en subjectief, de gestelde vragen zouden anders opgevat kunnen worden. Hierdoor heeft niet iedereen de vragen beantwoord met hetzelfde in gedachte. Een voorbeeld is de stelling 'Je doet dingen vaak op het allerlaatste moment mogelijk'. Dit ligt natuurlijk heel erg aan de context, voor sommige mensen is het allerlaatste moment de avond van tevoren, terwijl anderen misschien pas een uur voor de deadline beginnen. De stelling 'Je leef- en werkomgevingen zijn schoon en geordend' is ook heel subjectief, voor iedereen betekent 'schoon en geordend' wat anders. Dit heet responsbias. Bij het maken van een eigen test is er meer controle over deze bias. De deelnemers vullen op een schaal van 1-7 (van links naar rechts) in hoeveel ze het met de stellingen eens zijn. Helemaal links is 'eens' en rechts is 'oneens'. Dit kan ook anders geïnterpreteerd worden door iedereen.

6.4.2 Vertaling

De test is in de Verenigde Staten ontworpen, dit onderzoek gebruikt deelnemers uit Twente, Nederland. Hierdoor zouden er eventueel minieme verschillen kunnen zitten in wat de test bedoelt en hoe de gebruiker die interpreteert (responsbias), maar voornamelijk dat de test is vertaald naar een andere taal kan invloed hebben. Hier zou meer onderzoek naar gedaan moeten worden.

6.5. Aanbevelingen verder onderzoek

Een andere aanbeveling voor verder onderzoek is natuurlijk om dit onderzoek te herhalen met een grotere en representatievere groep door een random sample voor de testgroep te gebruiken.

Uit de opvallende resultaten kwam naar voren dat meer strijkers extravert zijn dan introvert. Dit is erg opvallend aangezien er in veel onderzoeken wordt gezegd dat strijkers introvert zijn. Verder onderzoek zou kunnen kijken of strijkers in een grotere

populatie meer Extrovert of Introvert zijn.

Daarnaast is het interessant om uit te zoeken hoeveel zelfbeeld invloed heeft op de gegeven antwoorden bij de persoonlijkheidstest. Er wordt vanuit gegaan dat mensen zichzelf goed genoeg kennen om accuraat te kunnen antwoorden op de vragen, maar misschien is dat niet zo. Een manier om dit uit te zoeken kan zijn door meerdere mensen de test te laten invullen alsof ze als het ware de geteste persoon zijn, waarbij deze andere mensen 'close' zijn met de geteste persoon, bijvoorbeeld familie of goede vrienden. Dit onderzoek had geen ruimte om rekening met zelfbeeld te houden.

Referenties

- Alagić, M. (2022). *Extroversion and introversion in second language acquisition*. MAP Education and Humanities, 2(2), 22-29. Retrieved from <https://mapub.org/ojs/index.php/mapeh/article/view/41>
- Bell, C. R., & Cresswell, A. (1984). *Personality differences among musical instrumentalists*. Psychology of Music, 12(2), 83-93. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0305735684122002>
- Bhandari, P. (2023, January 9). *Descriptieve of beschrijvende statistiek — Uitleg & Voorbeelden*. Scribbr. Accessed January 26, 2025, from <https://www.scribbr.nl/statistiek/beschrijvende-statistiek/>
- Boyle, G. J. (1995). *Myers-Briggs Type Indicator (MBTI): Some psychometric limitations*. Australian Psychologist, 30, 71-74. Retrieved from <https://aps.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1742-9544.1995.tb01750.x>
- Butkovic, A., & Modrusan, I. (2019). *Personality differences among musicians: Real differences or stereotypes?* Psychology of Music, 49(2), 216-226. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/333495931_Personality_differences_among_musicians_Real_differences_or_stereotypes
- Butkovic, A., & Rancic Dopudj, D. (2017). *Personality traits and alcohol consumption of classical and heavy metal musicians*. Psychology of Music, 45(2), 246-256. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0305735616659128>
- Cereseto, L. (2024, October 7). *What Your Instrument Says About You: Discover Your Musical Personality!* LIVE! School of Music — North Miami & Hallandale Beach. Accessed January 6, 2025, from <https://www.liveschoolofmusic.com/miami-music-school-blog/>
- Cumberledge, J. P. (2015). *Stereotypes of concert band musicians*. Research Perspectives in Music Education, 17(1), 25-35. Retrieved from <https://www.ingentaconnect.com/content/fmea/rpme/2015/00000017/00000001/art00003>
- Cutietta, R. A., & McAllister, P. A. (1997). *Student personality and instrumental participation, continua-*

- tion, and choice. *Journal of Research in Music Education*, 45(2), 282-294. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/249808656_Student_Personality_and_Instrumental_Participation_Continuation_and_Choice
- Grant, A. (2013, September 18). *Goodbye to MBTI, the Fad That Won't Die*. Psychology Today. Retrieved from <https://www.psychologytoday.com/intl/blog/give-and-take/201309/>
- Gratis persoonlijkheidstest — 16Personalities. (n.d.). 16Personalities. Retrieved from <https://www.16personalities.com/nl/persoonlijkheidstest>
- Griffin, C. (2022). *The Adapting Game in the US and Japan: Do Introverts, Extraverts, or Ambiverts Experience the Greatest Wellbeing During the Global Transition Toward Virtual Living?* (Master's thesis, Harvard University). Retrieved from <https://www.proquest.com/openview/5840b4b96c54cd271adb092d7f482ca1/>
- Hassan, M. (2024, November 19). *Descriptive Statistics - Types, Methods and Examples*. Research Method. Accessed January 26, 2025, from <https://researchmethod.net/descriptive-statistics/>
- Hee, O. C. (2014). *Validity and reliability of the big five personality traits scale in Malaysia*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 5(4), 309. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/331089952_Validity_and_Reliability_of_the_Big_Five_Personality_Traits_Scale_in_Malaysia
- Islam, M. R. (2018). *Sample size and its role in Central Limit Theorem (CLT)*. *Computational and Applied Mathematics Journal*, 4(1), 1-7. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Mohammad-Islaqm/publication/325574161_Sample_size_and_its_role_in_Central_Limit_Theorem_CLT/links/
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. (2015). *Likert Scale: Explored and Explained*. *British Journal Of Applied Science & Technology*, 7(4), 396-403. Retrieved from <https://doi.org/10.9734/bjast/2015/14975>
- Kemp, A. E. (1996). *The musical temperament: Psychology and personality of musicians*. Oxford University Press. Retrieved from <https://academic.oup.com/book/4411>
- Limited, N. A. (2013, October 17). *Our framework*. 16Personalities. Accessed September 12, 2024, from <https://www.16personalities.com/articles/our-theory>
- Makwana, K., & Dave, D. G. B. (2020). *Confirmatory factor analysis of Neris Type Explorer® scale—a tool for personality assessment*. *International Journal of Management*, 11(9). Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3709640
- Mihajlovski, Z. (2013). *Personality, intelligence and musical instrument*. *Croatian Journal of Education*, 15(1), 155-172. Retrieved from https://dlwqtxtslxzle7.cloudfront.net/36737241/Personality__Intelligence_and_Musical_Instrument_by_Zoran_Mihajlovski-libre.pdf
- Moran, P. (2021). *The Relationships Between Personality Types and Project Management Team Satisfaction*. Retrieved from <https://digitalcommons.calpoly.edu/cmisp/464/>
- Pittenger, D. J. (2005). *Cautionary comments regarding the Myers-Briggs type indicator*. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 57(3), 210. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/232494957_Cautionary_comments_regarding_the_Myers-Briggs_Type_Indicator
- Satow, L. (2021). *Reliability and validity of the enhanced Big Five Personality Test (B5T)*. Retrieved from <https://osf.io/preprints/psyarxiv/wsugv>
- Witherow, A. R. (2003). *The relationship between personality type and instrument played in undergraduate music majors*. University of Miami. Retrieved from <https://www.proquest.com/openview/>
- Vaag, J., Sund, E. R., & Bjerkeset, O. (2018). *Five-factor personality profiles among Norwegian musicians compared to the general workforce*. *Musicae Scientiae*, 22(3), 434-445. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1029864917709519>
- Veloso Gouveia, V., Rodrigues Araújo, R. de C., Vasconcelos de Oliveira, I. C., Pereira Gonçalves, M., Milfont, T., Lins de Holanda Coelho, G., Santos, W., Diógenes de Medeiros, E., Silva Soares, A. K., Pereira Monteiro, R., Moura de Andrade, J., Medeiros Cavalcanti, T., Da Silva Nascimento, B., Rildésia Gouveia. (2021). *A Short Version of the Big Five Inventory (BFI-20): Evidence on Construct Validity*. *Revista Interamericana de Psicología/Interamerican Journal Of Psychology*, 55(1), e1312. Retrieved from <https://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/22978>

7. Figuren & tabellen

totaal * instrumentgroep Crosstabulation						
Count		instrumentgroep				Total
		houtblazer	koperblazer	overig	strijker	
totaal	ENFJ-A	1	1	0	1	3
	ENFJ-T	0	1	0	3	4
	ENFP-A	0	0	0	2	2
	ENFP-T	1	1	1	3	6
	ENTP-A	0	1	0	0	1
	ENTP-T	0	0	0	2	2
	ESFJ-T	0	2	0	0	2
	ESFP-A	0	0	0	1	1
	ESFP-T	0	1	0	0	1
	ESTJ-A	0	1	0	0	1
	INFP-T	1	1	0	1	3
	INTJ-A	1	0	0	1	2
	INTJ-T	2	1	0	0	3
	INTP-T	0	0	0	1	1
	ISFP-T	0	0	1	1	2
	ISTP-A	1	0	0	0	1
	ISTP-T	0	1	0	0	1
	Total	7	11	2	16	36

Figure 1: Alle persoonlijkheidstypes en hoe vaak ze in welke instrumentgroep voorkomen

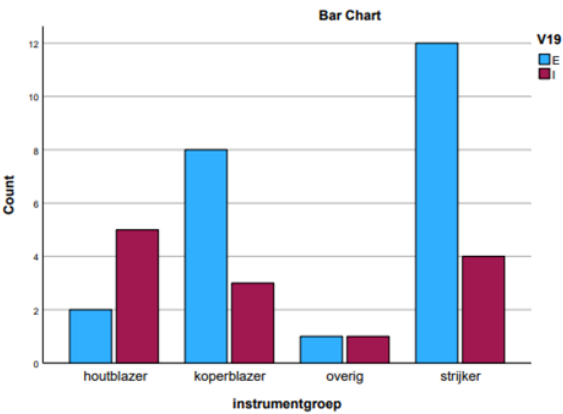


Figure 2: Verhouding Extravert/Introvert bij instrumentgroepen

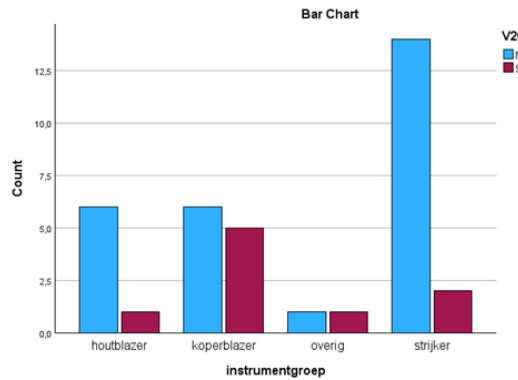


Figure 3: Verhouding Intuïtief/Realistisch bij instrumentgroepen

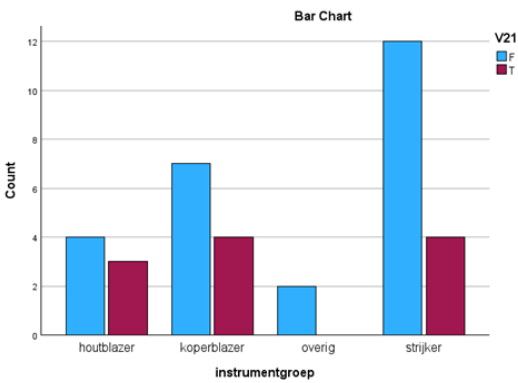


Figure 4: Verhoudingbij Emotioneel/Rationeel instrumentgroepen

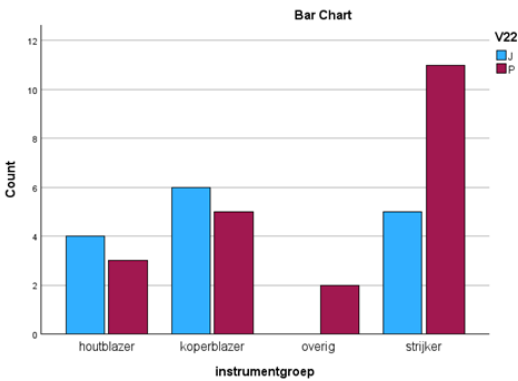


Figure 5: Verhouding Plannend/Zoeken bij instrumentgroepen

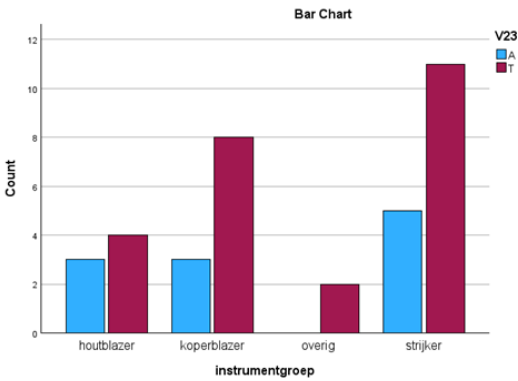


Figure 6: Verhouding Assertief/Turbulent bij instrumentgroepen

8. Bijlage

Uitslag persoonlijkheidstest onderzoek Sterre en Lidwien

Wij onderzoeken persoonlijkheid van muzikanten van jullie niveau, voor dit onderzoek gaan jullie daarom een online persoonlijkheidstest invullen op een eigen elektronisch apparaat (telefoon, laptop, etc., www.16personalities.com/nl). Dit duurt 10-15 minuten. De uitslagen van de persoonlijkheidstest vul je in op dit formulier. Het is van belang dat jullie niet met elkaar communiceren tijdens het maken van de test en de test zo eerlijk mogelijk invullen.

Voordat jullie deze test invullen hebben we een aantal vragen die jullie moeten beantwoorden. Vul eerst in of je ermee akkoord gaat dat de ingevulde gegevens anoniem voor dit onderzoek worden gebruikt. Deze gegevens hebben we nodig voor de herhaalbaarheid van het onderzoek. Omcirkel de antwoorden die op jou van toepassing zijn of vul het antwoord in op het lijntje.

Ik ga ermee akkoord dat mijn resultaten anoniem mogen worden gebruikt in het onderzoek.

Ja, ik ga er mee akkoord

Nee, ik ga er niet mee akkoord

Deze gegevens blijven anoniem en zijn niet te herleiden naar individuele personen.

Instrumentgroep:

- A. Koperblazers
- B. Houtblazers
- C. Strijkers
- D. Overig (slagwerk, piano, etc.)

Leeftijd (in jaar): _____

Gender:

- A. Man
- B. Vrouw
- C. Anders

Speelervaring (lengte in jaren): _____

Speelniveau (je hoeft niet per se examen hebben gedaan):

- A. A
- B. A, B
- C. A, B, C
- D. A, B, C, D

Maak nu de test op: <https://www.16personalities.com/nl/persoonlijkheidstest> (let erop dat de test in het Nederlands is)

Uitslag test:

Omcirkel jouw uitslag en schrijf het percentage erachter.

Voorbeeld: Extravert / introvert: 54%

Extravert / introvert: _____

Intuïtief / realistisch: _____

Rationeel / emotioneel: _____

Plannend / zoekend: _____

Assertief / turbulent: _____

Heel erg bedankt!

QR-code naar de test



De resulterende gravitatiekracht op een vliegtuig gedurende het traject over de straal van een hypothetische platte aarde

M. Bruin ¹, S. Lindeman ², E. van der Wiel ³, W. Winkel ⁴, A. ten Cate ⁴,
B.L.M. Berendsen ¹, H.J. Brandt ² & W. van der Meulen ³

¹Bonhoeffer Bruggertstraat, Enschede

²Bataafs Lyceum, Hengelo

³Het Stedelijk Lyceum Kottenpark, Enschede

⁴Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – The main purpose of this study is to investigate how a point mass above a flat Earth would behave. A MATLAB script is used in order to compute the resultant gravitational force at various heights above an infinitely thin disk, along a radial trajectory from its center to its edge. The resultant gravitational force is calculated by numerically integrating the contributions from infinitesimal mass elements across the disk, applying Newton's law of gravitation. The script evaluates the gravitational field at different heights and positions along the disk's radius. By analyzing the variation of force with height and radial distance, the results provide insights into the spatial distribution of gravitational forces above a disk-shaped mass. Based on the graphs presented in this paper, it can be concluded that the resultant gravitational force grows minimally from the center of the disk until about 5000 kilometers. When this point is reached, the resultant gravitational force grows abruptly. This can be attributed to the underlying mass elements that gradually reduce on the side of the edge of the hypothetical flat earth.

1. Introductie

De vorm van de planeet Aarde staat al sinds mensenheugenis ter discussie. De 'waarheid' die inhoudt hoe de planeet er in het echt uitziet, heeft zich over tijd ontwikkeld, naarmate men meer over het onderwerp te weten kwam. Waar in de archaïsche periode aangenomen werd dat de aarde plat was (Couprie, 2011), geloofde Griekse filosoof Anaximandros dat de aarde een korte cilinder was (Naddaf, 1998). De Britse schrijver Samuel Rowbotham beschreef ook dat de planeet Aarde een platte schijf zou zijn, waar Antarctica bestond uit torenhoge muren gemaakt van ijs (Brazil, 2020). Het geloof in de 'waarheid' dat de aarde plat zou zijn, begon rond de klassieke periode te wankelen. Door nieuwe inzichten en uitvindingen raakten wetenschappers overtuigd van het idee van een platte aarde, wat later ook oversloeg naar de rest van de bevolking (Allegro, 2017). Ook in de huidige samenleving bestaan complottheorieën die het idee van een platte aarde aanhouden, die met de opkomst van sociale media veel makkelijker een publiek kunnen vinden (Pannofino, 2024). Inmiddels is het voor het grootste deel van de populatie op aarde een gegeven om de aarde als bol te zien (Pannofino, 2024).

Het geloof in complottheorieën, en daarmee de ontkenning van wetenschappelijke bewijzen, is schadelijk voor het geloof in andere wetenschappelijk onderbouwde theorieën (Mousoulidou, Siakalli, Christoulou, & Argyrides, 2023). Ook kan aanhang van complottheorieën leiden tot sociale polarisatie (Lewandowsky, Ecker, & Cook, 2017). Daarnaast zijn veel fenomenen op aarde, zoals de zwaartekracht, gebaseerd op het gegeven dat de planeet rond is (Boyd, 2020). Uit eerder onderzoek is gebleken dat de zwaartekracht op een platte aarde op een andere manier ervaren zou worden (Rovenchak, 2019). De grondslag van veel aannames zou dan dus verdwijnen. In dit geval zou de gravitatiekracht van een platte aarde een hele andere invloed kunnen hebben op alledaagse activiteiten.

In dit onderzoek zal daarom getracht worden de volgende onderzoeksvraag te beantwoorden: "Hoe verandert de gravitatiekracht op een vliegtuig, versimpeld tot een puntmassa, gedurende het traject over de straal van een hypothetische platte aarde, op een hoogte van 2675, 5350, 8025 en 10700 meter?"

2. Theoretisch kader

2.1. Kracht

"Kracht ontstaat door interactie van velden of andere voorwerpen die invloed hebben op een object" (Goldstein, Poole, & Safko, 2002). Deze kracht kan de snelheid, vorm of richting van het object veranderen. Kracht wordt weergegeven met het symbool F en heeft als eenheid Newton (Halliday, Reysnick, & Walker, 2014). Krachten kunnen weergegeven worden als vectoren en zijn daarom vectorgrootheden. Dit betekent dat de kracht een richting, grootte en aangrijpingspunt heeft (Dyke & Whitworth, 2001). Vectorgrootheden kunnen elkaar beïnvloeden als ze op hetzelfde zwaartepunt werken. De grootte en richting van de vectoren bepalen de resulterende kracht (Dyke & Whitworth, 2001). Vectorgrootheden kunnen elkaar ook opheffen als ze in tegengestelde richting zijn gericht en dezelfde grootte hebben; dit heeft dan een resulterende kracht van 0 Newton (Wong, 2013).

2.2. Gravitatiekracht op aarde

De gravitatiekracht is een van de vier fundamentele natuurkrachten die elk object met massa beïnvloedt (Duncan, 2023). Het is de kracht die twee objecten op elkaar uitoefenen ten opzichte van elkaar. Gravitatiekracht is een vectorgrootheid. Het aangrijpingspunt (het zwaartepunt) van een object is het punt van een object waarvan de massa eromheen in evenwicht is (Halliday, Reysnick, & Walker, 2014).

De gravitatiekracht wordt uitgeoefend op het zwaartepunt van

een ander object (Gillies, 1997) en is afhankelijk van de massa van de objecten en de afstand tussen de desbetreffende objecten, zoals te zien in formule 1. Hoe groter de massa van een bepaald object, hoe groter de gravitatiekracht vanuit dat object is (Hartle, 2021). De grootte van de gravitatiekracht is uitgedrukt in de volgende formule (Couprie2011):

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Hierin is F_g de gravitatiekracht, m_1 de massa van het eerste object, m_2 de massa van het tweede object en r de straal tussen de zwaartepunten van twee objecten. G is de gravitatieconstante en heeft een waarde van $6,67384 \times 10^{-11}$ in $\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$ of $\text{m}^3\text{s}^{-2}\text{kg}^{-1}$ (Quinn & Speake, 2014).

De gravitatieconstante G is een empirisch bepaalde constante die door verschillende experimenten bepaald kan worden, zoals het torsiebalans-experiment, het pendule-experiment, het val-experiment of met behulp van interferometrie (Gillies, 1997). De gravitatieconstante geeft aan hoe de gravitatiekracht, de onderlinge afstand en de respectievelijke massa's van twee objecten zich tot elkaar verhouden (Halliday, Resnick, & Walker, 2014). Het gebruik van de constante in de formule voor gravitatiekracht is essentieel en de algemeen gebruikte CODATA-waarde komt uit het onderzoek van Cohen en Taylor (1987).

De zwaartekracht kan worden beschouwd als een versimpeling van formule 1, doordat de straal r en de massa m van de aarde constant zijn. Met waarden die bij berekeningen met betrekking tot de aarde steeds hetzelfde zijn, is er een nieuwe constante geassocieerd: de zwaartekrachtsversnelling, ook wel de valversnelling genoemd, deze wordt gegeven in formule 2. De valversnelling kan ook empirisch bepaald worden door middel van een pendule-experiment of een vrije-val-experiment (Cook, 1965).

$$g = \frac{G \cdot m_{\text{aarde}}}{r_{\text{aarde}}^2} \approx 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

Door deze constante kan de algemene formule voor de gravitatiekracht flink versimpeld worden en is de enige term die nog mist de massa m van het voorwerp waarop de zwaartekracht zich uitoefent. Dit leidt tot de volgende formule:

$$F_z = mg \quad (3)$$

2.3. De gravitatiekracht op een hypothetische platte aarde

Een platte aarde is natuurkundig gezien onmogelijk, omdat de vorm van een platte aarde de wetten van de zwaartekracht en de objecten in beweging ontkent; zwaartekracht trekt massa's naar elkaar toe, wat resulteert in een sferische vorm voor grote objecten zoals bij planeten (Boyd, 2020). Een platte aarde is dus geen planeet en dus een hypothetisch model. In 3.1 wordt het hypothetische model beschreven dat in dit onderzoek is gebruikt.

Op het middelpunt van de schijf is er overal om het object evenveel aardoppervlak en wordt er overal even hard aan het object

boven de schijf getrokken. Doordat de horizontale krachten, die in tegengestelde richting staan, elkaar opheffen, blijft er een netto kracht over, die loodrecht naar beneden gericht is. Dit betekent dat de krachten die op het object werken in evenwicht zijn en niet voor een verandering in de beweging van het object zorgen, zoals in de eerste wet van Newton wordt beschreven (Goldstein, Poole, & Safko, 2002). Wanneer een object boven de platte aarde zich buiten het middelpunt van de platte aarde bevindt, heffen de horizontale krachten elkaar niet meer volledig op. Dit komt doordat er aan de ene kant van het object meer oppervlak van de platte aarde is dan aan de andere kant. Wanneer het oppervlak groter is, is de massa groter, en dus de gravitatiekracht, zoals te herleiden uit formule 1. De kant waar het middelpunt van de platte aarde zich bevindt heeft altijd een groter oppervlak, waardoor het object richting het middelpunt getrokken wordt. Hoe verder een object van het middelpunt vandaan is, hoe sterker het naar het middelpunt wordt getrokken. Dit wordt veroorzaakt doordat het verschil in oppervlak aan beide kanten van het object steeds groter wordt.

Hierdoor kost het steeds meer kracht om richting de rand van de aarde te verplaatsen. In theorie zou de platte aarde aanvoelen als een kom, zoals weergegeven in figuur 1 (Rovenchak, 2019). Op een hypothetische schijf word je dus continu naar het middelpunt getrokken (Rovenchak, 2019).

3. Methode

Door middel van een MATLAB-script is in dit onderzoek de resulterende gravitatiekracht op een object berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de verschillende hoogtes van 10700, 8025, 5350 en 2675 meter boven het oppervlak van de schijf. In deze methode zal allereerst de hypothetische onderzoekssituatie worden geschetst en de nodige informatie verschaft omtrent de indeling van het MATLAB-script. Vervolgens zal in 3.2 stap voor stap uitgelegd worden welke stappen in het script ondernomen worden om de gravitatiekracht te berekenen die wordt uitgeoefend op een voorwerp boven de hypothetische platte aarde. Ook zullen de in het MATLAB-script gebruikte formules en parameters worden verklaard. De resultaten uit dit MATLAB-script zullen worden weergegeven in grafieken. Ten slotte zullen controlemethoden benoemd en uitgewerkt worden.

3.1. Onderzoekssituatie

In dit onderzoek wordt er gerekend met een ronde schijf met een dikte die infinitesimaal is, wat betekent dat de schijf oneindig dun is. Ook zal de schijf een gelijke straal als de aarde bezitten, dat wil zeggen 6.371×10^6 m (Chambat & Valette, 2001). En zal de schijf een gelijke massa als de aarde bezitten, namelijk 5.973×10^{24} kg (Chambat & Valette, 2001). In theorie is dit mogelijk door de dichtheid van de schijf sterk te verlagen. De massaverdeling van de schijf is uniform, wat betekent dat de massa geheel gelijk verdeeld is over de schijf zelf. Belangrijk om te melden is dat in dit onderzoek geen rekening gehouden wordt met eventuele rotatie van de gehele schijf. De hiervoor beschreven schijf zal de hypothetische platte aarde gaan voorstellen.

3.2. MATLAB-script

3.2.1 radiale en angulaire verdeling

Normaal gesproken zou het berekenen van de gravitatiekracht van de schijf op het vliegtuig van zwaartepunt tot zwaartepunt kunnen. In dit geval zou het vliegtuig dus maar naar één richting getrokken worden; het midden van de schijf. In de praktijk heeft de gehele schijf invloed op het vliegtuig en dus niet alleen het midden, waardoor het vliegtuig verschillende richtingen op wordt getrokken. Om de invloed van de aantrekkingskracht van de gehele schijf zo correct mogelijk te berekenen, is er gekozen om de schijf in veel kleine subdivisies te verdelen. In dit onderzoek wordt de schijf als het ware verdeeld in taartpunten met een hoek θ , ook wel de angulaire verdeling, en ringen, de radiale verdeling, zoals te zien in figuur 2. Deze verdeling wordt bepaald door de resolutie Nr, die bestaat uit het aantal radiale onderverdelingen, en Nt, die bestaat uit het aantal angulaire onderverdelingen voor het integreren. Of anders gezegd; Nt en Nr duiden aan in hoeveel stukken de schijf verdeeld wordt. Door middel van de angulaire en radiale verdeling ontstaat een rooster met alle subdivisies van de platte schijf, die elk een differentieel massa-element, dm , genoemd worden.

3.2.2 Differentiële massa dm

De differentiële massa dm is een zeer klein deeltje van de totale massa m van de schijf. Het bepalen van de massa van deze stukjes gebeurt aan de hand van de differentiële oppervlakte (dA) en de oppervlakedichtheid (c), zoals in de volgende formule:

$$dm = c \cdot dA \quad (4)$$

De oppervlakedichtheid, c , wordt berekend door de totale massa van de schijf door de totale oppervlakte te delen en kan worden uitgedrukt als:

$$c = \frac{M}{A} = \frac{M}{\pi r^2} \quad (5)$$

In formule 5 wordt de differentiële oppervlakte aangeduid als dA . dA is op zijn beurt weer een zeer klein deel van de totale oppervlakte A . De differentiële oppervlakte kan worden uitgedrukt in de volgende formule:

$$dA = r' \cdot dr' \cdot d\theta \quad (6)$$

Hierbij is r' de afstand van het middelpunt van de schijf tot het middelpunt van een massa-element, dr' een erg kleine afstand tussen de achtereenvolgende massa-elementen en $d\theta$ een verandering in de hoek.

Wanneer formule 4, 5 en 6 worden samengevoegd, ontstaat de volgende formule:

$$dm = \frac{M}{\pi r^2} \cdot (r' \cdot dr' \cdot d\theta) \quad (7)$$

3.2.3 De gravitatiekracht van één differentiële oppervlakte

De afstand tussen de zwaartepunten van de differentiële oppervlakten en het object is naast de massa ook van invloed op de gravitatiekracht, zoals te zien in formule 1. In dit onderzoek bevindt het object zich boven de schijf, en dus ook boven de differentiële oppervlakten. De afstand tussen het zwaartepunt van een differentiële oppervlakte en het zwaartepunt van het object wordt benoemd met ' r_{diff} ' en kan met de volgende formule worden berekend:

$$r_{\text{diff}} = \sqrt{r'^2 + h^2} \quad (8)$$

Hierbij is h de hoogte van het object boven de schijf en r' de horizontale afstand vanaf het differentiële oppervlak tot het object.

Als de afstand r_{diff} groter dan 0 meter is, kan de gravitatiekracht van een differentiële oppervlakte die werkt op het object, ook wel dF , worden uitgedrukt in de volgende formule:

$$dF = \frac{g \cdot m_{\text{test}} \cdot dm}{r_{\text{diff}}^2} \quad (9)$$

De stappen van formule 4 tot en met formule 9 worden in het MATLAB-script herhaald in een "for-loop", wat inhoudt dat de gravitatiekracht voor elk individueel massa-element opnieuw berekend wordt.

3.2.4 De gravitatiekrachtcomponenten

In dit script wordt gebruikgemaakt van een driedimensionaal assenstelsel, met de assen x, y en z, zoals te zien in figuur 3. Bij gebruik van dit assenstelsel is het mogelijk om de plaats te beschrijven met drie coördinaten. Een waarde voor de x-as, de y-as en de z-as geven dan een plek in de driedimensionale ruimte aan. De kracht dF wordt ontbonden in drie vectoren in de ruimtelijke richtingen, x-, y- en z-as.

$$dF_x = dF \cdot \frac{r' \cos \theta}{r_{\text{diff}}} \quad (10)$$

$$dF_y = dF \cdot \frac{r' \sin \theta}{r_{\text{diff}}} \quad (11)$$

$$dF_z = dF \cdot \frac{h}{r_{\text{diff}}} \quad (12)$$

Aangezien de schijf een symmetrie heeft, kan de y-component van de kracht door de symmetrie van de schijf op nul worden gezet. Zo wordt het traject over de platte aarde als het ware loodrecht op de y-as gezet. Door het traject zo te positioneren, zullen alle krachten in de y-richting uiteindelijk op elkaar worden gecompenseerd.

3.2.5 De integratie en de totale gravitatiekracht

De totale gravitatiekracht in de richtingen x, y en z wordt bepaald door middel van numerieke integratie, waarbij de grav-

itatiekrachten in één richting vanuit de individuele massaelementen bij elkaar worden geteld. Zo wordt een totale gravitatiekracht in de x-, y- en z-richting verkregen. De krachtcomponenten worden voor elke r' en θ berekend en opgeteld:

$$F_x = \int_0^R \int_0^{2\pi} dF_x \cdot r' \cdot dr' \cdot d\theta \quad (13)$$

$$F_y = \int_0^R \int_0^{2\pi} dF_y \cdot r' \cdot dr' \cdot d\theta \quad (14)$$

$$F_z = \int_0^R \int_0^{2\pi} dF_z \cdot r' \cdot dr' \cdot d\theta \quad (15)$$

De krachten in de drie richtingen worden uiteindelijk samengevoegd om de totale, resulterende kracht op het object te bepalen. Dit gebeurt door de krachten F_x , F_y en F_z op te tellen.

$$F_{\text{tot}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (16)$$

3.2.6 Het kiezen van de parameters

Om resultaten te verkrijgen uit het MATLAB-script moeten er waarden voor de gebruikte parameters verkozen worden.

1. Straal R : 6.371×10^6 meter, met een onzekerheid van 10 meter. (Chambat & Valette, 2001)
2. Hoogte H : 10700 meter. De hoogte in dit onderzoek is gebaseerd op de kruishoogte van een vliegtuig, aangezien de gravitatiekracht wordt berekend voor een vliegtuig, gesimplificeerd tot een punt. (Jij en Schiphol, sd)
3. Gravitatieconstante G : 6.67408×10^{-11} , met een onzekerheid van 4.7×10^{-5} (Newell, 2015).
4. Oppervlakte massadichtheid c : Oppervlakte massadichtheid wordt berekend met formule 5 uit 3.1.

$$c = \frac{M}{\pi R^2} = \frac{5.972 \times 10^{24}}{\pi (6.371 \times 10^6)^2} = 4.6841 \times 10^{10} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (17)$$

5. Massa van het object m-test: 396.890 kg. De massa is gebaseerd op de maximale startmassa van het vliegtuig-model Boeing 747 (Jij en Schiphol, sd).
6. Angulaire en radiale verdeling: Voor de waarde van N_t is de waarde 10 000 gekozen, de hoek is dan 0,01% van een cirkel. Voor de waarde van N_r is de waarde 50 000 gekozen, het verschil in straal is dan 0,002% van de totale straal.

3.2.7 Variabele meetdichtheid

Het totaal aantal meetpunten over het traject van midden tot rand is 21. Deze meetpunten zijn niet gelijk verdeeld over de straal van de schijf, maar nemen in frequentie toe naarmate de rand wordt genaderd. De meetpunten zijn onderverdeeld in drie delen die verschillen in grootte, maar wel elk 7 meetpunten bevatten. Gebied 1 is de eerste 90% van het traject van midden

tot rand van de platte aarde. Gebied 2 is de volgende 9% van het traject en gebied 3 is de laatste 1%, zoals te zien in figuur 4. Met deze variabele meetdichtheid wordt er dus naarmate de rand genaderd wordt steeds meer gemeten.

3.3. Controle op de validiteit van het MATLAB-script

3.3.1 Differentiële oppervlakte dA

Om te controleren of de formule voor dA correct is, wordt de som van alle differentiële oppervlaktes vergeleken met de totale oppervlakte van de platte aarde. In figuur 5 is te zien dat de bovenste berekening van het MATLAB-script tot wel 14 decimalen overeenkomt met het onderste resultaat uit de klassieke berekening van de oppervlakte van een cirkel, in dit geval de platte schijf.

3.3.2 Straal tot het vliegtuig vergroten

Door de afstand tussen de platte aarde en het vliegtuig duizend keer groter te maken dan de straal van de platte aarde zelf, kan de platte aarde beschouwd worden als een puntmassa (Halliday, Reysnick, & Walker, 2014). De resultaten uit het MATLAB-script zouden bij deze afstand vergelijkbaar moeten zijn met formule 1, die de gravitatiekracht tussen twee puntmassa's berekent. In figuur 6 is te zien dat de gravitatiekracht op deze hoogte bij gebruik van het MATLAB-script, grafieklijn Fxyz, een waarde aanneemt van afgerond 4,394159 N. De gravitatiekracht is bij dezelfde omstandigheden afgerond 4.394163 N, zodra je deze berekent met formule 1, grafieklijn Fxyz(pointmass). De resultaten van het MATLAB-script wijken 0,00008% af.

4. Resultaten

De figuren 7, 8, 9 en 10 vertonen vergelijkbare resultaten. Het blijkt dat F_x steeds groter wordt. F_z blijft over een groot deel van de grafiek constant, maar wordt gevolgd door een abrupte daling. Zoals eerder in de methode vermeld, blijft de F_y -component nul. F_x en F_z zijn negatief, dit wordt veroorzaakt doordat deze componenten worden geprojecteerd volgens de richting van de vector, die vanaf het object naar de schijf gericht is. De vectoren staan in tegenovergestelde richting van de beweging, waardoor deze krachten negatief zijn. Fxyz geeft de totale kracht weer; het is de optelsom van F_x , F_y en F_z . Uit formule 16 volgt dat dit getal positief is.

In figuur 11 is van elke hoogte de Fxyz-grafiek weergegeven. Opvallend is dat deze elkaar bijna volledig lijken te overlappen. Het significante verschil dat wel uit de grafiek naar voren komt, is dat de grafieken van de verschillende hoogtes een andere maximale waarde hebben bij het meetpunt op de rand van de straal. Hierbij heeft de hoogte van 2675 meter de hoogste resulterende waarde en de hoogte van 10700 meter de kleinste resulterende waarde. In figuur 12 is een gedeelte van de grafiek ver ingezoomd weergegeven, waardoor duidelijk wordt dat er wel een verschil is tussen de resulterende gravitatiekracht op verschillende hoogtes, maar dat deze erg klein is.

De figuren 13, 14, 15, 16 en 17 geven weer hoe groot de gravitatiekracht per differentiële oppervlakte is op één meetpunt. Oftewel, de figuren geven de groottes van alle afzonderlijke

differentiële krachten, dF , die samen de totale kracht, F_{xyz} , vormen. Het meetpunt in deze figuren zit recht boven het middelpunt van de schijf.

5. Conclusie

Uit de grafiek in figuur 11 valt te concluderen dat de verschillen in de hoogtes van het vliegtuig boven de schijf weinig invloed hebben op de resulterende gravitatiekracht. Uit de resultaten blijkt dat voornamelijk de kracht van de individuele massa-elementen in afstand tot het vliegtuig over de x -as tot en met de orde van grootte 10^2 van grote invloed zijn op de totale gravitatiekracht. Dit verschijnsel is te verklaren door het gebied dat de grootste invloed heeft op de grootte van de resulterende gravitatiekracht op de platte aarde te analyseren. In figuur 14 over de hoogte van 2675 meter is een cirkel te zien met massa-elementen die de meeste invloed hebben op het object, met een straal van ongeveer 20 kilometer. Buiten deze straal hebben de massa-elementen steeds minder invloed op de resulterende gravitatiekracht. Ook in figuren 15, 16 en 17 is zo'n vergelijkbare cirkel te zien. Binnen deze cirkel die de massa-elementen bevat met de meeste invloed, is er tevens sprake van opheffing van krachten doordat vectoren exact tegengestelde richtingen hebben rondom het meetpunt. Naarmate de meetpunten dichter bij de rand van de platte aarde komen, verschuift de cirkel van invloed van de onderliggende massa-elementen mee in dezelfde richting. Wanneer deze cirkel van invloed wordt onderbroken door de rand van de platte aarde, vallen de massa-elementen buiten de schijf weg. Dit heeft als gevolg dat de aantrekkingskracht van de overgebleven massa-elementen niet langer wordt opgeheven door de massa-elementen die normaal direct daartegenover zouden liggen. Hoe dichter bij de rand, des te meer invloed hebben de massa-elementen die wegvallen. De stijging van de resulterende gravitatiekracht neemt dus sterker toe naarmate het meetpunt dichter bij de rand ligt. Dit verklaart de steile piek wanneer het vliegtuig de rand van de platte aarde bijna nadert.

6. Discussie

6.1. Validiteit

Zoals eerder vermeld is dit onderzoek volledig hypothetisch, waardoor een volledig valide onderzoek vrijwel onmogelijk is. Om dit tot op zekere hoogte te compenseren zijn verschillende manieren bedacht om de resultaten te controleren.

6.1.1 Hypothetisch model

Door gravitatiekracht die op een object werkt, ontstaat bolvorming, waardoor een platte aarde niet kan bestaan. In een situatie waar een platte aarde wel kan bestaan, zullen er andere natuurwetten zijn. Dit onderzoek wordt echter wel gebaseerd op formules die afgeleid zijn van de huidige formules voor gravitatiekracht. Zo is de gravitatieconstante, die in berekeningen wordt gebruikt, afgeleid uit experimenten op aarde, en het is niet zeker of deze zou gelden voor een situatie waar een platte aarde mogelijk is. Daarnaast is het bestaan van een oneindig dunne schijf met een oneindige dichtheid volgens de basisnatuurwetten onmogelijk. Het is een combinatie van twee verschillende modellen, namelijk het hypothetische model van de platte aarde en het bestaande model van de bolvormige aarde, die

gebaseerd is op de huidige natuurkunde. Deze combinatie tast de validiteit en relevantie van het onderzoek aan.

Doordat er berekeningen worden gedaan aan een hypothetisch model, is het niet mogelijk om experimenten uit te voeren. Het is dus niet mogelijk om de resultaten te controleren door middel van fysieke testmetingen; ook dit tast de validiteit van het onderzoek aan.

6.1.2 Controle MATLAB-script

In de methode is door middel van berekeningen gecontroleerd of op grote hoogte de gravitatiekracht uit het MATLAB-script overeenkomt met de resultaten uit formule 1. Het resultaat uit het MATLAB-script week 0,00008% af van het resultaat uit formule 1, wat de validiteit van het MATLAB-script vergroot.

In voorgaand onderzoek van Olena Kuzji en Andrij Rovenchak werd vastgesteld dat de platte aarde als een kom zou aanvoelen, omdat er meer weerstand ondervonden zou worden naarmate de rand genaderd wordt (Rovenchak, 2019). In dit onderzoek is aan de hand van de grafieken ook te zien dat wanneer de meetpunten verder van het middelpunt af komen te liggen, de horizontale component van de gravitatiekracht toeneemt, wat voor meer weerstand zorgt. Hoewel voorgaand onderzoek ook is gebaseerd op een hypothetische situatie, vergroot deze overeenkomst de validiteit van het onderzoek.

6.1.3 Verwaarlozingen

Voor de berekening van de resulterende kracht die op een punt werkt, wordt in dit onderzoek enkel gekeken naar de aantrekkingskracht van de platte aarde, die op het punt werkt. Er is geen rekening gehouden met eventuele andere factoren die invloed op het punt zouden kunnen hebben. Zo zouden andere hemellichamen, zoals manen en planeten, effect kunnen hebben op de richting en grootte van de kracht op het punt. Daarnaast wordt de baan en beweging van de platte aarde niet meegenomen in het onderzoek, terwijl dit ook van invloed is op de kracht en richting van het punt. Ook zijn de interne krachten binnen de schijf verwaarloosd; de verschillende massa-elementen waarin de schijf verdeeld is, hebben in de praktijk ook weer invloed op elkaar. Al deze voorgaande factoren worden niet meegenomen in het onderzoek.

In dit onderzoek is de resulterende gravitatiekracht op een object berekend, maar er is geen onderzoek gedaan naar de totale gravitatiekracht op dat object. Vectoren kunnen elkaar namelijk gedeeltelijk of zelfs geheel opheffen, waardoor de totale gravitatiekracht die een object ondervindt groter kan zijn dan de resulterende gravitatiekracht, zo ook op de platte aarde. Neem als voorbeeld een touw dat op spanning staat, maar nog niet knapt. Er werken wel degelijk krachten op dit touw, maar er is geen resulterende kracht. Eventuele invloeden van deze totale gravitatiekracht zijn niet meegenomen in het vergaren en het analyseren van de resultaten.

6.2. Betrouwbaarheid

6.2.1 Resolutie en het aantal meetpunten

Het gebruikte script is een geoptimaliseerde versie van een eerder script. In dit eerdere script werd gebruikgemaakt van

de resolutie N en werd deze dus niet gesplitst in N_r en N_t . Tijdens de eerste paar tests van het oude MATLAB-script was er een onverklaarbare piek op ongeveer het midden van de straal R , zoals te zien in figuur 18. Vervolgens zijn de waarden voor de resolutie (N) en het aantal meetpunten (n) verhoogd. Normaliter zou er dan een steeds nauwkeuriger en logischer resultaat uit volgen, maar in de realiteit werden de grafieken steeds minder verklaarbaar. Dit is te zien in figuur 19 en 20. Na het verhogen van de resolutie N en de meetfrequentie n ontstonden er ook veel achtereenvolgende pieken en dalen, waardoor het oogde alsof de grafiek als het ware 'ingekleurd' was. Dit is het beste te zien in figuur 19.

De verklaring voor het ontstaan van deze grafieken was het feit dat de waarden voor N en n niet gelijk aan elkaar waren. Als de resolutie voor de integratie gelijkgemaakt was aan het aantal testpunten, wordt er precies één integraal uitgevoerd voor elk testpunt langs de straal van de schijf. Dit betekent dat de massaverdeling die je gebruikt in de integratie exact overeenkomt met de posities van de testdeeltjes. Zo is er geen mismatch in de discretisatie van de schijf en de posities waar je de kracht berekent.

Deze bevinding heeft ertoe geleid dat in het uiteindelijke script de resultaten niet afhankelijk zouden zijn van een overeenkomende waarde van N en n . Hierdoor is het nieuwe script nauwkeuriger en heeft deze bevinding bijgedragen aan de betrouwbaarheid van ons onderzoek.

6.2.2 dA controle

Naast de controle van de gravitatiekracht is er ook controle uitgevoerd op de betrouwbaarheid van de berekening voor de totale oppervlakte van de schijf die het MATLAB-script uitvoert. De som van alle oppervlaktes van de massa-elementen is vergeleken met het resultaat uit de formule voor de oppervlakte op een schijf. Deze resultaten kwamen tenminste met 15 decimalen cijfers overeen. Het resultaat van deze controle toont de nauwkeurigheid van het MATLAB-script aan, wat de nauwkeurigheid van de resultaten benadrukt en de betrouwbaarheid van het onderzoek vergroot.

6.2.3 Beperkingen

In dit onderzoek is met een MATLAB-script de resulterende gravitatiekracht op een bepaalde hoogte boven een plek op de platte schijf bepaald, aangezien er geen empirische bepalingen gedaan kunnen worden op een hypothetische platte aarde. Met het gebruik van het MATLAB-script komt een beperking in technologie, hoewel de gekozen resolutie erg groot is, blijft er een kleine onnauwkeurigheid. Voor de betrouwbaarheid én validiteit van een eventueel vervolgonderzoek zou het voordelig zijn om technologie te gebruiken waarop de resolutie nog verder verhoogd kan worden.

6.2.4 Het verschil in dA en daardoor aantrekkingskracht tussen de individuele massa-elementen

Bij het proces om de oppervlakte en massa van de massaelementen te berekenen is er gebruikgemaakt van een radiale en angulaire onderverdeling, zoals te zien in figuur 2. Deze verdeling heeft het resultaat dat de oppervlakte,

en daarmee de massa en aantrekkingskracht, van de massa-elementen relatief groter worden naarmate de rand genaderd wordt. De aantrekkingskracht van de massaelementen is hier daarom minder nauwkeurig verdeeld ten opzichte van de aantrekkingskracht van de kleinere massaelementen.

Ook de snelle stijging die waargenomen wordt in figuur 7 tot en met 11 betreffende de resulterende gravitatiekracht wordt versterkt door dit verschil in aantrekkingskracht. Naarmate de testpunten verder van het middelpunt komen, valt er door het grotere oppervlak van de massa-elementen relatief meer aantrekkingskracht weg. Aan de rand heeft dit nog meer effect, aangezien er in de cirkel van invloed grotere massaelementen wegvallen. Dit zorgt er dus voor dat de grafiek op het eind nog sneller stijgt.

Om de nauwkeurigheid van de aantrekkingskracht zo groot mogelijk te houden, was het belangrijk om het aantal angulaire en radiale onderverdelingen zo groot mogelijk te maken, ongeacht het aantal onderverdelingen zal er door de gekozen verdeling altijd een kleine onnauwkeurigheid zijn bij meetpunten dicht bij de rand. In een volgend onderzoek zou deze onzekerheid tegengegaan kunnen worden door ervoor te zorgen dat alle massa-elementen een even grote aantrekkingskracht hebben, en zullen de resultaten een grotere betrouwbaarheid hebben.

Referenties

- 123-3D.nl. (sd). *3D Print Helpcentrum*. Opgehaald van 123-3D.nl: <https://www.123-3d.nl/page/3d-printer>
- Allegro, J. J. (2017, maart). The bottom of the Universe: Flat Earth Science in the Age of Encounter. *History of Science*, pp. 61-85.
- Boyd, J. P. (2020). *Meteorology and Oceanography on a Flat Earth*. Michigan: University of Michigan.
- Brazil, R. (2020, juli 14). fighting flat-Earth theory. Opgehaald van PhysicsWorld: <https://physicsworld.com/a/>
- Chambat, F., & Valette, B. (2001, april 4). Mean radius, mass, and inertia for reference Earth models. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, pp. 237-253.
- Cook, A. H. (1965). The Absolute Determination of the Acceleration Due to Gravity. *Metrologia*, pp. 84-114.
- Couprie, D. L. (2011). The Archaic World Picture. In *Astrophysics and Space Science Library* (pp. 3-14).
- Duncan, J. (2023). On the nature of the gravitational force.
- Dyke, P., & Whitworth, R. (2001). Force as a vector. In P. Dyke, & R. Whitworth, *Guide to Mechanics* (p. 368). UK: Bloomsbury Publishing Plc.
- Favinger, A. (2008). The Polar Coordinate System. *University of Nebraska-Lincoln*.
- Forsberg, R., Feissl, M., & Dietrich, R. (2011). *Geodesy on the Move: Gravity, Geoid, Geodynamics and Antarctica*.
- Gillies, G. T. (1997). The Newtonian gravitational constant: recent measurements and related studies. *Reports On Progress*

in *Physics*, pp. 151-225.

Goldstein, H., Poole, C. P., & Safko, J. (2002). *Classical Mechanics*. India: Dorling Kindersley.

Griffiths, D. (1987). *Introduction to Elementary Particles*. Wiley-VCH.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). Measurement. In D. Halliday, R. Resnick, & J. Walker, *Fundamentals of Physics* (pp. 6-10). John Wiley & Sons.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). Gravitation. In D. Halliday, R. Resnick, & J. Walker, *Fundamentals of Physics* (pp. 388-421). John Wiley & Sons.

Hartle, J. (2021). *Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity*. Cambridge: Cambridge University Press.

International Astronomical Union. (2006). *IAU 2006 General Assembly: Result of the IAU resolution votes*. Praag: International Astronomical Union.

Jhncls. (2013, september 7). File:Poolcoordinaten.svg. Opgehaald van Wikimedia Commons:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/>

Jij en Schiphol. (sd). Opgehaald van schiphol.nl.

Kuuke's Sterrenbeelden. (2020, september 2). *Kuuke's Sterrenbeelden*. Opgehaald van de vier fundamentele natuurkrachten: <https://www.kuuke.nl/natuurkrachten/>

Mann, A. (2016, september 6). Articles. Opgehaald van PNAS: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073>

Naddaf, G. (1998). *On the Origin of Anaximander's Cosmological Model*. Johns Hopkins University Press.

Newell, D. (2015). *CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014*.

Pannofino, N. L. (2024). *The "Global" Deception: Flat-Earth Conspiracy Theory between Science and Religion*. Turin: University of Turin.

Quinn, T., & Speake, C. (2014, juli 1). The search for Newton's constant. *Physics Today*, pp. 27-33. Opgehaald van Physics Today: <https://pubs.aip.org/physicstoday/>

Rovenchak, O. K. (2019). What the gravitation of a flat Earth would look like and why thus the Earth is not actually flat. *European Journal of Physics*.

Taylor, E. R. (1987, oktober 1). The 1986 adjustment of the fundamental physical constants. *American Physical Society*.

Wong, C. W. (2013). *Introduction to Mathematical Physics: Methods & Concepts*.

7. Figuren

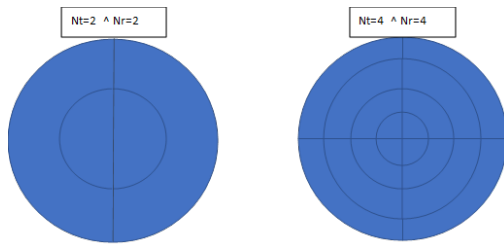


Figure 2: geeft de angulaire en radiale verdeling van de schijf weer

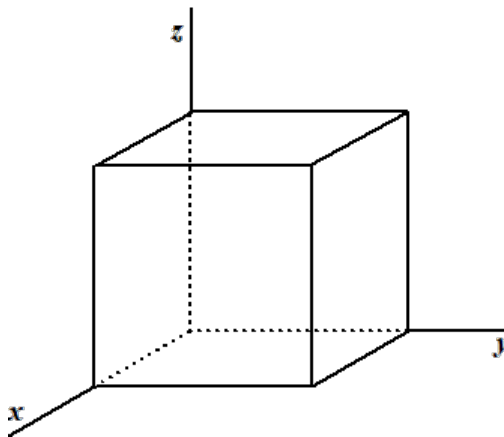


Figure 3: Het driedimensionale assenstelsel

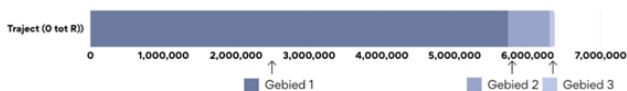


Figure 4: Schematische weergave van de lengte verdeling tussen de drie gebieden langs het traject van midden tot de rand

```
A =
1.275161179774471e+14

>> pi*R^2

ans =
1.275161179774471e+14
```

Figure 5: Resultaat van de berekeningen van de oppervlakte van de hypothetische platte aarde

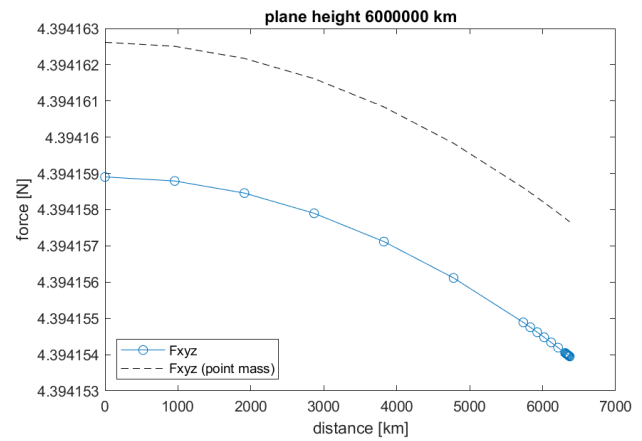


Figure 6: Resultaat van het extreem vergroten van de straal tot de platte aarde

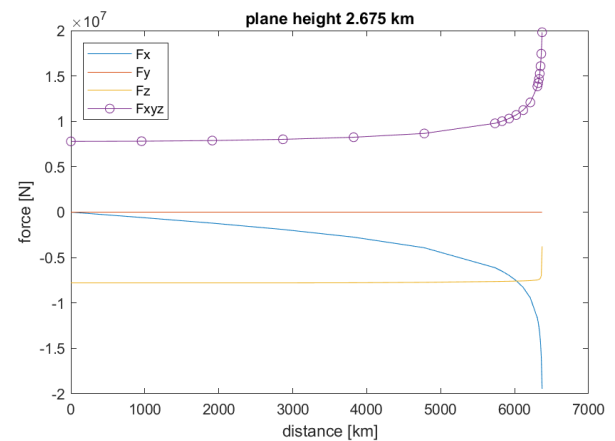


Figure 7: Schematische weergave van de drie krachtscomponenten en de resulterende gravitatiekracht op een hoogte van 2.675km

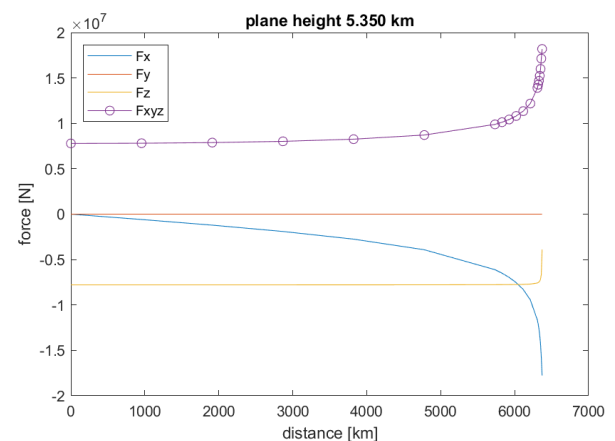


Figure 8: Schematische weergave van de drie krachtscomponenten en de resulterende gravitatiekracht op een hoogte van 5.380 km

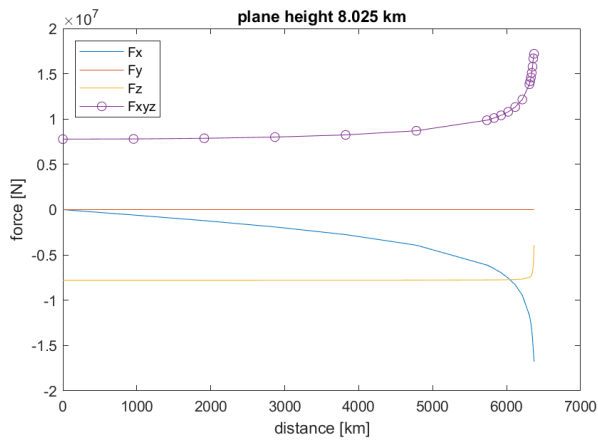


Figure 9: Schematische weergave van de drie krachtscomponenten en de resulterende gravitatiekracht op een hoogte van 8.025 km

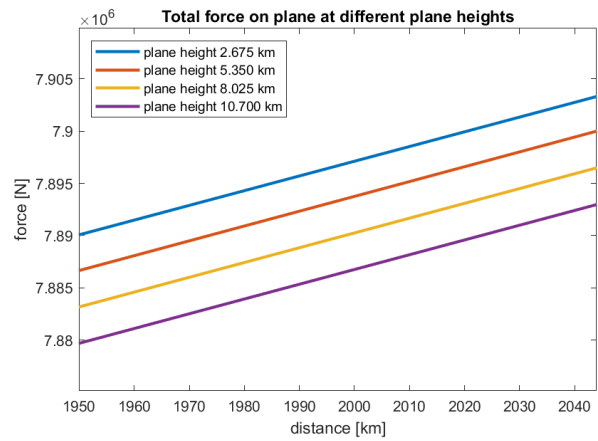


Figure 12: Ingezoomde weergave van figuur 11 in het interval van 1950 km- 2043 km

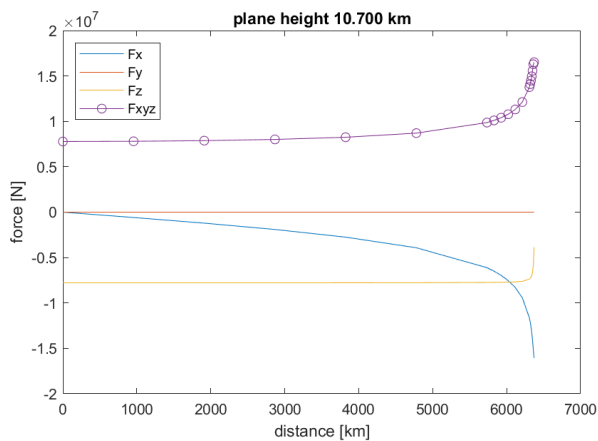


Figure 10: Schematische weergave van de drie krachtscomponenten en de resulterende gravitatiekracht op een hoogte van 10.700 km

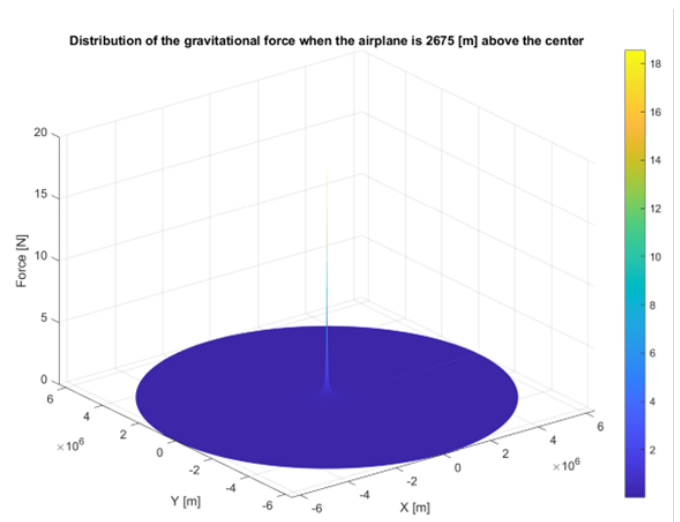


Figure 13: Weergave van de individuele aantrekkingskracht van elk massaelement op het vliegtuig boven het middelpunt, waarbij $h=2675$

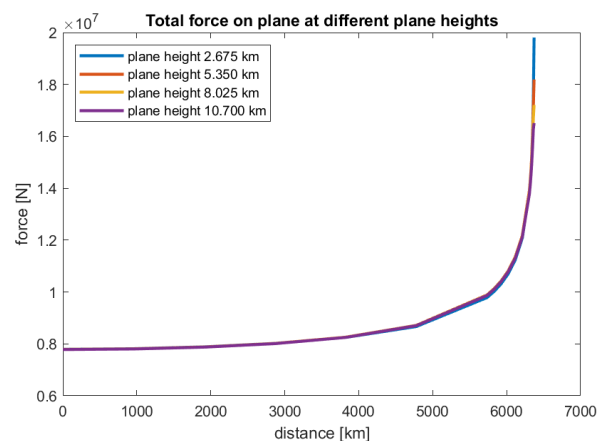


Figure 11: Schematische weergave van de resulterende gravitatiekracht op alle vier de hoogtes

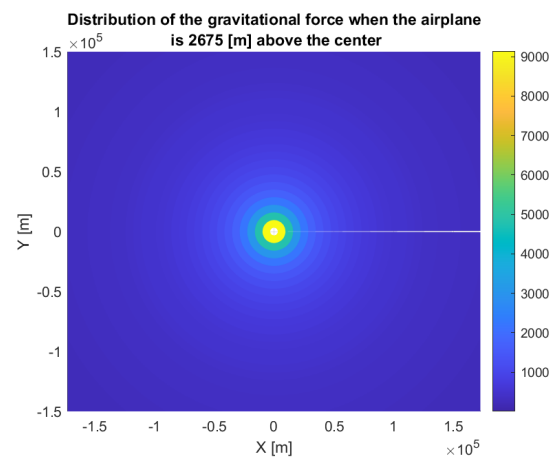


Figure 14: Bovenaanzicht van de individuele aantrekkingskracht van elk massaelement op het vliegtuig boven het middelpunt, waarbij $h=2675$

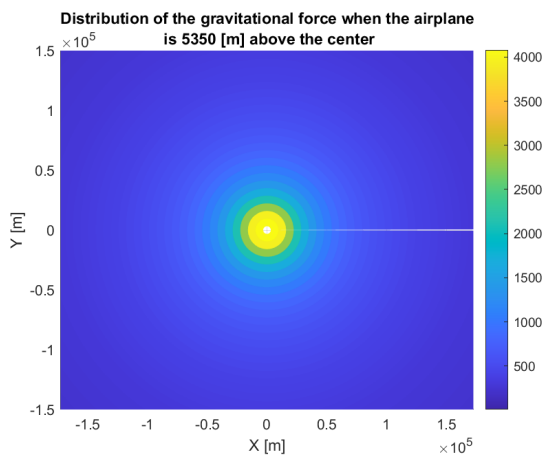


Figure 15: Bovenaanzicht van de individuele aantrekkingskracht van elk massaelement op het vliegtuig boven het middelpunt, waarbij $h=5350$



Figure 18: resultaat van het eerste MATLAB-script met $n=50$ en $N=100$

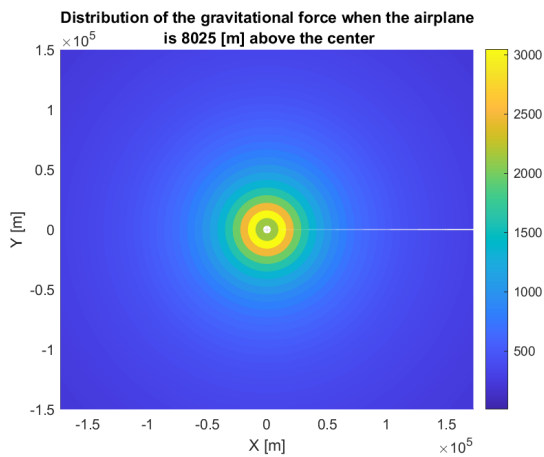


Figure 16: Bovenaanzicht van de individuele aantrekkingskracht van elk massaelement op het vliegtuig boven het middelpunt, waarbij $h=8025$



Figure 19: resultaat van het eerste MATLAB-script met $n=500$ en $N=100$

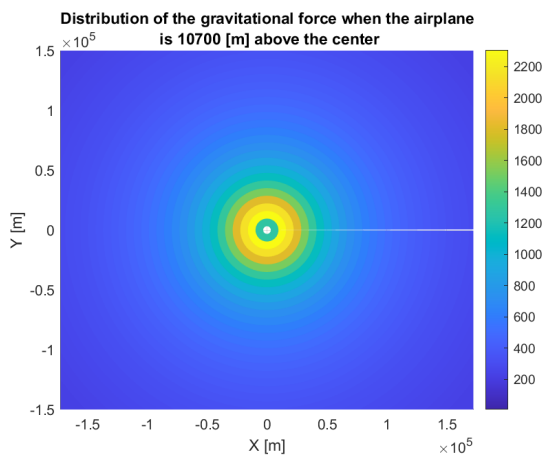


Figure 17: Bovenaanzicht van de individuele aantrekkingskracht van elk massaelement op het vliegtuig boven het middelpunt, waarbij $h=10700$



Figure 20: resultaat van het eerste MATLAB-script met $n=10\,000$ en $N=500$

8. Matlab code

```

1 % Initialize
2 clear all; close all; clc;
3 tic;
4
5 % Parameters
6 R = 6.371e6;           % Radius of the disk in meters
7 c = 4.6841e10;         % Areal mass density in kg/m^2
8 m_test = 396890;       % Mass of the test particle in kg
9 G = 6.67408e-11;       % Gravitational constant in m^3 kg^-1 s^-2
10 Nr = 50000;           % Number of radial subdivisions for the integration
11 Nt = 10000;           % Number of tangential subdivisions for the integration
12 n_points = 21;        % Number of test points along the radius
13
14 % Hoogtes om te berekenen
15 heights = [2675, 5350, 8025, 10700]; % Hoogtes in meters
16
17 % X-positions of the test particle
18 x_positionsA = linspace(0.00*R, 0.90*R, round(n_points/3));
19 x_positionsB = linspace(0.90*R, 0.99*R, round(n_points/3));
20 x_positionsC = linspace(0.99*R, 1.00*R, round(n_points/3));
21 x_positions = unique([x_positionsA x_positionsB x_positionsC]);
22 n_points = length(x_positions);
23
24 % Opdeling van de aarde in segmenten
25 dr = R/Nr;
26 dtheta = 2*pi/Nt;
27
28 % Mogelijke straal en hoek van de segmenten
29 ri = ((1:Nr)-1/2)*dr;
30 ti = ((1:Nt)-1/2)*dtheta;
31 [RR,TT] = meshgrid(ri,ti); % Schakel over naar tabel-vorm
32
33 % Oppervlak en massa van elk segment
34 dA = dr.*dtheta;
35 dM = dA .* c;
36
37 % Totale oppervlak en massa van de platte aarde
38 A = sum(sum(dA));
39 M = sum(sum(dM));
40 relErrorA = (A - pi*R^2)/(pi*R^2);
41
42 % Zwaartepunt van elk segment
43 XX = RR.*cos(TT);
44 YY = RR.*sin(TT);
45 ZZ = 0;
46
47 % y-coördinaat van het vliegtuig
48 y_test = 0;
49
50 % Preallocate for efficiency
51 F_all = zeros(n_points, 4, length(heights));
52
53 % De loop over vliegtuig hoogte
54 fl = figure;
55 legStr = {};
56 for i = 1:length(heights)
57
58     % Afstanden tussen elk segment en het vliegtuig
59     z_test = heights(i);
60     legStr{i} = ['Plane_height:_', num2str(z_test/1000, '%4.3f'), '_km'];
61     DY = y_test - YY;
62     DZ = z_test - ZZ;
63
64     % Vanaf hier gaat de x-positie van het vliegtuig een rol spelen
65     w = waitbar(0, 'Calculating...');
66     for p = 1:length(x_positions)
67         waitbar(p/n_points, w, 'Calculating...');
68
69         % Afstanden tussen elk segment en het vliegtuig
70         x_test = x_positions(p);
71         DX = x_test - XX;
72         DW2 = sqrt(DX.^2 + DY.^2 + DZ.^2);
73
74         % Krachten tussen elk segment en het vliegtuig
75         dF = G * m_test .* dM ./ DW2.^2;

```

```

76     dFx = -dF .* DX ./ DW2;
77     dFy = -dF .* DY ./ DW2;
78     dFz = -dF .* DZ ./ DW2;
79
80     % Totale krachten tussen elk segment en het vliegtuig
81     Fx = sum(sum(dFx));
82     Fy = sum(sum(dFy));
83     Fz = sum(sum(dFz));
84     Fxyz = sqrt(Fx^2 + Fy^2 + Fz^2);
85
86     F_all(p,i,:) = [Fx Fy Fz Fxyz];
87 end
88 close(w);
89 F_pointmass = G * m_test * M./(x_positions.^2+y_test^2+z_test^2);
90
91 % plaatje per hoogte (Fx Fy Fz Fxyz)
92 figure;
93 set(gcf,'Position',[400 400 600 400]);
94 p = plot(x_positions/1000,F_all(:,4,i));
95 set(p(4),'Marker','o');
96 hold on;
97 leg = legend('Fx','Fy','Fz','Fxyz');
98 set(leg,'Location','NorthWest');
99 xlabel('distance_[km]');
100 ylabel('force_[N]');
101 title(['plane_height_',num2str(z_test/1000,'%4.3f'),'_km']);
102 % plaatje van alle hoogtes samen (alleen Fxyz)
103 figure(f1);
104 set(gcf,'Position',[400 400 600 400]);
105 p = plot(x_positions/1000,F_all(:,4,i),'LineWidth',2);
106 hold on;
107 end
108
109 figure(f1);
110 leg = legend(legStr);
111 set(leg,'Location','NorthWest');
112 xlabel('distance_[km]');
113 ylabel('force_[N]');
114 title('Totale_force_on_plane_at_different_plane_heights');
115 toc;

```

De invloed van mobiele lichtvervuiling op de groei en ontwikkeling van het zomerkoolzaad (*Brassica napus*) en de zandraket (*Arabidopsis thaliana*)

R.G.C. Dohmen ¹, T.F. van Mierlo ², S. Varsovia ³, R. Kamperman ³, M.W.G. de Vrij ¹ & N. Bout ²

¹ *Bonhoeffer College locatie Bruggertstraat, Enschede*

² *Etty Hillesum Lyceum locatie het Vlier, Deventer*

³ *Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – This study investigates the effect of light pollution by moving objects on plant growth. Effects of stationary light pollution have been widely investigated, but there have not been many studies considering light pollution by moving objects such as cars. Two experiments are conducted with *Brassica napus* and *Arabidopsis thaliana* respectively. The experiment of *Brassica napus* compares two groups, one of which experiences no light pollution, and the other experiences simulated mobile light pollution. The experiment of *Arabidopsis thaliana* compares three groups, one of which experiences no light pollution, the second simulated mobile light pollution and the third stationary light pollution with the same Daily Light Integral (DLI) as the second group. This study strives to simulate mobile light pollution by gradually increasing light intensity of a LED at night. The groups are compared through measurements of length, leaf area, fresh and dry weight and number of leaves. The results have shown that in the case of *Arabidopsis thaliana* the group without light pollution a significantly ($p < 0.05$) better growth experiences than the other groups and the groups with light pollution do not differ significantly ($p < 0.23$; $p < 0.05$) in growth. In the case of *Brassica napus* the results have shown that the group with light pollution a significantly ($p < 0.05$) better growth experiences than the group without. In conclusion, *Arabidopsis thaliana* grows better under natural conditions than with either mobile or stationary light pollution. *Brassica napus* grows better with mobile light pollution than without.

1. Introductie

Kunstmatig licht dat 's nachts wordt geproduceerd heet lichtvervuiling en veroorzaakt verstoringen bij dieren, mensen en planten. Motten in lichtvervuilde gebieden vertonen bijvoorbeeld minder aantrekkingskracht tot licht. Hierdoor zijn ze mogelijk minder mobiel. Dit beïnvloedt hun vermogen om voedsel te vinden en om te koloniseren negatief, wat het ecosysteem beïnvloedt (Altermatt & Ebert, 2016).

Ook bij planten heeft lichtvervuiling invloed. Onderzoek naar verschillende typen straatverlichting, zoals high pressure sodium (HPS) en fluorescent lampen (FL), toont vaak verminderde groei bij planten, hoewel dit niet voor alle soorten geldt (Shibaeva et al., 2022; Xu et al., 2021). Sinds 2016 ervaart 23% van het globale landoppervlak lichtvervuiling (Falchi et al., 2016), een percentage dat blijft stijgen door o.a. sterkere autokoplampen, waarvan de effecten grotendeels onbekend zijn (Holt & Gaston, 2018). Holt & Gaston (2018) verwachten dat mobiele lichtbronnen zoals koplampen grotere impact hebben dan stationaire verlichting op de groei en ontwikkeling van planten door hun hogere lichtintensiteit, wat de ecosystemen langs wegen kunnen verstoren en vraagt mogelijk om milieumaatregelen.

De onderzoeksvraag van dit experiment is: “Wat is de invloed van kunstmatig licht dat 's nachts geleidelijk toeneemt in intensiteit op de groei en ontwikkeling van zomerkoolzaad (*Brassica napus*) en zandraket (*Arabidopsis thaliana*)?”

2. Theoretisch kader

2.1. Assimilatie

Licht is essentieel voor fotosynthese, omdat planten zonder licht geen ATP en NADPH, H⁺ kunnen produceren in de lichtreacties van fotosystemen 1 en 2 in de chloroplasten. Deze stoffen zijn nodig voor de Calvincyclus, waarin glucose wordt gevormd uit water en CO₂. Glucose dient vervolgens als bouwstof voor organische stoffen of als brandstof voor de plant (Nectar, 2024).

De golflengtes van het licht speelt een cruciale rol in dit proces. Fotosystemen 1 en 2 absorberen vooral rood licht (600-700 nm), terwijl blauw licht (445-500 nm) belangrijk is voor het openen van huidmondjes, microscopische openingen in bladeren. Dit bevordert de opname van CO₂ en de afgifte van zuurstof, wat essentieel is voor een efficiënte fotosynthese (Paradiso & Proietti, 2022; Bennie et al., 2016).

De hoeveelheid fotosynthese die kan plaatsvinden, hangt af van de hoeveelheid licht in het visuele spectrum (400-700 nm) die de plant gedurende de dag ontvangt. De grootte PPFD (photosynthetic photon flux density) beschrijft het aantal fotonen dat bruikbaar is voor fotosynthese en een oppervlak bereikt, uitgedrukt in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De totale hoeveelheid licht die een plant op een dag ontvangt, oftewel de dagelijkse lichtintegraal (DLI), wordt berekend als $\text{DLI} = \text{PPFD} \times t$ met t de belichtingstijd in seconden (Bennie et al., 2016).

2.2. Photomorphogenesis

Licht heeft een belangrijke bijdrage op de ontwikkeling van planten, ook wel ‘photomorphogenesis’ genoemd. Planten ge-

bruiken licht om informatie over hun omgeving te verzamelen en daarop te reageren (Paradiso & Proietti, 2022). Planten nemen licht waar door 5 verschillende groepen fotoreceptoren, eiwitten die bepaalde golflengtes van licht kunnen absorberen. Iedere groep kan een ander deel van het lichtspectrum absorberen (Paradiso & Proietti, 2022). Wanneer de fotoreceptor die golflengtes absorberen, stimuleren ze de expressie van genen die gerelateerd zijn aan fysiologische en metabolistische functies (Fukuda, 2018; Ahmad et al., 1998). Op die manier kan licht bepaalde responses oproepen in de plant (Paradiso & Proietti, 2022). Hierdoor kunnen planten dag en nacht waarnemen. Met andere abiotische factoren kunnen planten seizoenen herkennen door de temperatuur en de lengte van de dagen bij te houden. Wanneer de dagen korter en kouder worden, zoals in de herfst, activeert er in bomen bijvoorbeeld een systeem waardoor ze hun bladeren afstoten (Bennie et al., 2016; Paradiso & Proietti, 2022; Hilty et al., 2021).

2.3. Lichtstress

Lichtstress ontstaat wanneer een plant te veel, te lang of onregelmatig licht krijgt. Dit kan leiden tot beschadigingen zoals DNA-schade door overmatige blootstelling aan UV-licht of oxidatieve stress, die zowel eiwitten als DNA aantasten (Roeber et al., 2020; Cruz-Gregorio et al., 2022). Hoewel een hogere DLI-waarde doorgaans voor meer groei zorgt, bereikt dit een grens waarna planten lichtstress ervaren (Song et al., 2022; Xu et al., 2021). Langdurige lichtstress kan leiden tot een verminderde groei en afwijkende ontwikkeling, zoals kleinere bladeren, kortere planten en veranderde bladkleuren. Ook wordt de fotosynthese-efficiëntie aangetast (Roeber et al., 2020).

Planten hebben echter een vermogen om te herstellen van lichtstress, mits ze voldoende tijd krijgen. Om de impact van lichtstress te beperken, maakt de plant anthocyanine-eiwitten aan. Deze eiwitten beschermen de chloroplasten door een deel van het licht te absorberen en zo schade te voorkomen. Sommige anthocyanine-eiwitten, zoals pap-1D, veranderen bovendien de kleur van de bladeren, wat bijvoorbeeld resulteert in rode bladeren (Xu et al., 2017; Zheng et al., 2021).

2.4. Lichtsimulatie

Om licht met een geleidelijk toenemende intensiteit te simuleren, wordt de dimmingstechniek 'pulse width modulation' (PWM) gebruikt. Bij deze techniek wordt de lamp in- en uitgeschakeld op een specifieke frequentie. De verhouding tussen hoe lang de lamp aanstaat en hoe lang deze uit is binnen een bepaalde tijdsperiode wordt de 'duty cycle' genoemd en wordt uitgedrukt in percentages. Door de duty cycle te verhogen, neemt de gemiddelde lichtintensiteit per tijdseenheid toe, waardoor het lijkt alsof de lichtintensiteit gelijkmatig toeneemt.

Hoewel de lamp in werkelijkheid volledig aan of uit staat, in tegenstelling tot autolicht dat continu aan is (Dietrich, 2022), heeft het aanpassen van de duty cycle slechts een beperkt effect op de groei van planten, er rekening mee gehouden dat de PPFD afneemt (Park et al., 2018). Bovendien zijn er geen negatieve effecten op de plantengroei waargenomen bij een schakelfrequentie van 1 kHz of hoger (Son et al., 2018).

2.5. Meetvariabelen

Om plantgroei te beschrijven kunnen de lengte van de plant, de biomassa en de bladoppervlakte gemeten worden. Daaruit kan je absolute veranderingen van de variabelen meten, maar daarbij wordt er geen rekening gehouden met hoe groot de plant al is. Des te groter de plant, des te meer fotosynthese deze kan uitoefenen, des te groter de absolute verandering tussen twee meetmomenten, terwijl de relatieve verandering niet per se toeneemt (Price et al., z.d., p. 2 - 9). Daarom wordt er veelal gewerkt met de relatieve groeisnelheid (RGR (d⁻¹)), die kan worden berekend met de formule:

$$RGR = \frac{\ln\left(\frac{m_2}{m_1}\right)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Waarbij:

- m_x = de massa van de plant in gram (g) op meetmoment x
- t_x = de tijd in dagen (d) van meetmoment x

(Price et al., z.d., p. 2 - 9; Hilitz et al., 2021).

Bij deze formule wordt de biomassa gebruikt. Het verkrijgen van de biomassa is een destructief proces, wat betekent dat de plant geoogst moet worden en daarna niet meer deel kan nemen aan het experiment. Een andere manier om de relatieve groeisnelheid te bepalen kan met de formule

$$RGR_A = \frac{\ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Waarbij

- RGR_A = de relatieve groeisnelheid in d⁻¹
- A_x = het bladoppervlak van de plant in vierkante meter (m²) op meetmoment x

(Price et al., z.d., p. 2 - 9; Hilitz et al., 2021).

Bij deze formule wordt de relatieve toename van de totale bladoppervlakte van de plant gebruikt. Het meten van deze variabele is non-destructief. Daarom wordt deze formule gebruikt bij de verwerking van de resultaten.

De ontwikkeling van een plant is lastiger te meten. Hiervoor kan gekeken worden naar het bladaantal, de kleur van de bladeren, het aantal stengels, het aantal bloemen en het aantal afgestorven bladeren. De zaadbladen van een plant worden meestal gedurende de levenscyclus afgestoten (van Draanen et al., 2019).

2.6. Plantkeuze

Voor dit experiment is gekozen voor zomerkoolzaad (*Brassica napus*) vanwege de korte generatietijd en de aanbeveling van Wageningen University and Research (WUR). In tegenstelling tot winterkoolzaad, dat een koude periode (vernalisation) nodig heeft om te ontkiemen, ontkiemt zomerkoolzaad zonder vernalisation en aanzienlijk sneller (binnen 1 dag tegenover

11-14 dagen voor winterkoolzaad). Dit maakt zomerkoolzaad geschikter voor het experiment. Na ontkieming ontwikkelt de plant een rozet met 12 bladeren, waarna bloemen groeien vanuit de hoofdstengel. Met een maximale lengte van 2 meter is het lengteverschil eenvoudig meetbaar. Bovendien komt zomerkoolzaad zowel in landbouw als in bermen voor, waardoor het een representatieve keuze is voor gesimuleerde omstandigheden (Weusthuis, 2008). De tweede plantsoort is de zandraket (*Arabidopsis thaliana*). De generatietijd varieert van 6 tot 10 weken, afhankelijk van de groeiomstandigheden: in een kas duurt het proces 6 weken, terwijl het in een gemiddeld laboratorium 10 weken kan duren (Rivero et al., 2013). De zandraket groeit onder een lichtintensiteit van 120-150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, gedurende 16 of 12 uur per dag, of onder continue verlichting, bij temperaturen van 16-23 °C. Voor sommige varianten moeten de zaden eerst vernaliseren bij 4 °C voordat ze ontkiemen (Rivero et al., 2013). Na ontkieming vindt de meeste groei plaats in de eerste drie weken, waarin rozetbladeren gevormd worden: dicht opeen gegroeide bladeren in een cirkelvormige opstelling (zie figuur 4 (Zander et al., 2020) in de bijlagen). Tijdens de daaropvolgende drie weken stopt de wortelgroei vrijwel volledig en ontwikkelt een stengel in het midden van de rozet, waar bloemen en zaden gevormd worden onder optimale groeiomstandigheden (Pasternak et al., 2020). Zandraket is veelvoorkomend in bermen en kan een maximale hoogte van 30 cm bereiken (Zandraket, 2024).

3. Materiaal en Methode/ Aanpak

3.1. Opstelling

In dit experiment wordt een voorbijrijdende auto gesimuleerd die 's nachts met koplampen de planten belicht. Hierbij worden tijdens de nachtcyclus 60 auto's per uur nagebootst. Dit is aan de hoge kant, maar gemiddeld gezien gedurende de hele nacht is dit reëel (Eikenbroek, 2023). Deze opzet maakt het mogelijk om het effect van mobiele lichtbronnen op plantengroei te onderzoeken. Het experiment met het zomerkoolzaad werd in Bonhoeffer College uitgevoerd en de zandraket in een slaapkamer. Hierdoor zijn de omstandigheden tussen de twee experimenten verschillend, maar de onderliggende meetmethode is gelijk. Zie tabel 1 in de bijlagen voor specifieke verschillen tussen de twee experimenten zoals gebruikte potgrond.

Plantenbakken worden gevuld met gelijke hoeveelheden potgrond. Elke meetgroep bezit 24 zaadplaatsen, wat volgens Poorter et al. (2012) significante resultaten oplevert. De zaadplaatsen worden gemarkeerd en voorzien van gelijke hoeveelheden zaden en water, zodat minstens één zaadje ontkiemt. Dag lampen met een schotklok (12 uur licht per dag) zorgen voor consistente verlichting. Plantenbakken worden in dezelfde ruimte geplaatst om externe factoren zoals CO-concentratie te minimaliseren. Externe licht werd geblokkeerd door platen te plaatsen om de meetgroep heen, zodat het verkregen licht gelijk blijft voor iedere dag. Nachtlampen (LED 12V, 2,5W) worden gekoppeld aan een Arduino-opstelling (zie figuur 5). De nachtlamp werkt in een 24-uurs cyclus die begon vanaf 8:00: eerst 12 uur licht (dag lamp aan, nachtlamp uit) daarna 12 uur nacht. Tijdens de nachtperiode staat de nachtlamp elke 30 minuten voor 5 minuut aan. Tijdens de nachtcyclus varieert de lichtintensiteit

afhankelijk van de groep:

1. Controle (CG): Nachtlamp halve intensiteit om dezelfde DLI-waarde van EG te krijgen.
2. Experimenteel (EG): Lineair oplopende intensiteit die na 10 seconden herhaalt.
3. Natuurlijk (NG): Geen nachtlamp, voor een niet-vervulde omgeving.

De nachtlamp staat in het midden van de plantenrijen op zo'n manier dat de voorste planten een lichtintensiteit rond 1000 lux krijgt dat volgens (Holt & Gaston, 2018) reëel is voor de gesimuleerde werkelijkheid. Zie tabellen 1, 11, 12 en 13 in de bijlagen voor de specifieke lichtintensiteit die de planten krijgen. Doordat de meetopstelling symmetrisch is, wordt het experiment in duplo uitgevoerd, waarbij per meetgroep 2 kweekpotjes zijn met hetzelfde DLI-waarde. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van het experiment. Zodra de meeste zaden ontkiemd zijn, wordt er per zaadplaats uitgedund zodat planten genoeg ruimte krijgen om goed te ontwikkelen. Planten krijgen regelmatig water toegediend aan de wortels in gelijke hoeveelheden.

3.2. Metingen

Wekelijks (op maandag) worden de planten individueel gemeten. Foto's worden gemaakt vanaf vaste posities (zij- en bovenaanzicht). Gegevens zoals lengte, bladoppervlak, aantal bladeren, vertakkingen en bloemen, worden genoteerd in Excel. Lengte wordt gemeten vanaf de grond tot het hoogste punt van de plant, bladoppervlak met de app 'Easy Leaf Area'. Hierbij is er in de foto een rood referentieoppervlak van 4 cm² nodig. Deze wordt elke keer op dezelfde plek naast de plant neergelegd. Een vertakking wordt gedefinieerd als: een punt op de plant waar twee of meer stengels uit één voortkomen. De groeiperiode van het zomerkoolzaad was 6 weken lang en de zandraket 8 weken lang, om zoveel mogelijk van de groeistadia van de plantsoorten te kunnen meten en observeren.

3.3. Eindmeting

Na de laatste meting worden planten geoogst. Bovengrondse delen worden gewogen om het versgewicht te krijgen en vervolgens drie dagen in een droogoven geplaatst voor de bepaling van het drooggewicht. De ondergrondse delen zoals de wortel werden niet gemeten, omdat de wortels te snel beschadigde tijdens het oogsten.

3.4. Data-analyse

Bij de verwerking van de resultaten wordt er gewerkt met het programma 'IBM SPSS Statistics' versie 30 (IBM, 2019). Dit programma kan gebruikt worden voor statistische analyse. De waarden van de verschillende groepen worden vergeleken met een tweezijdige paired-sample t-test (van Heijst, 2022), deze toets controleert of de waarden van twee gegeven variabelen verschillen van elkaar. De toets geeft een p-waarde als output. Als deze kleiner is dan 0,05 mag men zeggen dat de twee variabelen van elkaar verschillen. Voor deze toets moeten de waarden van de variabelen normaal verdeeld zijn; het mogen dus geen individuele waarden zijn. Dit wordt getoetst met de Shapiro-Wilk test (van Heijst, 2022). Deze toets geeft ook een

p-waarde als output. Als deze p-waarde kleiner dan 0,05 is, is de getoetste variabele niet normaal verdeeld en als deze groter dan 0,05 is, is de getoetste variabele dus wel normaal verdeeld. Als de getoetste variabele niet normaal verdeeld blijkt te zijn, worden er een aantal transformaties op toegepast. Waarden kan je transformeren door deze toe te passen op een stijgende functie zoals de vierkantswortel of de logaritme. Vervolgens worden de transformaties op normaliteit getoetst en wordt er verder geanalyseerd op de transformatie met de beste normaliteit (van Heijst, 2022).

De kleurverandering van de bladeren wordt kwantitatief uitgedrukt door de verkregen bladoppervlakte van de beeldanalyseprogramma 'Digimizer' te delen door de app 'Easy leaf area'. De verhouding geeft aan hoeveel keer groter de bladoppervlakte meting is van Digimizer dan van Easy Leaf Area. De verhoudingen die hieruit komen worden in vier categorieën verdeeld: $1 < x < 1,25$; $1,25 < x < 1,5$; $1,5 < x < 2$ en $x > 2$.

4. Resultaten

4.1. Groei van de zandraket

Op dagen 19 en 26 waren de lengtes in centimeter van de planten respectievelijk $0,89 \pm 0,30$ en $1,35 \pm 0,46$ bij CG, $0,87 \pm 0,27$ en $1,50 \pm 0,93$ bij EG en $1,56 \pm 0,18$ en $1,64 \pm 0,33$ bij NG. De p-waarden waren op deze dagen respectievelijk 0,836 en 0,520 tussen CG en EG, $< 0,001$ en 0,026 tussen CG en NG en $< 0,001$ en 0,16 tussen EG en NG.

De waarden voor de vierkantswortels van het vers- en drooggewicht in gram waren respectievelijk $0,49 \pm 0,28$ en $0,23 \pm 0,12$ bij CG, $0,57 \pm 0,24$ bij EG en $1,15 \pm 0,30$ en $0,41 \pm 0,12$ bij NG. De p-waarden waren voor deze variabelen respectievelijk 0,318 en 0,440 tussen CG en EG, en $< 0,001$ voor beide variabelen tussen NG en zowel CG als EG.

Op de periodes dag 19-26 en 33-40 waren de waarden voor RGRa in per dag respectievelijk $0,15 \pm 0,09$ en $0,010 \pm 0,027$ bij CG, $0,17 \pm 0,08$ en $0,012 \pm 0,030$ bij EG en $0,22 \pm 0,05$ en $0,062 \pm 0,055$ bij NG. Op de periode 26-33 waren de waarden bij EG en NG respectievelijk $0,043 \pm 0,050$ en $0,113 \pm 0,059$. Op de periode 47-54 waren de waarden bij CG en EG respectievelijk $-0,008 \pm 0,039$ en $-0,019 \pm 0,032$. Een negatieve waarde voor RGRa betekent volgens formule 2 dat de gemeten waarde voor het bladoppervlak op het eerste meetmoment groter is dan die op het tweede meetmoment. De p-waarden tussen CG en EG op de periodes 15-19, 19-26, 33-40, 40-47 en 47-54 varieerden van 0,231 tot 0,713. De p-waarden tussen CG en NG waren op de periodes 19-26 en 33-40 respectievelijk 0,006 en 0,007. De p-waarden tussen EG en NG waren op de periodes 19-26, 26-33 en 33-40 respectievelijk 0,006; 0,001 en 0,004.

4.2. De ontwikkeling van de zandraket

Op dagen 33, 40 en 47 was het aantal bladeren respectievelijk $15,2 \pm 4,5$; $17,5 \pm 6,2$ en $20,6 \pm 6,7$ bij CG, $16,4 \pm 4,4$; $18,7 \pm 5,5$ en $22,0 \pm 6,2$ bij EG en $19,7 \pm 3,9$; $23,5 \pm 5,1$ en $28,5 \pm 5,9$ bij NG. De p-waarden tussen CG en EG op dagen

26 tot en met 54 variëren van 0,446 tot 0,674. De p-waarden op dagen 33, 40 en 47 waren respectievelijk 0,038, 0,010 en 0,008 tussen CG en NG en 0,008, 0,005 en 0,001 tussen EG en NG.

De kleur van de bladeren (kvb) begon vanaf dag 33 te veranderen in CG en EG. De kvb gingen van een groene kleur naar steeds meer rode/donkerrode kleur (zie figuren 3,4 en 5 in de bijlagen). Op dagen 33, 40 en 54 waren er in CG respectievelijk 9, 19 en 21 kweekpotjes waarvan de kvb was veranderd en in EG respectievelijk 13, 20 en 23. Op dagen 40, 47 en 54 had EG respectievelijk 2, 4 en 2 meer kweekpotjes in de laatste twee categorieën ($1,5 < x < 2$ en $x > 2$) zitten dan CG (zie tabellen 4 en 5 in de bijlagen). Op dagen 40 en 47 waren er in NG respectievelijk 3 en 4 kweekpotjes waarvan de kvb veranderd was.

Op dag 47 groeide er in totaal 65 individuen in CG en EG 60. NG had op dag 40 16 individuen in de meetgroep. Vanaf dag 33 was er 1 stengel gegroeid waaraan er bloemen kon ontwikkelen in CG. Het percentage van het aantal individuen met een stengel was op dagen 40, 47 en 54 respectievelijk 7,46%, 21,53% en 46,15% voor CG en 3,33%, 15% en 28,33% voor EG. Voor NG was dit op dagen 40 en 47 respectievelijk 18,75% en 31,25%. Aan de stengels ontstonden er vertakkingen. De eerste vertakking was op dag 40 voor CG en voor EG en NG op dag 47. Op dag 47 had CG 2,29 vertakkingen per stengel, EG 2,89 en NG 8,2. Op dag 54 had CG 2,87 en EG 6,47. Zie in de bijlagen tabellen 6 en 7.

4.3. Groei van het zomerkoolzaad

Op de data 16, 23 en 30 september en 7, 14 en 16 oktober waren de lengtes in centimeter van de planten respectievelijk $5,7 \pm 1,0$; $7,9 \pm 1,6$; $7,7 \pm 1,5$; $7,8 \pm 1,7$; $8,2 \pm 1,8$ en $9,3 \pm 1,6$ bij NG en $4,8 \pm 1,7$; $6,5 \pm 1,5$; $7,2 \pm 1,7$; $7,9 \pm 1,8$; $10,2 \pm 2,2$ en $11,8 \pm 2,2$ bij EG. Op deze data waren de p-waarden respectievelijk 0,001; 0,006; 0,325; 0,726; 0,002 en $< 0,001$.

De waarden voor de vierkantswortels van het vers- en drooggewicht in gram zijn respectievelijk $1,53 \pm 0,40$ en $0,63 \pm 0,16$ bij NG en $2,10 \pm 0,60$ en $0,75 \pm 0,18$ bij EG. Voor deze variabelen waren de p-waarden respectievelijk $< 0,001$ en 0,016.

Op de periodes 16-30 september, 23-30 september, 23 september – 7 oktober, 30 september – 7 oktober, 30 september – 14 oktober, 7-14 oktober, 7-16 oktober en 14-16 oktober waren de waarden voor RGRa respectievelijk $0,11 \pm 0,04$; $0,061 \pm 0,040$; $0,066 \pm 0,040$; $0,065 \pm 0,039$; $0,056 \pm 0,040$; $0,063 \pm 0,051$; $0,073 \pm 0,038$ en $0,087 \pm 0,060$ bij NG en $0,14 \pm 0,05$; $0,074 \pm 0,046$; $0,066 \pm 0,028$; $0,064 \pm 0,033$; $0,095 \pm 0,049$; $0,128 \pm 0,074$; $0,108 \pm 0,064$ en $0,120 \pm 0,097$ bij EG. De p-waarden lagen op de periodes 16 september – 16 oktober, 23-30 september, 23 september – 14 oktober en 30 september – 16 oktober boven de 0,05, variërend van 0,175 tot 0,756. Op de overige negen periodes lagen de p-waarden onder de 0,05, variërend van $< 0,001$ tot 0,044, met 4 waarden onder de 0,001.

4.4. De ontwikkeling van het zomerkoolzaad

In figuur 1 zijn boxplots van het aantal bladeren exclusief zaadlobben te zien. In figuur 2 zijn boxplots van het aantal afgestoten zaadlobben te zien. Bij beide figuren zijn de gemiddelde waarden weergegeven met kruisjes.

Het aantal afgestoten zaadlobben is bij zowel NG als EG 1 keer afgenomen. Het aantal bladeren exclusief zaadlobben is bij NG 8 keer en bij EG 5 keer afgenomen.

5. Conclusie

Bij gelijke andere factoren zorgt licht dat 12 opeenvolgende uren per dag iedere 30 minuten voor 5 minuten met 30 cycli van 10 seconden waarin de intensiteit gelijkmatig toeneemt en constant, wordt toegediend voor een afname in de groei, wat betreft bladoppervlak, lengte en biomassa, en voor een verslechterde ontwikkeling, wat betreft de kleur van de bladeren, bladaantal en stengelaantal, van de zandraket.

Bij gelijke andere factoren zorgt licht dat 12 opeenvolgende uren per dag iedere 30 minuten voor 5 minuten, met 30 cycli van 10 seconden waarin de intensiteit gelijkmatig toeneemt, wordt toegediend voor geen significant ander effect op de groei, wat betreft bladoppervlak, lengte en biomassa, en voor een geringe verslechtering in de ontwikkeling, wat betreft de kleur van de bladeren, bladaantal en stengelaantal, van de zandraket dan licht dat in dezelfde periode in constante mate wordt toegediend.

Bij gelijke andere factoren zorgt licht dat 12 opeenvolgende uren per dag iedere 30 minuten voor 5 minuten, met 30 cycli van 10 seconden waarin de intensiteit gelijkmatig toeneemt, wordt toegediend voor een toename in de groei, wat betreft bladoppervlak, lengte en biomassa, en voor een verbeterde ontwikkeling, wat betreft het bladaantal en het aantal afgestoten zaadlobben, van het zomerkoolzaad.

6. Discussie

6.1. Metingen

In dit onderzoek werd de app “Easy Leaf Area” gebruikt om het bladoppervlak van planten te meten, zoals uitgelegd in de meetmethode. Hierbij traden enkele problemen op. Ten eerste stonden bladeren en het rode oppervlak niet altijd op dezelfde hoogte, wat leidde tot onnauwkeurige metingen doordat het bladoppervlak groter gemeten werd door de app dan het in werkelijkheid is. Ten tweede stonden de bladeren niet op dezelfde hoogte, waardoor het gemeten bladoppervlak onnauwkeuriger werd. Dit kwam vooral bij het zomerkoolzaad voor. Daarnaast bedekten bladeren van dezelfde plant elkaar soms of stonden ze niet recht, waardoor de app een kleiner bladoppervlak mat. Verkleuring van bladeren maakte het onderscheid met de achtergrond moeilijker, wat ook tot onnauwkeurigheden leidde door de app. Bij zandraket werd de meetonzekerheid door verkleuring gecompenseerd met het programma ‘Digimizer’, dankzij gemaakte screenshots van de app ‘Easy leaf Area’. De gecorrigeerde bladoppervlak met ‘Digimizer’ werd gebruikt bij de analyse van RGRa. Bij zomerkoolzaad waren deze screenshots nog niet gemaakt tijdens de metingen.

In het experiment van het zomerkoolzaad is ervoor gekozen aantal vertakkingen, benoemd in de meetmethode, niet te meten. Dit is gedaan omdat het al snel duidelijk werd dat vrijwel alle stengels uit één vertakking zouden voortkomen, waardoor deze waarde nauwelijks zou veranderen en er geen betrouwbare conclusie mee getrokken kon worden.

6.2. Resultaten interpretatie

De waarden voor het vers- en drooggewicht waren niet normaal verdeeld, maar de vierkantswortel van de waarden wel, dus deze is gebruikt in de verwerking. Daarnaast waren sommige waarden voor RGRa en bij de zandraket sommige waarden voor de lengte niet normaal verdeeld. Na meerdere vruchteloze pogingen voor transformaties is er op de waarden die wel normaal verdeeld waren een t-toets uitgevoerd en is de rest achterwege gelaten.

Ook waren de waarden van het aantal bladeren bij de zandraket tot en met dag 19 niet normaal verdeeld. Daarom zijn deze verwerkt in boxplots (zie figuur 1 in de bijlagen). Omdat er uit deze boxplots geen significant verschil gehaald kan worden, is er besloten deze niet op te nemen in de resultatensectie. Alle waarden voor het aantal bladeren bij de zomerkoolzaad waren niet normaal verdeeld, daarom is er gewerkt met box-plots, wat de conclusie wat betreft ontwikkeling minder betrouwbaar maakt.

De meetonzekerheden van RGRa bij het zomerkoolzaad zijn ook berekend volgens de formule

Voor $f(x_1, \dots, x_n)$ is de meetonzekerheid

$$df = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot dx_i \right| \quad (3)$$

In figuur 9 is de spreiding van (de logaritme met grondgetal 10 van) de relatieve meetonzekerheden van RGRa te zien. Hieruit is op te maken dat RGRa erg onnauwkeurig is en dus is de conclusie die met de resultaten van RGRa is getrokken onbetrouwbaarder.

Bij het zomerkoolzaad is uit de metingen voor het bladoppervlak met formule 2 de RGRa over alle 15 mogelijke intervallen berekend. Hieruit kwamen een aantal negatieve waarden voor RGRa. Dit zou in theorie betekenen dat de bladeren waren gekrompen of dat er bladeren van de plant af zijn gevallen. Uit de waarnemingen van hoe de planten groeide was dit niet het geval. Daarom is er besloten om de metingen die, gebaseerd op deze informatie, waarschijnlijk foutief zijn niet mee te nemen in de verwerking. De metingen worden per locatie achterwege gelaten, beginnend met de waarschijnlijkst foutieve meting, tot dat er geen negatieve waarden voor RGRa over zijn.

Des te meer periodes met een bepaalde meting als begin- of eindpunt negatief zijn, des te waarschijnlijker deze meting foutief is. Daarnaast is het waarschijnlijker dat twee (in de tijd) ver uit elkaar liggende metingen samen zorgen voor een positieve waarde voor RGRa. Dus voor een bepaalde meting, die het begin- of eindpunt van een periode met een negatieve waarde is, zorgen positieve waarden voor RGRa voor een steeds mindere toename in waarschijnlijkheid dat de met-

ing correct is, naarmate de periode langer wordt.

In Tabel 10 is te zien hoe vaak er een negatieve toename van het aantal bladeren exclusief zaadlobben en een negatieve afname van het aantal zaadlobben was. Een negatieve afname van het aantal zaadlobben bij een plant is natuurlijk onzinnig, dus hier moet sprake zijn geweest van een telfout en dan is het ook aanneembaar dat dit ook bij het aantal bladeren exclusief zaadlobben het geval is geweest. Daarentegen is het wel het geval dat er inderdaad bladeren van de planten zijn afgevallen. Aangezien het aantal negatieve afnames van zaadlobben klein is relatief tot het totaal aantal negatieve toenames van bladeren van NG en van EG en het verschil daartussen, is het niet onwaarschijnlijk dat dit verschil representatief is voor het verschil in aantal afgevallen bladeren tussen NG en EG, wat betekent dat er bij EG minder bladeren zijn afgevallen.

Bij de berekeningen van de RGRa van de zandraket kwam bij CG en EG voor dat de RGRa een negatieve waarde had. Dat komt doordat de bladeren in de laatste 3 weken verschrompelde bij CG en EG waardoor de bladoppervlakte afnam en dus de RGRa negatief werd.

Bij de zandraket was er voor de CG 3 kweekpotjes niet meegenomen voor de RGRa vergelijking en de EG 2 kweekpotjes. In deze kweekpotjes groeide deze planten amper. Ze bleven heel klein en waren niet representatief vergeleken met de rest van de meetgroep.

De stengellengte van de zandraket werd de laatste 4 weken niet meegenomen in de resultaten, omdat de plant pas in hoogte groeide na de ontwikkeling van een stengel. Dit markeert een nieuwe groeifase, waarbij de lengte van de plant vele male groter worden dan individuen die nog geen stengel hebben ontwikkeld. In de NG ontwikkelden meer planten een stengel dan in de CG en EG, maar door de kleine populatie van NG kan dit niet met veel zekerheid gezegd worden (Yang et al., 2020). De groeiperiode was bovendien te kort om vast te stellen of alle planten uiteindelijk een stengel ontwikkelden of dat sommige planten, mogelijk door de lichtbehandeling, geen stengel ontwikkelden. Daarnaast werd er niet precies bijgehouden op welke dag de stengels zich ontwikkelden, waardoor significante verschillen wanneer ze ontstonden tussen groepen niet bepaald kon worden (Primack et al., 2023).

De bloemen die waren ontwikkeld bij de zandraket werd niet gebruikt om de ontwikkeling te beschrijven, omdat de ontwikkeling van de bloemen direct gerelateerd is met het hebben van een stengel. Hetzelfde geldt voor het aantal vertakkingen die was opgetreden.

Bij de zandraket was er kleurverandering van de bladeren te zien, wat wijst op lichtstress. Hoewel dit door de dag lamp kan komen, is dat onwaarschijnlijk door de lagere DLI, de langere tijd tussen ontkieming en de kleurverandering vergeleken met de studies van (Xu et al., 2017; Zheng et al., 2021). Als de dag lamp lichtstress veroorzaakte, verklaart dat nog niet het verschil in bladkleur van de CG en EG ten opzichte van de NG. Ook kan er niet met zekerheid gezegd worden of de CG beter of slechter presteert dan EG omdat bepaling van de kleurverandering te onnauwkeurig is. Dat kwam door het omgevingslicht, de gebruikte camera en het ontbreken van een analyse van de specifieke kleur van de bladeren.

6.3. Groeiomstandigheden

Bij het experiment met zomerkoolzaad werden de nachtlampen pas op 25 september aangesloten, waardoor bij de eerste twee metingen geen verschil tussen NG en EG verwacht werd. Het verschil dat toch werd waargenomen, kan komen door onvolgende afscherming tegen extern licht. Omdat NG een grotere lengte vertoonde dan de EG, kan een positieve offset bij NG worden vermoed. Dit suggereert dat EG beter zou hebben gegroeid onder ideale omstandigheden, wat de conclusie ondersteunt, maar ook onzekerheid vergroot.

Het experiment vond plaats in het Bèta-lab van het Bonhoeffer College vanwege de geschikte groeilampen, eenvoudige toegang tijdens schooluren en beschikbare begeleiding. Dit bracht wel risico op verstoring door leerlingen, al zijn daar geen sporen van gevonden, afgezien van foutieve instellingen van de schotklokken. Deze werden bij ontdekking gecorrigeerd, maar beïnvloedden het experiment enigszins. Toen het opgemerkt was dat een schotklok voor minder dan 24 uur per cyclus liep, werd hij vervangen.

In het experiment werden de planten van de zijkant belicht met de nachtlamp en van bovenaf met de dag lamp om zo goed mogelijk de werkelijkheid na te bootsen. Door verschillen in lichtintensiteit, veroorzaakt door schaduw van andere planten en de locatie van de planten, zijn de planten per locatie vergeleken. Grotere planten blokkeerden meer licht, wat vooral in de achterste rijen tot verschillen leidde. Bij Zomerkoolzaad blokkeerden sommige planten het licht, terwijl de zandraket laag bij de grond groeide waardoor er geen blokkering optrad. Bij de zomerkoolzaad stonden de planten niet stevig rechtop, waardoor de bladeren niet precies op hun voorbestemde locatie waren en dus een andere lichtintensiteit hebben ontvangen dan hun tegenhanger in de andere groep. Bij de zandraket werden de CG en EG tegelijk gezaaid, maar de NG één week later door beperkte ruimte in de koelkast. NG had bovendien 12 kweekpotjes in plaats van 24 vanwege ruimtegebrek in de slaapkamer. Deze groep had geen nachtverlichting, waardoor het experiment met 12 potjes toch in duplo uitgevoerd kon worden.

Er is niet goed onderzocht wat de ideale afstand tussen zomerkoolzaadplanten is. Het kan dus zo zijn dat de gehanteerde zaaiingsdichtheid te klein of te groot was vergeleken met een natuurlijke situatie. De zaaiingsdichtheid van de Zandraket bevond zich in het toegestane gebied volgens (Rivero et al., 2013), pot met een diameter van 11 cm goed voor 10-20 individuen. In het experiment werd er gebruikt gemaakt potten met een diameter van 9 cm. Ook was er niet goed onderzocht wat de ideale DLI-waarde is voor het zomerkoolzaad. Het kan zo zijn dat de nachtlamp geen negatief effect had op de groei en ontwikkeling van de planten, omdat de dag lamp niet hoog genoeg lichtintensiteit afgeeft om de natuurlijke situatie te simuleren.

6.4. Aanbeveling vervolgonderzoek

In werkelijkheid beïnvloedt niet alleen het autolicht de groei en ontwikkeling van planten, maar ook andere factoren zoals de interactie tussen planten en dieren of de uitlaatgassen die mogelijk schadelijk zijn voor planten. Ook is het in de werkelij-

jkheid zo dat auto's op willekeurige momenten langs de planten rijden 's nacht en ook in verschillende hoeveelheden.

Wat een vervolgonderzoek kan uitzoeken is tot hoeverre de mobiele lichtbron de ontwikkeling van planten beïnvloed. Ook kan er uitgezocht worden wat de oorzaak is van de waargenomen invloed van mobiele lichtbron op de groei en ontwikkeling van planten.

Referenties

- Ahmad, M., Jarillo, J. A., Smirnova, O., & Cashmore, A. R. (1998, Juni 939-948). The CRY1 Blue Light Photoreceptor of Arabidopsis Interacts with Phytochrome A In Vitro. *Molecular Cell*, 1(7). Opgehaald van [https://www.cell.com/molecular-cell/fulltext/S1097-2765\(00\)80094-5#references-1](https://www.cell.com/molecular-cell/fulltext/S1097-2765(00)80094-5#references-1)
- Altermatt, F., & Ebert, D. (2016, Maart 15). Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution. *Biology Letters*, 12. doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2016.0111>
- Bennie, J., Davies, T., Cruse, D., & Gaston, K. (2016, Februari 1). Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, 104(3), pp. 611-620. doi:<https://doi.org/10.1111/1365-2745.12551>
- Cruz-Gregorio, A., Arancibia-Hernández, Y. L., Hernández-Cruz, E. Y., Pedraza-Chaverri, J., & Aranda-Rivera, A. K. (2022, Oktober 5). RONS and Oxidative Stress: An Overview of Basic Concepts. *Oxygen*, 2(4), pp. 437-478. doi:<https://doi.org/10.3390/oxygen2040030>
- Dietrich, S. (2022, Maart 23). Understanding the Basics of Pulse Width Modulation (PWM). Opgeroepen op 9 21, 2024, van Control.com: <https://control.com/technical-articles>
- Eikenbroek, O. (2023, Februari 17). Variations in Urban Traffic. pp. 71,107. doi:<https://doi.org/10.3990/1.9789055843213>
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C., Elvidge, C. D., Baugh, K., ... Furgoni, R. (2016, Mei 20). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6). Opgehaald van https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/sciadv.1600377?src=getftr&utm_source=tfo&getftr_integrator=tfo
- Fukuda, N. (2018, Augustus 1). Advanced Light Control Technologies in Protected Horticulture: A Review of Morphological and Physiological Responses in Plants to Light Quality and its Application. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture*, pp. 32-40. doi:<https://doi.org/10.11178/jdsa.8.32>
- Hilty, J., Muller, B., Pantin, F., & Leuzinger, S. (2021, Juli 10). Plant growth: the What, the How, and the Why. *New Phytologist*, 231(1), pp. 25-41. doi:<https://doi.org/10.1111/nph.17610>
- Holt, L. A., & Gaston, K. J. (2018, April 2). Nature, extent and ecological implications of night-time light from road vehicles. *Journal of Applied Ecology*, 55(5), pp. 2296-2307. doi:<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13157>
- IBM. (2024). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 30.0. IBM Corp.
- Nectar. (2024). *Nectar 6vwo (4.1 ed.)*. Groningen/Utrecht, Nederland: Noordhoff Uitgevers bv.
- Paradiso, R., & Proietti, S. (2022, Maart 23). Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture. *J Plant Growth Regul*, 41, pp. 742-780. doi:<https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>
- Park, J.-H., Lee, E.-P., Han, Y.-S., Lee, S.-I., Cho, K.-T., Hong, Y.-S., & You, Y.-H. (2018, November 6). The effects of LEDs and duty ratio on the growth and physiological responses of *Silene capitata* Kom. *Journal of Ecology and Environment*, 42.
- Pasternak, T., Ruperti, B., & Palme, K. (2020, Augustus 24). A simple high efficiency and low cost in vitro growth system. doi:<https://doi.org/10.1101/2020.08.23.263491>
- Poorter, H., Fiorani, F., Stitt, M., Schurr, U., Finck, A., Gibon, Y., ... Pons, T. L. (2012, Juni 15). The art of growing plants for experimental purposes. *Functional Plant Biology*, 39(11), pp. 821-838. doi:10.1071/FP12028
- Primack, R. B., Gallinat, A. S., Ellwood, E. R., Crimmins, T. M., Schwartz, M. D., Staudinger, M. D., & Miller-Rushing, A. J. (2023, Juli 29). Ten best practices for effective phenological research. *International Journal of Biometeorology*, 67, pp. 1509-1522. doi:10.1007/s00484-023-02502-7
- Roeber, V., Bajaj, I., Rohde, M., Schmölling, T., & Cortleven, A. (2020, November 15). Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. *Plant, Cell & Environment*, 44(3), pp. 645-664. doi:<https://doi.org/10.1111/pce.13948>
- Xu, W., Lu, N., Kikuchi, M., & Takagaki, M. (2021, Mei 11). Continuous Lighting and High Daily Light Integral Enhance Yield and Quality of Mass-Produced *Nasturtium*. *Plants*, 10(6), p. 1203. doi:<https://doi.org/10.3390/plants10061203>
- Yang, T., Sun, Y., Wang, Y., Zhou, L., Chen, M., Bian, Z., ... Wang, C. (2020, Juni 22). *AtHSPR* is involved in GA- and light intensity-mediated control of flowering time. *Journal of Experimental Botany*, 71(12), pp. 3543-3559. doi:10.1093/jxb/eraa128
- Zander, M., Lewsey, M. G., Clark, N. M., Yin, L., Bartlett, A., Guzmán, J. P., ... Ecker, J. R. (2020, Maart 13). Salk Institute for Biological Studies. Opgeroepen op January 30, 2025, van <https://www.salk.edu/nl/persbericht/hoef-planten-alarm-slaan-bij-gevaar/>

7. Figuren

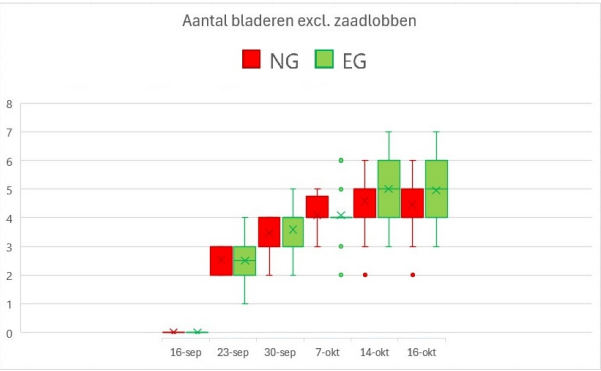


Figure 1: Grafiek van het aantal bladeren exclusief zaadlobben over de tijd bij NG en EG van het zomerkoolzaad



Figure 4: Rozet van de zanddraket Noot. Overgenomen uit Hoe planten alarm slaan over gevaar - Salk Institute for Biological Studies, door M. Zander et al., 2020 (<https://www.salk.edu/nl/persbericht/hoe-planten-alarm-slaan-bij-gevaar/>).

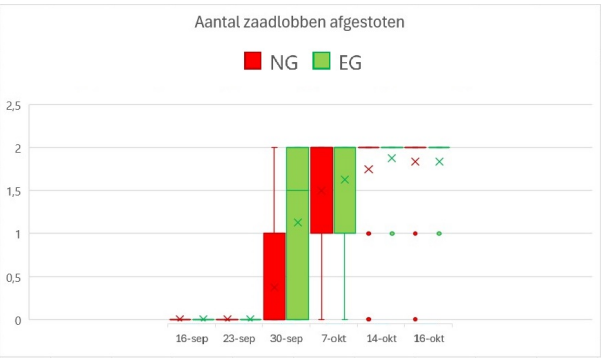


Figure 2: Grafiek van het aantal afgestoten zaadlobben over de tijd bij NG en EG van het zomerkoolzaad

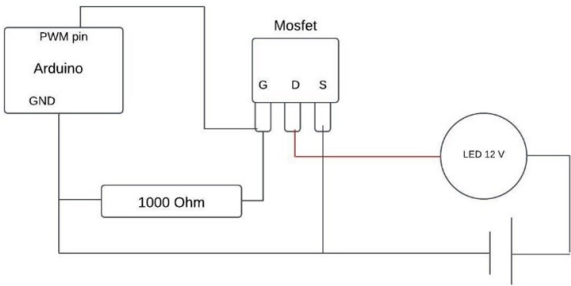


Figure 5: Het arduino-schakelschema gebruikt om de nachtlamp aan te sturen

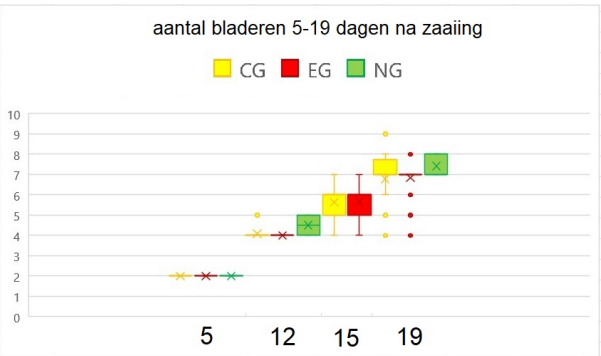


Figure 3: Grafiek van het aantal bladeren tussen 5 en 19 dagen na zaaiing bij CG, EG en NG van de Zandraket

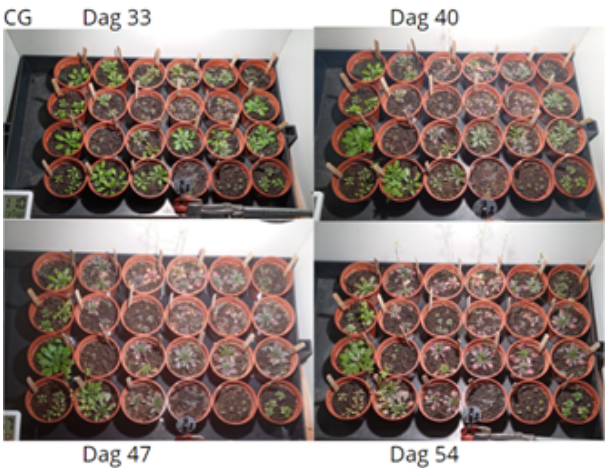


Figure 6: Foto's CG zandraket van de laatste 4 weken van het experiment

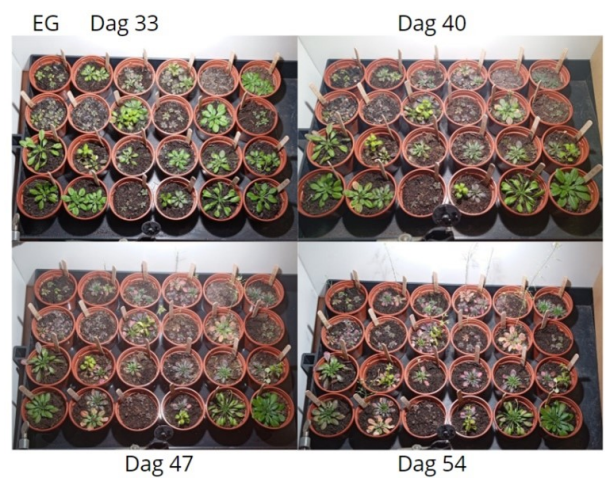


Figure 7: Foto's EG zandraket van de laatste 4 weken van het experiment

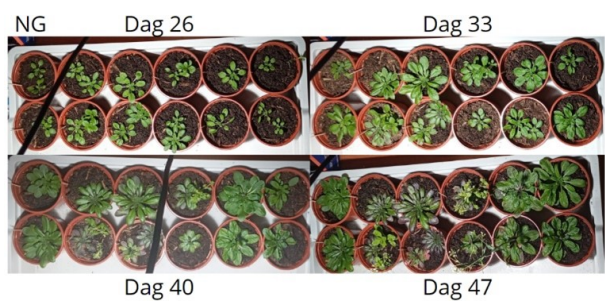


Figure 8: Foto's NG zandraket van de laatste 4 weken van het experiment

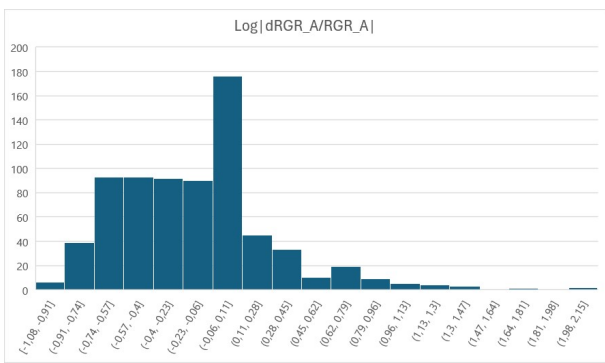


Figure 9: Histogram van de logaritme met grondgetal 10 van de relatieve meetonzekerheden van RGRA bij het zomerkoolzaad.

8. Tabellen

Eigenschap	Zomerkoolzaad	Zandraket
Potgrond	Intratuin Biologische moestuin- en kruidengrond turfrij	Welkoop Eenjarige bloeiers universeel potgrond
Opstelling planten	6 kolommen, 4 rijen, 70 ± 10 cm ² per plant	6 kolommen, 4 rijen, per kweekpot 63,6 cm ²
Daglamp	Mars Hydro TS-600	LED Plant Grow Light
Lichtintensiteit op de plantlocaties	9,7 W m ⁻²	Variabel (zie tabel 12)
CCT (K), CRI	3000-3200 K, 6000-6500K;	5900K, CRI >97
Temperatuur van de Droogoven	50 °C	80 °C
Waterhoeveelheid	3 keer per week Variabel: 3 ± 3 cL per keer per plant	1 keer per week Gemiddeld 33 ± 3 mL per kweekpotje
Plantselectie	Het grootste bladoppervlak (en lengte bij twijfel)	Het grootste bladoppervlak met gunstige locatie in kweekpotje.
Groepen	NG en EG	NG, CG en EG
Aantal vertakkingen gemeten	Nee	Ja

Table 1: Schema met onderlinge verschillen in meetopstelling

Variabele	Dag na zaaiing/ periode	Groep	Gemiddelde	Standaard afwijking
Lengte (cm)	12	CG	0,545833333	0,179320376
		EG	0,41375	0,138683641
		NG	0,683333333	0,169669911
	19	CG	0,887083333	0,299426686
		EG	0,869166667	0,269684464
		NG	1,558333333	0,183195541
	26	CG	1,35	0,455879465
		EG	1,492083333	0,926672303
		NG	1,641666667	0,326018218
$\sqrt{\text{versgewicht (g)}}$		CG	0,493033264	0,275594559
		EG	0,569476324	0,243026168
		NG	1,148530564	0,304292102
$\sqrt{\text{drooggewicht (g)}}$		CG	0,228406587	0,120340409
		EG	0,252754154	0,107164438
		NG	0,412307133	0,120491645
RGR _A (d ⁻¹)	Dag 15-19	CG	0,299098055	0,085141817
		EG	0,319690656	0,063289881
	Dag 19-26	CG	0,152249072	0,085033627
		EG	0,167073838	0,078575872
		NG	0,222730619	0,047079253
	Dag 26-33	EG	0,043382972	0,050146115
		NG	0,11335206	0,059321428
	Dag 33-40	CG	0,010334356	0,02736748
		EG	0,012127457	0,029928151
		NG	0,06250767	0,054809561
	Dag 40-47	CG	0,016102083	0,022978223
		EG	0,015366763	0,029342969
		NG	0,038157758	0,053136808
	Dag 47-54	CG	-0,007534961	0,039682179
		EG	-0,018506808	0,032337945
Aantal bladeren	26	CG	11,54166667	2,977877369
		EG	12,25	2,738612788
		NG	13,83333333	1,99240984
	33	CG	15,20833333	4,539480593
		EG	16,375	4,401704215
		NG	19,66666667	3,892494721
	40	CG	17,54166667	6,164267062
		EG	18,70833333	5,544124714
		NG	23,5	5,090097338
	47	CG	20,58333333	6,658872255
		EG	22,04166667	6,209944106
		NG	28,5	5,900693334
	54	CG	23,29166667	7,17773833
		EG	24,29166667	7,201927077

Table 2: Resultaten Zandraket

Variabele	Dag na zaaiing/ periode	Groep 1	Groep 2	p-waarde
Lengte (cm)	12	CG	EG	0,004
	19			0,836
	26			0,520
	12		NG	0,040
	19			<0,001
	26			0,026
	12	EG	<0,001	
	19		<0,001	
	26		0,16	
$\sqrt{\text{versgewicht (g)}}$		CG	EG	0,318
			NG	<0,001
		EG	<0,001	
$\sqrt{\text{drooggewicht (g)}}$		CG	EG	0,440
			NG	<0,001
		EG	<0,001	
RGR _A (d ⁻¹)	Dag 15-19	CG	EG	0,418
	Dag 19-26			0,646
	Dag 33-40			0,713
	Dag 40-47			0,690
	Dag 47-54			0,231
	Dag 19-26			NG
	Dag 33-40	0,007		
	Dag 40-47	0,434		
	Dag 19-26	EG	0,006	
	Dag 26-33		0,001	
	Dag 33-40		0,004	
	Dag 40-47		0,080	
Aantal bladeren	26	CG	EG	0,469
	33			0,446
	40			0,528
	47			0,493
	54			0,674
	26			NG
	33	0,038		
	40	0,010		
	47	0,008		
	26	EG	0,049	
	33		0,008	
	40		0,005	
47	0,001			

Table 3: p-waarden Zandraket

Dag na het zaaien	$1 < x < 1,25$	$1,25 < x < 1,5$	$1,5 < x < 2$	$x > 2$	Totaal
33	4	2	1	2	9
40	3	7	2	7	19
47	2	2	0	14	18
54	5	2	1	13	21

Table 4: De kleur van de bladeren kwantitatief uitgedrukt gedurende laatste vier weken van CG van de zandraket.

Dag na het zaaien	$1 < x < 1,25$	$1,25 < x < 1,5$	$1,5 < x < 2$	$x > 2$	Totaal
33	9	2	2	0	13
40	5	4	7	4	20
47	1	4	6	12	23
54	4	3	4	12	23

Table 5: De kleurverandering van de bladeren kwantitatief uitgedrukt gedurende laatste vier weken van EG van de zandraket

Dag	Aantal plant-en (n)	Aantal steng-els	Aantal vertak-kingen	Aantal stengels/n (%)	Aantal vertakkingen/aantal stengels
33	67	1	0	1,49	0
40	67	5	4	7,46	0,8
47	65	14	32	21,53	2,29
54	65	30	86	46,15	2,87

Table 6: Het aantal individuen dat stengels heeft en het aantal vertakkingen die is opgetreden van de zandraket in CG gedurende laatste 4 weken

Dag	Aantal plant-en (n)	Aantal steng-els	Aantal vertak-kingen	Aantal stengels/n (%)	Aantal vertakkingen/aantal stengels
33	60	0	0	0	0
40	60	2	0	3,33	0
47	60	9	26	15,00	2,89
54	60	17	110	28,33	6,47

Table 7: Het aantal individuen dat stengels heeft en het aantal vertakkingen die is opgetreden van de zandraket in EG gedurende laatste 4 weken

Variabele	Datum/Periode	Groep	Gemiddelde	Standaard Afwijking
Lengte (cm)	16 sep	NG	5,679166667	1,022349879
		EG	4,7875	1,737392474
	23 sep	NG	7,858333333	1,573673815
		EG	6,5125	1,514082446
	30 sep	NG	7,654166667	1,539898124
		EG	7,191666667	1,69549702
	7 okt	NG	7,779166667	1,747042014
		EG	7,929166667	1,758081753
	14 okt	NG	8,2375	1,763596252
		EG	10,23333333	2,189434445
	16 okt	NG	9,308333333	1,595351036
		EG	11,775	2,227935289
RGR _A (d ⁻¹)	16-30 sep	NG	0,106611338	0,037617568
		EG	0,137145851	0,054340623
	16 sep – 7 okt	NG	0,095646945	0,032189122
		EG	0,113067389	0,040600027
	16 sep – 14 okt	NG	0,081239982	0,034239764
		EG	0,11967237	0,047057729
	16 sep – 16 okt	NG	0,0835601	0,03397837
		EG	0,111564365	0,044417957
	23-30 sep	NG	0,06075616	0,040011114
		EG	0,074017005	0,045772768
	23 sep – 7 okt	NG	0,06600852	0,029495731
		EG	0,066096397	0,028427307
	23 sep – 14 okt	NG	0,056273096	0,033788766
		EG	0,087387905	0,037856484
	30 sep – 7 okt	NG	0,06457393	0,039095973
		EG	0,063849163	0,033189666
	30 sep – 14 okt	NG	0,056389101	0,039943614
		EG	0,095013903	0,04899581
	30 sep – 16 okt	NG	0,063706365	0,037081302
		EG	0,087833126	0,0428957
$\sqrt{\text{versgewicht (g)}}$	7-14 okt	NG	0,062877655	0,050990052
		EG	0,12822637	0,074100827
	7-16 okt	NG	0,072634931	0,037554454
		EG	0,108049446	0,063855152
	14-16 okt	NG	0,087028451	0,059860155
		EG	0,120014001	0,097068079
		NG	1,529521778	0,403437143
		EG	2,0957322	0,603243301
$\sqrt{\text{drooggewicht (g)}}$		NG	0,627022725	0,156624733
		EG	0,750740519	0,179773788

Table 8: Resultaten zomerkoolzaad

Variabele	Datum/Periode	p-waarde (t-toets)
Lengte (cm)	16 sep	0,001409
	23 sep	0,005538
	30 sep	0,325378
	7 okt	0,726234
	14 okt	0,001769
	16 okt	0,000141
RGR _A (d ⁻¹)	16-30 sep	0,009347
	16 sep – 7 okt	0,004537
	16 sep – 14 okt	0,0000792
	16 sep – 16 okt	0,610801
	23-30 sep	0,402372
	23 sep – 7 okt	0,012876
	23 sep – 14 okt	0,756325
	30 sep – 7 okt	0,000237
	30 sep – 14 okt	0,011216
	30 sep – 16 okt	0,000302
	7-14 okt	0,174491
	7-16 okt	0,000472
	14-16 okt	0,044014
$\sqrt{\text{versgewicht (g)}}$		0,000109
$\sqrt{\text{drooggewicht (g)}}$		0,016241

Table 9: p-waarden Zomerkoolzaad

		16-23 sep	23-30 sep	30 sep – 7 okt	7-14 okt	14-16 okt	Totaal
Toename bladeren excl. zaadlobben	N	0	0	1	2	5	8
	G	0	0	2	0	3	5
Afname zaadlobben	N	0	0	0	1	0	1
	G	0	0	0	0	1	1

Table 10: Het aantal negatieve waarden voor de toename van het aantal bladeren exclusief zaadlobben en de afname van het aantal zaadlobben bij NG en EG van het zomerkoolzaad

	A	B	C	D	E	F
1	1,6 ± 0,4	2,0 ± 0,3	3,5 ± 0,5	3,5 ± 0,5	2,0 ± 0,3	1,6 ± 0,4
2	1,2 ± 0,3	1,7 ± 0,2	2,0 ± 0,4	2,0 ± 0,4	1,7 ± 0,3	1,2 ± 0,3
3	0,9 ± 0,2	1,3 ± 0,3	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	1,3 ± 0,3	0,9 ± 0,2
4	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1

Table 11: Maximale intensiteit (W m⁻²) van de nachtlamp bij de verschillende plantlocaties bij het zomerkoolzaad

	A	B	C	D	E	F
1	97 ± 5	59 ± 1	183 ± 1	183 ± 1	159 ± 1	97 ± 5
2	114 ± 4	175 ± 2	194 ± 3	194 ± 3	175 ± 2	114 ± 4
3	114 ± 4	175 ± 2	194 ± 3	194 ± 3	175 ± 2	114 ± 4
4	97 ± 5	59 ± 1	183 ± 1	183 ± 1	159 ± 1	97 ± 5

Table 12: Lichtintensiteit in μmol m⁻² s⁻² van de daglamp bij verschillende plantlocaties bij de Zandraket

	A	B	C	D	E	F
1	5,6 ± 0,5	6,5 ± 0,6	7,1 ± 0,6	7,1 ± 0,6	6,5 ± 0,6	5,6 ± 0,5
2	7,6 ± 0,8	9 ± 1	11 ± 1	11 ± 1	9 ± 1	7,6 ± 0,8
3	10 ± 2	14 ± 2	16 ± 2	16 ± 2	14 ± 2	10 ± 2
4	13 ± 2	18 ± 3	23 ± 3	23 ± 3	18 ± 3	13 ± 2

Table 13: Maximale lichtintensiteit in μmol m⁻² s⁻² van de nachtlamp bij verschillende plantlocaties bij de Zandraket

Een risicoanalyse voor de gaswinning in Eleveld, gemaakt aan de hand van historische data

P. E. B. Emaus¹, L. K. Nieuwenhuis², W. Winkel³, R. Kamperman³, N. Bout¹ & H. Brandt²

¹ *Etty Hillesum Lyceum – Het Vlier, Deventer*

² *Bataafs Lyceum, Hengelo*

³ *Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – Gas plays an enormous and indispensable role in modern society, but earthquakes often occur as a result of gas extraction. This is also the case at the Eleveld gas field in Drenthe, one of the largest gas fields in the Netherlands. Are these earthquakes actually the result of gas extraction in the affected area? And if this turns out to be the case, is it possible to predict these earthquakes? This paper will answer these questions, based on knowledge from previous studies. First, it will become clear that these earthquakes are induced by gas extraction. Subsequently, this paper predicts that 22 more earthquakes should occur in the Eleveld gas field up to and including 2028. Based on this prediction, a risk analysis is made, from which advice follows to stop gas extraction as soon as possible.

1. Inleiding

Wat veel mensen in Nederland niet weten is dat het gasveld in Groningen het 9e grootste gasveld van de wereld is (Het Financieele Dagblad, z.d.). De gaswinning in de Formatie van Slochteren begon in 1963 en had eerst alleen maar voordelen, totdat de gevolgen van de gaswinning duidelijk werden. Drukverschillen in de ondergrond zorgden voor bodemdaling, waardoor er aardbevingen ontstonden met schade aan huizen en boerderijen als gevolg (De Lange et al., 2011). Op 1 oktober 2024 ging de gaskraan in Groningen voorgoed dicht (Ministerie van Algemene Zaken, 2024). In Nederland zijn er nog zo'n 240 andere plaatsen waar gas wordt gewonnen; een voorbeeld hiervan is het gasveld bij de plaats Eleveld in Drenthe. Dit gasveld kwam eind 2023 in het nieuws, toen er drie voelbare aardbevingen plaatsvonden in korte tijd (RTV Drenthe, 2023). In dit onderzoek worden er voorspellingen gedaan over de hoeveelheid aardbevingen met bijbehorende magnitudes die er de komende jaren plaats zouden kunnen gaan vinden in Eleveld als gevolg van de gaswinning. Dit wordt gedaan om omwonenden van het Eleveld gasveld duidelijkheid en voorspelbaarheid te geven. Om deze voorspellingen te kunnen doen wordt er gebruikgemaakt van gegevens uit het Winningsplan van de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM), omdat deze gegevens over de toekomstige gasproductie in Eleveld tot en met 2028 bevat (NAM, 2016). Dit onderzoek wordt uitgevoerd aan de hand van een onderzoek waarbij deze voorspellingen al gedaan zijn door Hagoort (2017) voor het Groningen-gasveld, omdat de resultaten uit dit onderzoek nauwkeurig en betrouwbaar zijn gebleken. In het onderzoek naar de gaswinning in het Groningen-gasveld is een correlatie gevonden tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen. Daarom is er onderzocht of er in het Eleveld gasveld een vergelijkbare correlatie te vinden is, omdat hier verdere voorspellingen over het aantal aardbevingen mee gedaan kunnen worden. Dit heeft geleid tot de volgende onderzoeksvraag: 'Is er een correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen in het Eleveld gasveld in de periode 1975-2023?'. De maatschappelijk relevante vraag die hier impliciet uit volgt is: 'Hoeveel aardbevingen en met welke magnitudes volgens de Schaal van Richter zijn hier de komende jaren mee te voorspellen in het Eleveld gasveld?'.

2. Theoretisch kader

In dit theoretisch kader wordt alle relevante informatie beschreven die nodig is om een voorspelling te doen over het aantal aardbevingen met bijbehorende magnitudes in Eleveld. Eerst wordt het begrip aardbeving gedefinieerd en wordt uitgelegd dat in dit onderzoek ingezoomd wordt op geïnduceerde aardbevingen veroorzaakt door gaswinning. Aangezien dit onderzoek is gebaseerd op voorspellingen gedaan voor het Groningen-gasveld door Hagoort (2017), wordt uitgelegd waarom in Eleveld eenzelfde correlatie wordt verwacht. Daarnaast wordt stilgestaan bij de DHAIS-methodiek van TNO (2022), om uit te leggen welke factoren invloed hebben op geïnduceerde aardbevingen. Om een risicoanalyse te maken, wordt de invloed van verschillende magnitudes op de Schaal van Richter uitgelegd en wordt het bodemprofiel van het Eleveld gasveld geanalyseerd.

2.1. Definitie geïnduceerde aardbevingen

Een aardbeving wordt gedefinieerd als een plotselinge schokkende of trillende beweging van de aardkorst (Bolt, 2025; Kanamori & Brodsky, 2001). Bij dit onderzoek wordt alleen gekeken naar geïnduceerde aardbevingen; deze worden beschreven als aardbevingen die geen natuurlijke oorzaak hebben en die dus (indirect) door de mens veroorzaakt worden (U.S. Geological Survey, 2022). Er zijn veel manieren waarop geïnduceerde aardbevingen kunnen ontstaan, zoals de aanleg van een stuwdam of het oppompen van grondwater (Foulgera et al., 2017). In dit onderzoek wordt gekeken naar geïnduceerde aardbevingen veroorzaakt door gaswinning.

Onderzoek Groningen Jacques Hagoort en correlatie gasproductie en aardbevingen In 2017 heeft Jacques Hagoort, voormalig professor Reservoir Engineering aan de TU Delft, een model gepresenteerd om aardbevingen te kunnen voorspellen in het Groningen-gasveld. Het model is gebaseerd op een statistische analyse van 284 geregistreerde aardbevingen met een magnitude groter dan 1,5 op de Schaal van Richter (Hagoort, 2017). Uit dit onderzoek is gebleken dat de cumulatieve gasproductie een sterke correlatie vertoont met het cumulatieve aantal aardbevingen, wat kan worden beschreven

door een kwadratische vergelijking. Deze correlatie is ook te verwachten, aangezien gaswinning zorgt voor een afname van druk in ondergrondse gasreservoirs. Dit kan leiden tot veranderingen in de drukverdeling in de omgeving. De effecten van drukverlaging kunnen pas na verloop van tijd duidelijk worden, aangezien het veel tijd kost voordat de veranderingen in druk zich door het gesteente verspreiden en leiden tot breukactiviteit (Bourne et al., 2014; Van Eijs et al., 2006). De hoge R^2 -waarde van 0,9987 voor de kwadratische fit bevestigt dat het model nauwkeurig de relatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen beschrijft. Door middel van extrapolatie kan met deze vergelijking het aantal aardbevingen in de toekomst voorspeld worden. Extrapoleren kan volgens Latham (2014, p. 25) beschreven worden als het uitbreiden en verkennen van een trend. De trend wordt voortgezet in de toekomst, ervan uitgaande dat deze met dezelfde richting en snelheid groeit als nu gebeurt.

Om er zeker van te zijn dat er in Eleveld eenzelfde correlatie te verwachten is tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen, zijn verschillende kenmerken van het Groningen-gasveld en het Eleveld gasveld vergeleken met elkaar. In het Groningen-gasveld zit het aardgas opgesloten in een zandsteenlaag op ongeveer drie kilometer diepte, de zogenaamde Formatie van Slochteren (vernoemd naar het dorp Slochteren, waar in 1959 in boorgat Slochteren-1 gas werd ontdekt in de Boven-Rotliegend Groep: het gigantische Groningen-gasveld (TNO-GDN, 2024)). Bij de start van de gasproductie in 1963 bedroeg de druk diep in de ondergrond ongeveer 350 bar (1 bar = 10.000 kilogram op één vierkante meter (M-Power, z.d.)). Door de gaswinning is de druk die het gas uitoefent op de ondergrond gedaald, naar 105 bar in 2020. Deze drukdaling zorgt ervoor dat de zandsteenlaag onder het gewicht van de bovenliggende aardlagen ineengedrukt wordt. In vaktermen wordt dit compactie genoemd; compactie veroorzaakt bodemdaling aan het oppervlakte (NAM, z.d.).

Het reservoirgesteente, het gesteente dat het gas in de poriën en scheuren vasthoudt, is in Eleveld ook de Formatie van Slochteren. Het bestaat in Eleveld voornamelijk uit conglomeraat- en zand(steen)afzettingen (sedimentgesteenten) (Van Thienen-Visser et al., 2016). De diepte van het Eleveld gasveld ligt rond de drie kilometer, volgens kaarten gemaakt door de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO). De druk in de ondergrond van Eleveld is als gevolg van de gaswinning van 1975 tot 2020 afgenomen van 377 tot 87 bar (NAM, 2020).

Aangezien de gasvelden in Groningen en Eleveld op dezelfde diepte liggen, uit hetzelfde reservoirgesteente bestaan en eenzelfde drukdaling vertonen, wordt in het Eleveld gasveld een vergelijkbare correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen verwacht als in het Groningen-gasveld.

2.2. DHAIS-methodiek

Om er ook zeker van te zijn dat de aardbevingen in Eleveld veroorzaakt worden door de gaswinning wordt gebruikgemaakt van de deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit (DHAIS-methodiek). Deze methode maakt gebruik van drie verschillende indicatorparameters om een gasveld en

zijn aardbevingen te analyseren. Een indicatorparameter wordt gedefinieerd als een parameter die alle relevante factoren voor het optreden van een beving bekijkt (Roholl et al., 2022). Aan deze indicatorparameter wordt, door het analyseren van relevante factoren, een waarde toegekend. Deze waarde zegt iets over het bevend voorkomen van het gasveld. Als deze indicatorparameters allemaal een gestelde grenswaarde overschrijden, zullen de aardbevingen bij dat gasveld geïnduceerd zijn.

De eerste parameter is DP/Pini; deze parameter meet de daling van de druk in het gasveld ten opzichte van de totale oorspronkelijke druk in het gasveld. DP is hierbij de drukval veroorzaakt door de eerste beving in het gasveld en Pini is de initiële druk van het gasveld voordat de eerste beving plaatsvond. Deze parameter wordt uitgedrukt in procenten; als meer dan 20% van de druk is veranderd ten opzichte van de initiële druk, dan zal het gasveld volgens deze parameter geïnduceerde aardbevingen opleveren (Roholl et al., 2022).

De volgende parameter is de B-waarde; deze parameter geeft de verhouding tussen het breukoppervlakte en het gesteentevolume van een beving weer. De B-waarde wordt met de volgende formule berekend:

$$B = \frac{l_b^{3/2} * \sqrt{h}}{A} \quad (1)$$

- l_b staat hier voor de breuklengte van de beving.
- h is de grootste/maximale waarde tussen de dikte en de hoogte van de gaskolom waaruit gas gewonnen wordt.
- A is het oppervlak van de beving.

Blijkt de B-waarde boven 0,84 te liggen, dan zal de aardbeving geïnduceerd zijn. Als het oppervlak van de beving groter wordt (A), zal de beving meer verspreid zijn en zal dit dus minder waarschijnlijk veroorzaakt worden door gaswinning die op een relatief klein oppervlak wordt uitgevoerd. Daarnaast betekent dit ook dat een grotere dikte of hoogte van de gaskolom zorgt voor een grotere waarschijnlijkheid dat de aardbeving geïnduceerd is. Hetzelfde geldt voor de breuklengte van de beving; hoe groter deze is, hoe waarschijnlijker de aardbeving geïnduceerd is. Dus hoe groter de B-waarde, hoe groter de kans dat de aardbeving geïnduceerd is (Roholl et al., 2022).

De derde en laatste parameter is de E-waarde; deze laat de stijfheid van de door de beving getroffen grond ten opzichte van het gasreservoir zien. De stijfheid is de mate waarin het gesteente zich verzet tegen elastische vervorming. Dit wordt gemeten door middel van de elasticiteitsmodulus (Young's modulus); hoe hoger deze waarde is, hoe stijver het gesteente (Van Eijs et al, 2004). De E-waarde wordt berekend met de volgende formule:

$$E = \frac{\rho v_p^2 (v_p^2 - 4v_s^2)}{(v_p^2 - v_s^2)} \quad (2)$$

waarbij ρ de dichtheid van de grond is, v_p de snelheid van de drukgolf en v_s de snelheid van de schuifgolf (Mat, 2023).

Als de E-waarde hoog is, zal de grond rondom de aardbeving stijf zijn. Stijve grond trilt minder heftig dan zachte grond, dus

in zachte grond is de kans op een aardbeving veel groter dan in stijve grond. Komt er toch een aardbeving in stijve grond, dan zal deze waarschijnlijk geïnduceerd zijn. De E-waarde, die de stijfheid van de getroffen aarde beschrijft, geeft dus ook een indicatie of de aardbeving geïnduceerd is (Roholl et al, 2022).

Nu alle drie de parameters bekend zijn, wordt gekeken of alle indicatorparameters boven de door de TNO gestelde grenswaarden liggen. Als de DP/P_{ini} boven de 20%, de B-waarde boven 0,84 en de E-waarde boven 1,07 ligt, zullen de aardbevingen geïnduceerd zijn door de gaswinning in het gasveld. Bij het gasveld Eleveld lagen echter alle indicatorparameters eronder (Roholl et al, 2022), wat betekent dat de gestelde grenswaarden niet overschreden worden en dat de aardbevingen die plaatsvinden ook echt veroorzaakt worden door de gaswinning.

2.3. Normaal kubieke meter

In dit onderzoek wordt veel gebruikgemaakt van de cumulatieve hoeveelheid gewonnen gas, wat wordt uitgedrukt in Nm^3 (normaal kubieke meter). Dit is een hoeveelheid gas die één m^3 inneemt bij een temperatuur van nul graden Celsius en een standaarddruk van 1,01325 bar (Gasunie Transport Services, z.d.). Deze eenheid geeft een accurate weergave van de gewonnen hoeveelheid gas, aangezien de invloed van temperatuur en druk hierop wegvalt. Aangezien gas uitzet bij hogere temperaturen en krimpt bij een lagere temperatuur (Joulz, 2021), kan hetzelfde aantal gasmoleculen een verschillend volume innemen. Om makkelijk informatie over gaswinning te vergelijken, moet er niet naar het daadwerkelijke volume gekeken worden, maar naar het volume dat dit aantal moleculen zal innemen bij een vastgestelde temperatuur en druk.

2.4. Determinatiecoëfficiënt en toepassing Excel

Verder wordt gebruikgemaakt van de determinatiecoëfficiënt (R^2) om de accuraatheid en validiteit van een trendlijn weer te geven. Deze determinatiecoëfficiënt is alleen valide voor simpele en meervoudige lineaire regressiemodellen. In dit onderzoek wordt gebruikgemaakt van kwadratische en exponentiële regressie. Beide zijn voorbeelden van meervoudige lineaire regressie, dus wordt gebruikgemaakt van R^2 . Deze waarde varieert van 0 tot 1 en beschrijft de nauwkeurigheid van een trendlijn ten opzichte van de precieze datapunten. Een R^2 -waarde van 0 betekent dat de trendlijn niet overeenkomt met de datapunten en een trendlijn met een waarde van 1 betekent dat de trendlijn perfect overeenkomt met de datapunten (Scribbr, 2022).

De R^2 -waarde wordt berekend door middel van de volgende formule:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Door het kwadraat in de noemer is de waarde van R^2 altijd positief. Hierdoor wordt er geen onderscheid gemaakt tussen een te hoge of te lage voorspelling uit de trendlijn ten opzichte van het werkelijke punt. Hierbij is:

1. y_i : de daadwerkelijke waarde van het punt;
2. $\hat{y}_i$: de door de trendlijn voorspelde waarde van het punt.

De optelsom telt het kwadraat van het verschil van deze twee waarden bij elkaar op over alle punten, met een totaal van n punten. Dus hoe groter dit verschil is, hoe groter de sommaties is, hoe kleiner de R^2 -waarde.

2.5. The Sum of Squares of Error (SSE)

De Sum of Squares of Error (SSE) wordt als volgt berekend:

$$SSE = SS_y - \frac{(SS_{xy})^2}{SS_x}$$

1. Hierin zijn SS_x en SS_y respectievelijk de som van de kwadraten van alle x-waarden en de som van de kwadraten van alle y-waarden, zoals wel $\sum_{i=1}^n (x_i)^2$ en $\sum_{i=1}^n (y_i)^2$.
2. $(SS_{xy})^2$ is hier het kwadraat van de som van het product van alle x- en y-waarden; dit kan ook geschreven worden als $(\sum_{i=1}^n (x_i y_i))^2$.

SSE geeft dus informatie over de daadwerkelijke x- en y-waarden; hoe hoger deze waarden, hoe hoger de SSE. Dit balanceert de noemer in de R^2 -vergelijking, aangezien het verschil ($y_i - \hat{y}_i$) namelijk groter zal zijn bij hoge y-waarden. Aangezien de noemer van de breuk en de teller allebei afhangen van de grootte van de x- en y-waarden, zal de totale waarde die alleen de nauwkeurigheid (door middel van het verschil: $y_i - \hat{y}_i$) aangeeft, onafhankelijk van de grootte van deze waarden (Scriptium, 2023).

2.6. De Schaal van Richter en invloed op ondergrond Elenveld

De schaal van Richter is een logaritmische schaal, wat betekent dat als een aardbeving een magnitude zwaarder is, er tien keer zoveel energie vrijkomt. Aardbevingen van 1,0 M tot 2,0 M worden beschreven als nauwelijks waarneembare trillingen. Een magnitude van 3,0, tien keer sterker dus, is in de meeste gevallen de eerste merkbare aardbeving volgens Vlek (2018). Werkelijke voelbare bewegingen aan het oppervlak hangen sterk af van de diepte van de aardbeving (het hypocentrum) en de samenstelling van de bodem.

Op de bodemkaart van Nederland is te zien dat de bodem, de aardlaag tot 1,20 meter diepte, bij Eleveld voornamelijk uit lemig fijn zand bestaat (veldpodzolgrond, bestaande uit een dunne laag met humus (Hn30, z.d.)). Daarnaast is te zien dat er in de bodem in Eleveld grondwater aanwezig is, dat in het jaar fluctueert tussen de 10 en 220 cm diepte. Deze kaart is ontwikkeld door Wageningen Environmental Research (WENR) in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Door de voorspelde magnitudes en het bodemprofiel van Eleveld zo goed mogelijk te combineren, is het mogelijk om de effecten van een aardbeving in Eleveld te voorspellen. De compactie (die ontstaat door gaswinning) zorgt ervoor dat lagen in

de ondergrond ineengedrukt worden, waardoor de aardbevingen ontstaan. De voelbaarheid en kracht van een aardbeving wordt versterkt op een zachte bodem die met water verzadigd is. In een onderzoek van TNO wordt de reactie van de ondiepe ondergrond op de trillingen site response genoemd, die dus groter is bij zachte grond (Wassing et al., 2004). De bodem wordt door de trillingen deels vloeibaar, waardoor de grond geen fundering meer kan dragen. Dit zorgt voor bodemdaling aan het oppervlakte, waardoor huizen en boerderijen kunnen verzakken (Government of Canada, 2021; İşik et al., 2016).

2.7. Cumulatieve frequentie

De cumulatieve frequentie is het aantal voorkomens van een bepaalde groep gedeeld door het totaal aantal voorkomens tot dan toe (Cuemath, z.d.). Bijvoorbeeld: groep één komt 5 keer voor, groep twee 8 keer en groep drie 2 keer. De cumulatieve frequentie van groep één is $5/(5) = 1$. De cumulatieve frequentie van groep twee is dan $8/(5+8) = 0,615$ en de cumulatieve frequentie van groep drie is $2/(5+8+2) = 0,133$. De cumulatieve frequentie kan ook weer omgezet worden in het aantal voorkomens als het totaal aantal voorkomens bekend is. Dus het aantal voorkomens is het product van de cumulatieve frequentie en het totaal aantal voorafgaande voorkomens, volgens hetzelfde voorbeeld met totaal $5+8+2 = 15$ voorkomens: voor groep drie: $0,133 \times (15) = 2$, voor groep twee: $0,615 \times (15-2) = 8$ en voor groep één: $1 \times (15-2-8) = 5$.

2.8. Gutenberg-Richter schaal

De meest gebruikte schaal voor het weergeven van magnitudes van aardbevingen is de Gutenberg-Richter schaal. Deze schaal uit 1935 geeft voor elke aardbeving een magnitude aan. Deze magnitude wordt berekend door middel van de horizontale component van de aardbeving; dit is de amplitude. Deze schaal is gebaseerd op het feit dat de energie van een aardbeving sterk afneemt naarmate deze verder van het epicentrum gemeten wordt. Door meerdere amplitudemeters op logaritmische afstanden (1km, 10km, 100km, etc.) te plaatsen, kan de magnitude bij het epicentrum bepaald worden. De Gutenberg-Richter schaal beschrijft dus alleen de magnitude van de beving, maar zegt niks over de tijd waarover deze aardbeving zich voltrekt. Een beving met een magnitude van 3,0, die 20 seconden bestaat, kan meer schade aanrichten dan een beving met magnitude 4,0, die 5 seconden bestaat. De gemiddelde duur van een aardbeving is volgens The University of Utah (2023) 10 tot 30 seconden. Dit houdt in dat deze schaal niet precies de vernietigende kracht van een aardbeving kan weergeven, maar alleen de magnitude.

3. Methode

De werkwijze in dit onderzoek bestaat in hoofdlijnen uit twee fases:

1. een correlatie zoeken tussen het cumulatieve aantal aardbevingen en de cumulatieve gasproductie in het Eleveld gasveld in de periode 1975-2023;
2. en hier vervolgens mee berekenen hoeveel aardbevingen er de komende jaren in het Eleveld gasveld plaats zouden kunnen gaan vinden en met welke bijbehorende magni-

tudes op de Schaal van Richter.

3.1. Verzamelen benodigde gegevens

Allereerst is een dataset in Excel gemaakt met daarin alle benodigde gegevens om de resultaten voor dit onderzoek te verkrijgen. De gegevens over de gasproductie in Eleveld worden vanaf 2003 maandelijks bijgewerkt op het dashboard productie volumes kleine gasvelden op land op de website van het Nederlandse Olie- en Gasportaal (NLOG, z.d.). Daarnaast zijn gegevens over de gasproductie in Eleveld van 1975 tot 2003 gebruikt uit onderzoeken van de NAM (Eleveld bevingen, 2023), winningsplannen geschreven door de NAM (NAM, 2016) en rapporten van TNO (Van Thienen-Visser et al., 2016). De gasproductie van voor 2003 is uitsluitend te verkrijgen met een nauwkeurigheid in honderden miljoenen in plaats van miljoenen, ook niet na contact opgenomen te hebben met het NLOG en de NAM. De gegevens over de cumulatieve gasproductie van voor 2003 zijn dus een grove afronding. De gegevens vanaf 1 januari 2003 zijn compleet en nauwkeurig tot op miljoenen.

De data van de aardbevingen in het Eleveld gasveld worden voornamelijk bijgehouden en geregistreerd door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) in hun aardbevingscatalogus (KNMI, z.d.). Omdat de DHAIS-methodiek van TNO heeft aangetoond dat de aardbevingen in Eleveld veroorzaakt worden door de gaswinning, mogen de gegevens uit deze aardbevingscatalogus gebruikt worden. Door deze gegevens te verzamelen is een zo nauwkeurig en compleet mogelijk beeld gevormd van alle aardbevingen veroorzaakt door de gaswinning in Eleveld. In deze dataset zijn alleen aardbevingen meegenomen met een magnitude groter dan 0.5 op de Schaal van Richter, omdat het KNMI geen meetapparatuur in het Eleveld gasveld heeft die magnitudes kleiner dan 0.5 op de Schaal van Richter kan meten (KNMI, z.d.).

3.2. Beschrijven van de correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen

Omdat er een correlatie te verwachten is tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen, zijn deze twee variabelen in een grafiek tegen elkaar uitgezet. Hierbij zijn alleen de gegevens na 1986 gebruikt, omdat er voor 1986 nog geen aardbevingen plaatsgevonden hadden in Eleveld (de grafiek zou dan alleen een lijn lopend over de x-as weergeven). In Excel is vervolgens een tweedegraads polynoomfunctie ingevoegd van de vorm $y=ax^2+bx+c$. Deze functie lijkt op het eerste gezicht een lineaire lijn, maar is een heel afgevlakte parabool door de lage waarde voor a, zie figuur 3.

3.3. Omschrijven formule naar benodigde vorm

De formule in de vorm $y=ax^2+bx+c$ is eerst omgeschreven naar de vorm $Nq=a(Gp-Gpr)^2+b(Gp-Gpr)$, waarbij Nq gelijk is aan het cumulatieve aantal aardbevingen, Gp de cumulatieve gaswinning is in een bepaald (gekozen) jaar is en Gpr is de cumulatieve gasproductie in het referentiejaar. Bij het Eleveld gasveld is het referentiejaar 1986 met een bijbehorende cumulatieve gasproductie van 4500 miljoen Nm^3 , omdat dat het jaar is waarin de eerste aardbeving door de gaswinning in Eleveld

plaatsvond. Hieronder is te zien hoe de tweedegraads polynoomfunctie uit Excel is omgeschreven naar de vorm waarmee de benodigde resultaten verkregen kunnen worden.

1. $Nq = a(x - 4500)^2 + b(x - 4500)$.
Als eerste wordt Gpr in de formule ingevuld.
2. $Nq = ax^2 + (-9000a + b)x + 20250000a - 4500b$.
3. $-9000 \times 1,998 \times 10^{-7} + b = 0,0099 \Rightarrow b = 0,0117$.
In de Excel-grafiek is te zien dat de waarde voor x^2 $1,998 \times 10^{-7}$ is, dit is dus de waarde voor a . Als a ingevuld wordt, is met deze gegevens dus ook b te berekenen, aangezien het gedeelte tussen de haakjes volgens de Excel-grafiek gelijk moet zijn aan 0,0099.
4. $Nq = 1,998 \times 10^{-7}x^2 + 0,0099x - 48,605$. Hier worden de haakjes uitgewerkt met de ingevulde waarden voor a en b .
5. **Excel:** $Nq = 1,998 \times 10^{-7}x^2 + 0,0099x - 53,411$.
Excel geeft een andere waarde aan voor c in de standaardfunctie; er is dus sprake van een verschil.
6. **Verskil Excel en eigen formule:**
 $-53,411 - (-48,605) = -4,8069$.
Hier wordt de waarde van het verschil tussen de formule van Excel en de zelf opgestelde formule berekend.
7. $Nq = 1,998 \times 10^{-7}(Gp - 4500)^2 + 0,0117(Gp - 4500) - 4,8069$. Om onze eigen formule en de formule van Excel precies overeen te laten komen, moet deze foutmarge aan de grafiek toegevoegd worden. Er zijn nu twee formules die dezelfde grafiek weergeven, waarvan er een in de vorm staat waarmee de benodigde resultaten verkregen kunnen worden.

4. Voorspelling aantal aardbevingen

In het tweede deel van de methode gaat met de opgestelde formule het cumulatieve aantal aardbevingen in het Eleveld gasveld voor de komende jaren voorspeld worden. In het winningsplan van de NAM (2016) is te lezen dat tot en met 2028 in totaal 87% van het GIIP (gas initially in place; de oorspronkelijke hoeveelheid gas aanwezig voor het begin van de gaswinning) opgepompt wordt. Dit is 10,399 miljard Nm^3 van het 11,975 miljard Nm^3 GIIP (hierbij wordt uitgegaan van het high case productiescenario). Als deze 10,399 miljard Nm^3 in de opgestelde formule ingevuld wordt voor Gp , dan komt hier het totale aantal cumulatieve aardbevingen uit tot en met 2028. Het verschil tussen het cumulatieve aantal aardbevingen dat uit bovenstaande berekening komt en het aantal aardbevingen dat al heeft plaatsgevonden tot en met 2023 is dus het aantal aardbevingen dat nog plaats zou moeten vinden tot en met 2028.

4.1. Vinden verband magnitude en cumulatieve frequentie

Om aan deze voorspelde aardbevingen ook een bijbehorende verwachte magnitude toe te kennen, wordt voor het Eleveld gasveld een verband tussen de magnitudes van de aardbevingen en hun cumulatieve frequentie opgezet. De verdeling van de magnitudes van de aardbevingen die tot en met 2023 door de gaswinning in het Eleveld gasveld plaatsgevonden hebben is te zien in tabel 1.

Om hiermee het gewenste verband op te stellen moet de cumu-

latieve frequentie van elke groep magnitudes berekend worden. Vervolgens zijn de magnitude en cumulatieve frequentie tegen elkaar uitgezet. Deze volgen een duidelijk exponentieel verband, zoals te zien is in figuur 4. In figuur 4 is telkens het midden van een magnitudegebied (bijvoorbeeld 0,75 voor alle bevingen met magnitudes tussen 0,5 en 1,0) genomen, zoals ook in tabel 1 beschreven staat, zodat de grafiek makkelijker af te lezen is. Met dit verband is de verdeling van de magnitudes en de maximale magnitude te voorspellen van de aardbevingen die nog plaats zouden moeten vinden. Zoals beschreven door de formule $y = 3,3137e^{-1,434x}$, is er een exponentieel verband tussen de cumulatieve frequentie en de magnitude. Waarbij y de cumulatieve frequentie en x de magnitude is. De geëxtrapoleerde grafiek is te zien in figuur 5. Deze is gemaakt om:

1. de magnitude van de sterkste aardbeving te berekenen;
2. en de magnitudes van alle voorspelde aardbevingen te berekenen.

De magnitude van de sterkst mogelijke aardbeving in Eleveld kan berekend worden door eerst de cumulatieve frequentie van deze aardbeving uit te rekenen. Dit is 1/71, omdat er één aardbeving van alle aardbevingen tot en met 2028 de sterkste zal zijn.

Vervolgens is van alle magnitudes kleiner dan de maximale magnitude de cumulatieve frequentie berekend, door deze magnitudes in te vullen in de verkregen formule. Deze zijn vervolgens, zoals eerder beschreven, omgezet naar het aantal voorkomens. Dit is mogelijk omdat het totaal aantal voorkomens (22) bekend is. Hiermee is de magnitudeverdeling op te stellen van de (22) resterende bevingen. Om deze verdeling duidelijk weer te geven in grafiekvorm maken we gebruik van een histogram, zie figuur 6. Dit is een grafische weergave van een frequentieverdeling van in klassen gegroepeerde data (Sheldon, 2023).

5. Resultaten

De uitkomsten van dit onderzoek zijn hieronder in vijf punten verdeeld, zodat de resultaten in één oogopslag te lezen zijn:

1. De correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen in het Eleveld gasveld in de periode 1975-2023 is te zien in figuur 3. De formule van de trendlijn kan weergegeven worden met de formule: $y = 2 \times 10^{-7}x^2 + 0,0099x - 53,411$ en heeft een R^2 -waarde van 0,9675. Dit betekent dat de trendlijn redelijk goed overeenkomt met de datapunten.
2. De omgeschreven Excel-formule die deze correlatie beschrijft en om de aardbevingen mee te voorspellen is $Nq = 1,998 \times 10^{-7}(Gp - 4500)^2 + 0,0117(Gp - 4500) - 4,80695$.
3. Het cumulatieve aantal aardbevingen is, door de cumulatieve gasproductie tot en met 2028 in te vullen in de omgeschreven formule voor Gp , 71. Dit betekent dat er nog 22 aardbevingen zouden moeten plaatsvinden tot en met 2028, aangezien er al 49 aardbevingen tot en met 2023 hebben plaatsgevonden.
4. Door de cumulatieve frequentie van 1/71 in te vullen in de formule $y = 3,3137e^{-1,434x}$ voor y , wordt de maxi-

male magnitude berekend. Er volgt een x-waarde van 3,8081. De voorspelde magnitude van de aardbeving met de sterkste kracht in Eleveld is 3,8 op de schaal van Richter.

- De verdeling van de magnitudes op de Schaal van Richter van de 22 aardbevingen die nog plaats zouden moeten vinden, is te zien in figuur 6.

6. Conclusie

Wat is de correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen in het Eleveld gasveld in de periode 1975-2023?

De correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen is een tweedegraads polynoom die beschreven kan worden door middel van de formule: $N_q = 1,998 \cdot 10^{-7} (G_p - 4500)^2 + 0,0117(G_p - 4500) - 4,80695$. Hierbij is G_p de cumulatieve hoeveelheid gewonnen gas en N_q het cumulatieve aantal aardbevingen.

Hoeveel aardbevingen en met welke magnitudes volgens de Schaal van Richter zijn hier de komende jaren mee te voorzien in het Eleveld gasveld?

Ervan uitgaande dat de productievolumes uit het winningsplan van de NAM uit 2016 aangehouden worden, zouden er nog 22 aardbevingen plaats moeten vinden in het Eleveld gasveld tot en met 2028. De maximaal berekende magnitude die plaats zou kunnen vinden, 3,8, heeft tot op heden nog niet plaatsgevonden. Elke aardbeving heeft dus een $1/22 \cdot 100\% = 4,5\%$ kans dat het de voorspelde magnitude van 3,8 op de Schaal van Richter heeft.

Zoals duidelijk wordt uit de theorie zal het grootste deel van de verwachte aardbevingen geen tot weinig schade aanrichten, aangezien bevingen van 1,0 M tot 2,0 M worden beschreven als nauwelijks waarneembare trillingen. Een aardbeving met een magnitude van 3,0 of hoger zou echter voor trillingen kunnen zorgen die duidelijk voelbaar zijn en die schade kunnen aanrichten. Doordat de bodem in Eleveld erg zacht is en verzadigd is met water, worden de trillingen van een aardbeving versterkt. Hierdoor zou een aardbeving met een magnitude van 3,8 op de Schaal van Richter dus meer schade aan kunnen brengen dan op basis van alleen de magnitude wordt verwacht. Daarnaast treedt er door de gaswinning ook bodemdaling op in Eleveld, alleen zou dit volgens het winningsplan van de NAM uit 2016 geen tot weinig schade aanrichten. De combinatie van bodemdaling én aardbevingen zou echter wel tot schade kunnen leiden.

7. Discussie

Gezien de voorspelling van 22 aardbevingen tot en met 2028 en het mogelijke risico hiervan op schade, wordt geadviseerd om zo snel mogelijk te stoppen met het winnen van gas in Eleveld. De bodemdaling kan zich nog een paar jaar doorzetten, maar hiervan wordt verwacht dat het geen grote schade zal aanrichten. De aardbevingen die zouden kunnen ontstaan als gevolg van compactie kunnen echter wel voor overlast en schade zorgen, maar deze zouden grotendeels voorkomen kunnen worden door de gaskraan zo snel mogelijk dicht te draaien.

De correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cu-

mulatieve aantal aardbevingen die in dit onderzoek onderzocht wordt, is gebaseerd op een soortgelijk onderzoek dat gedaan is voor het Groningen-gasveld. In het theoretisch kader wordt de aanname gedaan dat eenzelfde correlatie in Eleveld te verwachten is als in Groningen omdat het gas zit opgesloten in dezelfde zandsteenlaag (de Formatie van Slochteren), een vergelijkbare drukdaling te zien is en omdat de gasvelden zich op dezelfde diepte bevinden. De aanname is gedaan omdat deze variabelen worden gezien als de belangrijkste variabelen om de gasvelden te vergelijken. Echter blijft de vraag of de onderzochte variabelen voldoende zijn om de conclusie te trekken dat in Eleveld een vergelijkbare correlatie te verwachten is tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen als in Groningen. Vervolgonderzoek dient te worden verricht om te onderzoeken of de invloed van andere variabelen, zoals de samenstelling van het gas, het contactoppervlak van het gas met water en het aantal breuken, leidt tot eenzelfde aanname. Voor beide gasvelden is een correlatie gevonden tussen de cumulatieve gaswinning en het cumulatieve aantal aardbevingen waar een kwadratisch regressiemodel op is toegepast. Ook is er een exponentieel verband gevonden tussen de cumulatieve frequentie van deze bevingen en hun magnitude. Er is dus geen causaliteit aangetoond tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen. Uit de beschreven literatuur is duidelijk dat er een relatie bestaat tussen de gaswinning en het aantal aardbevingen. Echter zijn er veel andere variabelen die invloed hebben op deze relatie, dus kan er geen causaliteit tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen worden aangetoond. Dit maakt de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de gemaakte voorspelling minder nauwkeurig. Dit onderzoek zou na 2028 geëvalueerd moeten worden om te kijken of de gemaakte voorspelling uitgekomen is. Als de onderzochte variabelen afdoende blijken om eenzelfde correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen te verwachten, dan wordt verwacht dat de methode van dit onderzoek bruikbaar is voor vervolgonderzoeken voor gasvelden met vergelijkbare veldkenmerken als Groningen en Eleveld. Vervolgonderzoek zou kunnen uitwijzen of deze methode breder toepasbaar is op alle gasvelden in Nederland.

Daarnaast is de precieze data van de gasproductie bij het Eleveld gasveld voor 2003, zoals eerder beschreven, niet bekend. Er wordt gebruikgemaakt van data afgerond op honderden miljoenen Nm³, aangezien dit de enige beschikbare informatie is. Dit kan er dus voor zorgen dat de gevonden correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen minder nauwkeurig is. Er is dus sprake van een foutmarge in de gaswinning van 1,4% (100 miljoen Nm³ / 7.000 miljoen Nm³), omdat er is afgerond op honderden miljoenen en de cumulatieve gaswinning ligt tussen de 4.000 miljoen Nm³ en 10.000 miljoen Nm³ (dus gemiddeld 7.000 miljoen Nm³). Als deze foutmarge doorgerekend wordt op het aantal voorspelde aardbevingen van 71, komt dit tot een foutmarge van 0,99 aardbeving(en) (1,4% * 71). Als blijkt dat de afgeronde data invloed heeft op de gemaakte voorspelling, zou het aantal aardbevingen maximaal één aardbeving kunnen afwijken van het daadwerkelijke aantal.

Verder worden in dit onderzoek geïnduceerde aardbevingen met een magnitude lager dan 0,5 op de Schaal van Richter buiten beschouwing gelaten. Het KNMI heeft in het Eleveld gasveld namelijk geen meetapparatuur die nauwkeurig genoeg is om aardbevingen met deze kleine magnitude te meten. Deze aardbevingen hebben echter een te lage magnitude om waarneembare problemen met zich mee te brengen, en zijn dus irrelevant voor de gemaakte risicoanalyse. Tijdens het opstellen van het verband tussen de magnitude en de cumulatieve frequentie van de al voorgekomen aardbevingen in het Eleveld gasveld is ervoor gekozen om aardbevingen met een magnitude hoger dan 2,5 op de Schaal van Richter buiten beschouwing te laten. Het is bekend dat er in totaal 49 aardbevingen hebben plaatsgevonden. Echter, in tabel 1 zijn er maar 41 bevingen te zien met een magnitude lager dan 2,5. Dat betekent dat er acht bevingen zijn geweest met een magnitude boven de 2,5. Verschillende bronnen hebben geen overeenstemming over de exacte magnitudes van deze bevingen, dus is niet bekend of de acht bevingen allemaal tussen een magnitude van 2,5 en 3 lagen of dat er een aantal bevingen nog boven de 3 lagen. Daarom zijn deze bevingen niet meegenomen tijdens het opstellen van dit verband. Omdat het totaal aantal aardbevingen wel bekend is, zijn de bevingen met een magnitude boven de 2,5 wel meegenomen tijdens het opstellen van de correlatie tussen de cumulatieve gasproductie en het cumulatieve aantal aardbevingen, aangezien hier de magnitudes irrelevant zijn.

Ten slotte wordt in dit onderzoek alleen gekeken naar het aantal aardbevingen dat nog plaats zou moeten vinden en de bijbehorende magnitude. Op deze voorspelling is, in combinatie met gegevens over de bodem en samenstelling van de ondergrond in Eleveld, de gemaakte risicoanalyse dan ook gebaseerd. De duur van de voorspelde aardbevingen wordt hierbij buiten beschouwing gelaten. Er wordt aangenomen dat de tijdsduur van de voorspelde bevingen niet afwijkt van de gemiddelde duur van een aardbeving (10-30 seconden). Dit zorgt ervoor dat de gemaakte risicoanalyse niet nauwkeurig is in het geval dat de geïnduceerde aardbevingen veel korter of langer zijn dan gemiddeld. De voorspelde schade in de risicoanalyse kan hierbij dus afwijken van de werkelijke schade. Vervolgonderzoek zou kunnen zorgen voor een nauwkeurigere risicoanalyse, als er gekeken wordt naar de invloed van de duur van de aardbevingen. Daarnaast is er niet onderzocht of er in het verleden meldingen gedaan zijn van schade door aardbevingen als gevolg van de gaswinning in Eleveld. Er is niet gekeken naar de bevolkingsdichtheid rondom het Eleveld gasveld, belangrijke economische activiteiten in de regio en primaire infrastructuur. De risicoanalyse is alleen gebaseerd op de voorspelde magnitudes en ondergrond, maar niet op de gevolgen van een aardbeving op de bovengrondse omgeving. De betrouwbaarheid van de aanbeveling om het gasveld te sluiten is in twijfel te trekken, aangezien er veel andere belangrijke factoren met betrekking tot de hoeveelheid mogelijke schade niet onderzocht zijn. Vervolgonderzoek zou kunnen uitwijzen of het gasveld nog steeds gesloten zou moeten worden als mogelijke bovengrondse gevolgen van een aardbeving meegenomen worden in de risicoanalyse.

Referenties

- Bodemdaling door gasproductie — Nederlandse Aardolie Maatschappij. (z.d.). Nederlandse Aardolie Maatschappij. Opgehaald van <https://www.nam.nl/veiligheid-milieu/bodemdaling-door-gaswinning.html>
- Bodemdata.nl (z.d.). *Bodemkaart 1:50.000*. Opgehaald van <https://bodemdata.nl/basiskaarten>
- Bolt, B. A. (2025, Januari 7). *Earthquake — Definition, Causes, Effects, & facts*. Encyclopedia Britannica. Opgehaald van <https://www.britannica.com/science/earthquake-geology>
- Bourne, S. J., Oates, S. J., Van Elk, J., & Doornhof, D. (2014). A seismological model for earthquakes induced by fluid extraction from a subsurface reservoir. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 119(12), 8991–9015. Opgehaald van <https://doi.org/10.1002/2014jb011663>
- Crampin, S., & Peacock, S. (2008). A review of the current understanding of seismic shear-wave splitting in the Earth's crust and common fallacies in interpretation. Opgehaald van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165212508000073?casa_token=VDzWGHoLqsAAAAA
- Cumulative Frequency - Definition, types, constructing Cumulative frequency Table & graph, examples. (z.d.). Cuemath. Opgehaald van <https://www.cuemath.com/data/cumulative-frequency/>
- Dashboard maximale productievolumes — NLOG. (z.d.). Opgehaald van <https://www.nlog.nl/dashboards/maximale-productievolumes>
- De Lange, G., Van Oostrom, N. G. C., Dortland, S., Borsje, H., & De Richemont, S. A. J. (2011). *Gebouwschade Loppersum*. In Provincie Groningen & Stuurgroep Onderzoek Gebouwschade, Provincie Groningen (No. 1202097-000; p. 84). Opgehaald van <https://www.bodemdalingfryslan.nl/wp-content/uploads/2021/11/Gebouwschade-Loppersum.pdf>
- Foulger, G., Wilson, M., Gluyas, J., Julian, B., & Davies, R. (2017). Global review of human-induced earthquakes. Opgehaald van <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii>
- Gasunie Transport Services. (z.d.). *Normaal kubieke meter [Nm3]*. Opgehaald van <https://www.gasunietransportservices.nl/begrippenlijst/normaal-kubieke-meter-m3n>
- Government of Canada, Natural Resources Canada, Canadian Hazards Information Service. (2021, April 6). *How would your home stand up?* Opgehaald van <https://www.earthquakescanada.nrcan.gc.ca/info-gen/prepare-preparer/eqresist-en.php>
- Groninger Gasmiljarden — Het Financieel Dagblad. (z.d.). Opgehaald van <https://specials.fd.nl/groningen>

- Hagoort, J. (2017, April 24). *Empirical Model for Induced Earthquakes in the Groningen Gas Field*. Opgehaald van https://www.nam.nl/news/2023/analyse-recente-aardbevingen-eleveld/_jcr_content/root/main/section/text.multi.stream/1699956797345
- Hn30 - Veldpodzolgronden; Grof Zand - bodembenamesingen v1.1.docx. (z.d.). Opgehaald van <https://geogemeente.nl/putten/putteninformatie/bodem/site>
- Induced earthquakes — U.S. Geological Survey. (2022, Maart 9). Opgehaald van <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/science/induced-earthquakes>
- İşik, E., Büyüksaraç, A., & Aydin, M. C. (2016, November 1). *Effects of local soil conditions on earthquake damages*. Opgehaald van <https://open.icm.edu.pl/items/48fde806-126e-4ce9-99fa-6a6c7ad953f3>
- Joulz. (2021, Mei 5). *Waarom een correctiefactor bij gasmeting?* Joulz. Opgehaald van <https://joulz.nl/nl/blog/waarom-een-correctiefactor>
- Kanamori, H., & Brodsky, E. E. (2001). *The Physics of earthquakes*. *Physics Today*, 54(6), 34–40. Opgehaald van <https://doi.org/10.1063/1.1387590>
- KNMI - aardbevingscatalogus. (z.d.). Opgehaald van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/dataset/aardbevingscatalogus>
- KNMI - Seismische meetstations. (z.d.). Opgehaald van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/seismische-meetstations>
- Latham, R. (2014). *The Oxford Handbook of Science Fiction*. In Google Books (1st ed.). Oxford University Press. Opgehaald van <https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=D44dBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA23&dq=definition+extrapolation&ots=PViEq5NkIp&sig=jzP3aQdvYiGquB-37wemBfW4A#v=onepage&q=definition%20extrapolation&f=false>
- Mat, M. (2023, November 27). *Seismische golven*. *Geology Science*. Opgehaald van <https://nl.geologyscience.com/natuurlijke-gevaren/aardbevingen/seismische-golven/>
- Ministerie van Algemene Zaken. (2024, September 25). *Gaswinning Groningen stopt per 1 oktober 2023*. Nieuwsbericht — Rijksoverheid.nl. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2023/06/23/>
- M-Power. (z.d.). Druk, bar, Pascal. Opgehaald van [https://technisch-specialist.nl/index.php/rekenen-aan-auto-s/druk-bar-pascal#:~:text=1%20Bar%20is%20een%20druk,100.000%20N%20m2.\)&text=10%20N%20is%201%20kg,kg%20op%20C3%A9%3%A9n%20vierkante%20meter](https://technisch-specialist.nl/index.php/rekenen-aan-auto-s/druk-bar-pascal#:~:text=1%20Bar%20is%20een%20druk,100.000%20N%20m2.)&text=10%20N%20is%201%20kg,kg%20op%20C3%A9%3%A9n%20vierkante%20meter)
- Nederlandse Aardolie Maatschappij. (2023). *ELEVELD*
- BEVINGEN, OKTOBER 2023. In NAM-report: EP202311201134 (pp. 1–8). Opgehaald van <https://www.nam.nl/news/2023/f928aaaf49b8182973dfe92/eleveld-quakes-october-23.pdf>
- Nederlandse Aardolie Maatschappij. (2016, September 9). *Gewijzigd Winningsplan Westerveld*. Winningsplan Westerveld - actualisering september 2016 (2).pdf
- Nederlandse Aardolie Maatschappij. (2020, December). *Bodemdaling door Aardgaswinning — Statusrapport 2020 en Prognose tot het jaar 2080*. Status rapport bodemdaling Noord-Nederland-2020-final (1).pdf
- Roholl, J. A., Brunner, L. G., Versteijlen, N., Hetteelaar, J., & Wilpsaar, M. (2022, Februari 18). *Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit (DHAIS), actualisatie 2021*. TNO. Opgehaald van https://www.nlog.nl/sites/default/files/2022-07/tno2021_r10977_jr_rapport_dhais_18022022_redacted.pdf
- RTV Drenthe. (2023, Oktober 29). *Drie bevingen in maand tijd bij gasveld Eleveld: “Niet eerder gezien.”* RTV Drenthe. Opgehaald van <https://www.rtvdrenthe.nl/nieuws/15996580>
- Scribbr. (2022, Juli 5). *Wat is de definitie van de determinatiecoëfficiënt (R2)?* Opgehaald van <https://www.scribbr.nl/veel-gestelde-vragen>
- Scriptium. (2023, Januari 19). *R2 coëfficiënt als indicatie van betrouwbaarheid – Bereken in 5 stappen*. Scriptium.nl. Opgehaald van <https://www.scriptium.nl/r2-coefficient-betrouwbaarheid/>
- Sheldon, R. (2023, 6 juni). *Histogram*. Search Software Quality. Opgehaald van <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/histogram>
- The University of Utah. (2023). *Frequently Asked Earthquake Questions*. Opgehaald van <https://quake.utah.edu/earthquake-information-products/earthquake-faq>
- TNO-GDN. (2024). *Formatie van Slochteren*. In: Stratigrafische Nomenclator van Nederland, TNO – Geologische Dienst Nederland. Opgehaald van <https://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator/formatie-van-slochteren>
- Van Eijs, R. M. H. E., Mulders, F. M. M., Nepveu, M., Kenter, C. J., & Scheffers, B. C. (2006). *Correlation between hydrocarbon reservoir properties and induced seismicity in the Netherlands*. *Engineering Geology*, 84, 99–111. Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/232364159_Correlation_between_hydrocarbon_reservoir_properties_and_induced_seismicity_in_the_Netherlands
- Van Eijs, R., Mulders, F., & Nepveu, M. (2004). *Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit*. In Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., TO-

TAL E&P NEDERLAND B.V., BP Nederland Energie B.V., & Wintershall Noordzee B.V., TNO-rapport (report NITG 04-171-C; pp. 2–41). Opgehaald van <https://www.nlog.nl/sites/default/files/2020-06/rapportdhais-geofoon.pdf>

Van Thienen-Visser, K., Roholl, J., Van Kempen, B., Hettelaar, J., Geel, C., De Bruin, G., & Van Hooff, T. (2016). *Seismiciteit onshore gasvelden Nederland*. Opgehaald van <https://repository.tno.nl/SingleDoc?find=UID%20aa00e4fa-4a4b-4837-8a29-05bb04014d0c>

Vlek, C. (2018). *Induced Earthquakes from Long-Term Gas Extraction in Groningen, the Netherlands: Statistical Analysis and Prognosis for Acceptable-Risk Regulation*. *Risk Analysis*, 38(7), 1455–1473. Opgehaald van <https://doi.org/10.1111/risa.12967>

Wassing, B. B. T., Maljers, D., Bosch, J. H. A., Westerhoff, R. S., & Weerts, H. J. T. (2004). *Seismische hazard van geïnduceerde aardbevingen, rapportage fase 1, TNO-rapport NITG 03-185-C*. TNO. Opgehaald van <https://repository.tno.nl/SingleDoc?find=UID%20666497d4-3be9-4174-bef7-4e46756002cd>

8. Figuren & tabellen

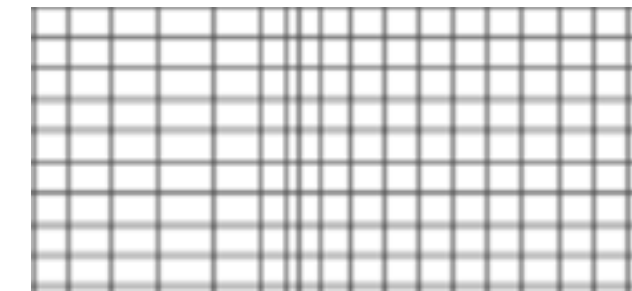


Figure 1: Druk golf (golf beweegt naar rechts)

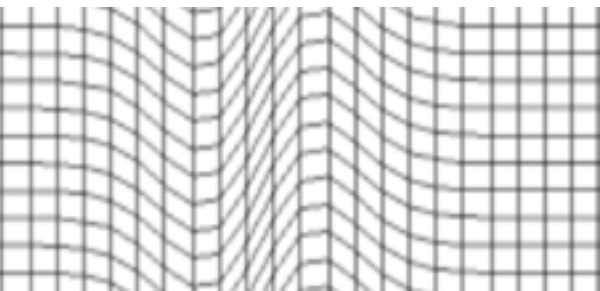


Figure 2: Schuif golf (golf beweegt naar rechts)

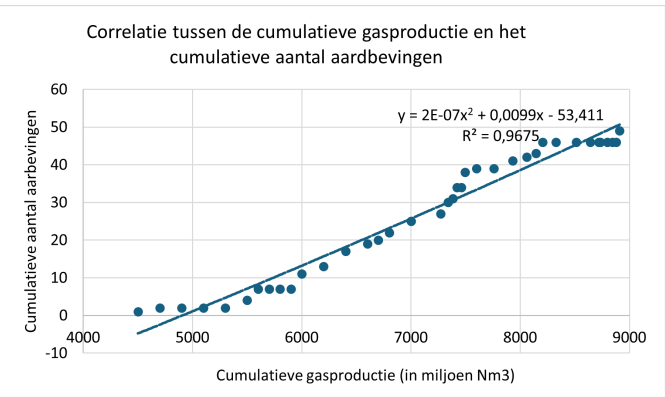


Figure 3: Beschreven correlatie Eleveld

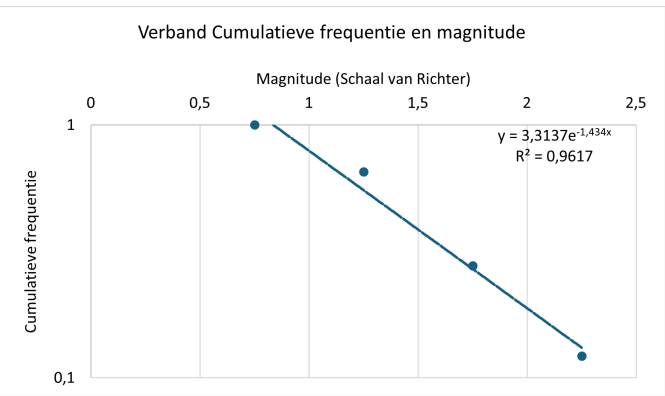


Figure 4: Beschreven verband Eleveld

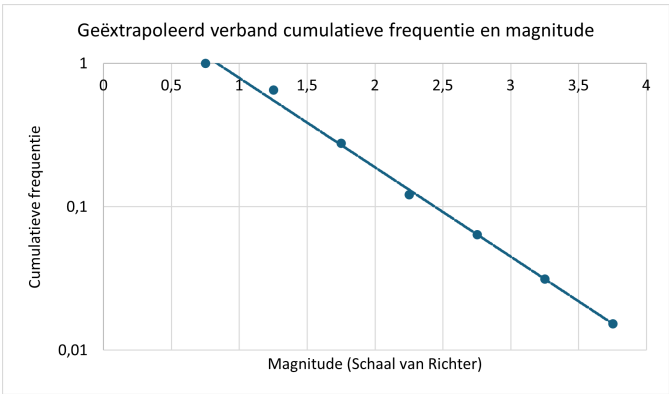


Figure 5: Beschreven geëxtrapoleerd verband Eleveld

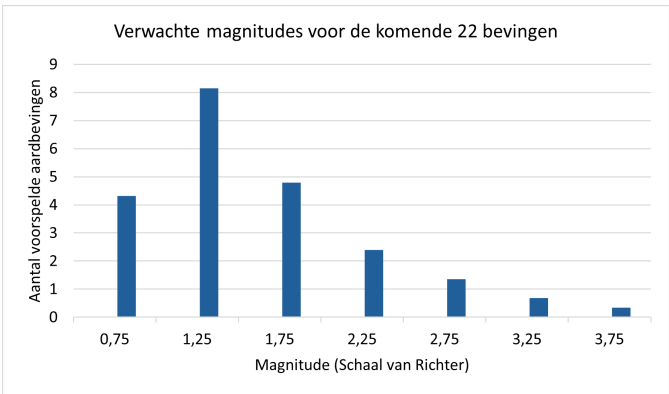


Figure 6: Beschreven voorspelling Eleveld (het midden van het magnitudegebied is weergegeven)

Magnitude (Schaal van Richter)	Frequentie
$0.5 < M < 1.0$	9
$1.0 < M < 1.5$	17
$1.5 < M < 2.0$	10
$2.0 < M < 2.5$	5

Table 1: Magnitudes aardbevingen Eleveld tot en met 2023

Correlatie tussen persoonlijkheidskenmerken van leerlingen, gebaseerd op het Big Five-model, en verschillende onderwijsmethoden

Z.C. Gönen ¹, R.B. Jalloh ², M. van Tienen ³, A. ten Cate ³, S. ten Heggeler ¹ & J. Habraken ²

¹ *Het Erasmus, Almelo*

² *Het Stedelijk Kottenpark, Enschede*

³ *Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – This study explores the relationship between personality traits, based on the Big Five model and students' preferences for different educational approaches, including Montessori, Dalton, Jenaplan, Waldorf and traditional secondary education. A sample of 36 high school students (aged 15-18) completed an online questionnaire measuring both personality traits and educational preferences. Data analysis included Spearman's correlation analysis to identify associations and p-value calculations to assess statistical significance.

The results initially suggested moderate and weak correlations between certain personality traits and educational approaches. However, p-value calculations revealed that these correlations were not statistically significant, indicating that they are likely due to chance. Thus, no convincing evidence was found for a correlation between the personality traits and educational approaches.

1. Introductie

In de huidige onderwijspraktijk wordt steeds meer aandacht besteed aan het belang van gepersonaliseerd leren, waarbij het onderwijs wordt afgestemd op de individuele behoeften en eigenschappen van leerlingen (Vogelzang, 2019). Uit studies blijkt dat leerlingen die zich niet goed kunnen vinden in de gekozen onderwijsvorm, vaker te maken krijgen met motivatieproblemen en lagere prestaties (Deci, 2000). Dit benadrukt de noodzaak om het onderwijs meer af te stemmen op de individuele behoeften en eigenschappen van leerlingen.

De keuze voor een onderwijsbenadering die aansluit bij de behoeften en persoonlijkheidskenmerken van leerlingen is cruciaal voor zowel hun academische als persoonlijke ontwikkeling (Raad, 2000). Verschillende onderwijssystemen, zoals Montessori, Dalton, Jenaplan, Vrijeschool en het reguliere voortgezet onderwijs, hanteren ieder hun eigen aanpak, waarbij de nadruk wordt gelegd op uiteenlopende aspecten zoals autonomie, structuur en samenwerking (Rijksoverheid, 2025). Dit leidt tot de vraag of bepaalde persoonlijkheidskenmerken van leerlingen hen beter geschikt maken voor specifieke onderwijsmethoden.

Het Big Five-persoonlijkheidsmodel, dat vijf belangrijke eigenschappen van persoonlijkheid beschrijft—extraversie, vriendelijkheid, emotionele stabiliteit, openheid voor nieuwe ervaringen en nauwkeurigheid—biedt een nuttig kader om te onderzoeken hoe persoonlijkheid een rol speelt in onderwijscontexten (McCrae P. T., 1992). Eerder onderzoek heeft laten zien dat eigenschappen zoals openheid voor nieuwe ervaringen en nauwkeurigheid invloed kunnen hebben op leerprestaties en voorkeuren voor bepaalde manieren van leren (Vittorio V Busato, 1998). Er is echter nog weinig onderzoek gedaan naar hoe deze eigenschappen samenhangen met specifieke onderwijsmodellen. Dit onderzoek richt zich op de vraag: Welke persoonlijkheidskenmerken van leerlingen, gebaseerd op het Big Five-model, correleren met hun geschiktheid voor de onderwijsbenaderingen van Montessori, Dalton, Jenaplan, Vrijeschool en het reguliere voortgezet onderwijs?

Door deze vraag te beantwoorden, kan inzicht worden verkregen in hoe onderwijssystemen beter kunnen worden afgestemd op de unieke eigenschappen van leerlingen, wat mogelijk leidt tot verbeterde leeruitkomsten en tevredenheid bij zowel leerlingen als docenten..

2. Theoretisch kader

2.1. Definities

2.1.1 The big five

De Big Five is een persoonlijkheidstheorie die stelt dat iemands persoonlijkheid kan worden beschreven aan de hand van vijf fundamentele dimensies. Deze vijf trekken zijn breed en universeel en vormen samen een model dat veel wordt gebruikt in de psychologie. Het idee achter de Big Five is dat elk individu ergens op een schaal valt binnen deze vijf eigenschappen, en die combinaties vormen het unieke persoonlijkheidsprofiel van een persoon (Ma, 2024).

Het model is gebaseerd op empirisch onderzoek en wordt als een van de meest betrouwbare en goed onderbouwde manieren beschouwd om persoonlijkheidsverschillen te beschrijven (Ma, 2024). De Big Five biedt niet alleen inzicht in iemands karakter en gedragingen, maar helpt ook bij het begrijpen van hoe deze persoonlijkheidseigenschappen van invloed zijn op relaties, werkprestaties en algemene levensgeluk. De Big Five persoonlijkheidskenmerken lijken relevant te zijn in verschillende culturen en zijn regelmatig gevonden in onderzoeken naar beoordelingen van persoonlijkheidstrekken door anderen en door de persoon zelf, met verschillende methoden en omstandigheden (Costa P. T., 2002; Costa P. , 1997). Onderzoek heeft ook laten zien dat deze vijf persoonlijkheidskenmerken een genetische basis hebben (Digman, 2003) en waarschijnlijk erfelijk zijn (Jang, 1996). The Big Five zijn openheid,

zorgvuldigheid, extraversie, aangenaamheid, en neuroticisme, en worden hieronder toegelicht.

Openness Openness, in het Nederlands openheid, verwijst naar verbeeldingskracht en inzicht. Mensen die hoog scoren op Openness hebben vaak brede interesses, zijn nieuwsgierig naar de wereld en andere mensen, en zijn enthousiast om nieuwe dingen te leren en nieuwe ervaringen op te doen (Goldberg, 1990). Deze mensen zijn vaak avontuurlijker en creatiever. Mensen met lagere scores voor Openness zijn traditioneler en hebben moeite met abstract denken (Sebastiaan Rothmann, 2003).

Conscientiousness Conscientiousness omvat bedachtzaamheid, goede impulscontrole en doelgericht gedrag. Mensen met een hoge score op Conscientiousness zijn meestal georganiseerd, letten op details, plannen vooruit en houden rekening met de impact van hun gedrag op anderen. Deze eigenschappen maken hen betrouwbaar en efficiënt in het behalen van hun doelen. Mensen met lagere scores voor Conscientiousness zijn vaak flexibeler en spontaner, maar kunnen minder georganiseerd zijn en moeite hebben met het plannen van taken (McCrae R. R., 2002; Feingold, 1994).

Extraversion Extraversie verwijst naar de mate waarin iemand energie haalt uit sociale interacties, zich op zijn gemak voelt in gezelschap en de neiging heeft om expressief te zijn. Mensen met hoge scores op extraversie worden vaak beschreven als energiek, spraakzaam en sociaal. Ze genieten van nieuwe ervaringen, zoeken actief contact met anderen en voelen zich op hun best in levendige en stimulerende omgevingen. Aan de andere kant zijn mensen die laag scoren op extraversie meestal meer introspectief, gereserveerd en geneigd om energie te halen uit rust en individuele activiteiten. Zij geven de voorkeur aan rustige omgevingen en hebben vaak minder behoefte aan constante sociale interacties (Wilt, 2009; Goldberg, 1990).

Agreeableness Agreeableness omvat eigenschappen zoals vertrouwen, altruïsme, aardigheid, affectie en ander pro-sociaal gedrag. Mensen die hoog scoren op agreeableness zijn coöperatief en houden rekening met de behoeften van anderen. Ze zijn geneigd om vriendelijk, behulpzaam en empathisch te zijn. Mensen met lagere scores op dit kenmerk kunnen onafhankelijker zijn in hun oordeel en meer gericht op het behalen van hun eigen doelen, wat hen soms competitiever maakt (Xu, 2023).

Neuroticism Neuroticism wordt gekenmerkt door somberheid, humeurigheid en emotionele instabiliteit. Mensen met een hoge score op neuroticism hebben vaak stemmingswisselingen en zijn vaak verdrietig, angstig en geïrriteerd. Mensen met lagere scores op neuroticism zijn emotioneel stabiel en veerkrachtiger (Goldberg, 1990). Deze emotionele stabiliteit helpt hen om beter om te gaan met stress en tegenslagen (Feingold, 1994; Costa P. T., 1992).

2.1.2 Onderwijsmethoden

Onderwijsmethoden zijn door de jaren heen geëvolueerd om aan te sluiten bij de verschillende behoeften en ontwikkelingsfasen van leerlingen. In Nederland zijn een aantal bekende onderwijsvormen, waaronder Montessori, Dalton, Jenaplan, vrije school, en regulier onderwijs (Rijksoverheid, 2025). Elk van deze methoden heeft unieke benaderingen en pedagogische filosofieën met betrekking tot het onderwijzen en begeleiden van kinderen. Hieronder volgt een overzicht van deze onderwijsmodellen en hun kenmerken.

Montessori Montessori is een onderwijstype waarbij nadruk wordt gelegd op keuzevrijheid en zelfstandigheid. Leerlingen van een montessorischool krijgen de ruimte om hun eigen leerroute te volgen, zonder vaste leeftijdsgrenzen of verplichte volgorde in de leerstof. De leraren vervullen hierbij een begeleidende rol en ze leren de leerlingen om zelf keuzes te maken en zelfstandig te werken. Daarnaast werken leerlingen vaak samen met kinderen uit verschillende klassen, leeftijden en niveaus. Hierdoor leren ze jongere leerlingen te ondersteunen en hulp te vragen aan oudere leerlingen. (VO-raad, sd)

Dalton Dalton-onderwijs richt zich, net als Montessori, op zelfstandigheid en vrijheid, maar legt daarnaast extra nadruk op samenwerking. Zelfstandigheid en vrijheid worden vooral bevorderd door kinderen zelf hun planning te laten maken en aan hun taken te laten werken, met instructie en begeleiding op individueel niveau. Lesstof wordt dus zelden klassikaal behandeld. Leerlingen hebben ook de mogelijkheid om in tweetallen of kleine groepjes aan hun taken te werken, zodat ze van elkaar kunnen leren. Feedback, respect en reflectie staan hierbij centraal. Zowel leerlingen als docenten op een Daltonschool reflecteren continu op hun doelen en het leerproces, zodat ze hun werk en samenwerking kunnen blijven optimaliseren. (Dalton onderwijs, sd; VO-raad, sd)

Jenaplan De kern van Jenaplan is de relatie van een kind met zichzelf, de ander en de wereld. Kinderen zitten op een jenaplanschool in een stamgroep; met kinderen van verschillende leeftijden en niveaus in een groep. Bij basisscholen zie je dat meestal in een onderbouwgroep (groep 1 & 2), een middenbouwgroep (groep 3, 4 & 5) en een bovenbouwgroep (6, 7 & 8). Een jenaplanschool is een leef-werkgemeenschap waar je leert samenleven en wereldoriëntatie is daarin het belangrijkste thema. Op een Jenaplanschool leren kinderen via een combinatie van groepsactiviteiten en individuele begeleiding. Het onderwijs wordt georganiseerd in periodes waarin bepaalde thema's centraal staan, zoals geschiedenis of natuur. In deze thema's worden verschillende vakken geïntegreerd (Jenaplan in het kort, sd; VO-raad, sd)

Vrijeschool Op een vrijeschool staan naast helder denken het ontwikkelen van het voelen en het willen centraal. Er wordt dan ook uitgegaan van de antroposofische mensenkunde, waarbij de mens zowel een fysiek als geestelijk wezen is. Het onderwijs volgt een doorlopende ontwikkelingslijn van kleuterklas tot en met klas 12, die opgedeeld wordt in drie fasen van zeven jaar.

In de eerste fase (0 – 7 jaar) zijn de kinderen één met de omgeving en leren ze door nabootsing. In de tweede fase (7 – 14 jaar) beleven de kinderen zichzelf los van hun omgeving en leren ze met beelden en ervaringen. In het derde fase (14 – 21 jaar) vormen de jongeren hun vermogen tot oordelen en leren ze van de wereld zoals die is (Over de vrijeschool, 2024). Hoewel de vrijeschool uitgaat van een brede pedagogische visie, wordt er ook aandacht besteed aan de reguliere exameneisen. Vanaf klas 9 (14 jaar en ouder) krijgen leerlingen vakken en toetsen die aansluiten bij de landelijke examenprogramma's. In de laatste jaren van de middelbare school wordt het onderwijs steeds meer vakgericht en wordt de nodige voorbereiding voor het eindexamen gegeven. (Over de vrijeschool, 2024).

Regulier onderwijs In dit onderzoek verwijst regulier onderwijs naar onderwijs op scholen die geen gebruik maken van een onderwijsconcept. Leerlingen van regulier onderwijs zitten in een vaste klas en hebben vrijwel altijd klassikaal les. Zelfstandigheid, vrijheid, samenwerken, wereldoriëntatie en creativiteit komen zeker aan bod, maar dit gebeurt minder uitgebreid en gestructureerd dan op scholen met specifieke onderwijsconcepten.

3. Materiaal en Methode / Aanpak

Het onderzoek richt zich op het identificeren van de persoonlijkheidskenmerken van de deelnemers en hun voorkeuren voor verschillende onderwijsmethoden.

3.1. Deelnemers

De studie omvatte een steekproef van 36 deelnemers, gerekruteerd uit twee verschillende middelbare scholen in Nederland. De doelgroep bestaat uit leerlingen van 15 tot 18 jaar die momenteel het reguliere voortgezet onderwijs volgen. De onderzoekspopulatie is samengesteld door middel van willekeurige selectie, met als enige voorwaarde dat de deelnemers tot de doelgroep behoorden. Deze leeftijdsgroep is geselecteerd omdat zij in de bovenbouw zitten en al enkele jaren ervaring hebben met het voortgezet onderwijs, waardoor zij beter kunnen inschatten wat voor hen wel of niet werkt. Daarnaast volgen zij regulier onderwijs, waarin elementen uit verschillende leerconcepten worden gecombineerd (De VO Gids, sd).

3.2. Materialen

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een enquête. De online vragenlijst bestaat uit twee delen:

1. **Meting van persoonlijkheidskenmerken:** Hiervoor is een standaard Big-Five vragenlijst (Fetzer Institute; Oliver P. John, 1990) gebruikt met 15 stellingen die de scores op de Big Five-persoonlijkheidsdimensies meten: openess, conscientiousness, extraversion, agreeableness en neuroticism. De stellingen zijn opgesteld volgens een 5-puntsschaal (Likertschaal), waarbij 1 staat voor "helemaal niet van toepassing" en 5 voor "zeer van toepassing".
2. **Voorkeuren voor onderwijsmethoden:** Het tweede deel van de vragenlijst bevatte stellingen die de kenmerken van verschillende onderwijsbenaderingen weer-

spiegelen, gebaseerd op de theorie. Elke onderwijsbenadering werd beoordeeld aan de hand van drie stellingen, eveneens gescoord op de Likertschaal.

Om de betrouwbaarheid te verhogen, zijn bij beide delen sommige stellingen omgekeerd geformuleerd. (Javier Suárez-Alvarez, 2018)

De deelnemers vulden anoniem een online vragenlijst in. Vervolgens werden de verzamelde gegevens opgeslagen in een Excelbestand. Voor elke deelnemer werd een score berekend per persoonlijkheidsdimensie op basis van de bijbehorende stellingen. De voorkeur voor onderwijsmethoden werd bepaald door de scores van de stellingen per methode te middelen.

3.3. Data-analyse

Spearman's correlatieanalyse: Deze methode werd toegepast om te bepalen welke Big Five-persoonlijkheidskenmerken significant correleren met de voorkeuren voor specifieke onderwijsmethoden. Omdat de vragenlijst op een ordinale schaal is gemeten (Likertschaal), is Spearman's r_s een geschikte correlatiecoëfficiënt (Heijst, 2018). De sterkte van de correlatie werd als volgt geïnterpreteerd:

- 0,0 – 0,30: Geen of nauwelijks een correlatie.
- 0,30 – 0,50: Zwakke correlatie.
- 0,50 – 0,70: Middelmatige correlatie.
- 0,70 – 0,90: Sterke correlatie.
- 0,90 – 1,00: Zeer sterke correlatie.

Deze verdeling geldt zowel voor positieve als negatieve coëfficiënten, waarbij een negatieve correlatiecoëfficiënt duidt op een negatieve correlatie en een positieve correlatiecoëfficiënt op een positieve correlatie.

P-waarde Bij elke correlatiecoëfficiënt kan ook een p-waarde worden berekend. De p-waarde (p-value) is een getal tussen 0 en 1, waarmee bepaald wordt of de uitkomst van een steekproef statistisch significant is. Bij dit onderzoek gaat het om de statistische significantie van de correlatiecoëfficiënten. Wanneer de p-waarde groter is dan het significantieniveau, is het waarschijnlijk dat de correlatie op toeval berust. Bij een p-waarde kleiner dan het significantieniveau is de kans op toeval klein. (FBSB, 2020)

4. Resultaten

4.1. Overzicht van de data

De enquête is ingevuld door 36 personen. Van deze groep voldeden 31 deelnemers aan de criteria voor ons onderzoek: jongeren tussen 15 en 18 jaar die op dit moment voortgezet onderwijs volgen. Dit zijn dus ook de deelnemers waarvan de resultaten zijn verwerkt. Hun scores op de Big Five-persoonlijkheidskenmerken zijn weergegeven in Tabel 1 en hun voorkeuren voor de onderwijstypen in Tabel 2. Het getal tussen haakjes na elke categorie verwijst naar de maximale score die behaald kon worden op dat onderdeel. De minimale scores zijn overal gelijk aan 0.

4.2. Formules

Deze scores zijn berekend met de volgende formules:

- Openness: $= J2 - T2 + AD2 + 3$
- Conscientiousness: $= K2 - U2 + AE2 - AN2 + 8$
- Extraversion: $= L2 - V2 + AF2 + 3$
- Agreeableness: $= -M2 + W2 - AG2 + AO2 + 8$
- Neuroticism: $= N2 + X2 - AH2 - AP2 + 8$
- Montessori: $= O2 - Y2 + AI2 + 3$
- Dalton: $= -P2 + Z2 - AJ2 + 9$
- Jenaplan: $= -Q2 + AA2 + AK2 + 3$
- Vrijeschool: $= R2 - AB2 - AL2 + 9$
- Regulier onderwijs: $= S2 - AC2 + AM2 + 3$

De formules bestaan uit een som van de scores van de ingevulde vragen die bij elke categorie horen. Hierbij wordt een “+” gebruikt wanneer een hogere score duidt op een sterkere aanwezigheid van het kenmerk en een “-” wanneer dit juist omgekeerd is. De letters met een 2 erachter in de formule verwijzen naar de cellen in het Excel bestand waarin de resultaten zijn verzameld en waarmee de scores zijn berekend. De getallen aan het eind van elke formule zorgen ervoor dat de uitkomst minimaal 0 is.

4.3. Correlaties

Voor het bepalen van de correlatie tussen de Big Five-persoonlijkheidskenmerken en de voorkeuren voor onderwijsstypen is Spearman's correlatieanalyse gebruikt. De correlatiecoëfficiënten zijn automatisch berekend met Microsoft Excel. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 3 en hieruit vielen de volgende resultaten op:

- Openness vertoont een zwakke negatieve correlatie met Vrijeschool ($r_s = -0,41$)
- Conscientiousness vertoont een zwakke negatieve correlatie met Dalton ($r_s = -0,49$)
- Extraversion vertoont een middelmatige positieve correlatie met Jenaplan ($r_s = 0,57$) en een zwakke negatieve correlatie met Vrijeschool ($r_s = -0,31$)
- Agreeableness vertoont een zwakke positieve correlatie met Jenaplan ($r_s = 0,42$)
- Geen significante correlaties werden gevonden voor Neuroticism met enige onderwijsmethode.

4.4. P-waarden

Om de statistische significantie van de gevonden correlatiecoëfficiënten te onderzoeken, zijn overal p-waarden bij berekend. Dit is automatisch gedaan door Microsoft Excel. De p-waarden zijn weergegeven in tabel 4. Het significantieniveau $\alpha = 0.05$. Uit de tabel valt af te lezen dat alle p-waarden hoger zijn dan het significantieniveau α . Dit betekent dat de gevonden correlaties hoogstwaarschijnlijk op toeval berusten.

5. Conclusie

Op basis van de resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden: Openness vertoont een zwakke negatieve correlatie met Vrijeschool. Dit suggereert dat leerlingen die

hoger scoren op openheid minder geneigd zijn voorkeur te geven aan de onderwijsmethode Vrijeschool.

Conscientiousness vertoont een zwakke negatieve correlatie met Dalton. Dit resultaat impliceert dat leerlingen die meer gestructureerd en doelgericht zijn mogelijk minder goed passen bij het Daltononderwijs.

Extraversion toont een middelmatige positieve correlatie met Jenaplan en een zwakke negatieve correlatie met Vrijeschool. Extraverte leerlingen lijken zich dus beter thuis te voelen in Jenaplan-onderwijs en introverte leerlingen juist meer bij Vrijeschool. Agreeableness vertoont een zwakke positieve correlatie met Jenaplan. Dit wijst erop dat vriendelijke en coöperatieve leerlingen baat hebben bij de onderwijsmethode Jenaplan. Neuroticism toont geen significante correlatie met enige onderwijsmethode, wat suggereert dat de emotionele stabiliteit geen bepalende factor is in de voorkeur voor onderwijsmodellen in deze context.

De gevonden correlaties zijn zwak tot middelmatig, wat betekent dat de hierboven beschreven conclusies niet sterk onderbouwd zijn, maar wel een algemene trend suggereren. Daarnaast zijn de p-waarden van alle correlatiecoëfficiënten hoger dan het significantieniveau $\alpha = 0.05$, wat dus betekent dat de kans groot is dat de correlatiecoëfficiënten toevallig zijn.

Het antwoord op de vraag: ‘Welke persoonlijkheidskenmerken van leerlingen, gebaseerd op het Big Five-model, correleren met hun geschiktheid voor de onderwijsbenaderingen van Montessori, Dalton, Jenaplan, Vrijeschool en het reguliere voortgezet onderwijs?’ is hiermee als volgt. Er zijn geen significante correlaties gevonden tussen de Big Five-persoonlijkheidskenmerken en de onderwijsmethoden. Hoewel Openness, Conscientiousness, Agreeableness en vooral Extraversion aanvankelijk leken te correleren met hun geschiktheid voor de onderwijsbenaderingen van Dalton, Jenaplan en Vrijeschool, blijken deze bij nader onderzoek niet significant. Dit houdt in dat de waargenomen correlaties hoogstwaarschijnlijk op toeval berusten en dat er geen overtuigend bewijs is voor een relatie tussen persoonlijkheidskenmerken en onderwijsvoorkeuren.

6. Discussie

Dit onderzoek heeft waardevolle inzichten opgeleverd in de relatie tussen persoonlijkheid en onderwijsvoorkeuren, maar het is van belang om stil te staan bij de beperkingen en invloeden die de resultaten kunnen hebben beïnvloed.

De resultaten laten zien dat persoonlijkheidskenmerken zoals extraversion en agreeableness samenhangen met een voorkeur voor Jenaplanonderwijs, terwijl openness en conscientiousness negatief correleren met respectievelijk Vrijeschool en Daltononderwijs. Deze bevindingen lijken logisch wanneer gekeken wordt naar de eigenschappen die binnen de onderwijsmethoden worden benadrukt. Jenaplanonderwijs, met zijn focus op samenwerking en gemeenschapsvorming, sluit bijvoorbeeld goed aan bij extraverte en vriendelijke leerlingen.

Aan de andere kant kan de negatieve correlatie tussen conscientiousness en Daltononderwijs verrassend lijken, aangezien Dalton ook gericht is op zelfstandigheid en verantwoordelijkheid.

Dit kan erop wijzen dat de vrijheid binnen Daltononderwijs als te chaotisch wordt ervaren door leerlingen met een hoge mate van conscientiousness, die mogelijk meer gestructureerde begeleiding nodig hebben. Tegelijkertijd hangt dit wel af van hoe de vragen over dit onderwijstype zijn gesteld en in hoeverre de respondenten bekend waren met deze onderwijsaanpak.

Interessant is dat geen significante correlaties werden gevonden voor neuroticism. Dit kan erop wijzen dat emotionele stabiliteit nauwelijks invloed heeft op onderwijsvoorkeuren, aangezien de gevonden correlaties klein en niet significant zijn. Ook speelt mee dat de steekproef relatief klein was en mogelijk niet representatief genoeg om dergelijke verbanden op te sporen. Culturele en demografische factoren, zoals de mate waarin leerlingen bekend zijn met alternatieve onderwijsmethoden, kunnen eveneens van invloed zijn. In Nederland zijn traditionele onderwijsmethoden nog steeds dominant, wat kan betekenen dat leerlingen een voorkeur hebben gebaseerd op bekendheid in plaats van intrinsieke geschiktheid.

De grootste beperkende factor van dit onderzoek is waarschijnlijk de steekproefgrootte. Het relatief kleine aantal deelnemers beperkt de generaliseerbaarheid van de resultaten en vergroot de kans op toevallige verbanden. De beperkte steekproefomvang heeft een directe invloed op de berekende p-waarden. In dit onderzoek zijn de p-waarden van alle correlatiecoëfficiënten hoger dan het significantieniveau $\alpha = 0.05$, wat erop wijst dat de gevonden correlaties waarschijnlijk op toeval berusten. Met een grotere steekproef zou het mogelijk zijn geweest om subtielere verbanden betrouwbaarder vast te stellen en meer robuuste conclusies te trekken.

Hoewel enkele verbanden significant zijn, is de sterkte van deze correlaties zwak tot middelmatig. Dit betekent dat de resultaten eerder trends suggereren dan praktische handvatten bieden voor onderwijsadvies. Met een correlatie van bijvoorbeeld $r_s = 0.57$ (extraversie en Jenaplan), kan slechts een beperkt deel van de variatie in voorkeuren worden verklaard door persoonlijkheid. Dit wijst erop dat andere factoren, zoals cognitieve vaardigheden, sociale invloeden en eerdere ervaringen, waarschijnlijk ook een belangrijke rol spelen. Het is ook belangrijk te benadrukken dat de voorkeuren subjectief zijn en niet noodzakelijk weerspiegelen welke onderwijsmethoden het meest effectief zijn voor de ontwikkeling van de leerlingen.

Daarnaast kan de Likertschaal van de vragenlijst gevoelig zijn voor interpretatieverschillen tussen deelnemers. Andere beperkingen, zoals het niet controleren van externe factoren (bijvoorbeeld sociaaleconomische achtergrond of eerdere onderwijsomgevingen), kunnen ook van invloed zijn geweest op de resultaten. Om sterkere conclusies te kunnen trekken, is vervolgonderzoek met een grotere en meer diverse steekproef noodzakelijk. Ook vertegenwoordigen de deelnemers, middelbare scholieren van 15 tot 18 jaar uit Overijssel, slechts een klein segment van de Nederlandse scholieren. Hoewel deze groep voldoende lijkt voor regionale conclusies, is ze niet representatief voor het hele land. De demografische samenstelling van Overijssel verschilt bijvoorbeeld aanzienlijk van andere provincies. Dit kan subtielere maar wezenlijke verschillen in culturele context en achtergrond veroorzaken, waardoor generalisatie naar nationaal niveau beperkt blijft.

Een van de meest fundamentele kwesties in dit onderzoek betreft de invloed van nature en nurture. Persoonlijkheidskenmerken zijn deels genetisch bepaald, maar ook sterk afhankelijk van de omgeving waarin iemand opgroeit en leert (Kandler, 2012). Dit roept de vraag op in hoeverre de voorkeuren van leerlingen in onze steekproef gevormd zijn door hun eerdere ervaringen in specifieke onderwijssystemen. Wie eenmaal gewend is aan een vast stramien, zal wellicht moeite hebben met een methode die meer vrijheid biedt. Dit maakt het lastig om te bepalen of de gerapporteerde voorkeuren echt een afspiegeling zijn van diepgewortelde persoonlijkheidskenmerken, of eerder van aangeleerde gewoonten.

Daarnaast is de betrouwbaarheid van de verkregen data een punt van reflectie. Mensen hebben van nature de neiging zichzelf in een positief daglicht te plaatsen, een fenomeen dat bekend staat als socially desirable responding (Tracey, 2015). Dit kan subtiel maar significant de validiteit van hun antwoorden beïnvloeden. Hoewel we maatregelen hebben genomen, zoals het zorgvuldig formuleren van de enquêtevragen, het benadrukken dat er geen goed of fout antwoord is en het waarborgen van volledige anonimiteit, blijft het een uitdaging. Deze methode is namelijk gevoelig voor sociaal wenselijke antwoorden en subjectieve interpretaties, wat niet alleen de objectiviteit van de resultaten kan beïnvloeden, maar ook de validiteit van het onderzoek in gevaar kan brengen.

Zoals eerder benoemd, is de formulering van de vragen een cruciaal onderdeel van het onderzoek en verdient daarom bijzondere aandacht; complexe of tweeledige vragen kunnen ertoe leiden dat respondenten slechts gedeeltelijk antwoord geven of kiezen voor een veilig, maar mogelijk onjuist, neutraal standpunt. In dit onderzoek is zoveel mogelijk rekening gehouden met het vermijden van dergelijke vraagstellingen, maar het blijft onmogelijk om te controleren op het niveau van begrip en interpretatievermogen van de deelnemers die de enquête hebben ingevuld.

Methodologisch gezien heeft dit onderzoek zich gericht op regressie- en correlatieanalyses, die geschikt zijn om verbanden te verkennen. Toch valt te overwegen dat geavanceerdere technieken, zoals factoranalyse, mogelijk diepere inzichten hadden kunnen bieden in de onderliggende structuren van persoonlijkheid en onderwijsvoorkeuren.

Een andere invalshoek zou het gebruik van longitudinale studies zijn, waarbij veranderingen in voorkeuren voor onderwijsmethoden over tijd en onder verschillende omstandigheden worden gevolgd. Deze aanpak zou interessant zijn omdat het inzicht biedt in hoe voorkeuren voor onderwijsmethoden zich in de loop van de tijd ontwikkelen en welke factoren deze veranderingen beïnvloeden. Hierdoor kan worden onderzocht of de voorkeuren stabiel zijn en voornamelijk gebaseerd op persoonlijkheid, of dat ze worden gevormd door externe omstandigheden, zoals nieuwe ervaringen, leeftijd, of veranderingen in het onderwijsbeleid. Dit kan ook helpen te begrijpen of bepaalde onderwijsmethoden beter geschikt zijn voor specifieke levensfasen of persoonlijke ontwikkelingen.

Om deze eerste stappen verder te verdiepen, is toekomstig onderzoek van cruciaal belang. Het gebruik van grotere en meer diverse steekproeven, waaronder leerlingen uit verschil-

lende onderwijsmethoden, kan inzicht bieden in mogelijke verschillen in resultaten. Praktijkttests waarbij leerlingen daadwerkelijk verschillende onderwijsmethoden ervaren, zouden kunnen bijdragen aan een completer en genuanceerder beeld.

Hoewel er beperkingen zijn, biedt dit onderzoek een waardevol vertrekpunt door te benadrukken dat persoonlijkheid niet op zichzelf staat, maar verweven is met andere invloeden zoals cognitieve vaardigheden en sociale contexten. Dit inzicht opent nieuwe mogelijkheden voor ouders, scholen en beleidsmakers om onderwijs beter af te stemmen op de unieke persoonlijkheid en behoeften van leerlingen.

Het is daarbij belangrijk om de relatie tussen persoonlijkheid en onderwijsmethodevoorkeuren over een langere tijdspanne te onderzoeken. Dit biedt inzicht in hoe voorkeuren kunnen veranderen met leeftijd, ervaring of veranderende onderwijscontexten. Naast persoonlijkheid moeten ook andere factoren, zoals leermotivatie, sociale vaardigheden en cognitieve stijlen, de nodige aandacht krijgen. Deze factoren spelen een cruciale rol in hoe leerlingen zich ontwikkelen en leren, en dragen bij aan een completer begrip van het leerproces.

Een zorgvuldig uitgevoerde en open multidisciplinaire aanpak biedt niet alleen een unieke kans om diepere inzichten te krijgen in de complexe relatie tussen de mens en leren, maar kan ook baanbrekende ontdekkingen opleveren. Toekomstig onderzoek heeft de potentie om ons begrip van persoonlijkheid, leren en onderwijsmethoden aanzienlijk te verrijken. Daarnaast kunnen de resultaten van dergelijk onderzoek de basis leggen voor een transformatie in hoe we als maatschappij naar onderwijs kijken en hoe we het vormgeven, met mogelijk verregaande implicaties voor zowel individuen als de samenleving als geheel.

Referenties

- Costa, P. (1997, Juni). *Personality Trait Structure as a Human Universal*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/14073479_Personality_Trait_Structure_as_a_Human_Universal.
- Costa, P. T. (1992, June). *Four ways five factors are basic*. *Personality and Individual Differences*, 13(6), 653-665. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/019188699290236I?via%3Dihub>.
- Costa, P. T. (2002, Januari). *Personality in adulthood: A five-factor theory perspective*. Guilford Press. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/247167249_Personality_in_Adulthood_A_Five-Factor_Theory_Perspective.
- Dalton onderwijs. (n.d.). Retrieved from <https://www.allesoverkinderen.nl/kind/dalton-onderwijs/>.
- Deci, R. M. (2000, Januari). *Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being*. American Psychological Association. Retrieved from https://selfdeterminationtheory.org/SDT/documents/2000_RyanDeci_SDT.pdf.
- Digman, J. M. (2003). *Personality Structure: Emergence of the Five-Factor Model*. *Annual Review of Psychology*, 41(1), 417-440.
- FBSB. (2020, December 17). *De p-waarde correct gebruiken / Interpretatie in SPSS en Excel*. Retrieved from <https://www.scribbr.nl/statistiek/p-waarde/>.
- Feingold, A. (1994). *Gender Differences in Personality: A Meta-Analysis*. *Psychological Bulletin*, 116(3), 429-456. Retrieved from <https://www.cin.ufpe.br/~ssj/Gender%20differences%20in%20Personality%20A%20Meta-.pdf>.
- Fetzer Institute. (n.d.). *BIG FIVE INVENTORY (BFI). Self Report Measures for Love and Compassion Research: Personality*.
- Goldberg, L. R. (1990). *An Alternative "Description of Personality": The Big-Five Factor Structure*. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 59.
- Heijst, L. v. (2018, oktober 12). *Correlatie Begrijpen en Berekenen met SPSS en Excel — Stappenplan*. Retrieved from <https://www.scribbr.nl/statistiek/correlatie/>.
- Jang, K. L. (1996). *Heritability of the five-factor model of personality*. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70(4), 806-820.
- Javier Suárez-Alvarez, I. P.-C. (2018, 02 14). *Psicothema*. Retrieved from <https://www.psicothema.com/pdf/4463.pdf>.
- Jenaplan in het kort. (n.d.). Retrieved from Nederlandse Jenaplan Vereniging: <https://www.jenaplan.nl/nl/voor-ouders/wat-is-jenaplan>.
- Kandler, C. (2012). *Nature and Nurture in Personality Development: The Case of Neuroticism and Extraversion*. *Current Directions in Psychological Science*.
- Ma, X. (2024, December). *A Comparison of MBTI and Big Five Personality*. Retrieved from <https://www.deanfrancispress.com/index.php/hc/article/view/2381/2418>.
- McCrae, P. T. (1992). *Four ways five factors are basic*. *Personality and Individual Differences*, Volume 13, Issue 6, Pages 653-665. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/019188699290236I?via%3Dihub>.
- McCrae, R. R. (2002, January). *Personality in Adulthood: A Five-Factor Theory Perspective*. Guilford Press. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/247167249_Personality_in_Adulthood_A_Five-Factor_Theory_Perspective.
- Oliver, P. John, L. A. (1990). *The Big-Five trait taxonomy: History, measurement, and*. In L. A. Pervin & O. P. John (Eds.), *Handbook of personality: Theory* (Vol. 2, pp. 102-138). New York: Guilford Press. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/247167249_Personality_in_Adulthood_A_Five-Factor_Theory_Perspective.

//jenni.uchicago.edu/econ-psych-traits/John_Srivastava_1995_big5.pdf.

Over de vrijeschool. (2024). Retrieved from Vereniging van vrijescholen: <https://www.vrijescholen.nl/vrijeschool-onderwijs/over-de-vrijeschool>.

P-waarde. (n.d.). Retrieved from Eupati.eu: <https://toolbox.eupati.eu/glossary/p-waarde/?lang=nl#:~:text=Een%20p%2Dwaarde%2C%20die%20staat,zijn%20van%20toeval%20of%20niet>.

Raad, B. d. (2000, Januari). *The Big Five Personality Factors: The psycholexical approach to personality*. Hogrefe & Huber Publishers, Gottingen, Germany. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/232576768_The_Big_Five_Personality_Factors_The_psycholexical_approach_to_personality/citations.

Rijksoverheid. (2025). *Welke soort scholen voor het voortgezet onderwijs zijn er?* Retrieved from <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/voortgezet-onderwijs/vraag-en-antwoord/soorten-scholen-voortgezet-onderwijs>.

Sebastian Rothmann, E. C. (2003). *The Big Five Personality Dimensions and Job Performance*. SA Journal of Industrial Psychology, 68-74.

Tracey, T. J. (2015, December). *A Note on Socially Desirable Responding*. Journal of Counseling Psychology. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/287797293_A_Note_on_Socially_Desirable_Responding.

Vittorio V Busato, F. J. (1998, Januari). *The re-*

lation between learning styles, the Big Five personality traits and achievement motivation in higher education. Personality and Individual Differences. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191886998001123>.

Vogelzang, M. (2019). *Motivatatie om te leren*. Utrecht: Inspectie van het Onderwijs, Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap.

VO-raad. (n.d.). *Informatie over basisscholen met onderwijsconcept dalton*. Retrieved from <https://scholenopdekaart.nl/basisscholen/onderwijsconcept/dalton/>.

VO-raad. (n.d.). *Informatie over basisscholen met onderwijsconcept jenaplan*. Retrieved from <https://scholenopdekaart.nl/basisscholen/onderwijsconcept/jenaplan/>.

VO-raad. (n.d.). *Informatie over basisscholen met onderwijsconcept montessori*. Retrieved from <https://scholenopdekaart.nl/basisscholen/onderwijsconcept/montessori/>.

Wilt, J. A. (2009). *Extraversion*. In M. Leary & R. H. Hoyle (Eds.), *Handbook of individual differences in social behavior* (Chapter 2). Guilford Press. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/263041712_Extraversion.

Xu, H. (2023, November). *The Effect of Agreeableness on Antisocial Behaviour: An Exploration of Moderated Model*. Department of Psychology, Durham University, Xiamen, China. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/376967290_The_Effect_of_Agreeableness_on_Antisocial_Behaviour_An_Exploration_of_Moderated_Model.

7. Tabellen

ID	Openness	Conscientiousness	Extraversion	Agreeableness	Neuroticism
1	7	8	5	11	8
2	6	8	6	8	8
3	8	10	10	10	8
4	9	10	7	10	7
5	6	2	12	11	14
6	11	14	6	14	6
8	6	11	6	10	6
9	7	10	5	9	10
11	9	8	4	7	9
13	7	6	10	12	8
14	7	7	6	11	8
17	10	12	5	16	7
18	8	13	6	7	10
19	8	3	5	10	14
20	9	7	2	9	10
21	10	13	3	12	8
22	9	10	6	11	8
23	10	5	10	14	11
24	5	4	5	10	10
25	8	11	6	11	13
26	9	5	3	9	8
27	8	9	7	4	13
28	9	6	6	9	8
29	8	8	7	8	16
30	8	4	7	14	11
31	5	6	6	11	6
32	11	4	10	11	7
33	7	7	6	9	4
34	3	15	3	8	6
35	10	10	7	12	7
36	9	11	4	12	10

Table 1: Scores op de Big Five-persoonlijkheidskenmerken

ID	Montessori	Dalton	Jenaplan	Vrijeschool	Regulier onderwijs
1	6	5	8	4	7
2	6	6	6	6	6
3	6	4	8	4	8
4	6	6	9	6	8
5	8	5	11	4	8
6	9	5	10	4	9
8	5	4	6	6	7
9	5	5	8	7	6
11	3	6	6	5	6
13	5	5	8	4	7
14	5	7	6	4	7
17	6	5	9	6	7
18	4	5	8	5	7
19	6	6	8	5	7
20	6	4	7	6	7
21	6	4	6	4	6
22	5	5	9	4	6
23	8	6	10	4	7
24	7	7	9	7	6
25	2	4	7	4	8
26	7	7	7	5	5
27	5	7	8	4	7
28	8	6	8	4	6
29	9	6	7	5	6
30	6	6	10	5	6
31	5	5	6	9	8
32	6	7	9	4	4
33	6	5	7	9	7
34	7	5	7	5	7
35	6	4	9	4	5
36	6	6	6	6	7

Table 2: Voorkeuren voor de onderwijstypen

	Openness	Conscientiousness	Extraversion	Agreeableness	Neuroticism
Montessori	0.10	-0.19	0.17	0.22	0.06
Dalton	0.03	-0.49	0.06	-0.23	0.21
Jenaplan	0.28	-0.26	0.57	0.42	0.19
Vrijeschool	-0.41	-0.06	-0.31	-0.11	-0.30
Regulier onderwijs	-0.21	0.27	0.13	0.14	0.02

Table 3: Correlaties tussen Big-5 scores en voorkeur voor onderwijstypen

	Openness	Conscientiousness	Extraversion	Agreeableness	Neuroticism
Montessori	.164	.191	.144	.131	.126
Dalton	.130	.452	.140	.171	.179
Jenaplan	.253	.225	.455	.334	.138
Vrijeschool	.558	.221	.645	.492	.314
Regulier onderwijs	.131	.179	.211	.183	.137

Table 4: P-waarden correlaties tussen Big-5 scores en voorkeur voor onderwijstypen

8. Enquête

8.1. Algemene deel voor afbakening doelgroep

Hoe oud ben je?	
Zit je op de middelbare school?	
Op welke school zit je?	

8.2. Deel 1: Persoonlijkheid vaststellen (Big Five vragen)

8.2.1 Openness

Ik ben vaak op zoek naar nieuwe ideeën en perspectieven, vooral als deze verschillen van die van mij.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik vind het moeilijk om kunst, muziek of literatuur die ongebruikelijk of onbekend is te waarderen.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik vind het leuk om nieuwe activiteiten of hobby's te proberen, ook al liggen deze buiten mijn comfortzone.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

8.2.2 Conscientiousness

Als ik een taak krijg doe ik het meteen en doe ik het goed.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik houd mijn werk- en leefomgeving netjes en georganiseerd.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik plan vooruit en denk na over hoe mijn acties mijn toekomst beïnvloeden.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

8.2.3 Extraversion

Ik krijg energie door mijn tijd met andere mensen te besteden.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik uit mijn gedachten en gevoelens het liefst openlijk.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik voel me vaak verveeld of onrustig als ik lange tijd alleen ben.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

8.2.4 Agreeableness

Ik probeer mezelf meestal te verplaatsen in een ander.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik help anderen vaak, zelfs als dat ten koste gaat van mezelf.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik ben vaak kritisch over anderen, vooral wanneer ik het niet met ze eens ben.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik vind het makkelijk mensen te vergeven als ze iets fout doen.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

8.2.5 Neuroticism

Ik voel me vaak angstig of bezorgd over verschillende aspecten van mijn leven.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik heb vaak last van stemmingswisselingen of sterke emotionele reacties.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik voel mij over het algemeen zelfverzekerd.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Zelfs in stressvolle situaties blijf ik rustig en beheerst.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

*8.3. Deel 2: Voorkeur onderwijsmethode vaststellen***8.3.1 Montessori**

Ik werk graag op mijn eigen tempo zonder vaste instructies.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik voel me oprecht in een leeromgeving waar ik mijn eigen leerproces en voldoende bepaal.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik leer het liefst door zelf dingen uit te zoeken, zonder directe begeleiding van een leraar.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

8.3.2 Dalton

Ik ben niet gemotiveerd om mijn eigen doelen te stellen en daarom te reflecteren.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik waardeer een gestructureerde omgeving met heldere richtlijnen en werk graag zelfstandig aan mijn taken, met begeleiding waar nodig.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

8.3.3 Regulier onderwijs

Ik werk graag in een vaste klasgroep met duidelijke leerlijnen.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	
Ik leer het liefst binnen een gestructureerde omgeving met vaste lessen en duidelijke verwachtingen.	1	2	3	4	5
	Oneens			Eens	

De invloed van stromend water met verschillende brekingsindexen op het verschil in aankomsttijd van laserlicht dat twee tegenovergestelde banen door het water volgt

L.J. Kok ¹, T.E. Weststrate ², K. de Vries ³, R. Kamperman ³, P. van der Vegt ¹ & J. Grijzen ²

¹ Het Stedelijk Kottenpark, Enschede

² Het Stedelijk College Zuid, Enschede

³ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – The refractive index is a value that helps anticipate the amount of time light takes to travel through substances. It is used for things like underwater communication. However, there have never been any practical tests done on the influence of the refractive index on lasers through moving water even though there are theoretical hypotheses. This paper aims to test these hypotheses by shooting lasers through different concentrations of flowing salt water, which impacts the refractive index, in a selfmade setup. This is because the flowing of water directly impacts laser speed, and the refractive index directly influences this impact. To the demineralised water in the setup, sodium chloride was added in steps of 2,70 mass percentage to add up to 16,20 mass percentage. The results were acquired by first making slowmotion videos of the screen where both the lasers were visible and then analysing those videos. This research found no correlation however between the refractive index and influence on the speed of the lasers which does not say anything along the lines of the current knowledge of the subject.

1. Inleiding

1.1. Originele opstelling

Dit onderzoek is grotendeels gebaseerd op een experiment van Hippolyte Fizeau uit 1851. In dit experiment wilde hij testen of een bewegende vloeistof licht meesleept en daardoor de snelheid van het licht verandert. Dit was op dat moment een onbewezen hypothese (Rohrlich, 1989). Deze hypothese was Fresnels 'aether drag' hypothese. Fizeau bewees deze hypothese met een systeem van buizen waar water doorheen stroomde, versimpeld afgebeeld als het blauwe vlak in figuur 1. Daarna gebruikte hij zonlicht om lichtstralen op hetzelfde punt te centreren en af te buigen om die door de buizen met water heen te laten schijnen, zoals te zien is op de afbeelding. De ene lichtstraal ging met de stroming van het water mee; de andere ging tegen de stroming in. Wat bleek was dat de lichtstraal die met het water mee ging eerder op het eindpunt aankwam dan de andere straal die tegen het water inging, terwijl ze beide een even grote afstand hadden afgelegd (Fizeau, 1851). Met deze resultaten werd de invloed van stromend water op licht duidelijk. Alleen was deze invloed wel kleiner dan vooraf gedacht.

1.2. Aether

Fizeau en andere natuurkundigen van die tijd geloofden in aether, een opvullende stof die het licht mee zou nemen. (Lloyd, 1968). Fizeau wilde met zijn experiment het vraagstuk beantwoorden of aether volledig, deels of niet gebonden was aan atomen en kwam tot de conclusie dat dit deels was, aangezien de snelheid van het licht maar met een deel van de watersnelheid veranderde (Fizeau, 1860). Deze conclusie is alleen later weer verworpen met de speciale relativiteitstheorie (Cassini Levinas, 2019). Wat wel bleek was dat de brekingsindex van het stromende water invloed had op de snelheid van het licht.

1.3. Variabelen

Zoals verder uitgelegd in '2.1 Formules' zijn de variabelen in het Fizeau experiment de stroomsnelheid van het water, de brekingsindex en de golflengte van het licht. In dit onderzoek is ervoor gekozen om één van de variabelen ten opzichte van het originele experiment te veranderen, namelijk de brekingsindex. Deze keuze is gemaakt omdat de brekingsindex relatief makkelijk aan te passen is. Bovendien zouden de resultaten van dit onderzoek gebruikt kunnen worden voor verdere studies naar licht in zout water (zie ook '2.4 Toepassingen van het onderzoek').

Door de brekingsindex als onafhankelijke variabele te nemen, luidt de hoofdvraag van dit onderzoek: 'Wat is de invloed van het stromen van water met verschillende brekingsindexen op het verschil in aankomsttijd van laserlicht dat tegenovergestelde banen door het water volgt?'

2. Theoretisch kader

In dit theoretisch kader zal worden ingegaan op de belangrijkste concepten rondom het Fizeau experiment. Het dient als fundament voor het begrijpen van deze concepten.

2.1. Formules

De resultaten van het Fizeau experiment kunnen worden verklaard aan de hand van twee formules. De eerste formule beschrijft de snelheid van de lichtstraal als die in dezelfde richting gaat als de stroming van het water, gegeven bij (1) (Weinstein, 2012). De tweede formule beschrijft de snelheid van de lichtstraal als de stroming van het water en de lichtstraal in tegenovergestelde richtingen gaan, gegeven bij (2) (Weinstein, 2012).

$$w_+ = \frac{c}{n} + v \left(1 \frac{1}{n^2} \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right) \quad (1)$$

$$w = \frac{c}{n} v \left(1 \frac{1}{n^2} \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right) \quad (2)$$

Om deze formules te kunnen gebruiken is het van belang dat de stroming laminair is, in plaats van turbulent. Turbulente stroming wordt namelijk gekenmerkt door chaotische veranderingen in druk en stroomsnelheid (Batchelor, 2000/2012) (zie ook figuur 11). De formules (1) en (2) kunnen niet gebruikt worden als de stroomsnelheid niet constant is, waardoor laminaire stroming noodzakelijk is.

Bovendien beweegt het water bij turbulente stroming in alle richtingen (zie figuur 11). Als hier laserstralen doorheen moeten, waar net een paar millimeter afstand tussen zit, kan het best zijn dat de ene laser op een andere manier wordt voortgetrokken/tegengewerkt dan de andere laser. Wederom is laminaire stroming dus belangrijk voor dit experiment.

In formule (1) en (2) komen de volgende termen voor:

- $w_+ \Rightarrow$ de resulterende snelheid van het gebruikte licht als die met de waterstroming meegaat in m/s
- $w \Rightarrow$ de resulterende snelheid van het gebruikte licht als die tegen de waterstroming ingaat in m/s
- $c \Rightarrow$ lichtsnelheid in vacuüm (ter waarde van 299 792 458 m/s (Stein, 2024))
- $v \Rightarrow$ de stroomsnelheid van het water in m/s
- $n \Rightarrow$ de brekingsindex van het water
- $\lambda \Rightarrow$ de golflengte van het licht in m

De grootheden die in het Fizeau Experiment aan bod komen zijn w_+ , c , v , n en λ . De lichtsnelheid in vacuüm, c , is altijd constant en in dit experiment zijn ook de stroomsnelheid, v , en de golflengte van het licht, λ , constant.

2.2. Brekingsindex

De brekingsindex is de verhouding tussen twee grootheden en heeft daardoor geen eenheid. De brekingsindex van een medium, in dit geval water, is de verhouding van de snelheid van licht in vacuüm (c) en de snelheid van licht in dat medium (v) (TeTech, 2022). De formule van de brekingsindex is dan ook:

$$n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

In deze formule is af te lezen dat de brekingsindex omgekeerd evenredig is aan de snelheid van licht in een medium. Als de brekingsindex groter wordt, wordt de snelheid van het licht in het medium kleiner.

2.3. Temperatuur en golflengte van licht

Er zijn twee factoren die de brekingsindex nog verder beïnvloeden; temperatuur en de golflengte van het licht. De golflengte van het licht is tijdens dit onderzoek constant geweest, aangezien er gebruik is gemaakt van dezelfde laser. Toch heeft de golflengte van het licht wel een kleine invloed op de brekingsindex. In normaal glas heeft violet licht namelijk een

brekingsindex die 1% groter is dan rood licht. (Refractive Index (Index Of Refraction), z.d.). De temperatuur van het water is zo goed als constant geweest, aangezien al het materiaal dat gebruikt is bij het doen van de metingen al meerdere dagen in dezelfde kamer heeft gestaan. Toch heeft de temperatuur wel invloed op de brekingsindex. Een hogere temperatuur zorgt er namelijk voor dat vloeistof (in dit onderzoek het water) minder dicht wordt, waardoor de brekingsindex lager wordt. Een lagere temperatuur zorgt ervoor dat het water juist dichter wordt, waardoor de brekingsindex hoger wordt (Chemistry Online @ UTSC, z.d.).

2.4. Toepassing van de theorie

Door de invloed van de waterstroming op de snelheid van de lichtstralen komen beide stralen op verschillende momenten aan op het eindpunt (zie figuur 1 en 5), omdat ze beide een andere snelheid hebben maar dezelfde afstand afleggen. Deze gelijke afstand is gekregen door gebruik te maken van een MichelsonMorley interferometer (dit is een specifiek type interferometer dat gebruikt kan worden voor dergelijke experimenten), die van één straal twee maakt en deze later weer samenbrengt (zie '3.3.4 meetapparatuur'). Dit verschil in tijd kan gemeten worden door gebruik te maken van een hoge framespersecond camera. Naarmate de brekingsindex groter wordt, wordt dit tijdsverschil ook groter. Hierdoor is de brekingsindex de onafhankelijke variabele en het verschil in aankomsttijden van de lasers de afhankelijke variabele. De brekingsindex zorgt er dus voor dat de laserstralen langzamer gaan naarmate deze toeneemt. Ook wordt hierdoor het verschil in aankomsttijd groter. Dit is omdat een verhoogde brekingsindex het licht als het ware meer meeneemt of tegenhoudt dan een lage brekingsindex. De invloed van de stroomsnelheid zou dus moeten toenemen naarmate de brekingsindex toeneemt.

Verder zou er een interferentie patroon moeten ontstaan als de twee stralen weer bij elkaar komen (zie figuur 12). De rode lijnen in dit patroon ontstaan door constructieve interferentie omdat beide golven (licht is een golf) op die plekken in fase zijn. Dit betekent dat ze even ver zijn in de golfbeweging (zie figuur 13). Hierdoor versterken ze elkaar en wordt de kleur rood. Aan de andere kant ontstaan de kleurloze lijnen doordat beide golven precies in tegengestelde fase zijn. Hierdoor ontstaat destructieve interferentie en heffen beide golven elkaar op. Er blijft daardoor geen licht over (Patel et al., 2014).

2.5. Toepassingen van het onderzoek

Underwater optical wireless communication of UOWC is een ontwikkelende technologie waarbij er met lichtpulsen informatie door zout water wordt gestuurd. Deze pulsen worden eerst gestuurd door middel van LED of LD lampen en worden opgevangen door een ontvanger die de signalen omzet in bruikbare informatie. Deze technologie wordt op dit moment minder vaak gebruikt dan akoestische onderwater communicatie met grotere golflengtes wegens een paar beperkingen. Licht komt namelijk minder ver in water dan akoestische trillingen, namelijk maar 100150 meter vergeleken met de afstand van 100km van akoestische communicatie. Bovendien vindt er verstrooiing van het licht plaats door microdeeltjes in het zeewater. Toch heeft het gebruik van licht ook veel voordelen. Met licht is data versturen veel efficiënter en het onderhoud en verkrijgen

van optische systemen is veel goedkoper dan akoestische systemen. Met optische communicatie zijn er gigabytes per seconde te versturen, wat bij akoestische systemen maar beperkt blijft tot kilobytes.

Er zijn verschillende varianten van UOWC, namelijk een punt-totpunt configuratie en een diffuse configuratie (zie figuur 8). Punt-totpunt communicatie met LD's wordt gebruikt als er informatie over langere afstanden moet worden verstuurd en is efficiënter dan diffuse configuratie. De nadelen van punt-totpunt configuratie zijn dat het moeilijk is om punt-totpunt configuratie te voltooien als één of beide punten bewegen, en dat punt-totpunt communicatie gevoelig is voor turbulente stroming. Diffuse communicatie met LED's wordt gebruikt als informatie naar meerdere ontvangers moet worden gestuurd, of als één of beide punten bewegen. Diffuse communicatie is minder geschikt voor langere afstanden en is gevoelig voor verzwakking van het licht in het water.

De stroming van het water heeft invloed op de efficiëntie van de overdracht van informatie. Als de stroming tegen het licht ingaat, worden de signalen op elkaar gedrukt, en als de stroming met het licht meegaat, worden de signalen gedurende een langere periode ontvangen. Dit is te vergelijken met wat er in dit onderzoek is getest (Spagnolo et al., 2018).

3. Meetmethode

Om dit onderzoek uit te kunnen voeren zijn er bepaalde stappen gezet en verschillende handelingen gedaan. In dit deel van het paper staan de bepaalde stappen en de benodigde materialen beschreven.

3.1. Materialen

De materialen die voor dit onderzoek worden gebruikt zijn:

- Een Michelson interferometer incl. een laser met constante golflengte licht (laser pointer, 672 nm, klasse 2 (<1mW (Sensor Partners, z.d.))) en een halfdoorlatende spiegel
- Gewicht van 5 kilo
- 25,00 liter Gedestilleerd water
- 3368,25 g zuiver Natriumchloride
- 673,785 g zuiver Magnesiumchloride
- Weegschaal (VOS6002)
- Twee waterpompen (Headerbs Elektrische Dompelpomp – 51 mm) met constante snelheid aangesloten op 1 ampère en 7,5 Volt
- Filmapparatuur met 240 F.P.S (iPhone 7)
- 3 platte spiegels
- Whiteboard
- Tafel
- Schroevendraaier
- Schroeven
- Verduisterbare kamer
- Een helder oppervlak als eindpunt
- Glasplaten met de volgende afmetingen:
 - 1 van 70x14 cm
 - 1 van 80x14 cm
 - 3 van 25x14 cm
 - 5 van 35x14 cm

- 2 van 10x14 cm
- 4 van 130x14 cm

- 2 kannen met een inhoud van 2 liter
- 3 verpakkingen waterdichte kit (Dekalin L0906G Dekaseal 8936 – lichtgrijs)
- Kitspuit
- Houten blokjes
- Lens met sterkte 10 (min 10)
- Microsoft Excel
- Tracker (Brown et al., z.d.)

3.2. Nauwkeurigheid van de apparatuur

De waterkannen die gebruikt zijn om het gedestilleerd water af te meten, meten tot op de milliliter nauwkeurig. De kannen zijn 13 keer gebruikt en er is uitgegaan van minimale meetfouten, waardoor het water volume niet meer dan 50 milliliter afwijkt aan het begin.

De camera die voor de metingen is gebruikt is de camera van een iPhone 7. Tijdens een slowmotion opname meet deze camera met 240 frames per seconden (iPhone 7 Technical Specifications Apple Support (LB), z.d.). Hierdoor zijn de beelden dus op 1/240 of 42 milliseconden nauwkeurig.

De weegschaal meet tot op de honderdste gram en laat dus verschillen zien in gewicht tot op 0,005 gram. Hierdoor wijkt de hoeveelheid zout weinig af.

3.3. Proefopzet en plan van aanpak

De opstelling en werkwijze zijn grotendeels gebaseerd op het originele experiment van Fizeau en een replicatie van dit experiment door Mads Slot Bertelsen (Mads Slot Bertelsen, 2015).

3.3.1 Werkgebied

Dit onderzoek is gedaan met een zelfgebouwde opstelling. Er zijn simpele materialen gebruikt om de haalbaarheid te verhogen, behalve de interferometer, die bestaat uit een vaste laser en halfdoorlatende spiegel. Omdat er met water wordt gewerkt is voor een whiteboard als ondergrond gekozen, zodat er geen water verloren gaat aan de ondergrond. Deze ondergrond is op meerdere plekken vast geboord aan een tafel zodat die stabiel staat.

De metingen hebben plaatsgevonden in een verduisterbare kamer, zodat de laserstralen zo goed mogelijk zichtbaar zijn voor de metingen. Deze kamer is geheel geïsoleerd om ander licht te voorkomen.

3.3.2 Constructie

Er is gekozen om de constructie te maken met behulp van glasplaten in plaats van glazen buizen om buiging van de lasers te voorkomen wanneer ze door het glas gaan. Deze glasplaten zijn zo helder mogelijk gehouden om een minimale invloed op de lasers zelf te krijgen. In figuur 5 is een bovenaanzicht te zien dat precies toont in welke vorm de platen aan elkaar zijn gemaakt. Deze platen zijn aan elkaar gekit met behulp van Dekalin kit voor maximale stevigheid en om de opstelling waterdicht te houden. Dit was de beste kit die hiervoor beschikbaar was, omdat dit soort kit gemaakt is voor de eerdergenoemde doeleinden.

Zoals te zien is in figuur 5, is er links onderin ruimte overgelaten voor de interferometer. Hierop is een gewicht gezet zodat de interferometer makkelijker te verstellen is zonder het complete meetinstrument te hoeven bewegen. Aan de buitenkant van de glasplaten zijn houten blokjes gekit om een deel van het gewicht van het water op te vangen, zodat de kit minder last hoeft te dragen en daardoor langer meegaat.

Er is gedestilleerd water gebruikt om te testen op lekken in de kit, maar dit heeft geen invloed gehad op de metingen, omdat hierdoor zowel de brekingsindex als het watervolume niet veranderen.

Tussen de binnenste en buitenste glasplaten zit er tijdens het meettraject rond de 5 centimeter ruimte. Dit traject is te zien op figuur 6, waarin zichtbaar is welk pad de lasers doorlopen. De afstand tussen de glasplaten is 5 centimeter breed gemaakt om meer ruimte te creëren voor de lasers, maar niet zo groot dat er meer water gebruikt moest worden dan beschikbaar was. Op de plaatsten waar de pompen zitten is de ruimte tussen de glasplaten breder zodat beide pompen in de opstelling passen. Deze hebben een diameter van 5,1 centimeter en hebben nog extra ruimte nodig om bevestigd te kunnen worden. Ook zijn linksonder in de opstelling schoongemaakte stenen toegevoegd zodat de hoeveelheid benodigd water minder groot zou zijn. Deze factoren beïnvloedden de stroomsnelheid minimaal maar hielpen wel met het verminderen van de benodigde hoeveelheid water.

Verder is de tafel schuin gezet zodat de waterspiegel aan de achterkant hoger zou zijn. Dit zorgt ervoor dat de stroomsnelheid niet op alle plekken even groot is, maar zal geen invloed op de metingen moeten hebben omdat beide lasers nog steeds door hetzelfde stuk gaan. Deze keuze is gemaakt omdat de spiegels bovenaan de opstelling te hoog staan en de lasers deze anders niet kunnen raken.

3.3.3 Opstelling

De drie spiegels die in de opstelling zijn gebruikt zijn vast geboord aan de tafel waarop de opstelling staat. De spiegels zijn in staat de stralen zowel naar links en rechts, als naar boven en beneden te kaatsen, waardoor de lasers makkelijker af te stellen zijn. Om de spiegels preciezer af te stellen is een schroevendraaier gebruikt om er tegenaan te tikken. Dit geeft meer controle dan handmatig de spiegels verstellen.

Bij het experiment zijn pompelpompen gebruikt om het water te laten stromen. Deze zijn beide aangesloten op dezelfde 7.5 volt en 1.0 Ampère voeding, zodat beide gelijkliepen. Er is gekozen om de pompen niet op het volle vermogen aan te zetten, omdat dan de kans groot werd dat er water uit de opstelling zou klotsen. De eerste pomp is vlak voor het meettraject geplaatst en de tweede halverwege dit traject op het punt waar de laserstralen uit het water zijn en tegen de spiegels komen. Dit is te zien in figuren 5 en 6.

3.3.4 Meetapparatuur

Bij de metingen is er gebruik gemaakt van een interferometer en een telefooncamera. De interferometer bestaat uit een laser van 1 milliwatt en een halfdoorlatende spiegel. De halfdoorlatende spiegel splitst de laserstraal in twee delen: een deel dat

door de spiegel heen gaat en een deel dat wordt afgebogen. Dit is versimpeld te zien in figuur 7. Hierbij is de grijze lijn de straal die direct van de laser afkomt. Deze splitst vervolgens in een paarse straal die door de spiegel heen gaat en een bruine straal die wordt weerkaatst. Weer terug bij de halfdoorlatende spiegel splitst de bruine straal dan af tot een oranje en zwarte straal, waarvan de zwarte op het eindpunt aankomt. De paarse straal splitst af in een rode en blauwe straal, waarvan de blauwe op het eindpunt komt. De oranje en rode stralen weerkaatsen zoals afgebeeld langs de interferometer terug de kamer in. Voordat de blauwe en zwarte straal bij het eindpunt komen gaan ze eerst door een lens heen om ze beter zichtbaar te maken, waarna ze gemeten kunnen worden met de camera.

Verder is een telefooncamera vastgeklemd midden in de opstelling om de resultaten te meten. De camera meet 240 frames per seconde tijdens slowmotion opnames en is gericht op het eindpunt waar beide stralen op terechtkomen.

3.3.5 Metingen

Nadat de opstelling is gevuld en de spiegels zijn afgesteld, kunnen de pompen aan. Deze zijn langzaam aangedraaid. Vervolgens kan het licht uit en wordt de laser herhaaldelijk aan en uitgedaan om de metingen te krijgen. Deze eerste ronde metingen zijn nog zonder zout en gelden als controlemetingen met de brekingsindex van gedestilleerd water, namelijk 1,330. Deze metingen zijn eerst bekeken om te controleren of de camera werkt.

Dan wordt 2,70 massapercentage van het water aan Natrium Chloride toegevoegd aan de opstelling en opgelost. Dit is 673,78 gram en zorgt voor een verhoogde brekingsindex van 1,342. Hierna worden nieuwe metingen gedaan. Vervolgens wordt nog 4 keer dezelfde hoeveelheid Natrium Chloride aan de opstelling toegevoegd en tussen elk van deze addities worden nieuwe metingen gedaan. Dit geeft uiteindelijk een reeks verschillende brekingsindexen van 1,330, 1,342, 1,345, 1,350, 1,354 en 1,360 (zie figuur 2).

Als laatste wordt 673,78 gram aan Magnesium Chloride aan de opstelling toegevoegd in plaats van Natriumchloride wegens een gebrek aan puur Natriumchloride. Dit geeft extra metingen met een brekingsindex van 1,365 zonder een groot verschil in resultaat, omdat Natrium en Magnesium ionen ongeveer dezelfde invloed hebben op de brekingsindex.

3.3.6 Analyse van de metingen

Voor elke oplossing is minstens 1 video gemaakt. Per video zijn de metingen gedaan zoals hierboven beschreven (het filmen van het meerdere keren aan en uitdoen van de laser). Deze video's zijn in het programma Tracker (Brown et al., z.d.) gezet om geanalyseerd te kunnen worden. In het programma Tracker bevindt zich onderaan het scherm een balk, waarnaast aan de linkerkant te zien is welk frame op dat moment zichtbaar is (zie figuur 3). Aan de rechterkant van de genoemde balk bevindt zich een instelling waarmee er per frame kan worden doorgeklikt. Deze functie is gebruikt om frame per frame te bekijken.

Per meting is er gekeken naar het moment dat een laser voor het eerst zichtbaar is op de video en naar het moment waarbij er een duidelijk zichtbare 'nieuwe' (eerder nog niet zichtbare)

rode stip verschijnt en/of de eerste stip ineens feller wordt, wat zou betekenen dat beide laserstralen op hetzelfde punt zijn aangekomen. Per meting is het verschil tussen het beginframe en het eindframe van de aankomst van beide laserstralen genoteerd, waarmee Excel het verschil in aankomsttijd van beide laserstralen automatisch heeft berekend in het aantal frames en in seconden. Met behulp van deze resultaten heeft Excel het gemiddelde verschil in aankomsttijd per massapercentage berekend.

4. Resultaten

4.1. Resultaten van de metingen

Uit de metingen zijn bepaalde resultaten gekomen (zie tabel 3). Van alle metingen per concentratie is een gemiddelde genomen, zodat er uiteindelijk per massapercentage een gemiddeld verschil in aankomsttijd is berekend (zie tabel 1).

Per massapercentage is er minstens 1 filmpje gemaakt. Per filmpje zijn twintig metingen geanalyseerd zoals dat beschreven staat in de meetmethode. Aangezien deze filmpjes verschillen van lengte, zijn van sommige oplossingen meer metingen gedaan dan van andere oplossingen, maar alleen de eerste twintig zijn geanalyseerd om ervoor te zorgen dat de verhouding tussen alle resultaten nauwkeuriger was.

Er zijn ook filmpjes gemaakt voor de massapercentages 10,80%, 13,50% en 16,20%, dus een brekingsindex vanaf 1,354, maar tijdens de analyse van de metingen bleek dat er op deze filmpjes niks te zien was. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de enorme concentraties zout in het water (zie '6.2.5 laser'). Deze metingen hebben dus niet tot resultaten geleid.

4.2. Gebruik van de formule van Fizeau

Door middel van de formules (1) en (2) kan het verschil in aankomsttijd uitgerekend worden. Dit is gedaan door een schatting te maken over de stroomsnelheid van het water. Deze is gesteld op 0,15 meter per seconde. De berekeningen zijn te vinden in tabel 2. Verder wordt de brekingsindex afgelezen uit figuur 2. De lengte die de lasers doorlopen door de opstelling is 3,86 meter. Deze waarde is gebruikt in de volgende formule om de aankomsttijd van de lasers te bepalen. Hiervan is dan het verschil genomen (zie tabel 2). Deze waarden zijn nogmaals een schatting.

$$t = \frac{s}{v} \quad (4)$$

5. Conclusie

Van de individuele resultaten per massapercentage natriumchloride is een gemiddelde genomen (zie tabel 1). Aan de hand van deze gemiddeldes is de volgende conclusie getrokken bij de hoofdvraag: 'Wat is de invloed van het stromen van water met verschillende brekingsindexen op het verschil in aankomsttijd van lasers die tegenovergestelde banen door het water volgen?':

Uit het gemiddelde verschil in aankomsttijd van beide lasers (gemeten in het aantal frames) van de oplossingen met 0,00%, 2,70% en 5,40% aan massapercentage Natriumchloride blijkt dat het verschil gemiddeld langer duurt naarmate de brekingsindex groter wordt. De oplossing met 8,10% Natriumchloride

valt hierbij uit de toon, omdat het gemiddelde verschil in aankomsttijd bij de metingen bij deze oplossing korter is dan die van de oplossing met 5,40% Natriumchloride (8,00 frames bij 8,10% Natriumchloride en 9,45 frames bij 5,40%). Dit was niet naar verwachting.

Het is mogelijk dat de oplossing met 8,10% massapercentage Natriumchloride een uitzondering is, maar dit valt niet te stellen door het ontbreken van duidelijke resultaten bij de oplossingen vanaf 10,80

Verder komen de resultaten ook niet overeen met de berekeningen in tabel 2. Dit wijst er dus op dat de resultaten niet valide genoeg zijn om een conclusie te trekken.

6. Discussie

6.1. Zout in plaats van suiker

Er zijn keuzes gemaakt in het plan van aanpak die in dit stuk besproken worden.

In dit onderzoek is zout gebruikt om de brekingsindex te verhogen. Er kan maar een bepaalde hoeveelheid zout worden opgelost in water. Deze hoeveelheid is kleiner dan de hoeveelheid suiker die kan worden opgelost in water. Hierdoor is de maximale brekingsindex met zout lager dan met suiker. Toch is er in dit onderzoek voor zout in plaats van suiker gekozen, aangezien suikermoleculen de richting van de polarisatie van licht draaien (Rotating Light — Exploratorium, 2023). Om ervoor te zorgen dat het licht een zo recht mogelijk pad door de opstelling leidde, zonder veel verstoringen, is er dus zout gebruikt.

6.2. Factoren die (misschien) invloed hebben gehad op de resultaten

6.2.1 Geen interferentie patroon

Dit is de factor die de meeste invloed heeft gehad op de resultaten, omdat de metingen iets anders bleken weer te geven dan verwacht.

Met een interferometer worden meestal interferentie patronen verkregen, maar dat gebeurde in dit onderzoek niet. Dit heeft er waarschijnlijk mee te maken dat door gebrek aan tijd de laserstralen niet perfect op hetzelfde eindpunt zijn gecentreerd. De laserstralen bevonden zich ongeveer een centimeter naast elkaar in plaats van op precies dezelfde plek. Hierdoor volgden de laserstralen (vooral tussen de halfdoorlatende spiegel en het eindpunt) niet exact dezelfde baan en was de afstand tussen de laserstralen te groot, waardoor de laserstralen niet met elkaar konden interfereren.

De afwezigheid van het interferentiepatroon maakt de resultaten minder valide omdat de resultaten van dit experiment niet overeenkomen met de resultaten van soortgelijke experimenten met een Michelson interferometer (Mads Slot Bertelsen, 2015).

Bovendien komen de verkregen resultaten en de geschatte resultaten (op basis van de berekeningen bij 4.2 Formule van Fizeau en zichtbaar in tabel 1 en 2) niet overeen. De verkregen resultaten hadden namelijk een ordegrrootte van 10^3 seconden

en de theoretische resultaten een ordegrrootte van 10^1 seconden. De theoretische resultaten vallen te verklaren aan de hand van interferentiepatronen, door middel van het gebruik van de interferentie shift. Met de interferentie shift en de golflengte van het licht kan de trillingstijd (tijd die 1 trilling duurt (Trillingen, z.d.)) van het licht worden bepaald.

De verkregen resultaten vallen door het gebrek aan interferentiepatronen niet te verklaren. Het verschil in aankomsttijd tussen de twee lasers zou volgens de theorie veel kleiner moeten zijn, maar er zijn wel daadwerkelijk resultaten verkregen (zie tabel 3 en figuur 14 en 15). Een mogelijke verklaring voor het zichtbare verschil in aankomsttijd van de verschillende laserstralen zou kunnen zijn dat de camera van de iPhone 7 door gebrek aan een grote hoeveelheid licht niet al het rode licht liet zien. Omdat er meer frames per seconde worden gemaakt bij een slow-motion opname, komt er minder licht de lens van de camera binnen (Raveendran, 2023). Dit kan ervoor hebben gezorgd dat de iPhone de rode laservlek pas later liet zien dan dat de vlek eigenlijk zichtbaar zou moeten zijn. Dit kan een mogelijke verklaring zijn voor de verkregen resultaten.

6.2.2 De opstelling

Het gebruik van de zelfgebouwde opstelling zorgde voor enkele complicaties, waarvan sommigen invloed hebben gehad op de validiteit van het onderzoek. Zo is er meerdere keren een lek ontstaan, waardoor er een kleine hoeveelheid water verloren is gegaan. Deze hoeveelheid zal ongeveer enkele tientallen milliliters zijn geweest. Dit heeft waarschijnlijk weinig invloed gehad op de resultaten, omdat het een relatief kleine hoeveelheid is. Bovendien waren er andere factoren, zoals de laser en de hoeveelheid opgelost zout (zie '6.2.5 Laser' en '6.2.10 Niet al het zout opgelost'), die een grotere invloed hebben gehad op de resultaten.

6.2.3 Stroomproblemen

De opstelling was tijdens de metingen tot een paar centimeter onder de rand gevuld met 25 L aan oplossing. De pompen konden maar op een beperkt voltage aangesloten worden, omdat de oplossing anders over de rand zou klotsen. Als de pompen harder aan hadden gestaan, was het water over de rand geklotst, wat de nauwkeurigheid van dit onderzoek zeer had beperkt. Als het water sneller had kunnen stromen, is de verwachting dat de interferentie shift langer zou hebben geduurd (zie formule (1) en (2)) en dat de resultaten van de verschillende metingen verder uit elkaar zouden hebben gelegen. De pompsnelheid is wel tijdens alle metingen constant geweest, maar een grotere stroomsnelheid had volgens de formules (1) en (2) kunnen zorgen voor een groter verschil in resulterende snelheid.

Bovendien stond de opstelling enigszins schuin. Dit zorgde ervoor dat er minder demiwater in de opstelling nodig was, en dat de lasers niet boven het water uitkwamen. Helaas zorgt dit ook voor een minder constante stroomsnelheid, wat de schatting van de stroomsnelheid minder nauwkeurig maakt. In het rechte stuk van de opstelling tussen de twee pompen (zie figuur 5) stroomde het water lichtelijk naar beneden met de zwaartekracht mee, zodat de stroomsnelheid net iets groter was, terwijl het water in het rechte stuk tussen de pomp en de interferometer (zie figuur 5) naar boven moest stromen tegen

de zwaartekracht in, waardoor de stroomsnelheid daar net iets langzamer was. Dit beïnvloedt de nauwkeurigheid van de berekeningen.

Doordat de pompen niet op hun volledige vermogen aan konden staan en de stroomsnelheid niet op alle plekken gelijk was, was het niet mogelijk om een exacte stroomsnelheid te bepalen. Daarom is er een schatting gemaakt om toch met de stroomsnelheid te kunnen rekenen (zie '4.2 Gebruik van de formule van Fizeau'). Deze schatting heeft geen directe invloed op de resultaten, maar maakt het wel moeilijker om de berekeningen met de resultaten te vergelijken.

6.2.4 Schudden van de tafel door pomp

Om ervoor te zorgen dat het water een waarneembare stroomsnelheid had, is er gebruik gemaakt van 2 dompelpompen. Deze pompen werden voorafgaand aan de metingen aangesloten op een voltage van 7,5 Volt en 1 ampère. De pompen waren bevestigd aan klemmen, die op de tafel stonden. Het is mogelijk dat de tafel hierdoor is gaan schudden. Als dit daadwerkelijk zo is geweest, dan heeft dat invloed gehad op de metingen en dus op de resultaten omdat het water daardoor niet laminair stroomde en zowel de interferometer als de spiegels bewogen.

6.2.5 Laser

Door een tekort aan tijd is de laser op een gegeven moment gelaten zoals hij stond. Beide stralen kwamen, voor zover bekend, op het eindpunt aan, maar het was niet compleet duidelijk of het de juiste 2 stralen waren want er waren namelijk ook andere punten zichtbaar. Bovendien bewoog één van de laserstralen op het eindpunt heen en weer. Waarschijnlijk is deze laserstraal onbedoeld tegen het wateroppervlak aangekomen waarna die daar weer vanaf kaatste, waardoor het licht op een vreemde manier met de golven van het wateroppervlak meebewoog.

Ook waren beide laserstralen in de laatste metingen op het eindpunt nauwelijks tot niet meer zichtbaar. Oorspronkelijk zijn er metingen gedaan voor oplossingen met een massapercentage van 0,00% tot 16,20% (met tussenstappen van 2,70%), maar vanaf 10,80% was er tijdens het analyseren van de filmpjes geen laserlicht meer zichtbaar (zie ook '4.1 Resultaten van de metingen'). Uit die metingen zijn dus geen resultaten gekomen. Hierdoor valt niet te zeggen of de opvallende resultaten bij 8,10% uitzonderingen zijn, of dat de metingen compleet anders zijn uitgevallen dan verwacht. De metingen boven 10,80% zijn niet zichtbaar, aangezien de intensiteit van de hoeveelheid licht afneemt in zoutwater. Deze afname versterkt naarmate de concentratie zout toeneemt, waardoor op een gegeven moment bijna geen licht meer door het water komt (Light in The Ocean, z.d.)

6.2.6 Telefoon gebruikt als meetapparatuur

Voor de metingen is de camera van een iPhone 7 gebruikt. Dit kan de hoeveelheid lichtinval tijdens een slow-motion opname beperkt hebben, ten opzichte van een professionele camera, waardoor de laatste metingen voor minder duidelijke en nauwkeurige resultaten hebben gezorgd, omdat die door de

afgenomen hoeveelheid licht minder zichtbaar waren. Slow motion opnames met een iPhone 7 zijn namelijk in lagere kwaliteit en minder gevoelig voor licht (iPhone 7 - Technical Specifications - Apple Support (LB), z.d.).

6.2.7 Wegvallen van eerste metingen

Zoals eerder benoemd is er voor het filmen van de video's een camera van een iPhone 7 gebruikt. Deze is in staat om in 240 F.P.S. te filmen met behulp van de functie 'slow-motion'. Tijdens het maken van een slow-motion opname, filmt de telefoon de eerste paar seconden en de laatste paar seconden niet in 240 F.P.S. maar in 30 F.P.S. Tijdens 30 F.P.S. geeft een beeld 0,033 seconden weer, terwijl een beeld tijdens 240 F.P.S. 0,0042 seconden weergeeft. Een gemiddeld verschil in aankomsttijd (zoals genoemd in 4.1 Resultaten van de metingen) duurde in dit onderzoek ongeveer 7-8 frames (gemeten in 240 F.P.S.). Dat is ongeveer 0,033 seconden, wat tijdens 30 F.P.S. gelijk zou staan aan 1 frame. 30 F.P.S. is voor dit onderzoek dus niet nauwkeurig genoeg om dit verschil in aankomsttijd te meten. Daarom zijn metingen die gefilmd zijn in 30 F.P.S. (omdat ze zich in de eerste of laatste paar seconden van een video bevinden) weggelaten.

6.2.8 Brekingsindex beïnvloedt door kit, zand en pomp

Zoals eerder in dit paper al benoemd zijn de glasplaten aan het whiteboard bevestigd door middel van kit (zie 3.2.2 Constructie). Het is mogelijk dat er microdeeltjes kit los zijn gekomen van de plekken waar de kit oorspronkelijk is geplaatst en daardoor in het water terecht gekomen zijn. Dit kan de brekingsindex hebben veranderd. Ook is het mogelijk (en redelijk waarschijnlijk) dat een deel van het zout in de pomp terecht is gekomen en daarin is blijven zitten, aangezien niet al het zout oploste (zie ook '6.2.9 Niet al het zout opgelost'). Dit leidt tot een verandering in de brekingsindex. Bovendien zijn er in het watercircuit stenen aangebracht om de totale hoeveelheid benodigd demiwater te verkleinen. Deze stenen zijn zo goed mogelijk schoon gemaakt, maar er is een kleine hoeveelheid zand op de stenen achtergebleven. Dit is in het water terecht gekomen, maar is er niet in opgelost, want dat is niet mogelijk (Chemieleerkracht, 2021). Toch kan er niet uitgesloten worden dat er totaal geen mineralen op de stenen hebben gezeten. Daarom kan deze keuze invloed hebben gehad op de brekingsindex.

6.2.9 Niet al het zout opgelost

Doordat de hoeveelheid zout in het water steeds groter werd, naarmate de metingen vorderden, werd het steeds moeilijker om al het zout op te lossen. Bovendien is er bij een paar metingen zout op de bodem van de opstelling blijven liggen. Dit zou het verschil tussen 2 concentraties kunnen vergroten of verkleinen. Bovendien is er bij 1 van de eerste 3 metingen ongeveer 2 gram zout achtergebleven in een bekerglas. Dit kan de resultaten van die meting beïnvloed hebben. Het is niet helemaal duidelijk bij welke meting dit precies gebeurd is.

6.2.10 Magnesiumchloride

Een dag voor het doen van de metingen werd bekend dat het niet mogelijk was om al het benodigde zout te verkrijgen. Met

de aanwezige hoeveelheid zout was het mogelijk om 15 massaprocent natriumchloride toe te voegen aan het water. Om nog een extra meting te kunnen doen is er daarna nog 3 massaprocent magnesiumchloride aan toegevoegd. Voor zover bekend heeft dit geen andere invloed op de brekingsindex dan natriumchloride. Tijdens het meten werd duidelijk dat er bij dit massapercentage geen laserlicht zichtbaar was net als bij de hogere percentages natriumchloride, hierdoor zijn er geen resultaten uit deze metingen gekomen.

6.2.11 Temperatuur van het water

Zoals benoemd in '2.3 Temperatuur' heeft de temperatuur van het water invloed op de brekingsindex. Door gebrek aan tijd is dit niet gemeten, wat de validiteit van de meetomstandigheden beïnvloed. Als de temperatuur naarmate het experiment vorderde gestegen is, is de brekingsindex kleiner geworden. Hierdoor zouden de waarden van de verschillende brekingsindexen dichter bij elkaar hebben gelegen, waardoor de resultaten ook dichter bij elkaar zouden hebben gelegen. Dit zou de invloed van de brekingsindex minder duidelijk zichtbaar hebben gemaakt in de resultaten. Als de temperatuur van het water naarmate het experiment vorderde is gedaald, is de brekingsindex hoger geworden. Hierdoor zouden de waarden van de brekingsindex juist verder uit elkaar hebben gelegen, waardoor de resultaten verder uit elkaar zouden hebben gelegen. Dit zou de invloed van de brekingsindex duidelijker zichtbaar hebben gemaakt in de resultaten. Omdat er geen meting van de temperatuur is gedaan, is het niet te zeggen of de temperatuur gestegen, gedaald of perfect constant gebleven is.

6.2.12 Turbulentie

Terwijl de pompelpompen aan stonden is er een kleine hoeveelheid turbulentie ontstaan in de hoeken van de opstelling, vooral binnen het meettraject, waar de lasers dus langs gaan. Turbulentie zorgt ervoor dat niet al het water even snel gaat en dezelfde richting op gaat (zie figuur 11). Dit heeft ervoor kunnen zorgen dat de stroomsnelheid verschillend was voor beide laserstralen op een bepaald punt. Ook kan dit betekenen dat er de stroomrichting op een plek anders was dan bij laminaire stroming, waardoor formule (1) en (2) niet geheel meer kloppen (Fxstageadmin, 2024).

6.2.13 Gemiddelden

Zoals zichtbaar in tabel 3, lopen de resultaten per massapercentage soms behoorlijk uiteen. Om ervoor te zorgen dat de resultaten zo'n nauwkeurig mogelijk beeld van de metingen laten zien, is de keuze gemaakt om per massapercentage een gemiddelde te nemen van het verschil in aankomsttijd van de lasers. Op die manier worden er geen metingen weggelaten, maar is er wel duidelijk een verschil tussen de diverse massapercentages te zien.

6.3. Verbeteringspunten voor replicatieonderzoek

Als dit onderzoek opnieuw zou moeten worden uitgevoerd, zouden er een paar dingen moeten worden aangepast.

6.3.1 Afstellen van de lasers

De grootste reden waarom de verkregen resultaten in dit onderzoek niet de verwachte waarden hadden, is het ontbreken van een interferentiepatroon. Voor replicatieonderzoek is het dus het allerbelangrijkste dat de laserstralen zo worden afgesteld dat ze exact hetzelfde eindpunt hebben. Als de lasers namelijk exact over elkaar heen liggen, kan er interferentie ontstaan, waardoor er interferentiepatronen kunnen ontstaan. Hierdoor zouden er hopelijk resultaten ontstaan die wel verklaarbaar zouden zijn aan de hand van de theorie.

6.3.2 Bredere doorgang

Bovendien zou de afstand tussen de binnenste en buitenste glasplaten groter gemaakt worden, om bredere doorgangen te creëren. Er zou dan weliswaar meer water in de opstelling moeten, maar het zou het afstellen van de laserstralen eenvoudiger maken. Ook zou de bovenkant van de opstelling dicht moeten, zodat er geen risico wordt gelopen dat er water uit de opstelling klotst. Hierdoor zou de stroomsnelheid verhoogt kunnen worden.

6.3.3 Sterkere pomp

Er zou bij een replicatieonderzoek een sterkere pomp gebruikt moeten worden, om de stroomsnelheid te vergroten. Zoals eerder al uitgelegd zou een grotere stroomsnelheid zorgen voor een langere interferentie shift en waarschijnlijk meer verschil in de resultaten tussen de verschillende oplossingen (zie '6.2.3 Stroomproblemen'). Het nadeel van het gebruiken van een sterkere pomp, en dus een grotere stroomsnelheid, is dat de stroming sterker wordt. Een sterke stroming resulteert in de 'bochten' van het watertraject (zie figuur 5) in turbulentie. Als het water niet laminair heeft gestroomd kan dit een invloed hebben gehad op de interferentie shift en de resultaten (Transition And Turbulence, z.d.) (zie ook '2.1 Formules')

De stroming van de pomp kan ook nog efficiënter door het water dat uit de pomp komt de bocht om te leiden (zie figuur 5) door middel van bijvoorbeeld een slang. Hierdoor gaat minder snelheid van de pompen verloren.

6.3.4 Betere camera

Ook zou er een betere camera moeten worden gebruikt met een hogere F.P.S. en een betere videokwaliteit. Dit zou de filmpjes verbeteren, waardoor het analyseren van de metingen gemakkelijker zou zijn. Hierbij zou een sterkere laser ook handig zijn, omdat het interferentie patroon dan feller is. Een ander voordeel aan een sterkere laser is dat deze beter te zien is tijdens het afstellen van de laserstralen, waardoor het afstellen nauwkeuriger kan.

6.3.5 Concentratie zout

Als dit onderzoek gerepliceerd zou worden, zou er van tevoren meer zout geregeld worden. Hierdoor zou de concentratie zout groter kunnen worden gemaakt, en zouden er meer metingen kunnen worden gedaan. Zo zou er in plaats van 15 massaprocent bijvoorbeeld 25 massaprocent zout gebruikt kunnen worden. Dit massaprocentage zout zou nog oplosbaar moeten zijn (Chemie, z.d.). In combinatie met een betere camera, en

duidelijkere metingen, zou er een beter beeld gecreëerd kunnen worden van de invloed van de brekingsindex op de interferentie shift.

6.3.6 Opstelling waterpas

Ook zou de opstelling waterpas worden gezet in plaats van enigszins schuin. Dit zou de problemen met de wisselende waarde van de stroomsnelheid oplossen, aangezien de zwaartekracht geen invloed meer zou hebben op de stroomsnelheid.

6.3.7 Meten van brekingsindex en stroomsnelheid

Bij de berekeningen van dit onderzoek zijn de verschillende waarden van de brekingsindex niet uit onze eigen concentraties gehaald maar uit een ander onderzoek (zie figuur 2). Hierdoor zijn deze waarden niet exact. Bij een replicatieonderzoek zou daarom de waarden van de brekingsindex zelf moeten worden gemeten door middel van een refractometer (Rudolph Research Analytical, Inc, 2022).

Bovendien was het niet mogelijk om de exacte waarde van de stroomsnelheid te bepalen, aangezien er meerdere factoren waren die daarop invloed hadden. In een replicatieonderzoek zou bijvoorbeeld een pitotbuis kunnen worden gebruikt om de stroomsnelheid te meten. Dit is een meetinstrument dat de druk van het water op de buis meet. Met deze informatie kan de stroomsnelheid van het water berekend worden (Editor Engineeringtoolbox, 2024).

6.4. Suggesties voor vervolgonderzoek

In dit volgende stuk wordt er ingegaan op potentiële vervolgstudies.

6.4.1 Verschillende golflengtes

Een logische vervolgstudie na het doen van dit onderzoek is het aanpassen van één van de variabelen. Zo kan bijvoorbeeld de golflengte van het licht als onafhankelijke variabele worden genomen. De afhankelijke variabele zou nog steeds de lengte van de interferentie shift zijn. Om dit experiment uit te kunnen voeren zouden dan verschillende lasers nodig zijn, met verschillende golflengtes, om te kijken welke invloed dit heeft op het verschil in aankomsttijd.

6.4.2 Verschillende stroomsnelheden

Zoals in formules (1) en (2) te zien is, heeft de stroomsnelheid invloed op hoeveel de lichtsnelheid verandert. Deze invloed is lineair, dus als de stroomsnelheid verdubbeld, zou de invloed die het water op het licht heeft ook moeten verdubbelen. Dit kan getest worden.

6.4.3 Andere opgeloste stoffen

Door andere stoffen te gebruiken om de brekingsindex aan te passen, verandert de brekingsindex op een andere manier vergeleken met dit experiment. Zo kan ook gekeken worden naar de invloed van bijv. Suiker, dat de polarisatie van licht draait (Rotating Light — Exploratorium, 2023), op de interferentie shift.

Referenties

- Batchelor, G. K. (2012). *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511800955> (Oorspronkelijk gepubliceerd 2000)
- Brown, D., Hanson, R. M., & Christian, W. (z.d.). Tracker online. Physlets.org. Geraadpleegd op 27 november 2024, van https://physlets.org/tracker/trackerJS/index_ff.html
- Cassini, A., & Levinas, M. L. (2019). Einstein's reinterpretation of the Fizeau experiment: How it turned out to be crucial for special relativity. *Elsevier*, 65, 55–72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1355219816302131#sec8>
- Chemieleerkracht. (2021, 3 mei). Suspensie: zand + water — Chemieleerkracht. <http://chemieleerkracht.blackbox.website/index.php/suspensie-zand-water/>
- Chemistry online @ UTSC. (z.d.). <https://www.utoronto.ca/webapps/chemistryonline/production/refractive.php>
- Constructive Interference. (z.d.). Byjus. <https://byjus.com/physics/constructive-interference/>
- Editor Engineeringtoolbox. (2024, 23 april). Pitot tubes. https://www.engineeringtoolbox.com/pitot-tubes-d_612.html
- Fizeau, M. H. (1851). The Hypotheses Relating to the Luminous Aether, and an Experiment which Appears to Demonstrate that the Motion of Bodies Alters the Velocity with which Light Propagates itself in their Interior. *The London, Edinburgh, And Dublin Philosophical Magazine And Journal Of Science*, 2(14), 568–573. <https://doi.org/10.1080/14786445108646934>
- Fizeau, M. H. (1860). XXXII. On the effect of the motion of a body upon the velocity with which it is traversed by light. *The London Edinburgh And Dublin Philosophical Magazine And Journal Of Science*, 19(127), 245–260. <https://doi.org/10.1080/14786446008642856>
- Fxstageadmin. (2024, 25 april). Laminar Flow: Characteristics of Liquid Glass. Fossil Consulting Services, Inc. <https://www.fossilconsulting.com/blog/power-plant-fundamentals/laminar-flow/>
- Hoeveel water is nodig om zout op te lossen? <https://nl.scienceaq.com/Chemie/100717437.html>
- iPhone 7 - Technical Specifications - Apple Support (LB). (z.d.). Apple Support. <https://support.apple.com/en-lb/111943>
- Jones, R. V. (1972). “ ‘Fresnel Aether Drag’ in a Transversely Moving Medium”. *Proceedings Of The Royal Society A*, 328, 337–352. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.1972.0081>
- Light in the Ocean — manoa.hawaii.edu/ExploringOurFluidEarth. (z.d.). <https://manoa.hawaii.edu/physical/ocean-depths/light-ocean>
- Lloyd, G. E. R. (1968). *Aristotle: The Growth and Structure of His Thought*. Cambridge University Press. Pp. 133 - 139 https://books.google.nl/books/about/Aristotle.html?id=npIldEYqWC&redir_esc=y
- Mads Slot Bertelsen. (2015, 25 januari). A modern take on the Fizeau Experiment [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=oBHBXT5UsJg>
- Ohare, B. (2009, 5 april). File:Fizeau Interferometer.JPG - Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fizeau_interferometer.JPG
- Patel, R., Achamfuo-Yeboah, S., Light, R., & Clark, M. (2014). Widefield two laser interferometry. *Optics Express*, 22, 27094–27101. <https://doi.org/10.1364/OE.22.027094>
- Raveendran, R. (2023, 19 oktober). How does ‘Slow-Motion’ work? ScienceABC. <https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-slow-motion-work.html>
- Refractive Index (Index of Refraction). (z.d.). Nikon's MicroscopyU. <https://www.microscopyu.com/microscopy-basics/refractive-index>
- Rohrlich, F. (1989). *The paradox of the speed of light*. In *From Paradox to Reality* (pp. 52–55). Cambridge University Press. https://books.google.nl/books?id=3TqAl394OVcC&pg=PA52&source=gbs_toc_r&cad=2
- Rotating Light — Exploratorium. (2023, 25 september). <https://www.exploratorium.edu/snacks/rotating-light>
- Rudolph Research Analytical, Inc. (2022, 22 februari). Refractometry - Measuring Refractive Index. <https://rudolphresearch.com/measuring-refractive-index-refractometry/>
- Sensor Partners. (z.d.). Laserveiligheid en laserklasse: hoe zit het? <https://sensorpartners.com/kennisbank/laserklassen-en-laserveiligheid/>
- Spagnolo, G. S., Cozzella, L., & Lecesce, F. (2018). Underwater Optical Wireless Communications. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7219055/pdf/sensors-20-02261.pdf>
- Stein, V. (2024, 29 oktober). What is the speed of light? Space.com. <https://www.space.com/15830-light-speed.html>

Stupar, D. Z., et al. (2012). Remote monitoring of water salinity. *Power Electronics And Motion Control Conference, LS4c.4-5*. <https://doi.org/10.1109/epepemc.2012.6397458>

TeTech. (2022, 20 december). Begrippenlijst antennes en propagatie. <https://www.tetech.nl/begripAP.htm>

Transition and Turbulence. (z.d.). https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/transition.html

Trillingen. (z.d.). <https://natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen.php?video=trillingen>

Two-Slit interference. (z.d.). https://lipa.physics.oregonstate.edu/sec_two-slit-interference.html

Weinstein, G. (2012, april). Albert Einstein and the Fizeau 1851 Water Tube experiment. https://www.researchgate.net/publication/224039918_Albert_Einstein_and_the_Fizeau_1851_Water_Tube_Experiment

Works, W. E. (2024, 6 februari). The Science of Eyeglasses. <https://williamseyeworks.com/the-science-of-eyeglasses/>

7. Figuren & tabellen

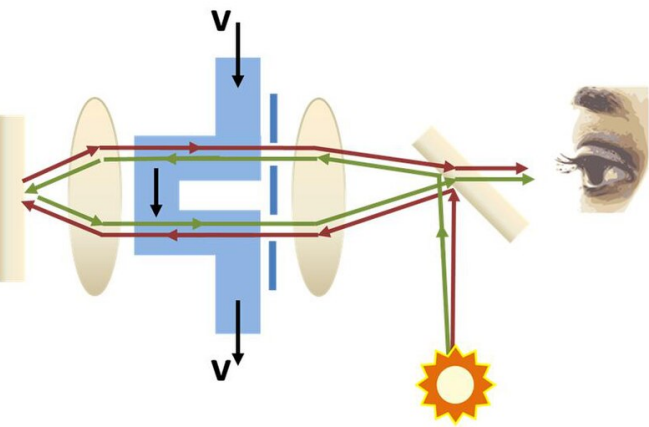


Figure 1: Een versimpelde weergave van het originele Fizeau experiment (Ohare, 2009)

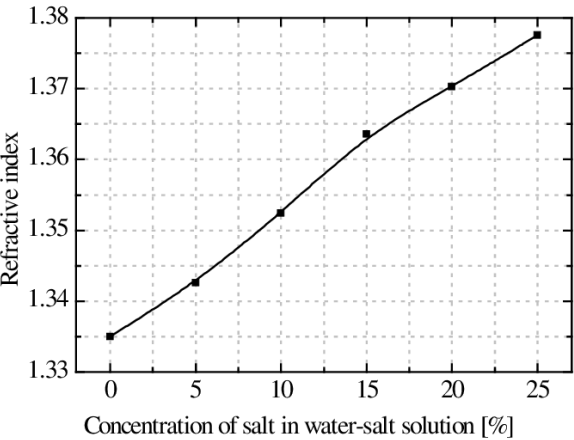


Figure 2: De brekingsindex uitgezet tegen de concentratie zout in een water-zout oplossing (Stupar et al., 2012)

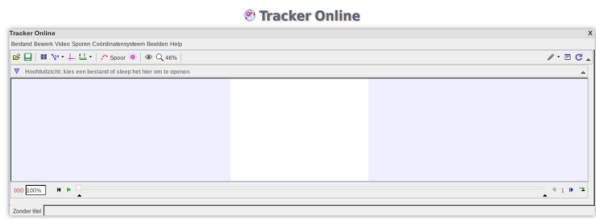


Figure 3: Startscreen Tracker (Brown et al., z.d.)

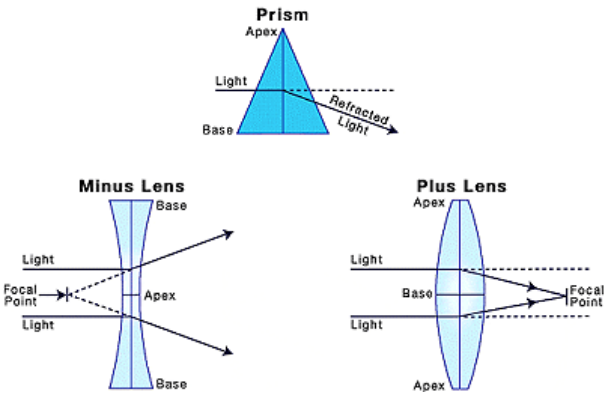


Figure 4: De buiging van licht door lenzen wegens de brekingsindex (Works Works, 2024)

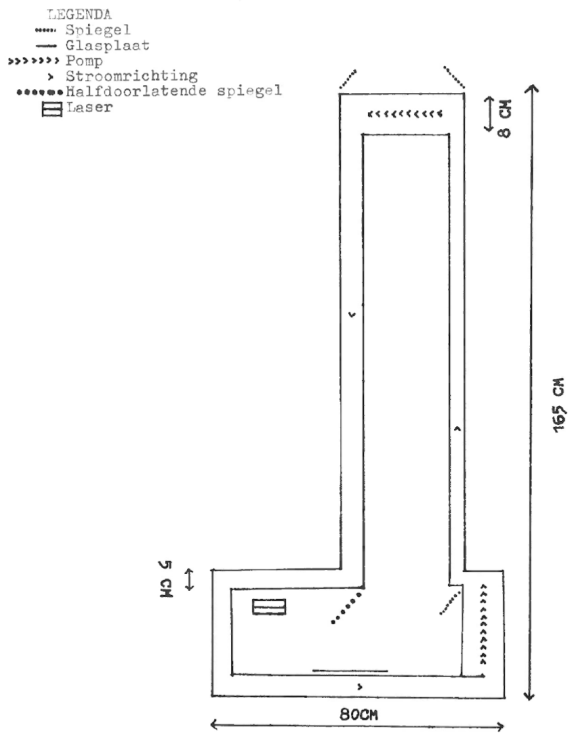


Figure 5: Schematische tekening van de gehele opstelling



Figure 6: Het meettraject en de banen van de lasers

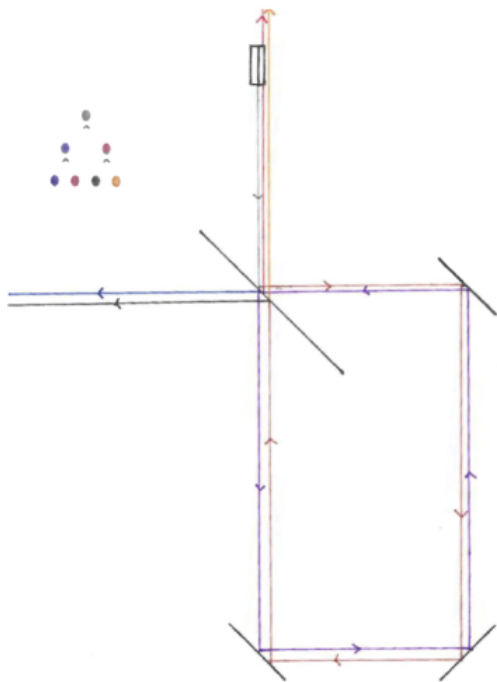


Figure 7: Het effect van de spiegels op de lasers met verkleurde stralen

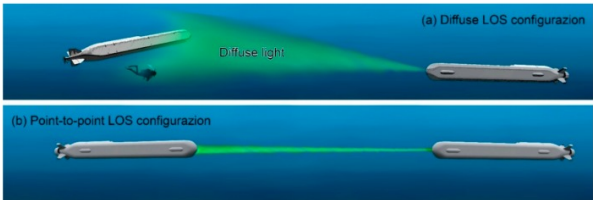


Figure 8: Diffuse communicatie en Punt-tot-punt communicatie



Figure 9: Bovenaanzicht opstelling

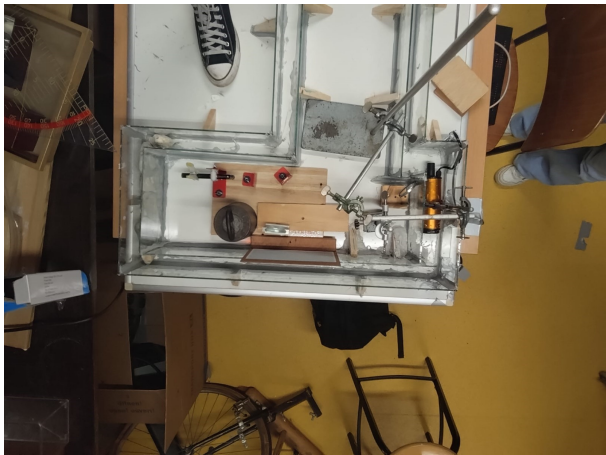


Figure 10: Bovenaanzicht zijkant opstelling

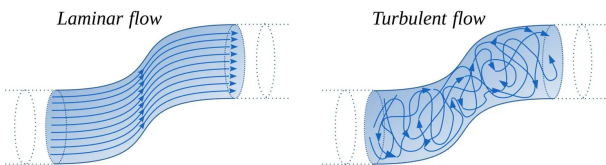


Figure 11: Laminaire en tubulente stroming (Fxstageadmin, 2024)

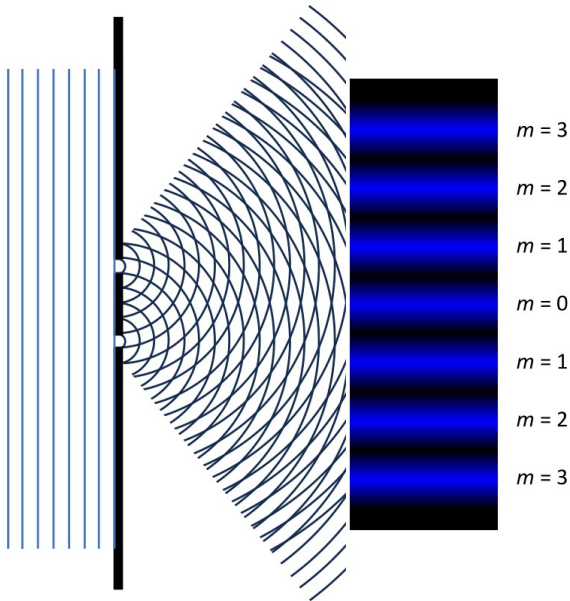


Figure 12: Interferentiepatroon (Two-Slit Interference, z.d.)

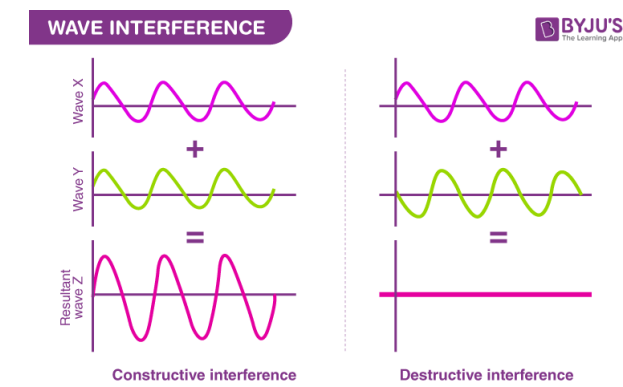


Figure 13: Constructieve en destructieve interferentie (Constructive Interference, z.d.)

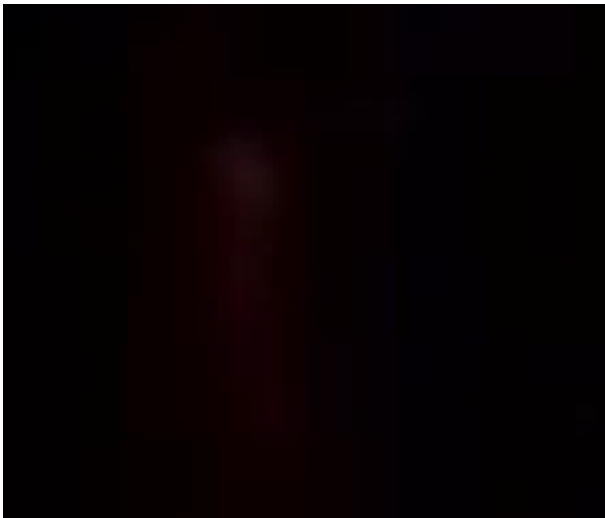


Figure 15: Screenshot meting 13 – 5,40 massaprocent – frame 2428

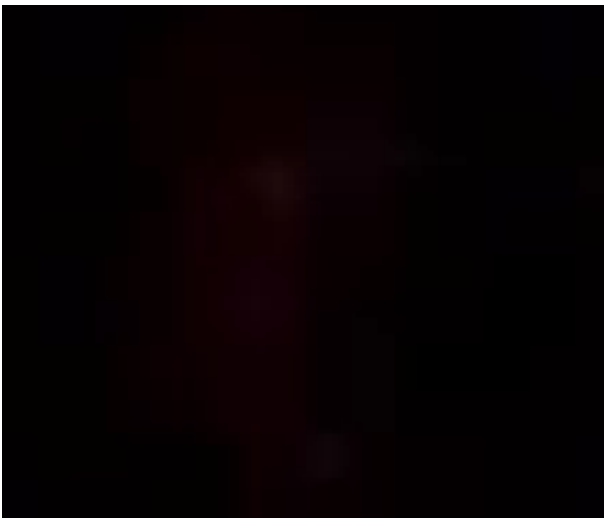


Figure 14: Screenshot meting 13 - 5,40 massaprocent – frame 2416

Table 1: Resultaten van de metingen

Massapercentage zout	Brekingsindex	Gemiddeld verschil in aankomsttijd (#frames)	Gemiddeld verschil in aankomsttijd (ms)
0,00%	1,330	1,75	7,2917
2,70%	1,342	7,30	30,417
5,40%	1,345	9,45	39,375
8,10%	1,350	8,00	33,333

Table 2: De geschatte snelheden van de laserstralen in de meetopstelling

Massapercentage zout (%)	Snelheid W+ (m/s)	Snelheid W (m/s)	Vershil in aankomsttijd (as)
0	225407863,2	225407863,1	7,597123401
2,70	223329293,7	223329293,5	15,46963561
5,40	222884020,9	222884020,8	7,76435421
8,10	222068487,5	222068487,3	15,65465249

Table 3: *Individuele metingen van het experiment*

Massapercentage zout	Brekingsindex	# meting	Begin shift (# frames)	Eind shift (# frames)	Interference shift (s)
0.00%	1.330	1	267	269	0.0083
0.00%	1.330	2	492	495	0.0125
0.00%	1.330	3	630	631	0.0042
0.00%	1.330	4	782	783	0.0042
0.00%	1.330	5	923	924	0.0042
0.00%	1.330	6	1068	1069	0.0042
0.00%	1.330	7	1218	1221	0.0125
0.00%	1.330	8	1373	1374	0.0042
0.00%	1.330	9	1509	1510	0.0042
0.00%	1.330	10	1657	1658	0.0042
0.00%	1.330	11	1790	1791	0.0042
0.00%	1.330	12	1930	1933	0.0125
0.00%	1.330	13	2068	2071	0.0125
0.00%	1.330	14	2214	2216	0.0083
0.00%	1.330	15	2373	2374	0.0042
0.00%	1.330	16	2517	2520	0.0125
0.00%	1.330	17	2661	2664	0.0125
0.00%	1.330	18	2823	2824	0.0042
0.00%	1.330	19	2967	2968	0.0042
0.00%	1.330	20	3105	3107	0.0083
2.70%	1.342	1	292	299	0.0292
2.70%	1.342	2	429	438	0.0375
2.70%	1.342	3	563	588	0.1042
2.70%	1.342	4	690	699	0.0375
2.70%	1.342	5	749	768	0.0792
2.70%	1.342	7	867	873	0.0250
2.70%	1.342	8	931	938	0.0292
2.70%	1.342	10	1170	1174	0.0167
2.70%	1.342	11	1328	1334	0.0250
2.70%	1.342	12	1468	1482	0.0583
5.40%	1.345	1	561	566	0.0208
5.40%	1.345	2	736	743	0.0292
5.40%	1.345	3	808	821	0.0542
5.40%	1.345	4	1202	1214	0.0500
5.40%	1.345	5	1280	1295	0.0625
5.40%	1.345	6	1358	1365	0.0292
5.40%	1.345	7	1729	1733	0.0167
8.10%	1.350	1	1404	1410	0.0250
8.10%	1.350	2	2048	2057	0.0375
8.10%	1.350	3	4058	4060	0.0083
8.10%	1.350	4	4175	4181	0.0250
8.10%	1.350	5	4238	4241	0.0125
8.10%	1.350	6	4305	4310	0.0208
8.10%	1.350	7	4374	4392	0.0750
8.10%	1.350	8	4445	4448	0.0125
8.10%	1.350	9	4509	4512	0.0125
8.10%	1.350	10	4575	4583	0.0333

De relatie tussen de juridische behandeling van slaven en het stoïcisme in de tijd van de heerschappij van Marcus Aurelius

S. Korte ¹, L.A.H. Snippe ², L. Blommers ³, A.A. Ten Cate ³, B. de Haan ¹ & B. Bollen ²

¹ *Het Stedelijk College Zuid, Enschede*

² *Pius X College, locatie Aalderinkshoek, Almelo*

³ *Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – In this paper the following question will be answered: To what extent is there a link between the legal treatment of slaves and Stoicism during the reign of Marcus Aurelius? To get to the conclusion, arguments are collected from 7 different sources. These sources and arguments have been analysed to substantiate or refute them. Our results showed that there were multiple legal changes made during the reign of Marcus Aurelius which seemed to reflect the ideals of stoicism. Still there were many other factors which seemed to disprove a causal relationship between these factors. These results conclude that there is no clear evidence behind the implication that stoicism was the direct reason for the changes Marcus Aurelius made to the laws of the Roman Empire while he was emperor. It does have to be taken into account that this research was limited such as the fact that there have not been many studies on this topic yet, so there were a limited number of sources to analyse and a limited amount of information to form a conclusion on. Furthermore, due to limited resources, there was no access to all of the same sources as other reviews on this topic have had. This information could have been crucial to the validity of the conclusion of this research. To improve further studies, good advice would be to ensure that the research team has the resources necessary to have access to all available information on this topic, since that was not the case with this paper.

1. Begrippenlijst

Internen: Zaken waar je als mens invloed op hebt (bijvoorbeeld je acties en reacties) (Stoa, 2021). **Externen:** Zaken waar je zelf geen invloed op hebt (denk aan het weer of het gedrag van anderen) (Stoa, 2021). **Volmaakt redelijk mens:** Een persoon die aan alle stoïcijnse deugden voldoet en zich op internen (en niet externen) focust (Brouwer, 2011).

Rescript: een schriftelijk antwoord van een Romeinse keizer of van een paus op een juridisch onderzoek of verzoekschrift (In Merriam-Webster Dictionary. (z.d.)). **Fideicommissum:** Wanneer een persoon ervoor kiest bij zijn dood de vrijheid van zijn slaven niet te bepalen, en deze keuze daarmee nalaat aan een familielid (Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos, 2014).

Adictio bonorum: Wanneer een slaaf zijn vrijheid krijgt na het overlijden van zijn eigenaar, omdat dit in zijn testament stond (Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos, 2014).

Humanitas: Werd gebruikt als een morele standaard om de behandeling van slaven menselijker te maken. Hoewel het geen bindend juridisch principe was, fungeerde het vaak als een ethische richtlijn voor magistraten en meesters. Zo werden praktijken zoals excessieve mishandeling ontmoedigd vanuit het idee dat alle mensen, inclusief slaven, waardigheid verdienen (Giltaij, 2011b).

Favor/Ius libertatis: Een juridische tendens in het Romeinse recht om in twijfelgevallen voor de vrijheid van de slaaf te kiezen. Dit principe werd vaak toegepast bij het interpreteren van wetten en regels om de bevrijding van slaven mogelijk te maken, zelfs als de strikte lezing van de wet dat niet toestond (Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos, 2014).

Natuurlijk recht/natuurrecht: Een begrip zonder een con-

crete betekenis maar het is beschreven als: “datgene wat de natuur alle wezens heeft geleerd”. Of volgens stoïcijnse begrippen: “wat altijd goed en rechtvaardig is” (Waerdt, 1994, p.4892).

Natuurlijke rede: Een Stoïcijns principe waarbij de rationele basis met menselijke wetten en de natuur wordt verbonden (Waerdt, 1994).

Manumissie: het vrijlaten van een slaaf (Manumissie - 5 Definities - Encyclo, z.d.).

2. Introductie

Filosofie is in de klassieke oudheid een belangrijk concept geworden. Onder geleerden nam de interesse in dit onderwerp toe en ook waren er enkele keizers die openlijke filosofisch waren. Een van deze keizers was Marcus Aurelius die bekend staat om zijn interesse in het stoïcisme. Het is echter nog niet bekend of, en in welke mate, filosofie een directe invloed kon hebben op het recht, doordat er is hier nog maar weinig onderzoek naar is geweest. Met dit onderzoek willen wij dit gat in de kennis dus gaan vullen door het verband tussen het stoïcisme en de juridische behandeling van slaven te onderzoeken, in de tijd van Marcus Aurelius. De onderzoeksvraag van deze paper luidt dan ook als volgt: ‘In hoeverre is er een verband tussen de juridische behandeling van slaven en het stoïcisme tijdens de heerschappij van Marcus Aurelius?’ In dit onderzoek ligt de focus daarbij voornamelijk op het beeld rondom slavernij in specifiek de jaren 161 tot 180, waarin Marcus Aurelius heerste (Koops, 2024). Hierbij wordt er gekeken in hoeverre dit mensbeeld en de daaruit volgende rechtsaanpassingen een verband kunnen hebben gehad met het stoïcisme. Om de onderzoeksvraag te beantwoorden, moet er eerst onderzoek gedaan worden naar het stoïcisme en naar Marcus Aurelius om context over het onderwerp te creëren. Deze context kan dan wor-

den toegepast bij het bestuderen van bronnen over de Romeinse wetten rondom slavernij en hun eventuele verbanden met het stoïcisme. Met behulp van deze bronnen kan vervolgens een zo concreet mogelijk antwoord gegeven worden op de onderzoeksvraag.

3. Theoretisch kader

3.1. *Het stoïcisme*

3.1.1 Ideeën

Het belangrijkste kenmerk van het stoïcisme is dat het een praktische filosofie is. Dit houdt in dat het niet alleen een manier van denken is, maar ook een filosofie die mensen kunnen toepassen op het dagelijks leven. Het stoïcisme is bedacht als een soort houvast dat je toe kan passen in het dagelijks leven, zodat je een gelukkiger leven kan leiden, en je je niet onnodig pijn laat doen door externe factoren (Stehouwer, 2023). Het is om die reden een filosofie die mensen toepassen op een manier die voor hen het beste werkt. Veel mensen sluiten zich dan ook aan bij het stoïcisme voor zelfhulp of omdat ze zich in een moeilijke situatie bevinden. Het stoïcisme is namelijk een filosofie die door iedereen toegepast kan worden, ongeacht je geloofsovertuiging of sociale stand. Dit betekent dus ook dat in de ogen van een stoïcijn iedereen gelijk is, aangezien ieder mens namelijk het vermogen heeft om rationeel na te denken (Brouwer, 2011). Uit dat beeld van gelijkheid, volgt dan ook dat stoïcijnen het belangrijk vinden dat ze hun kennis delen met anderen. Iedereen verdient het namelijk om een kans te krijgen voor het bereiken van geluk en door kennis te delen met anderen, wordt de deur die naar een gelukkig leven leidt geopend.

Stoïcijnen zijn gefocust op het rationeel waarnemen van bepaalde gebeurtenissen en er logisch op reageren. Zij vinden dan ook dat alles wat er gebeurt objectief is en dat jouw eigen gedachten en eerdere ervaringen ervoor zorgen dat je die gebeurtenissen als goed of slecht interpreteert. Als jij de gebeurtenis dan slecht maakt in jouw hoofd, zou je het (volgens stoïcijnse principes) met hetzelfde gemak ook als goed kunnen zien. Volgens de stoïcijnse denkwijze zijn tegenslagen en obstakels dan ook niet een negatief iets, maar juist een kans om te groeien als persoon door ze te overkomen (Wat is het Stoïcisme?, 2021a).

Omdat het stoïcisme zo'n grote focus legt op het vinden van het eigen geluk, zijn stoïcijnen over het algemeen niet zo gefocust op anderen. Een stoïcijn focust zich alleen maar op internen en niet op externen. Er zijn echter twee uitzondering waarbij de focus van een stoïcijn niet op zichzelf ligt. De eerste uitzondering is het ouderschap. Als een stoïcijn kinderen krijgt, verricht hij of zij wel gewoon de gedragscorrecties die andere ouders ook zouden uitvoeren. Hierbij focust de stoïcijn zich dus niet meer alleen op zijn of haar eigen gedrag, maar ook op dat van hun kind(eren). De tweede situatie waarbij de stoïcijn de focus op een ander legt, is bij het voorkomen van een volmaakt redelijk mens. Dit zijn mensen die de vier stoïcijnse deugden perfectioneerd hebben en ze constant toepassen in hun eigen leven (Brouwer, 2011). Deze stoïcijnse deugden zijn wijsheid, moed, rechtvaardigheid en zelfbeheersing (Robin, 2024b). Volmaakt redelijke mensen worden gezien als de perfecte stoïcijnen en kwamen vrijwel nooit voor omdat het ontzettend moeilijk was

om er een te worden.

Als je een volmaakt redelijk mens was, had je volgens de stoïcijnse denkwijze ook eudaimonia bereikt (Stoa, 2020d). Eudaimonia is het stoïcijnse en Aristotelisch begrip voor wat in hun ogen geluk is. Het is niet helemaal hetzelfde als het geluk waar mensen normaal gesproken van spreken, want het is alleen te bereiken als je aan alle stoïcijnse deugden voldoet (Stoa, 2020d). Het gaat bij eudaimonia niet om het onderdrukken van je emoties. In plaats daarvan gaat het om het proberen je emoties controle te houden en je er niet door te laten beheersen (Stoa, 2021).

Een ander belangrijk onderwerp in het stoïcisme is *Memento mori*. *Memento mori* wordt vertaald naar 'gedenk te sterven' (Y. Visser, 2023). Hiermee wordt geïmpliceerd dat het goed is om na te denken over je dood. De stoïcijnen deden dit met een vrij positieve inkijk. Door na te denken over hun dood en hoe dichtbij die eigenlijk kan zijn, kreeg hun leven namelijk meer betekenis. Maak nu het beste van je leven en laat je niet beïnvloeden door externe zaken, want het leven kan je snel uit de vingers glippen. Om deze reden zijn materiële eigendommen, prestaties en macht ook niet zo veel waard voor stoïcijnen. Volgens hen blijft het individuele nabestaan toch maar een paar generaties en word je daarna vergeten (Stoa 2021a).

Naast *Memento mori*, is er nog een andere vrij negatieve denkwijze die de stoïcijnen toepassen: *premeditatio malorum*. Tegenwoordig wordt deze denkwijze regelmatig bij therapie gebruikt, waar het 'negatieve visualisatie' wordt genoemd. Dit houdt in dat je in je hoofd al uitstippelt hoe bepaalde situaties fout kunnen gaan, zodat je hierop voorbereid bent en er rekening mee kan houden (Stoa 2021a).

3.1.2 Belangrijke figuren

Binnen het stoïcisme zijn er een aantal belangrijke figuren geweest. Van Zeno van Citium (de stichter van de filosofie) (Stoa, 2021) tot Marcus Aurelius. De stoïcijnen zijn op te delen in twee groepen: de Oude Stoa en de Jonge Stoa (Stoa, 2021). In dit onderzoek wordt de focus op de laatste van de twee gelegd, aangezien Marcus Aurelius deel uitmaakte van deze groep. Het is zelfs zo dat Marcus Aurelius één van de drie grote gezichten van de Jonge Stoa is, samen met Seneca en de slaaf-filosoof Epictetus (Stoa, 2021). Deze drie filosofen worden op een voetstuk gezet door de stoïcijnen die na hun kwamen, omdat zij toegevoegd hebben aan de toepasbaarheid van het stoïcisme op het dagelijks leven. Aurelius, Seneca en Epictetus hebben ervoor gezorgd dat het stoïcisme is uitgebloeid tot niet alleen meer een filosofie om bij stil te staan, maar ook om toe te passen in de praktijk (Visser, 2024).

Marcus Aurelius staat niet in verband tot Seneca, maar was wel erg geïnspireerd door Epictetus en zijn opvattingen (Stoa, 2021a). De focus in dit onderzoek ligt echter niet bij hem noch bij Seneca. Het voornaamste belangrijke figuur dat in dit onderzoek aan bod komt, is namelijk Marcus Aurelius zelf.

3.2. Rechtstelsel

3.2.1 Keizertijd

Degene die de wetten opstelde waren de senaat met daarin de keizer. De keizer had hierin meer macht dan de gemiddelde raadsleden in de senaat. De gemaakte wetten waren in de Romeinse tijd wel vergelijkbaar met richtlijnen, ze werden door juristen allemaal op andere wijzen geïnterpreteerd en kregen hierdoor dus een eigen invulling tijdens verschillende juridische zaken (Stoicism and Roman Law, 2015).

Er was in het antieke Rome ook niet, zoals dat in veel van de westelijke landen lijkt te zijn, een scheiding tussen uitvoerende, wetgevende en rechterlijke macht. De keizer voerde afwisselend al deze taken uit wanneer dit uitkwam (Stoicism and Roman Law, 2015). Een keizer kon in verschillende vormen zijn kijk op een juridische zaak opschrijven, bijvoorbeeld in de vorm van een rescript. Hierin zou staan wat hij als uitkomst zou willen van het proces en hoezo. Deze geschriften konden in lijn zijn met de wet, maar ook uitzonderingen maken en op deze manier tegen de wet in gaan (Stoicism and Roman Law, 2015).

3.3. Marcus Aurelius

3.3.1 Filosofie

Marcus Aurelius is een keizer die zijn leiderschap graag wilde combineren met zijn filosofische bezigheden. De regeringswijze van Marcus Aurelius sloot dan ook aan bij de stoïcijnse principes. (Stoa 2021a). Dit is terug te vinden in onder andere het feit dat hij de problemen in het rijk op een rationele manier oploste. Ondanks dat hij geen keizer wilde zijn, besloot Marcus Aurelius er het beste van te maken, omdat hij zich bewust was van het feit dat hij er geen controle over had. Met andere woorden: keizer zijn was een externe zaak waar hij geen controle over had. Ook was Marcus Aurelius van mening dat keizerschap er helemaal niet toe deed. Alles wat te maken heeft met roem of nageslacht was namens hem niet belangrijk. Uiteindelijk zou je namelijk sterven en dan zou het allemaal vergeten worden (Stoa 2021a). Dit is een voorbeeld van het stoïcijnse *Memento mori*.

Verder vond Marcus Aurelius dat elke situatie niet van zichzelf goed of slecht is, maar dat het je persoonlijke interpretaties zijn die het als negatief of positief definiëren. Als je een situatie dus als negatief beschouwt, zou je met hetzelfde gemak kunnen beslissen dat het toch positief is (Stoa 2021, p4). Aurelius verwoordt dit als volgt: "Choose not to be harmed, and you won't feel harmed. Don't feel harmed and you haven't been" (Paquette, 2018, p3). Dit is wederom een heel stoïcijnse instelling.

Een laatste opvatting van Marcus Aurelius was dat mensen in harmonie moesten leven (Stoa 2021a). Hij vond het namelijk belangrijk dat mensen vriendelijk bleven en geen ruzie maakten. In zijn persoonlijke notities schreef hij (naar het Engels vertaald): "What harms the swarm, also harms the bee" (Stoa 2020, p2). In andere woorden: wat de bevolking kwaad doet, benadeelt ook het individu dat deel uitmaakt van die bevolking.

3.3.2 Als keizer

Marcus Aurelius heeft bijna twintig jaar over het Romeinse Rijk geregeerd, namelijk van het jaar 161 tot het jaar 180, wanneer hij overleed onder natuurlijke omstandigheden (Stoa, 2021a). Hij heeft tijdelijk samen geregeerd met Lucius Verus, een man die bijna volledig verschilde van Aurelius qua karakter en veel minder interesse had in zijn verantwoordelijkheden als keizer. (Lucius Verus en Zijn Keizerschap - Militair.net, 2020). In het jaar 169 stierf Verus echter vroegtijdig (vermoedelijk aan een beroerte) en regeerde Marcus Aurelius in zijn eentje verder (Lucius Verus, z.d.). Ondanks dat Marcus Aurelius eigenlijk zijn gehele keizerschap uitdagende situaties heeft moeten doorkomen (in de vorm van oorlogen, veldslagen en zelfs ziekte) en vele moeilijke beslissingen heeft moeten maken, werd hij wel gezien als een van de vijf 'goede keizers' van het Romeinse Rijk. Dit was ook precies het doel van Aurelius; hij wilde zowel het rijk als zichzelf verbeteren tijdens zijn bestaan. Marcus Aurelius regeerde volgens stoïcijnse principes, wat betekent dat hij zich richtte op interne zaken en niet op externen, waar hij geen invloed op had. De keizer-filosoof legde de focus voor zichzelf op het accepteren van externe zaken en er daarna op te reageren met wijsheid, terughoudendheid en gematigdheid (Stoa, 2021a).

3.4. Juridische behandeling slaven

3.4.1 Ius liberatis

Het *ius liberatis* was de algemene wet om vast te stellen of iemand een slaaf of een vrije burger was. Als je de status *liberatis* had was je een vrije burger was. Zo niet dan was je een tot slaaf gemaakte of iemand die geen burger was van het Romeinse Rijk (Giltaij, 2011). In sommige gevallen werden slaven gezien als mensen, maar in andere ook als de 'levende dood' (Bradley, 1994.) Slaven zijn altijd een groot deel van het Romeinse rijk geweest.

Dat slavernij een grote maatschappelijke en economische rol had, betekende echter niet dat de Romeinen het als iets eerlijks zagen. Door Bradley (1994, p.134) werd dit beschreven als volgt: "An institution of the law of nations, whereby someone is against nature made subject to the ownership of another." Slavernij werd dus door de Romeinen niet gezien als iets natuurlijk maar toch toegepast.

3.4.2 Ontwikkelingen

Onder geleerden is het algemeen geaccepteerd dat de omstandigheden voor slaven door de eeuwen in het Romeinse rijk, vooral tijdens de keizertijden, verbeterden. Voor filosofen waren een aantal van deze verbeteringen meer steun betonen aan slaven en ook het verbeteren van hun leefomstandigheden (Bradley & University of Victoria, 1994).

Toch is dit zeker niet te overschatten want voor hoever bekend, waren slaven totaal eigendom van hun meester. In de meeste gevallen konden ze zelf niet naar een rechter stappen als hen iets overkomen was. Omdat zaken als verkrachting of mishandeling juridisch vaak niet behandeld werden, is het totaal onbekend hoe grote schaal dit gebeurde. Uit gevonden documenten blijkt dat meerdere soorten krenkingen niet iets uitzon-

derlijk waren (Bradley & University of Victoria, 1994).

Er zijn enkele situaties waarvan gezegd wordt dat slaven een oproep op het recht konden doen: Extreme vormen van mishandeling, castratie (al dan niet door een meester zelf), of bij een vrijheidsproces. (Buckland, 2010). Dit laatste punt is echter wel een uitzondering. Er is maar weinig concreet bekend over hoe vrijheidsprocessen uitgevoerd werden. Er is een variant van het proces bekend die ooit in het rijk toegepast werd. Tijdens het bestaan van het rijk is er ook nog een nieuw proces geïntroduceerd. Echter is het niet bekend wanneer dit nieuwe proces gebruikt werd maar ook niet wat ze beide precies inhielden (Giltaij, 2011b).

4. Methode

4.1. Aanpak

Er worden bronnen verzameld die informatie geven over dit onderwerp.

Het verband dat wij gaan onderzoeken is: is er een verband tussen de juridische behandeling van slaven en het stoïcisme, tijdens de heerschappij van Marcus Aurelius.

Eerst wordt een overzicht gemaakt van alle argumenten uit de verzamelde bronnen die voor of tegen het verband zijn. Daarnaast wordt van neutrale informatie een overzicht gemaakt.

Hierop volgt de analyse van de bronnen en de argumenten. Hier valt onder het controleren van de validiteit van de argumenten en of er inconsistenties zijn tussen argumenten van verschillende bronnen. Na de totale analyse worden tenslotte de gecorrigeerde argumenten samengevat. Hierin is terug te zien welke benaderingen veel voorkomen onder de argumenten, en welke volgens dit onderzoek het betrouwbaarst zijn. Elk onderdeel van de methode wordt in detail uitgewerkt in de rest van de methode.

4.2. Zoekopdrachten

4.2.1 Bronnen

De bronnen zijn gevonden via:

- Google
- Google Scholar
- JSTOR
- Uit bibliografieën van vergelijkbare literatuur reviews, of van papers die van toepassing zijn op dit onderzoek (snowballing)

4.2.2 Zoektermen

De zoektermen die zijn gebruikt om relevante bronnen te vinden zijn; Marcus Aurelius en slaven recht, Marcus Aurelius slaves jurisprudence, stoicism and Roman law, Marcus Aurelius slaves, Roman law slavery.

4.2.3 Criteria

De criteria bij het uitzoeken van de bronnen was dat deze van een universiteit of een wetenschappelijk instituut moesten komen. Er is geen minimaal aantal citaten gesteld die een pa-

per moet hebben. Er zijn maar weinig onderzoeken gedaan over dit onderwerp, waardoor het niet te bepalen is hoeveel citaten nodig zijn voor een onderzoek om betrouwbaar te zijn.

Daarnaast zijn de bronnen die geanalyseerd zijn in dit onderzoek geen literatuur reviews.

Dit onderzoek is zelf al een literatuur review, als de gebruikte bronnen andere literatuur reviews gebruiken zou het betekenen dat dit onderzoek een review wordt van een review.

Andere reviews zijn enkel gebruikt om bronnen te vinden die wel bruikbaar waren voor dit onderzoek (snowballing).

In de discussie wordt de conclusie van deze paper vergeleken met die van twee andere literatuur reviews. Hierbij wordt gekeken naar wat de verschillen en overeenkomsten hiertussen zijn en hoe verschillen kunnen zijn ontstaan. Dit is om de validiteit van deze paper en die van vergelijkbare reviews te bevorderen.

4.3. Overzicht Argumenten

4.3.1 Informatie samenvatten

Eerst is alle informatie uit de papers met de volgende vragen samengevat:

1. Wat is het onderwerp?
2. Welke kernbegrippen staan centraal en hoe worden deze begrippen gedefinieerd?
3. Wat zijn de resultaten en de conclusies van het onderzoek en hoe is deze paper van toepassing op dit onderzoek?
4. Voegt het onderzoek informatie toe/is neutraal, is het voor of tegen een verband tussen het stoïcisme en de wetten rondom slaven.
5. Wat zijn de gegeven argumenten in het onderzoek?
6. Hoe vaak zijn de bronnen geciteerd en in wat voor schriften zijn ze gepubliceerd?

Uit deze vragen ontstaat een beeld waar alle bronnen over gaan. Dit gehele overzicht zal niet in het onderzoek geplaatst worden. De antwoorden van deze vragen worden gebruikt om in de volgende stappen.

4.3.2 Overzicht argumenten

Eerst wordt er een overzicht gegeven van neutrale informatie die van toepassing is bij het beantwoorden van de onderzoeksvraag.

Dan wordt er een overzicht gemaakt van alle voor- en tegenargumenten.

Deze informatie is afkomstig van vraag 6 van de samengevatte informatie.

4.4. Analyse

4.4.1 Bronnen

De bronnen worden beoordeeld op de volgende punten; hoe vaak is er in andere onderzoeken naar deze bron verwezen, door welk instituut is het uitgegeven, in wat voor schrift is deze

gepubliceerd?

Hoe vaker bronnen zijn geciteerd hoe betrouwbaarder deze worden aanschouwd. Als een instituut is uitgegeven door een universiteit, word het als betrouwbaarder beschouwd dan een wetenschappelijk instituut. Het beantwoorden van deze vraag wordt gedaan door middel van de antwoorden op vraag 6.

4.4.2 Argumenten

De argumenten worden beoordeeld op de volgende punten; zijn de argumenten consistent (kunnen er tegenargumenten gevonden worden om het argument te ontcrachten of lijkt er geen cherry picking te zijn toegepast), zijn er argumenten in verschillende papers die elkaar tegenspreken? Is bij deze tegenspraak de ene paper schijnbaar betrouwbaarder dan het ander? Of is de informatie waarop het ene argument gebaseerd is sterker dan dat van het andere argument?

Als weerlegging kunnen dus ook enkele argumenten herhaald worden, die gegeven zijn in het overzicht. Dit betekent dus dat enkele voor en tegen argumenten uit het overzicht elkaar tegenspreken en onderzocht wordt welke aannemelijker is. Hierbij wordt benoemd of het ene argument betrouwbaarder is dan het ander, of dat twee argumenten beide betrouwbaar overkomen maar elkaar tegenspreken.

Als er bij argumenten geen inconsistentie of bijzonderheden wordt gevonden, worden deze niet verder benoemd in de analyse.

De analyse wordt gedaan met de antwoorden op vragen 2, 3 en 4 van het tussenkopje “sorteren”.

4.5. Samenvatting gecorrigeerde argumenten

Vervolgens worden de gecorrigeerde argumenten kort samengevat. Hierin wordt benadrukt welke benaderingen door veel argumenten ondersteund worden. Tevens wordt ook benoemd welke argumenten weerlegd zijn en welke benaderingen hierdoor minder aanvaardbaar lijken. Hieruit komt dan een overzicht met informatie die aan de hand van dit onderzoek het meest betrouwbaar is. Dit is belangrijk voor de lezer om te kunnen zien op welke informatie de conclusie van deze paper is gebaseerd in een korte samenvatting.

5. Resultaten

Uit het onderzoeken van 7 bronnen zijn 6 neutrale punten gevonden, 15 argumenten voor een verband en 21 argumenten tegen een verband.

5.1. Overzicht

5.1.1 Overzicht neutrale informatie

De slavernij was een cruciaal onderdeel van de Romeinse cultuur en economie. Slaven waren ook voor Romeinen een symbool van macht en status. Als iemand slaven had, hadden zij bijvoorbeeld ook vermogen (Bradley, 1994). Omdat slaven in de Romeinse maatschappij van zo’n belang waren, zou het afschaffen hiervan zelfs nog buiten een keizer liggen (Brunt, 1998). Het was geen optie dat ze zouden verdwijnen vanwege

de schade die het zou hebben voor het rijk zou doen.

De vrijlatingen van slaven (manumissies) gebeurde wel, echter was dit eerder een uitzondering dan een regel (Bradley, 1994). Het was een proces dat sterk gereguleerd werd door wetten en het hing vaak af van de meester en zijn houding naar het proces, hoe dit verliep. (Bradley, 1994)

Er zijn juridische notities gevonden uit de keizertijd van Marcus Aurelius die slaven enige bescherming boden. Dit was bescherming die door een jurist werd verleend tegen bijvoorbeeld mishandelingen. Dit soort bescherming was echter afhankelijk van een jurist zijn persoonlijke benadering van het recht. Er is weinig concreet bewijs dat er wetten voor het gehele rijk golden die bescherming moesten bieden aan slaven (Giltaij, 2011b).

Daarnaast zijn ook casussen gevonden die het toepassen van het favor libertatis uitgebreid behandelen. Er is geen twijfel dat dit principe ook toegepast werd door Marcus Aurelius zelf. (Giltaij, 2011b)

In het Romeinse keizerrijk was filosofie een gewaardeerd concept onder geleerden. Naast het stoïcisme waren er nog andere principes en stromingen die opbloeden, zoals humanitas. Het is een begrip dat veel overeenkomsten heeft met het stoïcisme maar hoorde origineel niet bij deze stroming. Humanitas houdt in; menselijkheid, gemeenschap en het aardig zijn voor elk ander (Giltaij, 2011b).

5.2. Argumenten voor en tegen

5.2.1 Overzicht van de argumenten die zijn gegeven voor het statement:

Filosofie ideeën Volgens Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos (2014) had Marcus Aurelius zijn stoïcijnse rechtvaardigheid stand gehouden boven het formele rechtssysteem dat er in het Romeinse Rijk heerste. Volgens de Stoïcijnen is rechtvaardigheid iets waar ieder mens recht op had, waaronder slaven (Brunt, 1998).

Volgens het stoïcisme was ook het houden van een ander mens als een slaaf niet juist, want het ging in tegen het natuurrecht. Een recht waarmee elk mens geboren was. Het natuurrecht heeft elk mens omdat elk mens het vermogen heeft om rationeel na te denken. Volgens stoïcijnen maakt het vermogen om dit te doen je gelijk aan alle andere mensen. (Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos, 2014)

In het filosofische werk “De meditatie” van Marcus Aurelius komt er maar weinig terug over hoe mensen met elkaar om moeten gaan, maar het is niet afwezig. Een enkele citaat die hierin stond, luidt vertaald naar het Engels als volgt: “No one grows tired of receiving benefits, and an act in harmony with nature is its own benefit. Do not grow tired of the benefits you receive by benefitting others” (Stanton, 1969, p.578). Deze passage word door Stanton (1969) geïnterpreteerd dat Marcus Aurelius het in harmonie met de natuur vond om anderen te helpen. Dan zou hij met zijn macht als keizer ook de zwakkere in zijn rijk willen helpen.

Marcus Aurelius en het recht Er zijn zo'n 324 wetsteksten teruggevonden van Marcus Aurelius. Ongeveer de helft hiervan ging over de zwakkere in de samenleving: slaven, kinderen en vrouwen. Ongeveer 60 van de wetteksten gingen specifiek over slaven. Er was een terugkomend fenomeen. Bijna alle teksten waren voor de vrijlating van slaven (Stanton, 1969). Dit kon zelfs ten koste gaan van hun eigenaren. Dit fenomeen heet *favor libertatis*. In het rechtssysteem in Rome gold het algemeen gezegde: "The judicial wishes of emperors made new law". (Brunt, 1998, p.146). Dit hield in dat er geregeerd zou worden als da ten keizer zou.

Marcus Aurelius vond dat het rechtssysteem "logisch" moest verlopen. Er mochten geen onnatuurlijke of, zo genoemde, rare uitkomsten in een juridische situatie opdoen (Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos, 2014, p.13). Zelf heeft Marcus Aurelius ook voortgebouwd op een al ingesteld systeem in het slavenrecht. Dit was gebaseerd op een van zijn voorgangers, genaamd Pius. Hierdoor kon een slaaf, als hij ooit volgens het testament van zijn meester vrijgelaten zou worden maar dit vervolgens teruggedraaid werd, alsnog zijn vrijheid terugkrijgen. (Brunt, 1998, p.145).

Gebaseerd op het feit dat Marcus Aurelius een groot voorstander was van *favor libertatis*, denkt Noyen (1955, p.378) ook dat Marcus Aurelius zijn ultieme doel was om slavernij af te schaffen. Daarnaast stelt Noyen dat het feit dat Aurelius stoïcijns was ervoor gezorgd dat het Romeinse rechtssysteem er ver op vooruit is gegaan in zijn tijd. Hierbij wordt verwezen naar een versterkte ontwikkeling van gelijkheid en een toegenomen bescherming van slaven.

Invloed op het recht Marcus Aurelius heeft voor slaven meerdere positieve aanpassingen gedaan aan een wet voor slaven. Bijvoorbeeld, werd vastgelegd dat slaven geëxecuteerd moesten worden als hun eigenaar vermoord was en het niet duidelijk was dat de slaaf onschuldig was of een poging had gedaan om hun meester te redden. Door de verandering aan de wet kon een slaaf vrijgesproken worden als hun meester op zijn sterfbed had gezegd dat de slaaf niets verkeerd had gedaan. (Brunt, 1998). Nog een aanpassing was dat Marcus Aurelius slaven het recht gaf om hun eigenaar te ontzeggen als er een testament onderdrukt werd waarin de slaaf zijn vrijheid werd toegekend (Brunt, 1998, p.147). Ook zou hij een regel ingesteld hebben waarbij een slaaf vrijheid zou krijgen als het hem beloofd was, bijvoorbeeld als dit in een testament had gestaan (Noyen, 1955).

In de tijd van Marcus Aurelius kwam *favor libertatis* vaker voor dan in de periodes ervoor stelt Giltaij (2011). Er wordt gezegd dat het idee van natuurrecht (*ius naturale*) een mogelijke inspiratiebron was voor enkele juridische concepten, zoals vrijheid en gelijkheid. Dit zou de basis kunnen zijn geweest voor Marcus Aurelius om *favor libertatis* vaker toe te passen (Giltaij, 2011b).

5.2.2 Overzicht van de argumenten die zijn gegeven tegen een verband:

Filosofie was persoonlijk Zoals in het theoretisch kader is benoemd, is het stoïcisme een persoonlijk begrip en kunnen

mensen het toepassen in het leven op de manier die voor hen het beste werkt (Stehouwer, 2023). Dit gold ook voor Marcus Aurelius. In het bronnenonderzoek kwam naar voren dat er een mogelijkheid is dat de keizer-filosoof het stoïcisme niet gebruikte als basis voor zijn wetgevingen, maar juist als toevluchtsoord voor wanneer hij zich in onzekere tijden bevond. Het stoïcisme was voor hem een manier om door de tegenslagen en moeilijke situaties heen te komen (Stanton, 1969).

Ook wordt er beweerd dat Marcus Aurelius een erg tegenstrijdig persoon was. Hij schreef zo gezegd wijze woorden op in zijn meditatieën en deed zichzelf goed voor. Tijdens zijn keizerschap leken zijn daden echter tegenovergesteld aan deze opvattingen (Noyen, 1955).

Geen duidelijk verband Een van de belangrijkste geschriften die wij hebben uit zijn tijd is het boek geschreven door Marcus Aurelius zelf, de *Meditatieën* (*Meditationes*). In deze *Meditatieën* schreef Aurelius over zijn filosofische opvattingen. Aangezien meer dan de helft van zijn wetsteksten over vrouwen, slaven of kinderen gingen, zou het logisch zijn als Aurelius ook sympathie vertoonde voor deze groepen in zijn meditatieën als deze keuzes een filosofische aard hadden. Dit blijkt echter niet het geval te zijn. In zijn meditatieën zegt Marcus Aurelius namelijk niks over vrouwen of slaven (Stanton, 1969). Daarnaast is het niet zeker hoe groot de rol van Marcus Aurelius was in het vormgeven van die wetsteksten. Zijn biografie zegt dat de Keizer-filosoof dan ook meer gebruik maakte van anderen voor het opstellen van zijn wetten dan zijn voorgangers deden (Stanton, 1969). Er is dus geen duidelijk verband tussen de meditatieën van Marcus Aurelius en zijn wetgevingen.

Een van de stoïcijnse opvattingen die wel in zijn meditatieën terugkomt, is vrijheid. Volgens de stoïcijn kan iedereen vrijheid bereiken, ongeacht hun positie op de sociale ladder. Dit komt doordat iedereen nog steeds het vermogen heeft om rationeel na te denken en zich dus niet te laten beïnvloeden door externen (Stehouwer, 2023). Ondanks dat slaven fysiek opgesloten waren, was hun geest nog wel vrij. Hierdoor, konden slaven volgens de stoïcijnse denkwijze nog steeds het volledige geluk bereiken (Brunt, 1998).

Invloed van het stoïcisme werd overschat Volgens Brunt (1998) wordt de invloed van het stoïcisme in die tijd overschat. Het mocht dan groot zijn geworden, maar het was nog steeds maar een filosofische stroming. Verder was het volgens P.A. Brunt (1998) ook zo dat er steeds meer aandacht kwam voor de slechte leefomstandigheden van slaven. Ook door mensen voor wie het misschien niet voordelig of van belang zou zijn dat hier iets aan gebeurde. De veranderingen die uit dit fenomeen zijn ontstaan worden volgens deze auteur eerder onderschat.

Een voorbeeld van hoe de invloed van het stoïcisme mogelijk is overschat, is te zien in de opvolging van Marcus Aurelius. Hij heeft ervoor gezorgd dat zijn zoon Commodus hem opvolgde. Commodus staat bekend om het feit dat hij geen goede keizer was voor het Romeinse Rijk. Volgens stoïcijnse principes zou het keizerschap nagelaten moeten worden aan de persoon die de beste Keizer zou worden, aangezien dit de meest rationele weg is om een nieuwe Keizer te benoemen. Het feit dat Au-

relijs zijn beruchte zoon benoemde als opvolger, laat zien dat hij ook niet-stoïcijnse keuzes maakte (Stanton, 1969)(Noyen, 1955). Deze keuze laat zien dat Aurelius toch gaf om zijn status en zijn nabestaan, ondanks dat de meeste stoïcijnen zeggen dat dat niet van belang hoort te zijn (Brunt, 1998).

Ook is de overschatting van de invloed van de filosofische stroming te zien zodra Marcus Aurelius vergeleken wordt met zijn niet-stoïcijnse voorgangers. Aurelius bouwde voort op een aantal rechten die zijn voorganger Pius had ingesteld (Stanton, 1969). Dit deed hij echter omdat hij traditie respecteerde, niet omdat de wetten meer bij zijn stoïcijnse ideeën aansloten. Die respect voor traditie is de reden dat hij voor favor libertatis was. (Brunt, 1998). Naast het feit dat zijn wetgevingen niet drastisch verschillen van die van de keizers voor hem, wordt ook beweerd dat de meditatie van Aurelius amper afwijken van de werken van zijn voorgangers die zijn stoïcijnse opvattingen niet leken te delen (Stanton, 1969).

Als laatste speelt ook nog het feit dat hoewel de meeste concepten zoals *humanitas* en *favor libertatis* kenmerken bevatten van het stoïcisme, deze concepten geen bindende juridische principes waren. Ze dienden meer als richtlijnen waar juristen zich aan konden houden. Ook waren ze vaak niet de aanleiding voor directe wets-veranderingen (Giltaij, 2011b). Hierop sluit aan dat juristen stoïcijnse begrippen zoals het natuurrecht of het rationeel recht vaak als retorische of symbolische middelen gebruikten en dus niet als fundamentele basis van hun doctrines (Waerdt, 1994).

Overige invloeden op het recht Naast het stoïcisme, zijn er vele andere factoren die als motivatie achter de wetsveranderingen van Marcus Aurelius hadden kunnen dienen. De meest voor de hand liggende reden dat bepaalde wetsaanpassingen zijn gedaan is vanwege politieke of economische voordelen voor het rijk. De rechtsaanpassingen die Aurelius heeft gemaakt houden in zo'n geval meer verband met praktische overwegingen en behoeften, dan met filosofische doctrines. Bepaalde stoïcijnse ideeën hadden wel enige invloed op de perceptie van slaven, maar deze hadden geen directe juridische implicaties (Waerdt 1994).

Een andere reden zou kunnen zijn dat de wetsteksten een positief invloed had op senatoren of het Senaat in het algemeen. Er is een mogelijkheid dat dit de reden was voor het instellen van de wetsteksten en dat deze teksten toevallig ook een positief effect hadden op slaven (Brunt, 1998)..

Negatieve wetsveranderingen voor slaven Volgens Brunt (1998) was Marcus Aurelius erg conservatief in zijn regeringswijze en wilde hij niet graag veranderingen brengen aan het rechtssysteem. Een van de dingen waar dit uit bleek was het feit dat hij achter Pius (zijn voorganger) stond en de beslissingen die hij maakte. Ondanks zijn conservatieve denkwijze, heeft Aurelius wel een aantal regels rondom slavernij. Hier was ook een deel niet positief voor slaven. Ten eerste heeft Marcus Aurelius een regel ingesteld dat het woord van slaven bij een rechtszaak alleen geloofd mocht worden als de gegeven informatie verkregen was tijdens de marteling van de slaaf in kwestie. Er is ook een rescript van Aurelius gevonden,

waarin hij iemand een compliment heeft gegeven omdat zij met het goede doel voor ogen een slaaf hadden gemarteld voor informatie (Brunt, 1998).

Daarnaast heeft de keizer-filosoof ervoor gezorgd dat het lastiger werd voor slaven om te vluchten. Dit deed hij door onder andere de mensen te straffen die vluchtende slaven met slechte bedoelingen hielpen weg te komen (Brunt, 1998).

Verder heeft Marcus Aurelius het toestaan van slaven onder bedrijven verbreedt. Hiermee heeft hij dus als het ware het houden van slaven binnen bedrijven gestimuleerd (Brunt, 1998).

Als laatste heeft Aurelius ook een regel ingesteld die zei dat als een eigenaar onder druk of dwang vrijheid toekende aan zijn slaaf, het niet meetelde. In deze gevallen zou de slaaf dus niet vrijgelaten worden (Brunt, 1998).

5.3. Analyse

5.3.1 Bronnen

Voor dit deel van het onderzoek is informatie van zeven bronnen verwerkt. Daarnaast zijn bepaalde uitspraken nog vergeleken met andere bronnen om erachter te komen of het waarschijnlijker is dat deze uitspraken kloppen of niet.

De eerste bron die gebruikt is voor de resultaten van dit bronnenonderzoek heet "Stoicism and Roman Law." In deze bron staat de invloed van Marcus Aurelius op de familie- en mensrechten rondom vrijheid centraal. De bron komt uit de ATINER Conference Paper Series en is volgens Google Scholar twee keer geciteerd. Het feit dat de bron niet vaak geciteerd is, maakt hem voor dit onderzoek minder betrouwbaar dan bronnen die vaker geciteerd zijn en verder geen kenmerken hebben die hun betrouwbaarheid in twijfel trekken. De paper is geschreven door een professor van "the Athens Institute for Education and Research." Volgens Google is dit instituut echter niet heel betrouwbaar en wordt deze bron dus niet als een van de meest betrouwbare bronnen in de paper beschouwd.

De tweede bron heet "Marcus Aurelius, Emperor and Philosopher" en gaat over hoe Marcus Aurelius zijn stoïcijnse opvattingen combineerde met zijn keizerschap. Deze paper is 69 keer geciteerd volgens Google Scholar en is naar verwezen in de universiteiten van Nieuw-Zeeland en Sydney; er is gebruik van gemaakt bij de geschiedenis sectie van het congres van 1967 die gehouden is door de Australische en Nieuw-Zeelandse vereniging van de vooruitgang van de wetenschap. De paper is geschreven door Greg Stanton, een voormalig professor aan de UNE (University of New England). Dit is dus een betrouwbare bron.

De derde bron die gebruikt is voor dit onderzoek is geschreven door P. A. Brunt, een professor aan de Universiteit van Oxford en een man wiens naam vaker voorbij is gekomen in de bronnen gebruikt voor deze paper. De bron heet "Marcus Aurelius and Slavery" en komt uit het tijdschrift "Bulletin of the Institute of Classical Studies." Het is gepubliceerd door "Wiley." In deze bron ligt de focus op de rechten die de slaven in het Romeinse Rijk hadden onder de heerschappij van Marcus Aurelius. Volgens Google Scholar is deze paper 19 keer ge-

citeerd. Aangezien P. A. Brunt een professor is en vaak voorbij is gekomen tijdens dit onderzoek, wordt deze bron ook als betrouwbaar beschouwd.

Als vierde bron is in dit onderzoek de paper "Mensenrechten in het Romeinse recht" gebruikt. Deze paper is geschreven door Jacob Giltaij, een docent rechten aan de Universiteit van Amsterdam. Hij heeft zelf zijn Ph.D. behaald aan de Erasmus Universiteit in Rotterdam. Het onderwerp van deze paper is of de Romeinen een begrip van recht hadden op een manier die aanleiding had kunnen zijn tot het hedendaagse rechtsstelsel van de mens. "Mensenrechten in het Romeinse recht" is volgens Google Scholar niet vaak geciteerd, maar wel meerdere keren benoemd in gespecialiseerde juridische en historische publicaties. Dit is de reden dat deze bron in deze paper als betrouwbaar beschouwd wordt.

"Philosophical influence on Roman jurisprudence?" is de titel van de vijfde bron die voor dit onderzoek gebruikt is. Het is een paper die geschreven is door Paul A. Vander Waerdt, een assistent docent aan Duke University, North Carolina. Deze bron legt de focus op het idee dat stoïcijnse principes mogelijk een rol speelden in de ontwikkeling van juridische concepten en hervormingen tijdens de Romeinse Republiek en het Principaat. De paper komt uit de ANRW-reeks door uitgeverij De Gruyter, een gerenommeerde uitgever van academische werken. Google Scholar geeft aan dat deze paper tussen de acht en twaalf keer gepubliceerd is in andere academische werken. Om deze redenen, wordt deze paper in dit onderzoek als een relatief betrouwbare bron beschouwd.

De zesde paper die gebruikt is, heet "Slavery and Society at Rome" en is geschreven door Dr. P. A. Cartledge en Dr. P. D. A. Carnsey, allebei werkzaam in universiteiten in Cambridge, Engeland. De paper onderzoekt de rol van slavernij in de Romeinse samenleving, waarbij de focus op de sociale, economische en culturele dimensies ligt. De paper is onderdeel van een boek dat gepubliceerd is door de Cambridge University Press in 1994. Dit is een toonaangevende academische uitgeverij, wat de betrouwbaarheid van de bron aantoont. Ook is deze bron volgens Google Scholar meer dan duizend keer geciteerd in studies over slavernij. Dit alles leidt ertoe dat deze bron in dit onderzoek als zeer betrouwbaar wordt beschouwd.

De laatste bron die voor dit onderzoek gebruikt is, is een bron die in meerdere papers benoemd is en die om die reden ook is betrokken in de resultaten van deze paper. De bron heet "Marcus Aurelius, the Greatest Practitioner of Stoicism" en gaat over Marcus Aurelius, zijn tegenstrijdigheden en of zijn filosofische bezigheden wel echt een invloed hadden op zijn regeringswijze. Deze paper is geschreven door P. Noyen en is volgens Google Scholar maar liefst 48 keer geciteerd. De paper is gepubliceerd in het tijdschrift "L'Antiquité Classique" in 1955. Het tijdschrift wordt uitgegeven door de Katholieke Universiteit Leuven in België en heeft een lange traditie van academische publicaties in de klassieke studies.

5.3.2 Argumenten

Filosofische ideeën Er wordt benoemd dat een van de stoïcijnse deugden rechtvaardigheid is en dus dat de rechtvaardigheid die door Marcus Aurelius werd toegepast ook van

stoïcijnse aard was (Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos, 2014). Echter is bij het vooronderzoek van deze paper nooit gesproken over dat deze deugden ook wetmatig toegepast moesten worden en er vaker werd gesproken over een rechtvaardigheid tussen mensen die vanuit jezelf moesten komen. Deze vorm van rechtvaardigheid kon dus ook voortkomen uit het feit dat Marcus Aurelius het best voor had voor zijn volk tijdens zijn regeerperiode in plaats van dat dit volledig vanuit een stoïcijnse gedachte was.

Hiernaast wordt ook nog gezegd dat een ander stoïcijnse concept, het natuurrecht, inspiratie zou zijn geweest voor concepten als vrijheid en gelijkheid. Volgens Waerdt (1994), zijn er echter meerdere teksten terug gevonden die zouden aantonen dat juristen deze teksten vaak anders interpreteerden dan hoe het origineel door de stoïcijnen was bedoeld. Het argument is wel in twee verschillende bronnen teruggekomen, en het tegenargument komt van een bron die even betrouwbaar lijkt als de bronnen waaruit het argument afkomstig is.

Er zijn verder ook niet genoeg voorbeelden gegeven in de bronnen waaruit gehaald kan worden dat alle bronnen het over dezelfde juridische situaties hebben gehad. Door deze factoren is niet met zekerheid te zeggen hoe betrouwbaar het argument is, dat het concept natuurrecht met de stoïcijnse betekenis de aanleiding was voor deze concepten. Daarentegen moet er wel rekening mee gehouden worden dat het concept in meerdere situaties waarschijnlijk niet op de originele manier is gebruikt door juristen.

Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos (2014) zeiden ook dat de stoïcijnse invloed die er in de Romeinse tijd is geweest, zelfs nog doorwerkt tot het heden. Ook al heeft de Romeinse tijd een enorme impact gehad op het heden, valt er niet zomaar te beweren dat er nu nog iets te merken is van de impact van een filosofie op de maatschappij in deze periode. Voornamelijk omdat het helemaal nog niet duidelijk is wat de specifieke invloed is geweest van het stoïcisme in deze tijd.

Marcus Aurelius en het recht In het onderzoek van Noyen (1955) werd beweerd dat het uiteindelijke doel van Marcus Aurelius was om de slavernij af te schaffen. Volgens het onderzoek van Waerdt (1994) was alleen in de gehele periode van het Romeinse keizerrijk nooit bewijs gevonden dat er een keizer een oproep heeft gedaan op het afschaffen van de slavernij en dus ook niet openlijk vanuit Aurelius. Tevens zegt Brunt ook juist dat Aurelius nog een redelijk conservatieve houding had tegenover het bestaande rechtssysteem met betrekking tot slaven, omdat hij de besluiten van een vorige keizer respecteerde (Brunt, 1998). Door Bradley werd ook gesteld dat de slavernij een enorm economisch en sociaal belang had in het Romeinse rijk, voor een keizer om de wens te hebben om dit af te willen schaffen zou dus ook niet aannemelijk zijn. Vanwege deze onderbouwing lijkt dit argument meer op een gewaagde aanname van de auteur dan een feitelijk argument.

Volgens Noyen (1955) was er ook een wet ingesteld die een slaaf vrijheid schenkt als dit hem beloofd was. Er zijn enkele cassussen beschreven in het onderzoek van Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos (2014) waarin dit recht toegepast lijkt te worden. In twee van deze casussen had de

vrijheid van een slaaf ooit in een erfenis van hun meester gestaan, maar was deze later verwijderd. Door de persoonlijke invloed van Aurelius hadden zij toch hun vrijheid gekregen. Enkel wordt er in het onderzoek van Nascimento en de Moura Costa Matos, waarin deze casussen uitgebreid behandeld worden, nergens iets gezegd over dat het ingestelde wetten waren. Het leken echter eerder uitzonderingen door de invloed van Aurelius. Verder heeft Giltaij (2011b) ook benoemd dat er meestal geen universeel ingestelde wetten waren die de rechten van slaven beschermden en was het dus waarschijnlijk eerder een toegepast principe, dan een ingestelde wet.

Noyen (1955) stelt ook dat er een zeker causaal verband zou zijn tussen de “vooruitgang” van het recht in het Romeinse rijk en het stoïcisme van Aurelius. Dit verband lijkt alleen moeilijk zijn te onderbouwen, omdat volgens Stanton (1969) in Aurelius zijn grootste filosofische werk, de meditatie, er niks wordt vermeld over wensen van Marcus Aurelius over de juiste behandeling van slaven, vrouwen of kinderen. Dit zou wel aanmerkelijk het geval zijn als deze keuzes over bijvoorbeeld het behandelen van slaven in verband stonden met zijn filosofische ideeën. De enige uitspraak die in de meditatie staat die iets met dit verband te maken zou kunnen hebben is: *“No one grows tired of receiving benefits, and an act in harmony with nature is its own benefit. Do not grow tired of the benefits you receive by benefitting others”* (Stanton, 1969, p578.)

Invloed van het stoïcisme werd overschat Stanton (1969) zegt dat de geschriften van Marcus niet heel erg af zouden wijken van die van zijn voorgangers. Uit het vooronderzoek blijkt dat Aurelius echter in het bijzonder bekend stond als een keizer die zich erg verdiepte in filosofie en dat hij ook wel een zelf-benoemde stoïcijn was. De meditatie is in het speciaal (ook nog in de moderne tijd) bekend als een van de meest invloedrijke stoïcijnse werken. Brunt (1998) vermeldt hierbij wel dat Marcus Aurelius ook andere dingen deed die niet stoïcijns zouden zijn, zoals het focussen op zijn reputatie. Dit zou echter niet hoeven te betekenen dat Marcus Aurelius niet volgens het stoïcisme zou proberen te leven. Volgens Savaget Nascimento en Soares de Moura Costa Matos (2014) was het stoïcisme juist een persoonlijk hulpmiddel voor Marcus Aurelius om tegenslagen en moeilijke tijden te verzachten. Dit zou dus kunnen betekenen dat Aurelius zich niet altijd aan de stoïcijnse regels hield tijdens het regeren, maar juist wel in zijn persoonlijke leven.

Volgens Brunt (1998) was Aurelius ook niet voor bepaalde juridische concepten (zoals *favor libertatis*) vanwege zijn stoïcisme, maar vanuit het respecteren van traditie. Brunt stelt wel dat de respect voor traditie die Aurelius had vanuit een stoïcijns principe kwam. Dit zou juist een verband tussen de toepassing van dit concept en het stoïcisme versterken.

5.4. Samenvatting gecorrigeerde argumenten

Uit deze analyse en het geheel van de argumenten lijkt er een consensus te zijn dat er veel aandacht was voor de juridische behandeling van slaven in de tijd van Marcus Aurelius. Er zijn een redelijk grote hoeveelheid wetteksten over gevonden; 60 van de totale 324 gevonden teksten van Aurelius zelf gingen over slaven ((Stanton, 1969)). Deze veranderingen waren volgens

Brunt (1998), Giltaij (2011b), Noyen (1955) en Stanton (1969) overwegend positief voor slaven. Er zijn echter ook meerdere veranderingen geweest die negatief voor hen uitpakt (Brunt, 1998). Er waren ook al enkele positieve veranderingen geweest door Pius, een van de voorgangers van Marcus Aurelius, die in de tijd van Aurelius meer zijn doorgezet (Brunt, 1998).

Een voorbeeld is dat Aurelius een voorkeur leek te hebben voor de vrijlating van slaven als hij de kans had (Stanton, 1969). Het principe *favor libertatis* werd in zijn tijd meer toegepast dan in periodes ervoor (Giltaij, 2011b). Tevens had hij ervoor gezorgd dat slaven niet zomaar geëxecuteerd mochten worden na de dood van hun meester als hun meester aangaf dat de slaaf onschuldig was, wat eerst wel het geval was. Alleen zijn er nooit vanuit Aurelius zelf beroepen gedaan om de slavernij te stoppen en was hij ook nog wel redelijk conservatief in zijn houding ernaar (Brunt, 1998).

Er lijkt een correlatie te zijn tussen sommige van de veranderingen en enkele van de idealen van het stoïcisme. Zo wordt er benoemd dat het natuurrecht, een belangrijk principe in het stoïcisme, een inspiratie kan zijn voor een voorkeur naar vrijheid en dus het *favor libertatis* (Giltaij, 2011b). Tevens is ook het rechtvaardigheidsgevoel van Aurelius terug te zien in deze voorkeur naar vrijheid (Savaget Nascimento & Soares de Moura Costa Matos, 2014). Rechtvaardigheid was volgens de stoïcijnen iets waar elk mens recht op had (Brunt, 1998) en mogelijk zag Aurelius vrijheid als iets rechtvaardigs en wilde hij dit dus aan zoveel mogelijk mensen schenken.

In het meest bekende filosofische werk van Aurelius (waarin hij uitgebreid zijn hele filosofie uitwerkt) staat echter niks over de behandeling van slaven of hoe deze zou moeten zijn (Stanton, 1969). Daarbij zijn er ook voorbeelden van situaties waarbij Aurelius wanneer hij keuzes maakte voor het rijk niet de stoïcijnse keuze maakte. Een voorbeeld hiervan is het kiezen van zijn zoon als opvolger. Deze keuze was rationeel gezien niet de beste optie en dus niet wat er van een goede stoïcijn verwacht zou worden (Brunt, 1998).

Meerdere bronnen zijn het ermee eens dat er ook andere factoren zijn, naast het stoïcisme, die juridische keuzes sterk beïnvloedde. Bijvoorbeeld het feit dat sommige keuzes een positief effect hadden voor het Senaat (Brunt, 1998). Ook zou zo’n keuze goed kunnen zijn voor andere praktische zaken zoals de economie (Waerdt, 1994). Daarnaast zouden ook andere filosofische concepten die in opkomst waren in die tijd van invloed kunnen zijn geweest, denk aan *humanitas* (Giltaij, 2011b). Er zijn ook enige aanleidingen dat Aurelius niet zelf de meeste wettelijke keuzes liet maken, vanwege tijdgebrek door oorlog of andere zaken en dat hij veel taken overliet aan andere juristen of rechtsgeleerden (Stanton, 1969). Als dit het geval was zou het directe verband tussen de veranderingen in het slavenrecht en het stoïcisme al veel onwaarschijnlijker zijn.

Het stoïcisme zou vooral van een persoonlijk belang kunnen zijn geweest voor Aurelius (Stanton, 1969). Zo is er dus de kans dat mensen de invloed ervan op juridische keuzes overschatten (Brunt, 1998). Daarnaast kan het zijn dat de groeiende populariteit van filosofie onder de hooggeleerden (vooral het stoïcisme) indirect invloed heeft gehad op de keuzes van de juristen (Giltaij, 2011b), zonder dat dit iets universeels in het rijk

werd. Dit wordt onderbouwd doordat er voorgangers van Aurelius waren die vergelijkbare wetgevingen hebben gedaan maar zij waren niet stoïcijns (Brunt, 1998).

6. Conclusie

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat er geen duidelijk bewijs is voor een causaal verband tussen het stoïcisme en de rechtsveranderingen van Marcus Aurelius. Er is aantoonbare correlatie tussen het stoïcisme en de rechtsveranderingen in de tijd van Marcus Aurelius' keizerschap, maar er is nergens bewijs gegeven van een duidelijk causaal verband tussen de twee. Dit tekort aan bewijs toont aan dat de kans dat het stoïcisme de aanleiding was tot de rechtsveranderingen rondom slaven in deze periode klein blijft. Deze opvatting wordt verder versterkt door het feit dat er uit dit onderzoek meer en over het algemeen sterkere argumenten aan het licht zijn gekomen die erop wijzen dat er geen causaal verband is, dan argumenten die indiceren van wel.

7. Discussie

7.1. Andere vergelijkbare reviews

Er zijn enkele andere literatuur reviews die ook het verband tussen de juridische behandeling van slaven door Marcus Aurelius en het stoïcisme behandelen. Er volgt een korte vergelijking tussen de conclusie uit deze paper en de conclusies van de volgende twee papers. *Epictetus, Stoicism, and Slavery*, Funk, Angela Marie, 29-3-2011

Een keizer, een filosoof De filosofische ideeën van Marcus Aurelius weerspiegeld in zijn beleid, Steffi Oostendorp, 10-4-2014

7.1.1 Epictetus, Stoicism, and Slavery

Volgens Funk (2011) heeft Marcus Aurelius maar enkele veranderingen gemaakt aan het traditionele model van slavenrecht in zijn tijd als heerser en had hij ook vooral het oude systeem van zijn voorganger Pius overgenomen. Ze stelt dat hij zoals meerdere andere stoïcijnse filosofen vooral naar de ziel keken, en dat zij op deze manier besluiten maakten over slavernij. Ook al zouden er andere stoïcijnen geweest zoals Seneca en Epictetus die het niet volledig eens leken met slavernij, leek Marcus Aurelius te geloven dat slavernij een deel van de "divine order" was (Funk, 2011, p.54).

Er was volgens haar geen direct verband tussen het stoïcisme en de toenemende aantal vrijlatingen van slaven. De wetten die hij verder had ingesteld zouden volgens haar ook voornamelijk ingesteld voor een rechtvaardiger systeem tegenover de burgers in zijn rijk (Funk, 2011).

Ook al komt deze conclusie redelijk met de conclusie van deze paper, het lijkt minder afgewogen. Het spreekt ook over dat een verband met het stoïcisme niet te bewijzen is, maar over factoren waardoor dit wel vaker gedacht is worden verder niet benoemd.

Deze eenzijdige belichting van het onderwerp kan voortkomen uit het feit dat alle informatie waarop Funk haar informatie over het onderwerp op had gebaseerd kwam uit een enkele bron, een van de bronnen waar in dit onderzoek ook gebruik van

is gemaakt: MARCUS AURELIUS AND SLAVERY, Brunt (1998).

7.1.2 Een keizer, een filosoof De filosofische ideeën van Marcus Aurelius weerspiegeld in zijn beleid

Oostendorp (2014) stelt dat er moeilijk een eenduidig antwoord gegeven kan worden op de vraag of de filosofische ideeën van Marcus Aurelius zijn beleid jegens slaven heeft veranderd (Oostendorp, 2014, p.24). Volgens hem waren sommige denkbeelden wel terug te zien door enkele wetten die zorgen voor een beter leven voor slaven, omdat slavernij een externe factor was dit niet ervoor moest zorgen dat slaven slechter behandeld werden dan andere mensen.

Maar Oostendorp benoemt ook dat er wetten waren die negatief uitpakt voor slaven en voordeliger waren voor de bescherming van slavenhouders. Daarnaast worden er een andere factor genoemd die een aanleiding had kunnen zijn voor de positieve veranderingen voor slaven. Slaven waren een groot deel van de bevolking van Rome. Volgens Oostendorp zou een dreiging van een opstand geleid door slaven een gevaar zijn geweest voor het Romeinse rijk dat al constant op instorten stond. Door deze veranderingen zou hij proberen het tot slaaf gemaakte deel van de bevolking tevreden te houden.

Deze genuanceerdere benadering van een verband tussen het stoïcisme en de behandeling van slaven komt meer overeen met de conclusie van deze paper. Enkel is het argument dat de verbeterde omstandigheden voor slaven ook uitgevoerd zouden kunnen om een dreiging van een opstand te verminderen is bij geen van de bronnen die in dit onderzoek waren gebruikt naar voren gekomen. Er zijn enkele bronnen geweest die in de review van Oostendorp zijn gebruikt, waartoe wij geen toegang hadden. Dit zou betekenen dat er wellicht belangrijke inzichten over het onderwerp over het hoofd zijn gezien.

7.2. Het onderzoek

Om deze onderzoeksvraag betrouwbaar te beantwoorden moeten alle factoren die invloed hebben op het juridische keuzes van een keizer bekend zijn. Deze factoren zijn niet ver genoeg uitgezocht om een uitspraak te doen over hoe deze invloed hebben gehad op juridische keuzes in de oudheid.

Dit is een bronnenonderzoek waarbij de primaire bronnen ruim 1500 jaar geleden geschreven zijn. Dit houdt in dat er waarschijnlijk een aantal werken uit die tijd die informatie bevatten die aan zou sluiten op dit onderzoek verloren zijn gegaan. Om deze reden is het niet duidelijk hoeveel belangrijke bronnen in dit onderzoek missen omdat ze niet bewaard zijn gebleven. Dit kan ervoor zorgen dat er geen duidelijk beeld ontstaat van hoe groot de impact van de wetsteksten die Marcus Aurelius geschreven heeft nou echt was.

Daarnaast is het zo dat het grootste deel van de primaire bronnen in het Latijns zijn geschreven. Het is meerdere keren teruggekomen in de bronnen die gebruikt zijn voor dit onderzoek dat de auteur van de bron iets vertaalt uit het Latijn, maar erbij vermeldt dat het stuk tekst niet precies te vertalen is. Dit zou voor misopvattingen kunnen zorgen of betekenissen van bepaalde woorden tot op een zekere hoogte kunnen veranderen.

Ook is het zo dat dit een onderwerp is waar niet veel onderzoek naar is gedaan. Er zijn maar een beperkt aantal bronnen die gepast waren om gebruikt te worden voor dit onderzoek. Niet alleen is het moeilijk om rechtsveranderingen te vinden in de periode dat een specifieke keizer aan de macht was, maar is het nog moeilijker om wetenschappelijke papers te vinden die beargumenteren waarom een specifieke filosofische stroming daar wel of geen invloed op had.

Verder is het zo dat een groot deel van het vooronderzoek dat is gedaan voor het theoretisch kader van dezelfde website komt. Deze site heet "de Nieuwe Stoa," een site die goed van pas kwam bij het opdoen van achtergrondinformatie over het stoïcisme. Omdat deze site voor veel informatie in het theoretisch kader is gebruikt, is wel verder onderzocht of de informatie op deze website wel klopt door er andere bronnen over te lezen. "De Nieuwe Stoa" is echter geen wetenschappelijke organisatie, wat toevoegt aan de betwijfelbaarheid van de informatie.

Bij de bronnenanalyse is er rekening gehouden met hoe vaak de toegepaste bronnen geciteerd zijn. Deze informatie hebben wij van Google Scholar, die bij de meeste papers erbij heeft staan hoe vaak ze zijn geciteerd. Er zijn echter ook papers die niet in Google Scholar meegerekend worden terwijl ze wel aan zouden kunnen sluiten op dit onderzoek. Het is dus niet bekend hoe betrouwbaar het aantal citaten is bij elke bron. Een ander ding waar rekening mee gehouden moet worden is het feit dat de auteurs van deze paper niet precies weten welke universiteiten bekend staan voor historische onderzoeken van goede kwaliteit en welke niet. Hier is dus ook geen rekening mee gehouden in de mate van betrouwbaarheid van de bronnen die in dit onderzoek zijn benut.

Als laatste hebben en groot deel van de bronnen waar gebruik van is gemaakt in deze paper een duidelijke toon gehad. Sommige bronnen waren heel negatief en anderen juist heel positief, maar bijna geen enkele bron leek volledig objectief te zijn. Dit is een reden om de betrouwbaarheid van de informatie uit de in deze paper bestudeerde bronnen in twijfel te trekken. In dit onderzoek is niet genoeg tijd geweest om al deze meningen te beoordelen, en te besluiten hoe groot de invloed hiervan is op de informatie die er in bronnen te vinden was.

De Meditaties die nu bekend is, is niet het origineel. Het boek is door de eeuwen heen kwijt geweest en ook met stukken tekst uit andere manuscripten samengesteld. Hierdoor is het onbekend wat er van de originele tekst allemaal mist.

7.3. Toekomstige onderzoeken

Als eerste zou het voor toekomstige onderzoeken van belang zijn om overige invloeden op het recht ook te onderzoeken. Hoe was de economische, sociale en politieke situatie. Dit zou het onderwerp van meerdere kanten belichten. Hierdoor kunnen bepaalde invloeden uitgesloten worden, of juist ondersteund worden. Hierdoor is met meer zekerheid te zeggen wat de uiteindelijke reden is geweest voor bepaalde juridische veranderingen.

Ook speelt de beperkte tijd die voor dit onderzoek ingepland stond een grote rol in de kwaliteit ervan. Bij vervolgonderzoeken zou er meer tijd zijn en zouden er dus ook meer bron-

nen onderzocht kunnen worden. Verder is het handig om iets specifieker vooronderzoek te doen dan er voor deze paper is gedaan. Er is een groot vangnet aan kennis ontstaan door het uitgebreide vooronderzoek, maar uiteindelijk is een groot deel van het vooronderzoek niet toegepast bij het schrijven van de paper. Dit komt wederom grotendeels door een gebrek aan toegankelijke bronnen. Een manier waarop het vooronderzoek getrechterd kan worden, is bijvoorbeeld door gebruik te maken van de meditaties van Marcus Aurelius en aan de hand hiervan de focus meer te leggen op de delen van het stoïcisme waar hij zich in kon vinden. Er zijn namelijk ook veel aspecten van het stoïcisme die helemaal niet terug te vinden zijn in Aurelius' meditaties (volgens de bronnen die in deze paper gebruikt zijn), maar waar wel veel van terugkwam in het vooronderzoek van deze paper.

7.4. Interpretatie van de resultaten

Door alle externe factoren die invloed kunnen hebben gehad op de juridische keuzes die Marcus Aurelius maakte, is het dus niet duidelijk of het stoïcisme direct invloed hierop had. Tevens is er ook geen bewijs gevonden dat Marcus Aurelius zelf ooit heeft aangegeven dat zijn juridische keuzes van een stoïcijnse aard waren, en dit stond ook niet in zijn filosofische werk. Een bewezen causaal verband lijkt hierom dus te ontbreken.

8. Dankwoord

Tijdens het uitvoeren van dit onderzoek is de paper meerdere keren doorgekeken en feedback op gegeven. Dit is gedaan door enkele begeleiders (die al aan het begin van de paper benoemd zijn) maar ook door externe hulp. Een ronde van de feedback is uitgevoerd door Mevr. W. Zwart en een door Dhr. O. Oude Weernink. Beide zijn ze werkzaam bij Het Stedelijk College Zuid. Voor de tijd en moeite die zij in deze paper hebben gestoken, worden ze enorm bedankt.

Referenties

- Bradley, K. (1994). *Slavery and society at Rome*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511815386>
- Brouwer, R. (2011). *Over de klassieke oorsprong van de rechten van de mens*. https://www.bjutijdschriften.nl/tijdschrift/rechtsfilosofieentheorie/2011/2/RenR_1875-2306_2011_040_002_004
- Brunt, P. A. (1998). *Marcus Aurelius and slavery*. *Bulletin of the Institute of Classical Studies*, 42(Supplement-71), 139–150. <https://doi.org/10.1111/j.2041-5370.1998.tb01698.x>
- Buckland, W. W. (2010). *The Roman law of slavery*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511707360>
- De Nieuwe Stoa. (2020, 18 april). *De klassieke stoïcijnse deugden: Leven als een wijze*. <https://denieuwestoa.nl/stoicijnse-deugden/>
- De Nieuwe Stoa. (2021, 13 januari). *Eudaimonia: het stoïcijnse geluk*. <https://denieuwestoa.nl/geluk>

- De Nieuwe Stoa. (2021, 24 maart). *Marcus Aurelius: De keizer-filosoof*. <https://denieuwestoa.nl/marcus-aurelius/>
- De Nieuwe Stoa. (2021, 19 april). *Wat is het stoïcisme?* <https://denieuwestoa.nl/wat-is-het-stoicisme/>
- Funk, A. M. (2011). *Epictetus, Stoicism, and Slavery* [University of Colorado]. http://scholar.colorado.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1810&context=honr_theses
- Gaius, & Mears, T. L. (2004). *Institutiones*. The Lawbook Exchange, Ltd.
- Giltaij, J. (2011). *Mensenrechten in het Romeinse recht* (Door L. C. Winkel, T. Wallinga, R. D. Lange, & P. C. Kop). <https://repub.eur.nl/pub/26301/giltaij%20master%20bw%2022-07%20v2%2016x24.pdf>
- In Merriam-Webster Dictionary*. (z.d.). *Rescript*. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/rescript>
- Koops, E. (2024, 26 november). *Marcus Aurelius - De filosofenkeizer*. Historiek. <https://historiek.net/marcus-aurelius-biografie-quotes/140957/>
- Lucius Verus en zijn keizerschap - Militair.net*. (2020, 9 april). Militair.net. <https://www.militair.net/oorlogen/romeinse-oorlogen/lucius-verus-en-zijn-keizerschap/>
- Lucius Verus*. (z.d.). RomanCoinShop.com. <https://www.romancoinshop.com/roman-coins/lucius-verus/>
- Marcus Aurelius, Emperor and Philosopher on JSTOR*. (z.d.). JSTOR. <https://www.jstor.org/stable/4435105>
- Noyen, P. (1955). *Marcus Aurelius, the greatest practician of Stoicism*. *L'Antiquité Classique*, 24(2), 372–383. <https://www.jstor.org/stable/41644391>
- Oostendorp, S. (2014). *Een keizer, een filosoof: de filosofische ideeën van Marcus Aurelius weerspiegeld in zijn beleid*. <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/295704>
- Paquette, R. (2018, 7 december). *Meditations by Marcus Aurelius—Summary, Notes, + Quotes*. regpaq. <https://regpaq.com/meditations-from-marcus-aurelius>
- Robin. (2024, 15 mei). *4 stoïcijnse deugden: De leidraad voor een 'goed' leven*. Wat Is Stoïcisme? <https://www.watisstoicisme.be>
- Savaget Nascimento, P., & Soares de Moura Costa Matos, A. (2014). *Stoicism and Roman law: The rescripts of Emperor Marcus Aurelius on family law and the law of liberty*. ATINER's Conference Paper Series. <http://www.atiner.gr/papers/PHI2014-1393.pdf>
- Stanton, G. R. (1969). *Marcus Aurelius, emperor and philosopher*. *Historia: Zeitschrift für Alte Geschichte*. <https://www.jstor.org/stable/4435105>
- Stehouwer, C. (2023, 29 maart). *Stoïcisme: een korte introductie*. De Mindset Academie. <https://demindsetacademie.com>
- Visser, C. (2024, 12 september). *De stoïcijnse houding*. Progressiegericht werken. <https://progressiegerichtwerken.nl/>
- Visser, Y. (2023, 13 januari). *Memento mori (Gedenk te sterven)*. Historiek. <https://historiek.net/memento-mori-betekenis-gedenk-te-sterven/153613/>
- Waerdt, P. A. V. (1994). *Philosophical influence on Roman jurisprudence? The case of Stoicism and natural law*. De Gruyter eBooks. <https://doi.org/10.1515/9783110883732-010>

Efficiëntie van een draadloze lader bij verschillende frequenties en afstanden op de resonantiefrequentie

R. Loman ¹, J.C.A. van Schie ², M.J. Onstenk ³, R. Kamperman ³, P. Nijland ¹ & N. Bout ²

¹ Lyceum de Grondel, Hengelo,

² Eddy Hillesum Lyceum: locatie Het Vlier, Deventer,

³ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – This study investigates whether the efficiency of a wireless charger is dependent on its specific resonant frequency and the distance between coils. Previous theoretical research suggested that efficiency increases as frequency increases, but this model did not account for resonance - which is a critical element for a wireless charger. As a result, these findings may not fully represent real-world scenarios. Therefore, this study examines whether these results translate to the real world. Two identical coils were positioned at fixed distances and paired with capacitors to change the system's resonant frequency. The efficiency is calculated and plotted with the data gathered at the same distance in a graph. This was done with two types of coils, Qi certified transmitting coils and generic self-made coils. The results indicate that the efficiency increases with frequency till a certain threshold, beyond which it starts to decline. Additionally, the highest overall efficiency was observed at smaller coil distances.

1. Introductie

Draadloze laders zijn de laatste jaren steeds populairder geworden en deze trend lijkt ook niet te gaan stoppen (Fortune Business Insights™, 2025). Dit komt doordat deze technologie een aantal aantrekkelijke voordelen heeft bijvoorbeeld: het eenvoudiger maken van het opladen en het langer meegaan van telefoons. Mede dankzij deze voordelen kan bijna elke nieuwe telefoon gebruik maken van deze technologie. Ook waren in 2022 meer mobiele telefoonabonnementen dan mensen op aarde, namelijk 8,58 miljard telefoonabonnementen tegenover 7,95 miljard mensen (World Economic Forum, 2023). Op dit moment ondersteunen al meer dan 130 verschillende telefoonmodellen draadloos laden op basis van de Qi (uitspraak “Chee”) standaard (Pinkcube, 2023), die elk meerdere miljoenen keren zijn verkocht. Gezien dit aantal de komende jaren niet lijkt te gaan afnemen (Fortune Business Insights™, 2025) en er dus steeds meer telefoons draadloos kunnen laden, gaat deze technologie de komende tijd een steeds belangrijkere rol spelen in het dagelijks leven.

De basis van een draadloze lader ligt in het natuurkundige principe van inductie. In een standaard draadloze lader zitten twee spoelen, één in de telefoon en één in de lader. In de spoel die in de lader zit gaat elektrische stroom lopen, die via het principe van elektromagnetische inductie elektriciteit opwekt in de andere spoel (zie Figuur 1).

Hoewel de huidige technologie werkt, heeft het wel enkele nadelen. Het is namelijk inefficiënt (Mokhtari, 2024), doordat elektromagnetische inductie veel energie verliest, doordat niet het hele gecreëerde magnetische veld wordt opgevangen. Er zijn verder vrij specifieke omstandigheden nodig om draadloos laden goed te laten werken, zoals een kleine afstand tussen de spoelen, een specifieke frequentie en specifieke spoelen.

Doordat draadloos laden inefficiënt is, maar wel veel gebruikt wordt door het gebruikersgemak, wordt eraan gewerkt om draadloos laden efficiënter te maken. Zo werd er in 2021 een paper gepubliceerd door Jacek Maciej Stankiewicz aan de Bi-

alystok University of Technology, waarin hij een berekende schatting maakt, hoe efficiënt een draadloze lader in theorie maximaal kan zijn. Hieruit kwam de conclusie dat de efficiëntie toeneemt als de frequentie van de wisselspanning toeneemt (Stankiewicz, 2021). Deze bevindingen zijn echter nooit in het echt gecontroleerd en daarna (in een paper) gepubliceerd. Een mogelijke verklaring hiervoor is de grote concurrentie binnen de technologie sector, die bedrijven en instanties ervan weerhoudt intern onderzoek te delen. In 2019 is er wel een experimenteel onderzoek gepubliceerd waarin het effect van frequentie en afstand tussen spoelen op vermogen, spanning en stroomsterkte van de zendende en ontvangende spoel te verduidelijken. In het onderzoek is gebruik gemaakt van spoelen met veel windingen die werden gebruikt als een soort transformator. De conclusie was, dat bij verhoging van de frequentie, de stroomsterkte van zendende en ontvangende spoel lager worden. De spanning over de ontvangende spoel verlaagde ook bij hogere frequentie, terwijl de spanning over de zendende spoel gelijk blijft. Het vermogen over zendende en ontvangende spoel neemt bij verhoging van frequentie eerst toe en dan af voor 0mm en 5mm afstand tussen de spoelen. De waarde van het vermogen verschilt wel bij beide afstanden (F. AZHAR, 2019). Waar deze onderzoeken geen rekening mee houden, is of de frequentie wel de resonantiefrequentie van het circuit is. Op de resonantiefrequentie van het circuit is de energie overdracht maximaal. De Qi standaard gaat altijd voor de maximale energieoverdracht, dus wordt bij Qi altijd geladen op de resonantiefrequentie. Bij de Qi standaard wordt wel gespecificeerd dat er enkel binnen een bepaalde range van frequenties geladen mag worden, maar er is geen onderzoek gepubliceerd dat bewijst dat binnen die range het hoogste rendement wordt behaald wanneer er wordt geladen op de resonantiefrequentie. Dus in dit onderzoek wordt geprobeerd uit te zoeken wat het effect is als de frequentie verandert, maar dit telkens wel de resonantiefrequentie is, om zo ook te controleren of de frequentie range van de Qi standaard wel optimaal is om een zo hoog mogelijk rendement te behalen. Verder gaat dit onderzoek in op het specifieke effect van de afstand tussen spoelen op de efficiëntie. Hier is ook al wat onderzoek naar gedaan en enkele

fabrikanten vermelden dit ook bij de spoelen die ze verkopen (NARAYANAN, 2015). De voornaamste reden dat dit ook is toegevoegd aan dit onderzoek is omdat het effect van de frequentie wellicht verandert op verschillende afstanden.

Hieruit volgt de volgende onderzoeksvraag: hoe verandert de efficiëntie van een draadloze lader bij verschillende resonantiefrequenties en afstanden?

2. Theoretisch kader

2.1. Electriciteit

2.1.1 AC en DC

Er zijn twee soorten stroom, AC en DC. AC staat voor Alternating Current, in het Nederlands is dit wisselspanning. Dit is het soort spanning dat ook uit het stopcontact komt. Bij deze spanning trillen elektronen de hele tijd heen en weer, deze beweging gebeurt op vaste intervallen. Hoe vaak dit per seconde gebeurt wordt uitgedrukt in de frequentie in de eenheid hertz (Hz). De netfrequentie in Nederland is bijvoorbeeld 50Hz, maar deze frequentie kan elk positief getal zijn. DC staat voor Direct Current of gelijkspanning. Op dit soort spanning werken veel apparaten zoals een telefoon of computer. Hierbij loopt de stroom in één richting, van + naar - (Malmberg).

2.1.2 Impedantie

Naast de gewone weerstand van een circuit (hoe gemakkelijk elektrische stroom door een circuit loopt), is er nog een ander soort weerstand die bij hoge frequenties erg belangrijk wordt, namelijk impedantie. Impedantie is een soort weerstand die afhankelijk is van de frequentie. Met zoals de gewone weerstand wordt deze uitgedrukt in ohm (Ω). Hoe hoger de frequentie, hoe hoger de impedantie (Ling, Moebis, & Jansen, 2016).

2.1.3 Condensatoren

Een elektronisch component dat in dit onderzoek veel gebruikt wordt is de condensator. Een condensator kan gezien worden als een hele kleine batterij die heel snel kan opladen en weer ontladen. Het werkt doordat er twee elektrodes (platen) binnenin zitten die kortstondige lading kunnen vasthouden (Ling, Samy, Moebis, & Jansen, 2016).

Zodra de spanning verandert of verandert, kan deze opgeslagen lading vrij komen en ontladt de condensator weer. Elke condensator heeft een capaciteit die uitgedrukt wordt in de eenheid farad. Hoe hoger de capaciteit, hoe meer lading de condensator kan vasthouden (University of Birmingham). Hoe meer lading een condensator kan vasthouden hoe meer energie er opgeslagen kan worden in de condensator, want het lachgverschil in de condensator veroorzaakt een elektrisch veld en in dit veld wordt energie opgeslagen. Hoeveel energie er opgeslagen kan worden is te berekenen met de volgende formule (Ling, Moebis, & Jansen, 2016):

$$E_c = \frac{1}{2} U^2 C \quad (1)$$

Met E_c de energie die de condensator op kan slaan in joule (J), de spanning in volt (V) en de capaciteit in farad (F).

Voor condensatoren parallel geschakeld geldt (Ling, Moebis, &

Jansen, 2016):

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (2)$$

Voor condensatoren in serie geschakeld geldt (Ling, Sanny, Moebis, & Jansen, 2016):

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (3)$$

Met C de capaciteit in farad (F).

Er zijn twee soorten condensatoren, gepolariseerd en niet-gepolariseerd. Het verschil tussen deze twee typen is dat de gepolariseerde een + en een - kant hebben en niet-gepolariseerde hebben dit niet. Niet-gepolariseerde condensatoren worden veel gebruikt in hoogfrequente circuits en gepolariseerde worden veel gebruikt om een elektrische stroom gelijk te maken, en dus om ongewenste frequentie te filteren uit een signaal (NextPCB, 2023). Er zijn verschillende soorten condensatoren die tot één van de twee typen behoren. Elk soort condensator heeft voor- en nadelen. De belangrijkste voor dit onderzoek zijn de volgende soorten: keramische en metaal-film condensatoren. Deze condensatoren zijn beide niet-gepolariseerd. Een keramische condensator bevat een keramisch plaatje, tussen de elektrodes (Walter J. Sarjeant, 2002). Door deze bouw kunnen keramische condensatoren stabiel en snel schakelen. Daardoor vormen keramische condensatoren een vrij ideale condensator voor het schakelen van hoge frequenties (NextPCB, 2023).

Het tweede belangrijke type is een metaal film condensator. Deze biedt bijna dezelfde voordelen, maar de grote verschillen zijn dat de metaal-film een grotere capaciteit heeft en iets efficiënter is (Walter J. Sarjeant, 2002).

2.1.4 Spoel

Nog een belangrijk component is de spoel, ook wel inductor genoemd. Een spoel wekt een magnetisch veld op wanneer er stroom door loopt; met andere woorden, energie wordt opgeslagen in de vorm van een magnetisch veld (Ling, Sanny, Moebis, & Janzen, 2016). De hoeveelheid energie die opgeslagen kan worden in dit veld is te berekenen met (Ling, Sanny, Moebis, & Janzen, 2016; BiNas, 2013):

$$E_l = \frac{1}{2} I^2 L \quad (4)$$

Met E_l de energie die de spoel (inductor) op kan slaan in joule (J), I de stroomsterkte in ampère (A) en L de zelfinductie in henry (H).

Wanneer er geen stroom meer aangevoerd wordt, wordt het opgewekte magnetisch veld terug omgezet in elektrische energie, om zo verschil in stroomsterkte tegen te gaan (Ling, Sanny, Moebis, & Janzen, 2016).

2.1.5 Transistor

Verder wordt gebruik gemaakt van twee transistoren. Een transistor heeft drie aansluitpunten, een poort, bron en afvoer. Ze zijn te zien als schakelaars, die opengaan als er een spanning op één specifiek aansluitpunt wordt aangesloten. Door deze kleine stroom gaat de schakelaar open en kan de grote stroom

door de andere twee aansluitpunten gaan lopen (Malmberg). In dit onderzoek zal gebruik gemaakt worden van een specifiek soort transistor, namelijk een MOSFET (of een Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor). Dit is een transistor die snel kan schakelen, en bij hoogfrequente spanning een laag energieverlies heeft (Cheriyedath, 2023). Een ander verschil is dat MOSFETs enkel een aan en uit stand hebben. Normale transistoren gaan bij een laag voltage op de poort een klein beetje open en bij iets hoger voltage iets meer, maar een MOSFET kan enkel volledig open of volledig dicht staan.

Er zijn twee soorten MOSFETs een P-type en een N-type. Het verschil is dat de P-type schakelt bij een negatieve spanning en de N-type bij een positieve spanning (Shridhar Paradkar, Zhou, & Padilla, 2024).

2.1.6 Rendement

Om na het meten het daadwerkelijke rendement te berekenen wordt gebruik gemaakt van de volgende formule (BiNaS, 2013):

$$\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{totaal}} \times 100\% \quad (5)$$

Hierin is P_{totaal} het totaal aangevoerde vermogen in watt (W). Dit is dus wat er uit de voeding komt. P_{nuttig} is het vermogen in watt (W) wat nuttig gebruikt kan worden, en dus wat er nog overblijft aan het einde van de reeks met omzettingen (voor visuele weergave zie Figuur 2). η is het rendement in procent (%).

Het vermogen is uit te rekenen via formules afgeleid uit de wet van Ohm (BiNaS, 2013):

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{en} \quad P = U \times I \quad (6)$$

Waarin: I de stroomsterkte in ampère (A), R de weerstand in ohm (Ω) en U de spanning in volt (V).

2.2. Elektromagnetische inductie

Een draadloze lader of inductielader is een oplader die gebruikt maakt van het natuurkundige proces van inductie. Inductie is het opwekken van een elektrisch of magnetisch veld in een naburig object door een ander elektrisch geladen of magnetisch object, of door een elektrische stroom, zonder dat er direct contact is tussen de twee. Dit houdt in dat ergens elektriciteit gaat lopen, doordat er op een andere plek elektriciteit loopt, terwijl deze twee punten niet aan elkaar vast zitten. Hierdoor kan er dus elektrische energie verplaatst worden zonder dat er contact is tussen de bron en de ontvanger (Huijbregtse, van der Schee, & Frederik). Dit principe is overigens niet nieuw, de basis hiervoor ontstond al in 1831 toen Michael Faraday de inductie wet van Faraday publiceerde (Massachusetts Institute of Technology). Deze werden verbeterd door Maxwell met zijn bekende Maxwell vergelijkingen en door Heinrich Rudolf Hertz die de theorie in de praktijk testte in de jaren erna (Brown, 1999). Ook draadloze laders zijn niet nieuw, het eerste grote werkende exemplaar werd in 1899 gebouwd door Nikola Tesla. Hij wilde

met zijn Tesla toren elektriciteit draadloos over grote afstanden vervoeren. Dit idee is echter nooit afgemaakt (teslasciencecenter, sd).

Er zijn tegenwoordig veel verschillende draadloze laders te verkrijgen op de markt, maar ze bestaan allemaal uit de volgende componenten (OnlineComponents):

- Een zendende spoel, deze zit in de lader en hier loopt de stroom van het stopcontact door;
- Een eenvoudige signaalgenerator;
- Twee condensatoren, om een RLC-circuit aan beide kanten te creëren (hierover meer in 2.4.2 RLC-circuit).

2.3. Qi standaard

De Qi standaard is een standaard voor draadloze laders, bedacht door het “Wireless Power Consortium” of WPC. Deze specificatie is er om snel en duidelijk weer te geven of een draadloze lader voldoet aan bepaalde eisen en goed werkt met een grote verscheidenheid aan telefoons (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). Dit komt doordat het WPC strenge eisen stelt aan wanneer iets het Qi logo mag dragen. Ook testen ze elk apparaat in onafhankelijke labs voordat het de markt op mag met hun Qi logo erop (Hill, 2024). Er zijn door de jaren heen verschillende vormen van de Qi standaard ontwikkeld. In dit onderzoek wordt met de Qi v2.0 standaard vergeleken, die was bij de start van het onderzoek het nieuwst. De v2.0 heeft magneten toegevoegd aan de randen, zodat de lader aan het apparaat vast blijft plakken. Echter zijn er nog weinig tot geen apparaten die deze standaard ondersteunen, gezien het WPC deze standaard pas recent heeft uitgebracht en aan deze standaard nog strengere eisen heeft gesteld, zoals bijvoorbeeld de kracht van de magneten, laadsnelheid en de achterwaartse compatibiliteit met oudere Qi producten (n.d., WPC History of the Qi Specifications, 2024).

Belangrijke onderdelen van de Qi v2.0 standaard voor dit onderzoek zijn: de frequentie, het vermogen en de coupling requirements (dit zijn de vereisten voor een optimale energie overdracht, de beste coupling). De gebruikte AC frequentie bij het inductieladen ligt bij de Qi v2.0 in het bereik 87 tot 205 kHz (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). Het vermogen is 5 tot 15 watt (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). Hierbij is het goed om te vermelden dat een Qi lader zelf kan schakelen tussen frequenties doormiddel van verschillende communicatieprotocollen. Een hogere frequentie betekent vaak een lager vermogen (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). De coupling requirements in de v2.0 standaard zijn: power transmitter en receiver gebruiken exact dezelfde spoel, de transmitter en receiver zijn perfect op elkaar geplaatst, de afstand tussen de spoelen is klein (minder dan de diameter van de spoel) en de spoelen hebben een extern schild van ferriet, dit is een ferromagnetisch keramisch materiaal (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). Als er niet exact aan deze eisen wordt voldaan treedt er dus nog wel coupling op, maar is die minder efficiënt.

De communicatieprotocollen regelen veel verschillende dingen zoals bijvoorbeeld: totaal vermogen, frequentie, interactie met vreemde voorwerpen, oplaadstatus, error controle en rendement. Voor dit onderzoek is alleen het rendement relevant, omdat dit aspect wordt onderzocht. De Qi v2.0 standaard heeft een

minimum rendement voor energieoverdracht. Als dit minimum niet wordt bereikt zal de lader ook niet werken. Dit minimum verschilt op basis van: vermogens, belasting en receivers/transmitters (voor een aantal minima zie Tabel 1 en 2).

2.4. Resonantiefrequentie

2.4.1 Resonantie

Resonantie is het natuurkundige verschijnsel dat een trillend voorwerp een ander voorwerp in trilling brengt. In het geval van inductie is deze trilling dus de frequentie van de wisselspanning. Door die wisselspanning in de ene spoel wordt er een wisselspanning opgewekt in de andere spoel.

2.4.2 RLC-circuit

In dit onderzoek is het een RLC-circuit (een LC-circuit met weerstand van de draden en andere componenten dus geen extra weerstand). Een RLC-circuit is een circuit met drie componenten; een spoel, een condensator en een weerstand. De weerstand komt in elk circuit voor, gezien ook draden (een heel kleine) weerstand hebben. De condensator en spoel zorgen voor een wisselwerking van energieopslag, namelijk in het elektrisch veld van de condensator en in het magnetisch veld van de spoel. Die oscillatie van energieopslag is voor een RLC-circuit en LC-circuit hetzelfde, waarvan een simpel voorbeeld in Figuur 3 is weergegeven. De condensator ontladst door de draad naar de spoel, zodra de condensator leeg is, loopt deze weer vol. Maar nu komt de stroom via de andere kant in de condensator, waardoor de + en - zijn omgedraaid. Als de condensator nu weer begint met ontladen, loopt de stroom in omgekeerde richting (Ling, Moebis, & Sanny, University Physics II: Thermodynamics, Electricity, & Magnetism, 2016). Hierdoor ontstaat uit zichzelf een AC spanning. De frequentie van deze AC-spanning is de resonantiefrequentie van dit circuit. In het echt zou er nieuwe energie, in de vorm van elektriciteit moeten worden aangevoerd (met dezelfde frequentie als de AC die uit zichzelf zou ontstaan), doordat de energie verdwijnt in een weerstand, maar dit voorbeeld laat wel zien hoe er vanzelf een resonantiefrequentie ontstaat.

De formule om de resonantiefrequentie bij een bepaald RLC-circuit te berekenen is (Tooley, 2006, p. 77; Sergey N. Makarov, 2019, p. 484; Jeroen Grijssen, 2018, p. 44)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

Waarbij f_0 de natuurlijke (resonantie-)frequentie in hertz (Hz), L de zelfinductie van de spoel in henry (H), en C de capaciteit van de condensator in farad (F). Uit deze formule is dus af te leiden dat de natuurlijke frequentie verandert, als de zelfinductie van de spoel wijzigt of de capaciteit van de condensator verandert.

Van een RLC-circuit zijn twee versies te onderscheiden, een acceptant- en een verwerpingscircuit. Een acceptantcircuit heeft alle componenten in serie geschakeld. Bij een verwerpingscircuit staat de condensator parallel over de spoel en weerstand. Het grote verschil in het gedrag van deze schakelingen is dat bij een acceptantcircuit de impedantie minimaal is bij

de resonantiefrequentie (zie Figuur 4). Bij een verwerpingscircuit is de impedantie maximaal bij de resonantiefrequentie (zie Figuur 5) (Departement Natuurkunde University of Sargodha, 2000; Tooley, 2006). De stroomsterkte is het hoogste alleen door de weerstand. Ook is het voltage het hoogst op resonantie (zie Figuur 6) (Tooley, 2006, p. 78). Dus zal bij een acceptantcircuit de stroomsterkte aan de ontvangende kant dus maximaal zijn op resonantie (Jeroen Grijssen, 2018, p. 44). Daarom zal op de resonantiefrequentie het opgewekte vermogen in de ontvangende spoel maximaal zijn, hiermee is ook het rendement het hoogst op de resonantiefrequentie.

2.4.3 Q-factor

Elke spoel heeft een zogenaamde Q-factor, deze factor is de bandbreedte van de resonantiefrequentie te berekenen (Tooley, 2006, pp. 77-78). De bandbreedte van de resonantiefrequentie is het gebied waaromheen er minimaal $0,707 \times V_{\max}$ haalbaar wordt (zie Figuur 6). De bandbreedte kan worden berekend met (Tooley, 2006, p. 78):

$$\text{bandbreedte} = f_1 - f_2 = \frac{f_0}{Q} \quad (8)$$

Met de bandbreedte de afwijking van f_0 in positieve en negatieve richting in hertz, f_1 is de afwijking naar onder en f_2 de afwijking naar boven, beide in hertz (Hz). f_0 is de Q-factor, en Q de kwaliteitsfactor van de spoel. De resonantiefrequentie in hertz is f_0 .

2.5. Totem pole circuit

Een totem pole circuit is een circuit waarin twee transistoren (in dit onderzoek zijn dat MOSFETS) boven elkaar geschakeld staan. Er wordt in dit onderzoek gebruikt gemaakt van een totem pole circuit, omdat een functiegenerator niet genoeg stroom kan leveren. Door een totem pole circuit kan een DC-sigitaal efficiënt worden omgezet in een AC-sigitaal, dat op de poorten van de transistoren wordt geplaatst. Door dit circuit, kan een DC-sigitaal dus een AC-sigitaal kopiëren. Deze circuits werken ook andersom, en worden dus ook veel gebruikt in voedingen.

Een totem pole circuit werkt doordat bij een hoog signaal van een functiegenerator enkel de bovenste transistor opent. Hierdoor kan er stroom van de bron naar de gebruiker lopen. In het circuit wat in dit onderzoek gebruikt wordt, kan er dan stroom van de bron naar de spoel lopen. Zodra het AC-sigitaal van de functiegenerator een laag spanningsniveau afgeeft, zal de bovenste transistor sluiten en de onderste openen. Hierdoor kan er stroom vanuit het RLC-circuit, terug door de draad naar de minpool van de bron lopen (Liu, Li, Mei, Xu, & Diao, 2020; Foolish Engineer, 2022). Hierdoor wisselt de stroom die naar de gebruiker loopt constant van richting, en is er dus een AC-sigitaal gecreëerd. Het wordt hierdoor ook wel een push-pull circuit genoemd, doordat de bovenste transistor stroom door de gebruiker draad duwt en de onderste het er weer uittrekt.

3. Methode

3.1. Materiaal

Hieronder is een lijst met het gebruikte materiaal/apparatuur weergegeven:

- 2x Qi gecertificeerde spoel (Würth Elektronik 760 308 110)
- 2x zelfgemaakte spoelen, met ferrietplaatje
- condensatoren (keramisch met waarden tussen 675nF tot 5nF)
- N-type MOSFET (IRLZ44N)
- P-type MOSFET (IRF9540N)
- 2x MOSFET heatsink
- 4x diodes (1N5819 Schottky)
- 1,0 nF metaalfilmcondensator (voor de bruggelijkrichter)
- 5W 10 hm cementdraadweerstand (als belasting)
- breadboard (soldeerbaar)
- breadboard kabels (Dupont)
- breadboard jumper kabels
- pin headers dubbel
- oscilloscoop (Joy-IT DMSO2D72)
- oscilloscoop (Siglent SDS802X HD)
- functiegenerator (Owon XDG2030)
- voeding (Korad U202)
- multimeter (Fluke 179)

3.1.1 Toelichting materiaalkeuze

In het nu volgende deel zal per item besproken worden waarom hiervoor is gekozen.

Qi gecertificeerde spoelen: hier is voor gekozen, omdat deze specifieke spoelen door Qi gecertificeerd zijn en ze hebben een dubbele laag koper, waardoor ze een groter en sterker veld kunnen creëren dan normaal. Ook hebben ze een dikke laag van ferriet om ruis uit de omgeving tegen te gaan. Het zijn ook zendende spoelen, maar doordat Qi specificeert dat de zendende en ontvangende spoel hetzelfde moeten zijn, worden er dus ook twee van deze spoelen gebruikt.

Zelfgemaakte spoelen, deze spoelen zijn geschonken om extra tests uit te voeren. Voornamelijk om te kijken of de resultaten van de Qi spoelen universeel toepasbaar zijn, of dat het toeval bij die spoel zo is.

Condensatoren: er is voor keramische condensatoren gekozen, omdat deze snel en in veel verschillende (ook kleine) waarden te verkrijgen zijn.

Schottky diodes: er is voor Schottky diodes gekozen omdat deze snel kunnen schakelen en een laag spanningsverval hebben (Goyal, 2022).

Soldeerbaar breadboard: de opstelling is gebouwd op een soldeerbaar breadboard, omdat zo het prototype dat werkte direct kon worden nagebouwd tot het eindproduct. Een soldeerbaar breadboard geeft ook meer stabiliteit dan een gewoon breadboard.

Oscilloscopen: de Joy-IT DMSO2D72 is gebruikt tijdens het opbouwen van de opstelling en het testen ervan. De Siglent

SDS802X HD is gebruikt tijdens de daadwerkelijke meting. De andere oscilloscoop was hier niet voor geschikt gezien deze draadloos is en er dan vreemde storingen in het signaal optreden. Ook beschikt de Siglent over meer functies, zoals het kunnen berekenen van een gemiddelde RMS-waarde (de effectieve gemiddelde waarde van wisselspanning) na een bepaalde tijd.

3.2. Opstelling

Voor dit experiment zijn er verschillende variabelen die gemeenten moeten worden, namelijk: het vermogen aan de zendende kant, het vermogen aan de ontvangende kant, de afstand tussen de spoelen en de golfvorm van de wisselspanning. Dit laatste is niet nodig voor de uitslag, maar zo is duidelijk te zien wanneer de meeste energieoverdracht plaatsvindt. Om het ontvangen vermogen te bepalen zijn er ook weer twee losse variabelen nodig, namelijk de totale weerstand en de spanning.

In het kort bestaat de opstelling van de zendende kant uit een spanningsbron en een functiegenerator, die aan elkaar vastzitten door twee MOSFET's. Parallel aan deze MOSFET's zijn een condensator en een spoel in serie geschakeld. Aan de ontvangende kant zit de spoel in serie aan een condensator, een bruggelijkrichter en een weerstand waarover het voltage wordt gemeten.

Er volgt nu een uitgebreidere uitleg van de opstelling (zie Figuur 7 voor een schematische weergave).

Er liggen twee spoelen boven op elkaar, met een vaste afstand ertussen. Bij beide spoelen is een keramische condensator in serie geschakeld, waardoor er een acceptant-RLC-circuit ontstaat.

Aan de zendende kant van het circuit staat het RLC-circuit parallel geschakeld met een N-type MOSFET. Boven deze N-type MOSFET is een P-type MOSFET geplaatst, zodat er een totem pole circuit ontstaat. Op de poort van deze MOSFET's is een functiegenerator aangesloten, die ervoor zorgt dat de MOSFET's openen en sluiten, waardoor deze een versterker vormen.

Aan de ontvangende kant van het circuit is het RLC-circuit verbonden met een bruggelijkrichter van Schottky-diodes. Er is voor gekozen om deze te gebruiken, omdat deze een laag spanningsverval en een snelle schakelsnelheid hebben. Deze zet de aankomende wisselspanning om in gelijkspanning, wat nodig is omdat een batterij – die normaal aan de ontvangende kant staat in een telefoon – alleen kan worden opgeladen met gelijkstroom. De positieve en negatieve polen worden aangesloten op een 10-weerstand. Parallel aan deze weerstand staat een condensator, die de gelijkspanning – die na de bruggelijkrichter nog schommelt – stabiliseert. De spanning wordt gemeten op twee plaatsen: over de voeding en over de weerstand aan de ontvangende kant, met behulp van een digitale oscilloscoop. De stroomsterkte wordt alleen door de voeding gemeten. Aan de ontvangende kant kan de stroomsterkte worden berekend met de formules van de wet van Ohm.

Met een oscilloscoop wordt over de weerstand gemeten om de spanningsvorm op dat moment te bepalen. Er wordt slechts op één locatie gemeten omdat de grondpunten (negatieve polen) van de oscilloscoop met elkaar verbonden zijn, wat ongewenste verbindingen of kortsluitingen in het circuit zouden kunnen

veroorzaken. Deze meetlocatie is gekozen om het voltage te bepalen en te zien hoe de golfvorm eruitziet na alle omzettingen. Om de afstand tussen metingen constant te houden zijn er met een 3D printer afstandhouders geprint (zie Figuur 8). Hier kunnen de spoelen in geschoven worden, zodat ze tijdens het meten telkens dezelfde afstand hebben en precies bovenop elkaar liggen. Deze zijn zo ontworpen dat het ferrietplaatje in het plastic kan worden geschoven. Zo wordt dus voldaan aan de coupling requirements.

3.3. Aanpassen van resonantiefrequentie

Om de frequentie te kunnen wijzigen moet eerst de resonantiefrequentie gewijzigd worden. Dit komt doordat het rendement het hoogst is bij de resonantiefrequentie. Doordat het effect van de frequentie op het rendement gemeten wordt, is dit dus van groot belang. In dit onderzoek wordt gemeten met een frequentie tussen de 10 en 400 kHz. Dit is omdat de waardes hierbuiten onrealistisch en inconsistent worden, gezien de condensatoren dan heel klein worden. Hierdoor wordt de (overtollige) capaciteit van het circuit een te groot deel van de totale capaciteit, waardoor de resonantiefrequentie niet meer te berekenen is en daardoor ook niet te vinden (dus kan er geen meting gedaan worden).

Om de resonantiefrequentie aan te passen, kan de totale capaciteit in het RLC-circuit gewijzigd worden. Dit kan door de condensator te verwisselen of een extra condensator parallel toe te voegen. Door dit te doen worden de waardes van deze condensator bij de vorige waardes worden opgeteld. De nieuwe resonantiefrequentie kan dan worden berekend aan de hand van de formule van een RLC-circuit. Deze formule kan ook worden herschreven zodat te achterhalen is wat de capaciteit van een condensator moet zijn om een bepaalde resonantiefrequentie te verkrijgen, dit wordt dan:

$$C = \frac{1}{(f_0)^2 \cdot (2\pi)^2 \cdot L} \quad (9)$$

Met C is de capaciteit in farad (F), f_0 de resonantiefrequentie in hertz en L de zelfinductie in henry (H). Vooraf kan dus al bepaald worden bij welke frequenties gemeten gaat worden en op basis daarvan worden condensatoren gezocht.

3.4. Werkwijze

Eerst worden afstandhouders 3D-geprint, met afstanden van: 2, 6, 8, 10, 12, 14, 16 en 18mm. Hier worden 2 dezelfde spoelen in geschoven. Daarna wordt er een condensator gekozen, waarbij de bijbehorende resonantiefrequentie net boven de vorige waarde ligt. Deze wordt in de opstelling geplaatst, waarna de frequentie die de functiegenerator afgeeft wordt ingesteld op de brekende waarde. De waardes van de condensatoren en de frequenties die daarbij horen volgens de formule, staan vermeld in Tabel 3. Hierna worden de voeding en de functiegenerator ingeschakeld. De voeding geeft altijd 5,50 volt af, zodat de gevonden waarden makkelijk te berekenen en consequent zijn. Hierna wordt de frequentie van de functiegenerator net zolang aangepast totdat de daadwerkelijke resonantiefrequentie gevonden is. De resonantiefrequentie is namelijk nooit precies de berekende waarde, gezien de rest van het circuit ook meespeelt

(zie ook Discussie). De resonantiefrequentie is gevonden wanneer de spanning over het circuit van de ontvanger de hoogst mogelijke waarde heeft bereikt, gezien bij een acceptancircuit de impedantie op het laagste punt is bij de resonantiefrequentie.

Hierna wordt het vermogen dat de voeding afgeeft berekend, door de spanning van de voeding te vermenigvuldigen met het aantal ampère die de voeding aangeeft. De spanning die de ontvangende spoel ontvangt, wordt bepaald door het gemiddelde voltage (RMS-waarde) over de weerstand die de oscilloscoop na 500 metingen aangeeft af te lezen. Deze wordt in de wet van Ohm ingevuld waarna met de waarde van de weerstand het ontvangende vermogen wordt berekend. Met deze twee vermogens wordt vervolgens het rendement berekend.

Alle metingen met de Qi spoelen zijn in duplo uitgevoerd. De metingen met de andere set spoelen zijn slechts één keer uitgevoerd vanwege tijdsgebrek.

4. Resultaten

In Figuur 9 tot en met 23 staan de resultaten van de metingen. Op de x-as staat de frequentie waarbij gemeten is en op de y-as het rendement. Hierin zijn de blauwe punten met bijbehorende blauwe trendlijn van de eerste meting en de oranje punten en trendlijn van de tweede meting. Onderaan de figuren staat de functie van de trendlijn, waarbij y_1 van de eerste meting is en y_2 van de tweede meting.

4.1. Qi spoel

In Figuur 9 t/m 17 zijn de resultaten van de metingen met de Qi gecertificeerde spoel weergegeven, waarbij de afstand steeds 2 mm kleiner is gemaakt. Deze grafieken laten zien dat er bij grote afstand, een kwadratisch verband zichtbaar is. Hoe kleiner de afstand tussen de spoelen, hoe meer lineair het verband wordt. Wat opvalt is dat de eerste en tweede meting vrijwel overeenkomen. Dit is ook te zien aan de functies van de trendlijnen die bijna hetzelfde zijn.

De afstand heeft dus invloed op het rendement. Het rendement wordt bij kleinere afstanden over het algemeen hoger. Wat wel opvalt is dat dit niet het geval is bij de hoge frequenties, daar neemt het rendement juist af bij kleinere afstanden. Er zijn ook frequenties die niet veel veranderen bij een verandering van afstand. Zoals de frequenties rond 140, 170 en 220 kHz. Dit valt extra op, gezien deze frequenties ook binnen de Qi standaard vallen. De piek van het rendement ligt bij elke afstand op een andere plek. Bij grote afstand ligt de piek van het rendement namelijk bij ongeveer 150 kHz. Deze verschuift bij kleinere afstanden langzaam naar steeds lagere frequenties (zie ook Figuur 24 en 25). Totdat deze bij de kleinste gemeten afstand ook op de kleinste gemeten frequentie ligt.

4.2. Zelfgemaakte spoel

In Figuur 18 t/m 23 zijn de resultaten van de metingen met de zelfgemaakte spoel weergegeven, waarbij de afstand ook steeds 2mm kleiner is gemaakt. In deze grafieken is te zien dat er bij grotere afstanden een lineair verband lijkt te bestaan tussen frequentie en rendement. Bij kleinere afstanden ontstaat er een kwadratisch verband. Dit lijkt dus het tegenovergestelde van

de uitkomst van de Qi gecertificeerde spoel. Dus ook hier heeft de afstand invloed op het rendement. Er is namelijk weer te zien dat bij een kleine afstand het rendement op bijna elke frequentie hoger is dan bij grotere afstand. Dit is in lijn met wat er is gevonden bij de Qi gecertificeerde spoel. Het effect hiervan is wel duidelijker zichtbaar, gezien het rendement bij kleine afstand rond 45% ligt en bij grote afstand maximaal rond de 22%. Ook de piek van het rendement verschuift hier weer naar lagere frequentie bij een kleinere afstand (zie ook Figuur 26).

Het rendement lijkt hier echter wel overal ongeveer evenveel af te nemen. Wat wel opvalt is dat hoewel de hoogste frequentie bij kleine afstand het minst efficiënt is, deze bij grotere afstanden juist het hoogst is, dus deze daalt het minst snel (zie ook Figuur 26).

5. Conclusie

Na het meten met twee verschillende spoelen en een duplometing valt te concluderen dat het optimale rendement bij Qi spoelen op een afstand van 18mm wordt bereikt rond de 88 - 226 kHz. Hoe kleiner de afstand tussen de spoelen, hoe verder het de optimale frequentie naar lagere waardes verschuift. Tot deze uiteindelijk rond 40 kHz bij 2mm komt te liggen.

Er is geen duidelijke conclusie te halen uit de zelfgemaakte spoel, doordat er te weinig metingen zijn gedaan.

Wat opvalt is dat het optimum voor de meeste afstanden binnen de Qi standaard valt. Dit geeft dus aan dat de Qi standaard zo is gekozen dat de efficiëntie daarbinnen maximaal is.

6. Discussie

Het verband bij de Qi spoelen lijkt bij een grote afstand kwadratisch, en bij kleinere afstanden langzaam lineair te worden. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het verband telkens kwadratisch zou kunnen zijn, maar dat het langzaam naar links (buiten de meetpunten) verschuift. Doordat de meetpunten telkens op dezelfde plek blijven liggen lijkt het lineair te worden, maar dit is waarschijnlijk niet het geval. Dit vermoeden is geprobeerd te controleren door één meetpunt toe te voegen (het meetpunt met de kleinste frequentie). Dankzij dit meetpunt is het verband tussen frequentie en rendement bij een afstand van 10mm kwadratisch i.p.v. lineair, wat het vermoeden dus bevestigd. Hetzelfde geldt waarschijnlijk voor de zelfgemaakte spoelen, maar hier schuift de grafiek steeds iets naar rechts hoe groter de afstand wordt.

Of de beste frequentie bij de zelfgemaakte spoel ook binnen de Qi standaard ligt, valt na de metingen niet te zeggen. Dit komt doordat bijna alle meetpunten buiten de Qi standaard liggen. Wellicht dat vervolgonderzoek dus zou kunnen onderzoeken, of ook bij niet Qi gecertificeerde spoelen het rendement het hoogst is binnen de frequenties die de Qi standaard specificeert.

Wat opvalt bij beide metingen, is dat bij de verschillende grafieken, de punten op basis van de x-as niet overal op één lijn liggen. Dit zegt dus dat de resonantiefrequentie verschuift bij verschillende afstanden. Dit is opvallend, want de condensatoren en spoelen waren bij de verschillende afstanden telkens hetzelfde. Dit komt waarschijnlijk door wederzijdse inductie. Dit is een effect dat altijd bij twee spoelen plaatsvindt (dus ook

bij de gebruikte opstelling voor dit onderzoek). Wederzijdse inductie is van veel meetkundige factoren afhankelijk waaronder de afstand tussen de spoelen (Giancoli, p. 910). Doordat de afstand tussen de spoelen verandert, verandert de wederzijdse inductie en daarmee de totale zelfinductie van het circuit (Giancoli, p. 910). Doordat de totale zelfinductie verandert en de resonantiefrequentie afhangt van de zelfinductie, verandert ook de resonantiefrequentie. Daar is in dit onderzoek geen rekening mee gehouden. Het zou beter zijn als daar bij vervolgonderzoek wel rekening mee gehouden wordt, want dan zijn de resonantiefrequenties voor alle afstanden hetzelfde en dus zijn de resultaten dan beter te vergelijken. Er zou rekening met de wederzijdse inductie gehouden kunnen worden door alle meetkundige factoren te meten. Met die gegevens kan dan de wederzijdse inductie berekend worden. Daarmee kan dan weer berekend worden hoeveel de totale zelfinductie verschilt. Op basis daarvan en de gewenste resonantiefrequentie kunnen condensatoren gekozen worden.

Tijdens het verkrijgen van de resultaten is ongeveer hetzelfde gezien als in onderzoek uit 2019. In dat onderzoek was gevonden dat bij het verhogen van de frequentie het rendement eerst omhoog en dan weer omlaag gaat (F. AZHAR, 2019). Dit heeft waarschijnlijk te maken met de resonantiefrequentie. Dit werd ook gezien tijdens het zoeken naar de resonantiefrequentie, eerst gaat het voltage omhoog (richting de resonantiefrequentie) en dan weer omlaag (voorbij de resonantiefrequentie).

Iets wat tijdens de dataverwerking opviel, is dat het maximale overgebrachte vermogen niet op dezelfde plek ligt als het maximale rendement. Het maximale vermogen lag bijna elke keer namelijk bij een lagere frequentie dan het maximale rendement, bijvoorbeeld bij meting 1 van de Qi spoel op 18mm lag het hoogste vermogen bij een frequentie van 60kHz en het hoogste rendement lag bij een frequentie van 181kHz (Tabel 4). Zoals eerder gezegd, is er bij een lagere frequentie ook een grotere overbrenging (2.3 Qi standaard). Wat alleen opviel was dat het hoogste vermogen zelfs onder de Qi standaard ligt. Dit zegt namelijk dat er bij het maken van deze standaard, meer is gekeken naar het rendement dan het bereiken van maximaal vermogen.

De zelfinductie van de spoel heeft een mogelijke afwijking van 10%, op de standaard waarde die de producent specificeert (Würth Elektronik, 2017). Ook zijn de waardes van de condensatoren niet perfect, waardoor de capaciteit aan beide kanten van het circuit niet altijd perfect hetzelfde is (zie ook Tabel 3). Dit is geprobeerd te minimaliseren door met combinaties van parallel geschakelde condensatoren de capaciteit aan beide zijden zo gelijk mogelijk te maken. Daarbovenop heeft het circuit zelf ook een bepaalde impedantie en capaciteit, waardoor de beide circuits sowieso niet precies dezelfde resonantiefrequentie hebben. Al deze afwijkingen samen zijn dus moeilijk volledig recht te trekken. Dit zorgt ervoor dat de formules voor de resonantiefrequentie nooit precies kan kloppen. Wel kan dit verklaren waarom bij bijna elke meting de daadwerkelijke resonantiefrequentie onder de berekende waarde lag. Doordat geldt: hoe hoger de capaciteit en/of zelfinductie, hoe lager de frequentie. Gezien de waardes van de capaciteit en zelfinductie van het circuit alleen positief kunnen zijn, verlaagt dit de resonantiefrequentie. Doordat de formules voor de resonantiefrequentie dus niet exact klopt, is er besloten om tijdens het meten

telkens te zoeken naar de frequentie waarbij de spanning aan de ontvangende zijde het hoogst is, gezien de impedantie in dat geval het laagst is. Er is wel enkel gezocht op gehele kHz, vanwege het tijdslimiet. Hierdoor is de gemeten waarde waarschijnlijk niet exact de resonantiefrequentie. Hierdoor kan de resonantiefrequentie dus maximaal 0,5 kHz afwijken. Wel is tijdens de metingen gezien dat wanneer de frequentie wordt aangepast het voltage weinig verandert rond de resonantiefrequentie. Dus zal deze afwijking in resonantiefrequentie geen significante invloed op het rendement hebben.

Bij hoge frequenties (boven de 400 kHz) moeten de condensatoren zo klein worden, dat de capaciteit en zelfinductie van het circuit een rol beginnen te spelen. Dit komt doordat de gebruikte condensator een waarde heeft, die in de buurt komt van de capaciteit die de andere componenten in het circuit dragen. Doordat deze waardes echter zo klein zijn, is het niet te meten wat de totale capaciteit is en dus is het niet mogelijk om de resonantiefrequentie te berekenen. Ook gaan bij deze waardes de onnauwkeurigheid in meetapparatuur en de waarde van de zelfinductie, een dusdanige rol spelen dat het moeilijk is te controleren of de resonantiefrequentie bereikt wordt. Dit is ook de reden dat er niet boven de 400 kHz wordt gemeten.

In dit onderzoek is geen rekening gehouden met de impedantie van het circuit. Dit komt doordat het doorrekenen hiervan snel erg ingewikkeld wordt, en het verschil voor de resultaten minimaal is. Ook worden meetfouten van apparatuur niet meegerekend. De reden hiervoor is dat deze fouten zo klein zijn ten opzichte van de eventuele andere afwijkingen, dat het geen zin heeft om deze mee te rekenen. Doordat deze fouten niet worden doorgerekend zou het kunnen dat de gemeten waardes niet helemaal overeenkomen met de werkelijkheid.

De wisselspanning die wordt opgewekt in de ontvangende spoel is bij weinig metingen helemaal gelijkgericht. Dit komt waarschijnlijk doordat de condensator niet genoeg capaciteit had om alle oneffenheden in de golfvorm van het signaal recht te kunnen trekken. Het zou ook kunnen dat de diodes niet snel genoeg zijn om de golf te filteren, maar dit is niet waarschijnlijk. Echter is het geen groot probleem dat het signaal niet helemaal recht is, aangezien dit met de RMS-waarde van de oscilloscoop wordt gecorrigeerd.

Er is voor dit onderzoek een (soldeerbare) breadboard gebruikt. Gezien deze uit banen die gekoppeld zijn bestaat, loopt het hoogfrequent signaal ook door deze banen. Daardoor loopt er door veel 'draden' hoogfrequente wisselstroom en dit wekt elektromagnetische velden rond het breadboard op. Ook zijn er aan het breadboard relatief lange draden verbonden (in vergelijking met een normale draadloze lader, waar alles op één printplaat zit), zodat niet alles boven op elkaar ligt. Hieromheen ontstaan ook velden. Gezien de spoelen dicht naast het breadboard liggen, om de lengte van de draden te minimaliseren, kunnen deze velden interfereren met het veld dat de spoel opwekt. Dit kan de totale overbrenging verstoren, waardoor het rendement of het vermogen lager uitvalt dan het eigenlijk zou zijn. Dit effect zal geen enorme invloed hebben op de resultaten, gezien de spoelen een ferrietplaatje hebben. Toch is het een factor dat de uitkomst zou kunnen veranderen.

Er is in dit onderzoek een diplometing gedaan. Voor veel on-

derzoeken worden vaak veel meer metingen gedaan, soms wel meer dan 30. Door tijdsgebrek is er voor dit onderzoek bij enkel de Qi spoel een diplometing uitgevoerd. Er is bij beide metingen weer opnieuw naar de resonantiefrequentie gezocht. De frequentie is echter niet overal precies hetzelfde. Het verschil zou kunnen komen doordat het moeilijk te zien is waar het voltage bij het ontvangende circuit het hoogst is. Dit zou kunnen komen doordat het voltage weinig wisselt rond de resonantiefrequentie (zie Figuur 6), en de resonantiefrequentie gezocht wordt op basis van maximale overbrenging. Waarschijnlijk is de frequentie hierdoor niet overal gelijk, maar deze afwijking is heel klein. Bij het rendement zijn soms grotere verschillen te zien. Dit komt waarschijnlijk doordat het rendement ook afhangt van de positie van de twee spoelen bovenop elkaar. Dit effect is geprobeerd zo klein mogelijk te houden door 3D geprinte houders te maken, maar doordat de metingen vrij snel gedaan werden, vanwege de grote hoeveelheid, is het mogelijk dat de spoelen niet elke meting perfect boven elkaar hangen. Dit kan ook verklaren waarom er een wisselend verschil is tussen de verschillende metingen.

Eventuele verbeteringen aan dit onderzoek zouden bijvoorbeeld het afschermen van de rest van de opstelling tegen elektromagnetische straling van buiten en van zichzelf zijn. Dit komt doordat er bijna overal elektromagnetisch straling is die eventueel kan interfereren met de energieoverdracht. Ook zendt het circuit elektromagnetische straling uit dat tussen de spoelen zou kunnen komen, waardoor het ook een goed idee is om de spoelen van de rest van het circuit af te schermen. Daarnaast zou het handig zijn om een grotere condensator bij de gelijkrichter te gebruiken, zodat de ontvangen golf functie beter kan worden gelijkgericht.

Een mooi vervolgonderzoek zou nog kunnen zijn dat er een generalisering getrokken zou kunnen worden van de gevonden resultaten. Waarom komt er bijvoorbeeld bij de Qi spoel een kwadratisch verband als resultaat, maar bij de zelfgemaakte spoel niet. Wellicht dat hier in de toekomst antwoord op gegeven kan worden. Door vervolgonderzoek kan draadloos laden nog efficiënter worden, gezien het in de toekomst alleen maar groter wordt, zou energieverstopping hiermee kunnen worden ingeperkt.

7. Erkenning

Wij willen onze dank uitspreken naar Alex Vermaning voor zijn waardevolle ondersteuning, bij het opbouwen van de opstelling en het beschikbaar stellen van apparatuur.

Referenties

(sd). Opgehaald van *Tesla Science Center*: <https://teslasciencecenter.org/teslas-wireless/>

BiNaS. (2013, februari 20). *BiNaS. Binas*, 6, 304. (R. Bouwens, P. d. Groot, W. Kranendonk, J. v. Lune, C. Prop - van den Berg, J. v. Riswick, & J. Westra, Samenstellers). Noordhoff Uitgevers. Opgeroepen op oktober 2024, van https://drive.google.com/file/d/18j6z4dqeHbYjozoeUpSTMBDZqkGM2P_/view?pli=1

- Brown, W. C. (1999, februari 19). *The history of wireless power transmission. The history of wireless power transmission*, 56, 19. (W. C. Brown, Red.) Weston, Massachusetts, Verenigde Staten: Elsevier Science Ltd. doi:10.1016/S0038-092X(96)00022-8
- Cheriyedath, S. (2023, mei 24). *MOSFETs and Their Advantages Over Other Transistors*. AZO Materials. Opgeroepen op januari 22, 2025, van <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=22700>
- Departement Natuurkunde University of Sargodha. (2020, mei 7). *Acceptor and rejector circuit. L-C-R Series and Parallel Resonance*. Sargodha, Punjab, Pakistan: University of Sargodha. Opgeroepen op 6 januari 2025, van <https://lms.su.edu.pk/download?filename=1588853749-acceptor-rejector-circuit.pdf&lesson=9542>
- F. Azhar, N. A. (2019, februari). *Basic Characteristics of Wireless Power Transfer. Journal of Engineering Science and Technology*. Opgeroepen op 13 januari 2025, van https://jestec.taylors.edu.my/Special%20Issue%20on%20SU18/SU18_16.pdf
- Foolish Engineer. (2022, april 14). *What is Totem Pole MOSFET Gate Driver? Totem Pole MOSFET Gate Driver Working — Push-Pull Gate Driver*. India. Opgeroepen op november 20, 2024, van <https://youtu.be/hxK5hNAsVH0?t=207>
- Fortune Business Insights™. (2025, 16 januari). *Wireless Charging Market Size, Share and COVID-19 Impact Analysis, By Technology (Resonant, Radio Frequency, and Others), By Application (Consumer Electronics, Automotive, Healthcare, and Others), and Regional Forecast, 2023-2030*. 140. Pune, Maharashtra, India: Fortune Business Insights™. Opgeroepen op januari 18, 2025, van <https://www.fortunebusinessinsights.com/wireless-charging-market-105183>
- Giancoli, D. C. (z.d.). *Natuurkunde Deel 2: Elektriciteit, Magnetisme, Optica en Moderne Fysica*. Pearson Education.
- Huijbregtse, M., van der Schee, J., & Frederik, J. (z.d.). 5. *Inductie. Onderwerp: Elektrisch veld en magnetisch veld*. Nederland: Project Nieuwe Natuurkunde. Opgeroepen op januari 25, 2025, van <https://www.natuurkunde.nl/artikelen/2101/5-inductie>
- Ling, S. J., Moebis, W., & Sanny, J. (2016, oktober 6). *University Physics II: Thermodynamics, Electricity, & Magnetism*. Verenigde Staten: LibreTexts. Opgehaald van [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_\(OpenStax\)/University_Physics_II_-_Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism_\(OpenStax\)/14%3A_Inductance/14.06%3A_Oscillations_in_an_LC_Circuit](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_(OpenStax)/University_Physics_II_-_Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism_(OpenStax)/14%3A_Inductance/14.06%3A_Oscillations_in_an_LC_Circuit)
- Liu, C., Li, C., Mei, W., Xu, C., & Diao, L. (2020, april 8). *Research on Principle and Control Method of Totem-Pole PFC. Proceedings of the 4th International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation (EITRT) 2019*, 638, 481-487. (L. Jia, Y. Qin, B. Liu, Z. Liu, L. Diao, & M. An, Red.) China: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-15-2862-0_46
- Malmberg. (sd). *Nova Natuurkunde 3 VWO deel B. II(3)*, 5.1, 205. (C. Biemans, Red.) Nederland: Malmberg. Opgeroepen op oktober 30, 2024, van <https://novanatuurkunde.secure.malmberg.nl/lessonmaterial>
- Massachusetts Institute of Technology. (z.d.). *Faraday's Law of Induction. Course Notes Chapter 10*, 31. Opgeroepen op oktober 19, 2024, van <https://web.mit.edu/coursenotes/modules.pdf>
- Mokhtari, S. (2024, april). *Wireless Charging: Trading Efficiency for Convenience*. Stuttgart, Duitsland: iFixit. Opgeroepen op januari 18, 2025, van <https://www.ifixit.com/News/94409/wireless-charging>
- n.d. (2023, april). *Wireless Power Consortium*. Opgeroepen op oktober 6, 2024, van <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/specifications>
- n.d. (2024). *WPC History of the Qi Specifications*. Opgeroepen op maart 11, 2024, van <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/specifications>
- NARAYANAN, R. (2015, februari 23). Opgeroepen op april 1, 2025, van https://www.we-online.com/catalog/media/WPCCChangingConsiderations_EN.pdf
- NextPCB. (2023, april 21). *Capacitor Polarity: What You Need to Know*. Shenzhen, China: NextPCB. Opgeroepen op oktober 30, 2024, van <https://www.nextpcb.com/blog/capacitorpolarity>
- OnlineComponents. (sd). *The Engineering Behind Wireless Charging*. Phoenix, Arizona, Verenigde Staten. Opgeroepen op januari 22, 2025, van <https://www.onlinecomponents.com/en/blogpost/the-engineering-behind-wireless-charging/>
- Pinkcube. (2023). *Welke telefoons ondersteunen draadloos opladen?* Doetinchem, Gelderland, Nederland: Pinkcube. Opgeroepen op november 18, 2024, van <https://www.pinkcube.nl/gadgetsbedrukken/draadloosopladen>
- Sergey N. Makarov, R. L. (2019). *Practical Electrical Engineering*. Springer.
- Shridhar Paradkar, S., Zhou, R., & Padilla, J. (2024, mei 28). *Comparing N-Channel and P-Channel MOSFETs: Which is best for your application?* Chicago, Illinois, Verenigde Staten: Littlefuse. Opgeroepen op november 17, 2024, van <https://www.powerelectronicsnews.com/comparing-n-channel-and-p-channel>
- Stankiewicz, J. M. (2021, augustus 22). *Estimating the possibility of maximizing efficiency in the periodic WTP system*. 6. Białystok, Podlachië, Polen: Białystok University of Technology, Faculty of Electrical Engineering. doi:10.15199/48.2021.08.22

Tooley, M. H. (2006, juli 18). *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*. Taylor & Francis Ltd. Opgeroepen op januari 11, 2024, van https://books.google.nl/books?id=rwWWvtQYEO0C&pg=PA78&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

University of Birmingham. (sd). *Physics A level revision resource: Introduction to capacitors*. Birmingham, Verenigd Koninkrijk: University of Birmingham. Opgeroepen op oktober 25, 2024, van <https://www.birmingham.ac.uk/study/undergraduate/schoolsandcolleges/post16/alevelstemresources/capacitors>

Walter J. Sarjeant, J. Z. (2002, augustus 6). *IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE*. *Capacitors*, 26, 4-5. Buffalo, New York, Verenigde Staten: IEEE. doi: 10.1109/27.736020

World Economic Forum. (2023, april 11). *Charted: There are more mobile phones than people in the world*. (Statista, Red.) World Economic Forum. Opgeroepen op oktober 6, 2024, van <https://www.weforum.org/agenda/2023/04/chartedtherearemorephonesthanpeople/>

Würth Elektronik. (2017, april 24). *WE-WPCC Wireless Power Charging Transmitter Coil*. Waldenburg, Duitsland. Opgeroepen op januari 18, 2025, van <https://www.we-online.com/components/products/datasheet/760308100110.pdf>

8. Figuren

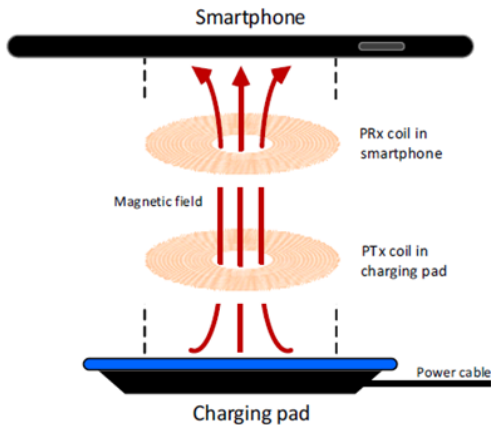


Figure 1: Qi draadloos laden door middel van elektromagnetische inductie (n.d., Wireless Power Consortium, 2023).

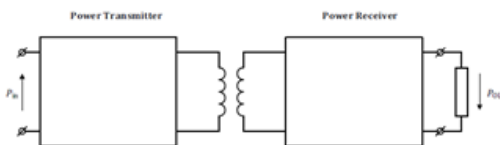


Figure 2: Visuele weergave voor rendement berekening (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). P_{in} is Ptotaal en P_{out} is Pnuttig.

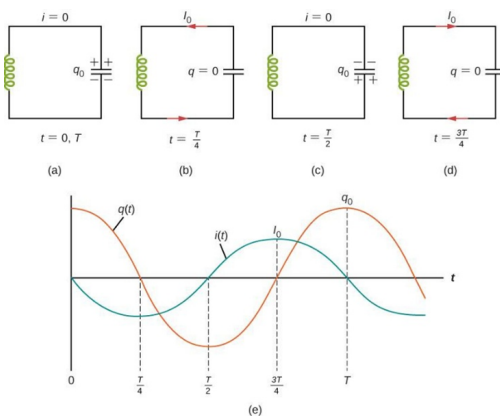


Figure 3: De oscillatie van ladingsopslag met veranderende stroom-richtingen in een ideaal LC-circuit (ideaal betekent dat er geen rekening wordt gehouden met weerstand). (e) De grafieken tonen de verdeling van lading en stroom tussen de condensator en de inductor (Ling, Sanny, Moebis, & Janzen, 2016, p. 809).

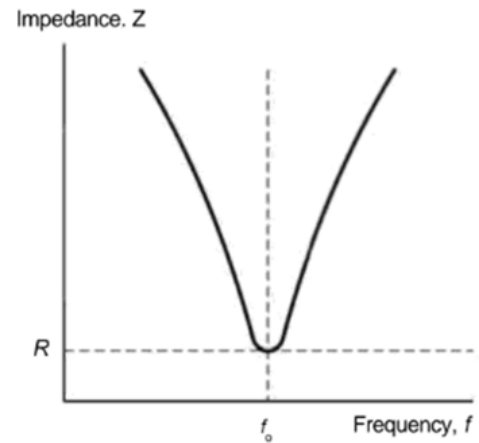


Figure 4: Impedantie tegen frequentie voor een RLC acceptantcircuit (Tooley, 2006, p. 77).

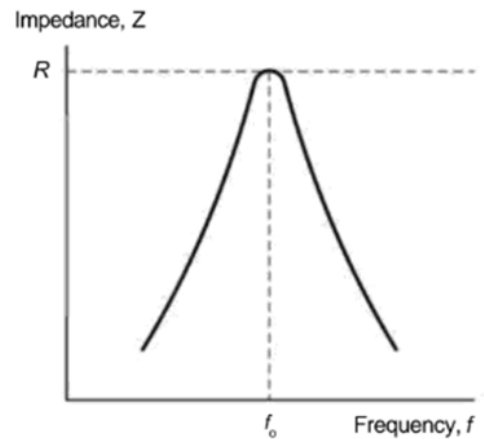


Figure 5: Impedantie tegen frequentie voor een RLC verwerpingscircuit (Tooley, 2006, p. 77)

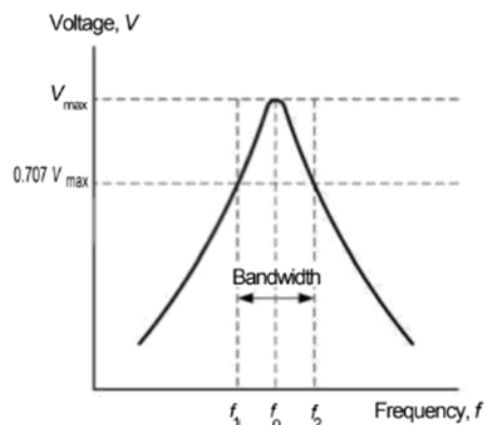


Figure 6: Grafiek waarin wordt laten zien dat de maximale spanning wordt opgewekt bij resonantie, en er wordt bandbreedte visueel weergegeven (Tooley, 2006, p. 78).

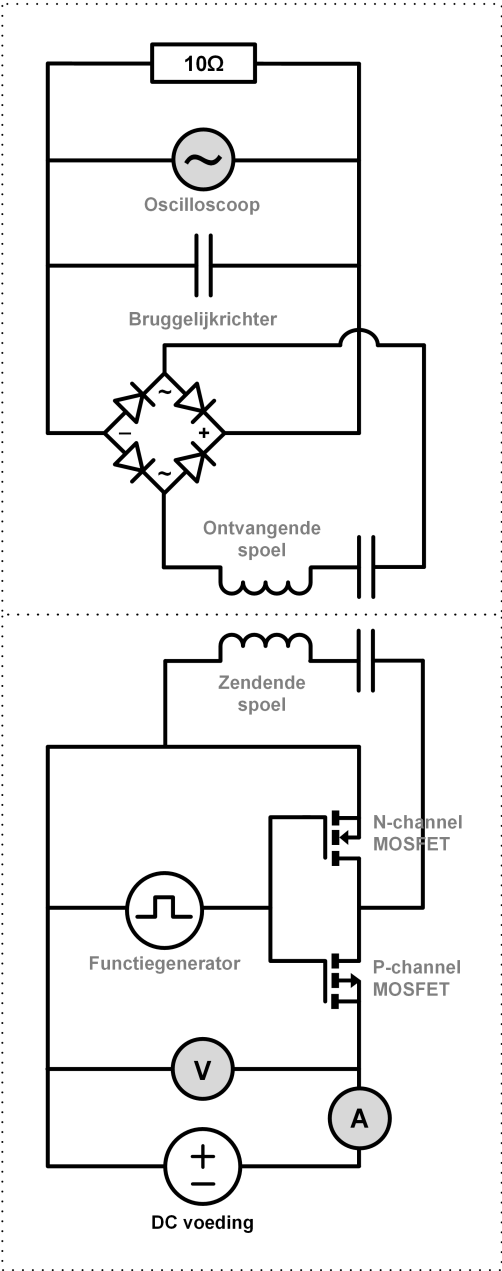


Figure 7: Opstelling voor het meten.

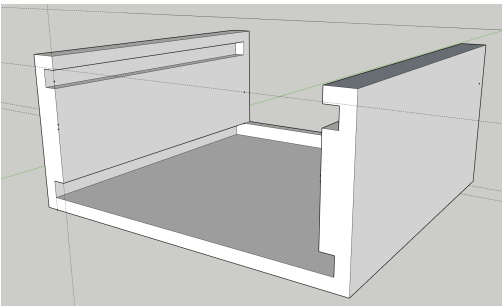


Figure 8: 3D-geprinte afstandhouders.

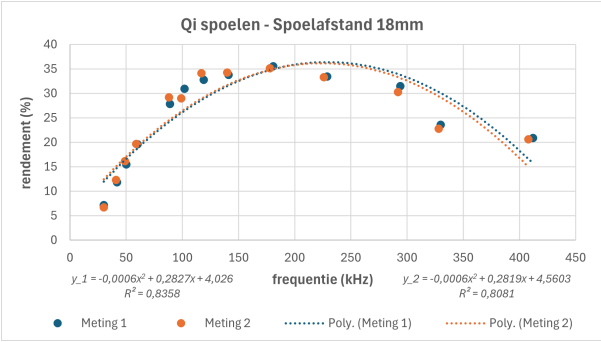


Figure 9: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 18mm.

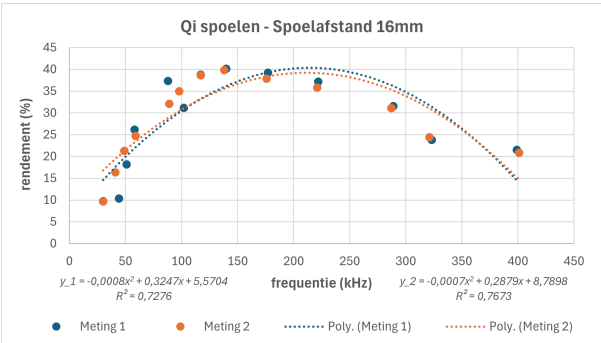


Figure 10: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 16mm.

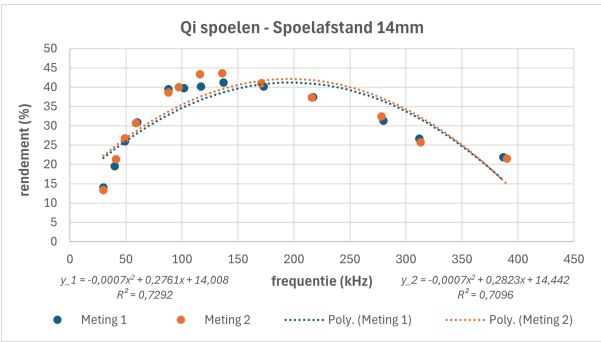


Figure 11: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 14mm.

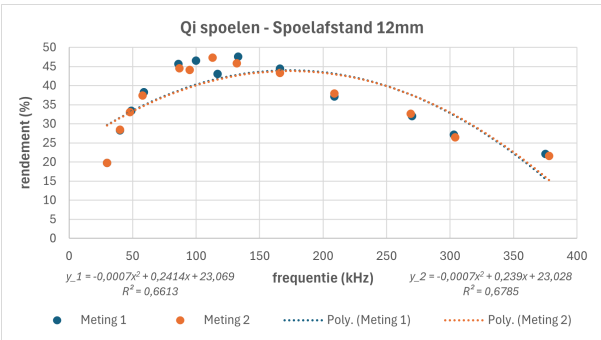


Figure 12: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 12mm.

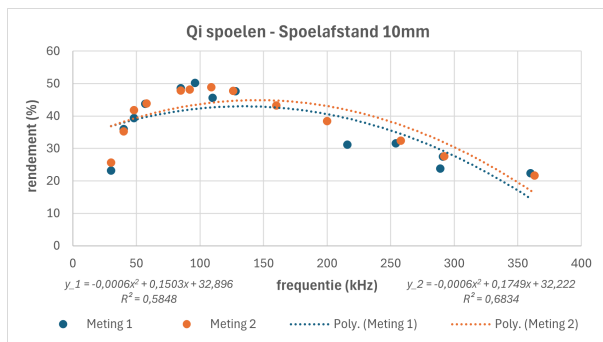


Figure 13: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 10mm.

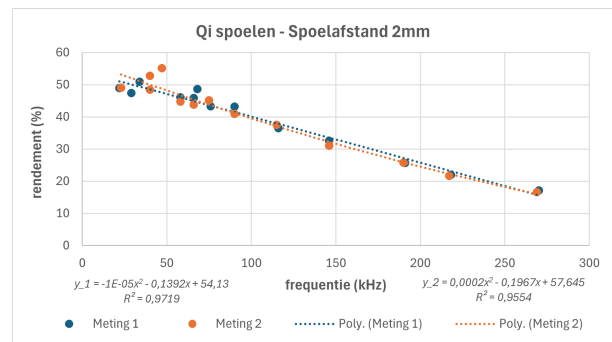


Figure 17: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 2mm.

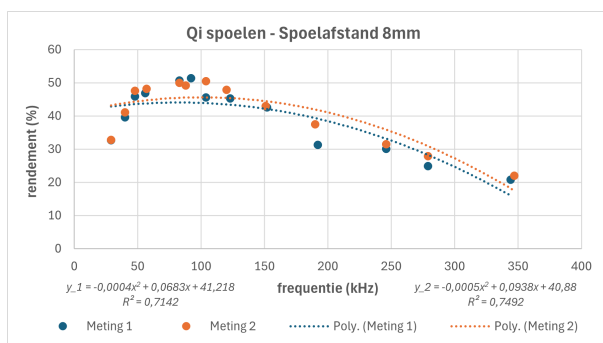


Figure 14: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 8mm.

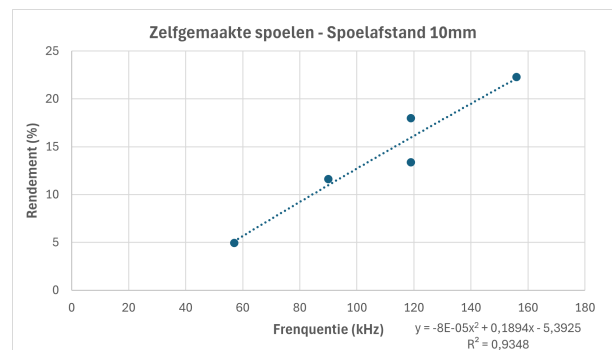


Figure 18: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 10mm.

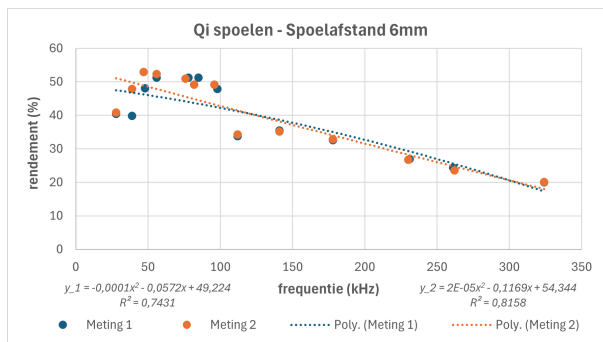


Figure 15: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 6mm.

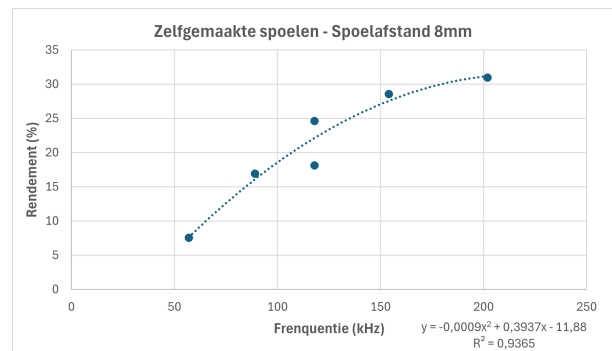


Figure 19: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 8mm.

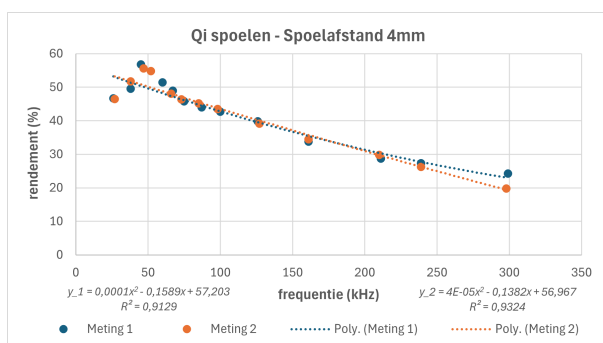


Figure 16: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 4mm.

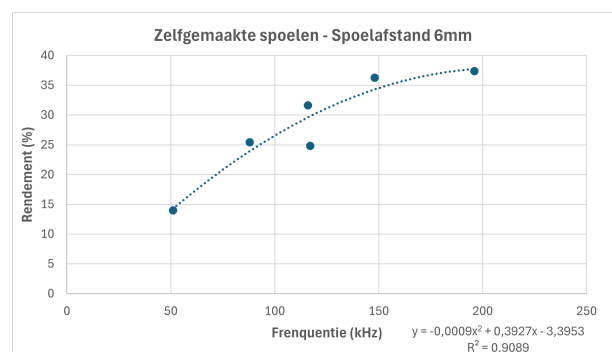


Figure 20: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 8mm.

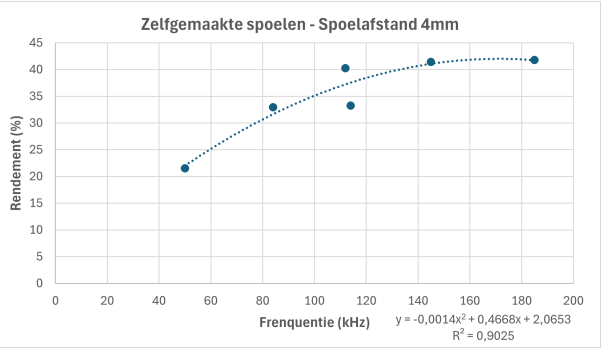


Figure 21: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 4mm.

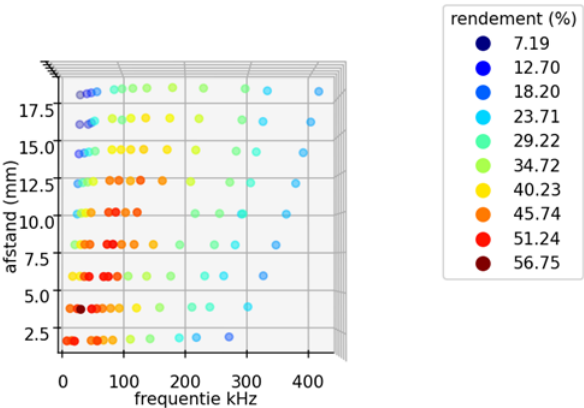


Figure 24: Bovenaanzicht van een 3d spreidingsdiagram van meting 1 met de Qi spoel.

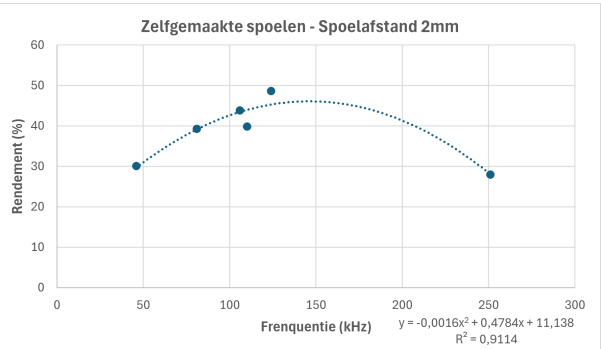


Figure 22: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 2mm.

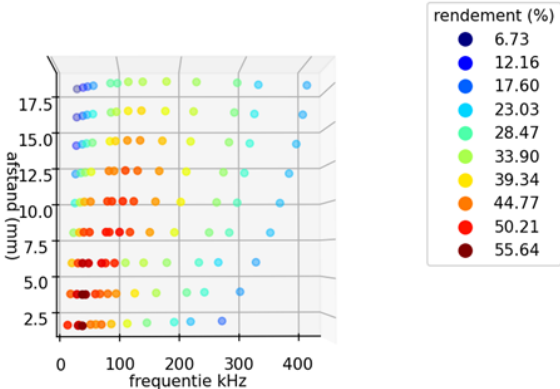


Figure 25: Bovenaanzicht van een 3d spreidingsdiagram van meting 2 met de Qi spoel.

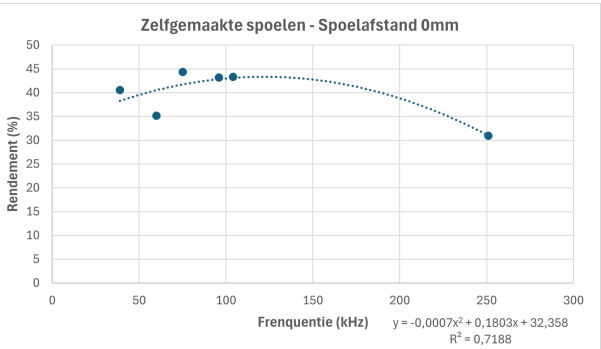


Figure 23: Verband tussen frequentie (Hz) en rendement (%) bij een spoelafstand van 0mm.

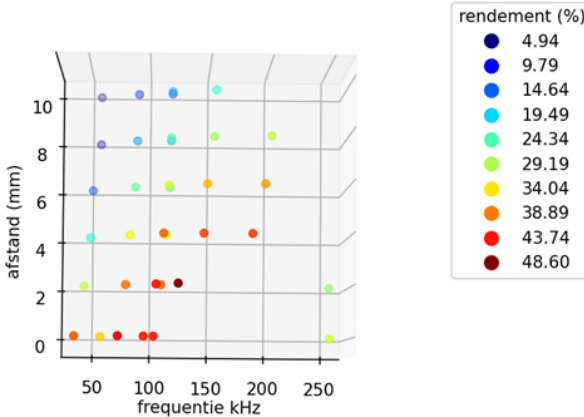


Figure 26: Bovenaanzicht van een 3d spreidingsdiagram van de meting met de zelfgemaakte spoel.

9. Tabellen

Test Power Receiver	Volume I Power Transmitter (5W)		Volume II Power Transmitter (15W)	
	Load (Ω)	Minimum System Efficiency (%)	Load (Ω)	Minimum System Efficiency (%)
TPR#1A	3.5	55	3.5	55
TPR#1B	8.7	65	8.7	65
TPR#1C	10	50	10	50
TPR#1D	75	25	75	25
TPR#1E	5	55	5	55
TPR#MPIA	-	-	4.2	65
TPR#MPIB	-	-	9.6	75
TPR#MPIC	-	-	12	75

Table 1: Minimum rendement bij verschillende vermogens, loads (belastingen) en transmitters (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). Dit zijn niet alle transmitters, loads (belastingen) en vermogens.

Test Power Receiver	Load (Ω)	Minimum System Efficiency (%)
TPR#1A	3.5	55
TPR#1B	8.7	65
TPR#1C	10	50
TPR#1D	75	25
TPR#1E	5	55

Table 2: Minimum rendement bij verschillende loads (belastingen) en receivers (n.d., Wireless Power Consortium, 2023). Dit zijn niet alle receivers, loads (belastingen) en vermogens.

Gemeten frequentie (Hz)	Gebruikte condensatoren zendende spoel (nF)	Gebruikte condensatoren zendende spoel (nF)
30.000	1031	1027
44.000	564,82	565
51.000	385	385
85.000	267	270
108.000	207	90
139.000	46,56	46,56
176.000	23	23
211.000	17	17,19
289.000	10	10
323.000	8,39	8,72
399.000	5,24	5,24

Table 3: De frequenties waarbij ongeveer is gemeten, en de bijbehorende waardes van de condensatoren aan zendende en ontvangende kant van het circuit. De zelfinductie van de spoel is $24 \cdot 10^{-6}$ H. Deze frequenties zijn bij benadering, er is namelijk telkens gezocht naar de resonantiefrequentie. Deze frequenties waren het beginpunt van zoeken, gezien deze de beste resultaten gaven bij 16mm.

Gemeten frequentie (Hz)	Output vermogen (W)	Rendement(%)
30.000	0,506	7,2
42.000	0,702	11,8
51.000	0,894	15,5
85.000	1,030	17,9
108.000	1,255	21,8
139.000	1,435	25,6
176.000	1,532	27,8
211.000	1,621	31,3
289.000	1,635	31,6
323.000	1,720	33,5
399.000	1,790	34,9
412.000	1,802	35,2

Table 4: *Het vermogen en rendement bij de frequenties waarbij gemeten is tijdens meting 1 van de Qi spoel op 18mm.*

De correlatie tussen nieuws, partijprogramma's en de uitkomst van Hongaarse verkiezingen

L. Rekers ¹, N. Tufek ², S. Varsovia ³, A. ten Cate ³, F. Voshaar ¹ & B. Bollen ²

¹ *Canisius, Almelo*

² *Pius X College, Almelo*

³ *Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – From a Western perspective, the Hungarian party Fidesz is often met with criticism for various reasons. However, Hungarian voters seem to hold a different view electing the party for multiple times across the history. This raises curiosity about the factors influencing their political choices. This paper seeks to answer the question: “To what extent is there a correlation between the topics discussed in Hungarian news, their similarity to the party programs of Hungarian parties and the outcome of the 2018 and 2022 Hungarian parliamentary elections?”. To investigate this a thematic analysis is conducted by identifying key themes in Hungarian news coverage from the top five news sites in Hungary in the given time periods. From these themes statements are formed and compared to the party programs to assess their alignment. By the examination of this alignment, no correlation can be found between the topics discussed in Hungarian news, their similarity to the party programs of the Hungarian parties and the outcome of the 2018 and 2022 Hungarian parliamentary elections.

1. Introductie

Hoewel democratie een van de belangrijkste waarden is van de Europese Unie (European Union, 2007), ook wel de EU, is er in EU-lidstaat Hongarije een de-democratisering geconstateerd (European Parliament, 2022). Deze afname van respect voor democratische waarden zou begonnen zijn in 2010, het jaar waarin de partij Fidesz na een regeringsperiode tussen 1998 en 2002 opnieuw de meeste stemmen kreeg en Victor Orbán opnieuw Minister-President van Hongarije werd. Dat de regering de reden is voor de de-democratisering is vrij aannemelijk, aangezien Orbán in een toespraak heeft gezegd dat hij hoopt van Hongarije een ‘niet-liberale democratie’ te maken (Orbán, 2014). Ondanks de zorgen van de EU blijft Fidesz herkozen worden, in 2022 al voor de vierde keer. Uit de resultaten van de verkiezingen blijkt dat een grote meerderheid van de Hongaren wil dat Fidesz aan de macht blijft (Nemzeti Média- és Hírközlési Bizottság, 2022). In dit onderzoek is geprobeerd een verklaring te vinden voor waarom Fidesz herkozen blijft worden door de Hongaarse bevolking. Dit wordt gedaan door krantenartikelen uit Hongaarse nieuwssites te analyseren om zo thema's te vinden die mogelijk belangrijk zijn voor de Hongaarse bevolking en mee zouden kunnen spelen in hun stemkeuze. De onderzoeksvraag hierbij luidt: “In hoeverre is er een correlatie tussen de thema's die worden besproken in het Hongaarse nieuws, hun overeenkomst met de partijprogramma's van de Hongaarse partijen en de uitkomst van de Hongaarse parlementsverkiezingen van 2018 en 2022?”

2. Theoretisch kader

Om het onderzoek en de situatie in Hongarije beter te kunnen begrijpen zal er hieronder meer worden uitgelegd over Fidesz en andere Hongaarse partijen, de theorie van agenda-setting en de thematische analyse.

2.1. Fidesz

Fidesz ontstond in de jaren tachtig als protestgroep tegen het communisme, maar ontwikkelde zich tot een centrumrechtse politieke partij (Szabó, 2011). Tegenwoordig is Fidesz een rechtse partij met kenmerken van populisme (Szabó, 2011). In de verkiezingen van 1998 wist Fidesz de meeste zetels te bemachtigen en werd hun leider Victor Orbán minister-president, tot de volgende verkiezingen in 2002 die werden gewonnen door de socialistische partij MSZP. In 2010 is Fidesz met een grote meerderheid van de stemmen herkozen, de partij kreeg 263 van de 386 zetels in het parlement, en is nog altijd de grootste partij in Hongarije (Hungarian National Assembly, sd). Fidesz is vrij conservatief, er is veel aandacht voor traditionele Hongaarse families met veel kinderen (Katharina Bluhm, 2019) en het geloof (Ádám & Bozóki, 2016). Zoals blijkt uit verkiezingsuitslagen is het grootste deel van de Hongaarse bevolking tevreden met de partij, maar minderheden, bijvoorbeeld de LHBTI-gemeenschap of immigranten, hebben het moeilijk onder het regime van Fidesz (Waterbury, 2020).

2.2. Andere partijen

Hoewel Fidesz de grootste is, zijn er uiteraard ook andere politieke partijen actief in Hongarije. Om de hoeveelheid te beperken zijn alleen relevante partijen meegenomen in het onderzoek, relevante partijen zijn hierbij partijen die meer dan één zetel hebben behaald in de verkiezingen van dat jaar. In 2018 waren de partijen die behalve Fidesz deelnamen in de verkiezingen Jobbik (extreemrechts), MSZP (sociaaldemocratisch), Demokratikus Koalíció of DK (links-liberaal) en LMP (groen). Fidesz behaalde dat jaar opnieuw een ruime overwinning met 66,8% van de zetels in het Parlement, gevolgd door 13,1% voor Jobbik, 10,1% voor MSZP, 4,5% voor DK en 4,0% voor LMP (Statisztika Hivatal, sd). In 2022 waren de andere deelnemers aan de verkiezingen Mi Hazánk (conservatief) en de partij Egységben Magyarországért of EM, een verenigde lijst van oppositiepartijen die hoopten gezamenlijk

als grote partij Fidesz te kunnen verslaan. Uiteindelijk gingen in dit jaar 67,8% van de zetels naar Fidesz, EM kreeg 28,6% van de zetels en 3,0% van de zetels waren voor Mi Hazánk (Nemzeti Választási Iroda, sd).

2.2.1 Agendasetting-theorie

De agendasetting-theorie werd geformuleerd door Max McCombs en Donald Shaw in een onderzoek naar de presidentscampagne van 1968 in Chapel Hill, North Carolina. In dit onderzoek is aangetoond dat de media een grote invloed heeft op hoe mensen bepalen welke onderwerpen prioriteit hebben. Media en vooral het nieuws zijn een belangrijke bronnen voor mensen als het gaat om informatie over politiek, deze informatie helpt de bevolking bij het vormen van een beeld van de politieke situatie in hun land en het vormen van een mening hierover (Alivi et al., 2018). Wanneer mensen zien dat het goed gaat in hun land op het gebied van bijvoorbeeld economie zullen ze tevreden zijn over het beleid van de regering op dit gebied en daardoor een positievere indruk krijgen van deze partij. Aan de andere kant zullen mensen eerder geneigd zijn te stemmen op de oppositie wanneer bijvoorbeeld problemen in de gezondheidszorg veel worden besproken in het nieuws (McCombs & Shaw, 1972). Het nieuws zet mensen, vaak onbewust, aan het denken over bepaalde onderwerpen. Onderwerpen die veel worden besproken in het nieuws zullen daardoor als belangrijker worden gezien. Standpunten van politieke partijen over deze onderwerpen kunnen dan doorslaggevend zijn in de stemkeuze.

2.2.2 Priming en framing

Het proces van agendasetting kan worden ingedeeld in priming en framing. Priming is het proces waarbij de media gebeurtenissen die ze als belangrijk vinden meer in de spotlight zullen zetten en gebeurtenissen die ze niet belangrijk vinden zullen negeren of niet veel of uitgebreid bespreken, op die manier beïnvloeden ze lezers in welke onderwerpen als wel of niet belangrijk worden gezien (Patricia Moy, 2016).

Framing gaat een stap verder, hierbij gaat het om hoe de media een onderwerp presenteert. Zo kunnen negatieve of positieve kanten naar voren komen (Patricia Moy, 2016). Op die manier sturen de media niet alleen welke onderwerpen als belangrijk worden gezien, maar ook welke mening de lezers over dit onderwerp vormen.

2.3. Verschillende analysemethoden

Bij het doen van een analyse van krantenartikelen zijn er verschillende methoden die gebruikt kunnen worden. Doordat een vertaalde versie van de artikelen gebruikt wordt in plaats van in de originele taal zijn een aantal methoden niet bruikbaar, zoals: discourse analyse, retorische analyse of frame analyse. Deze methoden richten zich op toon en woordkeuze, deze blijft niet intact in de vertaling en daarom zijn deze methoden niet geschikt voor dit onderzoek.

In dit onderzoek is de thematische analyse de beste optie. Thematische analyse wordt beschouwd als de meest geschikte methode voor elk onderzoek dat via interpretaties van data tot een conclusie probeert te komen. Het biedt een systematisch

element voor kwalitatieve data-analyse (Alhojailan, 2012). Het stelt de onderzoeker in staat om een analyse van de frequentie van een thema te koppelen aan de gehele inhoud. Een kwalitatief onderzoek als deze (Marks en Yardley, 2004). De thematische analyse is toegepast bij het analyseren van krantenartikelen om inzicht te krijgen in welke onderwerpen vaak voorkomen.

3. Methode

In dit onderzoek wordt geprobeerd aan te tonen dat agendasetting-theorie een mogelijke verklaring kan zijn voor het vraagstuk “Waarom stemmen Hongaren op Fidesz?”. Dit wordt gedaan door stellingen op basis van de onderwerpen besproken in de media te vergelijken met standpunten in partijprogramma's, zo kan worden aangetoond dat er overeenkomsten zijn en dat het mogelijk is dat stemkeuze inderdaad wordt beïnvloed door krantenartikelen. Eerst zijn er interviews afgenomen met Hongaarse politici (oppositie en regering) om een beter beeld te kunnen krijgen over de huidige situatie, hoe deze is ontstaan, en wat Fidesz heeft veranderd in Hongarije. Om een mogelijke verklaring te vinden voor de populariteit van Fidesz onder de bevolking is gekeken naar de bronnen van deze bevolking. Mensen die opzoek zijn naar informatie over partijen in verkiezingstijd zullen dit zoeken in kranten (Chaffee & Frank, 1996). Door middel van het thematisch analyseren van artikelen van Hongaarse nieuwssites uit de maand voor de verkiezingen is geprobeerd een reconstructie te maken van welke onderwerpen als belangrijk werden gezien en hoe het volk in die periode dacht over deze onderwerpen, gebaseerd op de agendasetting-theorie. Uit de thematische analyse zijn verschillende onderwerpen gekomen, deze zijn in combinatie met de toon waarop ze worden gepresenteerd vervolgens omgezet in een stelling die de gemiddelde mening van het Hongaarse volk in die periode zou moeten representeren. De partijprogramma's van partijen die meedoen in de verkiezingen van dat jaar worden beoordeeld op basis van de stellingen, dit wordt gedaan met een beoordelingsschema dat te vinden is in de bijlagen. Partijen krijgen punten wanneer zij het eens zijn met een stelling, en minpunten wanneer zij het niet eens zijn met de stelling. Op die manier kan de conclusie worden getrokken dat de partij die de meeste punten behaalt in de beoordeling een partijprogramma heeft dat goed aansluit op wat het volk wil volgens de theorie van agenda-setting. Wanneer blijkt dat deze partij Fidesz is, bevestigt dit dat de invloed van media zoals beschreven in de agenda-setting theorie inderdaad een mogelijke verklaring zou kunnen zijn voor waarom de Hongaarse bevolking op Fidesz stemt.

Om beter algemeen inzicht te krijgen in hoe Hongaren denken over politiek en specifiek Fidesz en haar beleid zijn twee interviews afgenomen met personen actief in de Hongaarse politiek, namelijk Anna Orosz en Rodrigo Ballester. Orosz is parlements lid namens de partij Momentum Mozgalom (Momentum, sd), een van de oppositiepartijen in Hongarije. Ballester was jarenlang lid van de Europese Commissie, waarvan vijf jaar als medewerker van de Hongaarse commissaris Tibor Navracsics (Mathias Corvinus Collegium, sd) en is voorstander van Fidesz. Daarnaast is er ook een schriftelijk interview afgenomen met een Hongaarse ambtenaar, die anoniem wilde blijven.

De krantenartikelen die geanalyseerd zijn, zijn afkomstig uit Hongaarse nieuwssites. Het is een kleinschalig onderzoek, daarom is ervoor gekozen om alleen de top vijf meest bezochte Hongaarse nieuwssites te gebruiken als bron. Deze worden het vaakst door de bevolking gelezen en daarom is het effect van de agenda-setting theorie van deze kranten groter in vergelijking tot de kranten die minder gelezen worden. Om de top vijf kranten te bepalen is er gekeken naar het aantal bezoekers van de site, ook wel de web-traffic van de site. Vooral recent nieuws heeft invloed op beslissingen (Winter & Eyal, 1981), daarom is ervoor gekozen om de periode 8 maart tot en met 8 april voor de verkiezingen van 8 april 2018 te onderzoeken en van 10 februari tot en met 10 maart voor de verkiezingen van 10 maart 2022. In de bijlagen wordt een overzicht gegeven van de geanalyseerde sites hun gevonden web-traffic in maart en april 2018 (tabel 1) en in februari en maart 2022 (tabel 2). Deze gegevens zijn afkomstig van de site semrush.com. Voor beide jaren zijn de meest bezochte sites: Index, ORIGO, Blikk, hvg.hu en 24.hu.

Er zijn twee manieren gebruikt om krantenartikelen te vinden. Een van deze manieren is door gebruik te maken van Google's zoekfuncties en filteren op data een andere manier is door te kijken naar de archieven van de nieuwssites zelf. Beide manieren om artikelen te vinden worden later beter toegelicht. Uiteindelijk zijn twintig artikelen gebruikt in het onderzoek, per jaar tien artikelen. Van de vijf gebruikte sites zijn per site twee artikelen geselecteerd. Dit wordt gedaan om ervoor te zorgen dat er gelijk aantal artikelen komen uit elke krant. Dit is belangrijk omdat er in dit onderzoek naar wordt gestreefd om verschillende kanten van het verhaal te belichten, verschillende kranten hebben verschillende perspectieven en geven samen een vollediger beeld van de situatie. De artikelen zijn gevonden op de volgende manier:

1. Om relevante artikelen te vinden maken we gebruik van zoektermen in het Hongaars. Deze eerste zoektermen kunnen onderbouwd worden met literatuur als onderwerpen die als belangrijk worden gezien bij stemkeuze onder Hongaren, namelijk: gazdaság (economie) (Scoggins, 2020), migráció (migratie) (Bíró-Nagy, 2021), konzervativizmus (conservatisme) (Hajnal, 2024) en kultúra (cultuur) (Bozóki, 2016). Om meer resultaten te krijgen is hierop voortgebouwd met andere zoektermen, deze zijn: munkák (banen), liberalis/liberalisme), kormány (overheid), ellenzék (oppositie), választások (verkiezingen) en Magyar választások (Hongaarse verkiezingen) Vervolgens is er gefilterd op periode. Met de functie 'aangepaste periode' is gefilterd op de gekozen periode. Onder het kopje 'nieuws' zijn nieuwsartikelen verzameld uit de vijf gekozen nieuwssites (zie 3.1).
2. Indien er geen artikelen gevonden konden worden door de eerste manier is er gekeken naar de archieven van de nieuwssites. Iedere gebruikte site heeft een online archief, hier zijn alle artikelen te vinden die gepubliceerd zijn door de nieuwssite. Op deze manier is per jaar een lijst opgesteld met artikelen, hieruit zijn er tien geselecteerd van verschillende bronnen en over verschillende onderwerpen. Een visueel overzicht van het proces van het selecteren van bronnen is te vinden in de bijlagen (figuur 1). Vervolgens zijn de artikelen vertaald door het

programma DeepL. DeepL is nauwkeuriger dan andere vergelijkbare gratis vertaalprogramma's (Linlin, 2024). Door de artikelen te vertalen van Hongaars naar Engels werden ze leesbaar voor wie geen Hongaars kan en bruikbaar voor de analyse. De artikelen worden naar Engels vertaald, omdat het programma is getest door Linlin in het vertalen naar Engels, niet naar het Nederlands. Door te vertalen naar het Engels is het zekerder dat de nauwkeurigheid in het onderzoek van Linlin ook geldt voor dit onderzoek.

Vervolgens is de thematische analyse toegepast op de vertaalde versie van de gevonden artikelen. Bij het doen van een thematische analyse is er een stappenplan. Het is een proces waarbij van klein naar groot wordt gewerkt. Voordat de onderzoeker begint met de analyse leest hij de bronnen grondig door om een idee te krijgen van het algemene verhaal dat wordt verteld. De onderzoeker probeert hierbij kernideeën, patronen en opvallende elementen te identificeren.

Wanneer de onderzoeker zich eenmaal goed heeft ingelezen komt de volgende stap, namelijk coderen. Coderen houdt in dat specifieke fragmenten van de tekst worden gemarkeerd en samengevat met korte beschrijvingen van twee tot vijf woorden. Deze worden codes genoemd en ze vatten een specifiek idee, concept of patroon samen. Het doel van deze stap is uiteindelijk om een brede verzameling van codes creëren die het onderzoek te hulp kunnen schieten met het beantwoorden van de onderzoeksvraag. Bij het creëren van de codes zijn de AI-functies van Atlas gebruikt als hulpmiddel voor efficiëntie.

Nadat er codes zijn gecreëerd wordt er kritisch naar alle codes gekeken. Synoniemen of codes die hetzelfde idee beschrijven met andere woorden worden bij elkaar samengevoegd en op die manier worden de codes gefilterd. Codes die het programma niet juist heeft geformuleerd worden aangepast of verwijderd. Codes die niet door het programma uit de bronnen zijn gehaald, maar wel relevant zijn worden toegevoegd. Daarna komt de stap waarin de alle codes worden geordend. De codes die thematisch aan elkaar zijn gerelateerd worden samengevoegd in een cluster. Dit proces helpt om de verbanden te kunnen zien tussen verschillende codes. De gecreëerde clusters worden verder gegroepeerd in grotere, overkoepelende thema's. Thema's beschrijven de kern van de geanalyseerde teksten in grote lijnen. In dit proces wordt gekeken naar hoe de kleine clusters samen een breder inzicht geven op de onderzoeksvraag.

Kortom, bij het doen van thematische analyse wordt ervan klein naar groot gewerkt. De artikelen worden eerst grondig gelezen, vervolgens wordt er begonnen met coderen. Vanuit een grote set codes die zo wordt verkregen wordt er gewerkt naar een meer geordend en samenhangend geheel. Op deze manier ontstaat een overzicht van de hoofdthema's en bijhorende subthema's van de geanalyseerde teksten.

De thema's en het verkregen inzicht worden gebruikt bij het formuleren van stellingen. De stellingen gebaseerd op de krantenartikelen zouden volgens het concept van priming en framing van de agendasetting-theorie overeen moeten komen met de mening van de lezers van de artikelen, dus een groot deel van de Hongaarse bevolking.

Om aan te kunnen tonen dat er wel of niet een overeenkomst is tussen de stellingen en de standpunten uit partijprogramma's uit dat jaar van de partijen die meedoen is er een beoordelingsgemaakt, deze zijn te vinden in de bijlagen (tabel 6 en 8). De partijprogramma's van de partijen die in dat jaar (2018 of 2022) meedoen aan de verkiezingen worden aan de hand van dit beoordelingsschema (tabel 3) beoordeeld, hierbij is een schaal gebruikt met + en -, hierbij staat + voor 'eens' en - voor 'oneens'. In het beoordelingsschema wordt uitgelegd waar de partijprogramma's aan moeten voldoen om bepaalde punten te krijgen.

Uiteindelijk zal de partij die het met de meeste stellingen eens is en met de minste stellingen oneens de partij zijn waarvan het programma het meest aansluit op de geformuleerde stellingen, dit zou dan dus de partij moeten zijn die het best aansluit op de meningen van het volk volgens de theorie van agenda-setting. Deze partij zal de meeste stemmen hebben gekregen. Als de partij met de beste beoordeling de partij is die dat jaar heeft gewonnen (Fidesz), dan is het mogelijk dat de onderwerpen die uit de thematische analyse naar voren kwamen daadwerkelijk belangrijk waren en dat de standpunten over deze onderwerpen mensen mogelijk hebben overtuigd om op een bepaalde partij te stemmen. In dat geval zou agenda-setting inderdaad een mogelijke verklaring zijn voor de stemkeuze van Hongaren op Fidesz.

4. Resultaten

De resultaten van 2018 en de resultaten van 2022 zullen onder verschillende koppen worden gepresenteerd voor een beter overzicht.

4.1. 2018

4.1.1 Artikelen 2018

Er zijn uiteindelijk 10 artikelen gekozen die verschillende thema's belichten. De artikelen worden hieronder kort samengevat zodat de lezer een beeld kan krijgen van dit onderzoek.

Artikel 1 – A magyarok szerint az ellenzék sikere növelné a migrációt és a bűnözést - Hungarians say opposition success would increase migration and crime (ORIGO, 2018)

Dit artikel benadrukt dat veel Hongaren bezorgd zijn dat een machtsvername door de oppositie zal leiden tot een toename van immigratie en misdaad. Ze hebben het idee dat immigranten ook misdadigers zijn, met name gezien de steekpartijen in Wenen.

Artikel 2 – 2010 után megfeleződött az állam devizaadóssága - Government foreign exchange debt halved after 2010 (ORIGO, 2018) Dit artikel behandelt de halvering van Hongaarse overheidsschuld na 2010. De overheidsschuld in vreemde valuta is na 2010 drastisch verminderd. Het volk wordt wel door de oppositie gewaarschuwd voor een mogelijke stijging van de overheidsschuld indien er sprake zal zijn van een machtswisseling.

Artikel 3 – Kilenc látványos különbség az első és a harmadik Orbán-kormány között - Nine striking differences between first and third Orbán governments (Gábor, 2018)

In dit artikel worden de verschillen tussen de eerste Orbán regering (1998-2002) en de derde Orbán regering (2014-2018) besproken. Het artikel benadrukt dat de huidige regering extremer is er minder voor openstaat om met oppositiepartijen te gaan debatteren. Het artikel is kritisch over de regering van Orbán.

Artikel 4 – Csányi: egy új kormány hatalmas bizonytalanságot jelentene a bankoknak - Csányi: a new government would mean huge uncertainty for banks (24.hu, 2018)

Dit artikel bericht wat Sandor Csanyi tegen Bloomberg heeft verteld. Sandor Csanyi de CEO van OTP Bank (een grote Hongaarse bank), waarschuwt dat een nieuwe regering een grote onzekerheid in de banksector zou kunnen creëren. Hij vertelt dat de oppositiepartijen nog geen duidelijke plannen hebben over de bankensector en benadrukt het belang van politieke stabiliteit.

Artikel 5 – Így lettünk Orbánék alatt a gazdasági kivándorlók országa - How we became a country of economic emigrants under Orban (Mercédesz, 2018)

Dit artikel benadrukt de kritiek op de Orbán regering, met name op het gebied van emigratie sinds 2010. Het artikel benadrukt dat dit effect heeft gehad op honderdduizenden mensen. Mensen verlaten het land, ze worden hiertoe gedreven door economische redenen, onvrede met de regering en perceptie van betere kansen buiten Hongarije. Deze Hongaarse emigratie leidt tot arbeidstekorten. De overheid probeert campagnes om ervoor te zorgen dat emigranten terugkeren maar deze zijn niet heel succesvol.

Artikel 6 – A sikerpropaganda és ami mögötte van: az Orbán-kormány hét főbűne - Success propaganda and what lies behind it: the seven cardinal sins of the Orbán government (Mercédesz, 2018)

In dit artikel wordt er kritiek geleverd op de Hongaarse regering. Het artikel schetst een beeld van de economische problemen, verergerd door corruptie en het afnemen van onderwijsniveau. Het artikel roept de lezers op om niet alleen naar de cijfers te kijken maar ook naar wat achter de cijfers liggen.

Artikel 7 – Elmult nyolc év: Permanens reform és kudarc az oktatásban - Eight years gone: permanent reform and failure in education (Sándor, 2018)

Dit artikel beschrijft de veranderingen in het Hongaarse onderwijssysteem de afgelopen acht jaar (2010-2018). Het artikel is voornamelijk kritisch en benoemt dat de kwaliteit van het onderwijs is verslechterd en ongelijkheid tussen de leerlingen is toegenomen.

Artikel 8 – Ezek a mai fiatalok tönkretesznek mindent - These young people today are ruining everything (Index, 2018)

In dit artikel wordt beschreven hoe de consumptiegewoonte van jongeren een probleem kan vormen voor de gevestigde orde. Er wordt ook verteld hoe sommige bedrijven hier winst van weten te maken.

Artikel 9 – Választás 2018: óriási változás vár a magyarországi nőkre, ha ez most megvalósul - Elections 2018: big changes

ahead for women in Hungary, if it is implemented now (Blikk-összeállítás, 2018)

Dit artikel spreekt in het voordeel van het partij LMP door te berichten over hun doelen. In dit artikel wordt benoemd dat LMP de positie van de vrouwen in Hongarije wil verbeteren door middel van quota in de politiek, het dichten van loonkloof en bescherming tegen geweld.

Artikel 10 – 200-an fagytak halálra Magyarországon a télen - 200 people freeze to death in Hungary this winter (Blikk-információ, 2018)

In dit artikel wordt gemeld dat 200 mensen in Hongarije zijn doodgevroren, waarvan 53% buiten of in ziekenhuizen en 47% in hun onverwarmde woningen. Dit wijst op ernstige sociale problemen in Hongarije.

4.1.2 Analyse 2018

De thema's en codes die zijn ontstaan uit deze artikelen zijn te vinden in de bijlagen (figuur 3).

4.1.3 Stellingen en beoordeling 2018

Uit deze codes zijn vijf thema's ontstaan. Deze zijn 'nationale identiteit', 'economische stabiliteit', 'openbare veiligheid', 'politiek landschap en instabiliteit' en 'sociale kwesties'. Aan de hand van deze thema's (en codes) zijn stellingen geformuleerd, deze zijn ook te vinden in de bijlagen (tabel 4). De partijprogramma's zijn beoordeeld aan de hand van deze stellingen volgens het beoordelingsschema (tabel 3), de resultaten van deze beoordeling zijn te vinden in de bijlagen (tabel 6), net als de verantwoording voor waarom deze beoordelingen zijn gegeven (tabel 7). Hierbij is het belangrijk om te vermelden dat Fidesz in 2018 geen partijprogramma gepubliceerd heeft, de beoordeling van Fidesz is daarom gebaseerd op de speech die partijleider Viktor Orbán gaf op 18 februari 2018 waarin de prestaties van het afgelopen jaar en de plannen voor komende jaren werden gepresenteerd. Uit de tabel is op te merken dat Fidesz slechter scoort dan de oppositie.

4.2. 2022

4.2.1 Artikelen 2022

Ook voor 2022 zijn uiteindelijk tien artikelen geselecteerd, deze zullen hieronder kort worden samengevat.

Artikel 1 – Történelmi mélypont: 400 forint volt egy euró - Historic low: 400 forints to the euro (Index, 2022) De forint (HUF, Hongaarse munteenheid) heeft een historisch dieptepunt bereikt ten opzichte van andere valuta, op een gegeven moment was één euro zelfs 400 forinten waard. Volgens verschillende ministers is deze situatie het gevolg van de sancties tegen Rusland door de oorlog tussen Rusland en Oekraïne.

Artikel 2 – Így ne bukjuk el a lakástámogatások millióit! Minden, amit a tb-jogviszonyról tudni kell - How not to lose millions in housing subsidies! Everything you need to know about social security (hvg.hu, 2022)

Voor veel subsidies geldt dat je 'social security' moet hebben gehad voor een bepaalde periode om recht te hebben op de sub-

sidie. In dit artikel wordt uitgelegd wat de voorwaarden zijn per soort subsidie.

Artikel 3 – Történelmi rekord a magyar gazdaság növekedése - Hungarian economic growth at a historic record (ORIGO, 2022)

Onder het regime van Orbán gaat het beter met de economie, vorig jaar is een record gehaald van een groei van het bbp met 7,1%. Dit is meer dan in andere EU-landen en omliggende landen. In de periode voor Fidesz, met een linkse regering, ging het economisch juist slecht. De linkse partijen nu willen dit oude beleid herstellen, hier zal de economie onder lijden.

Artikel 4 - Balavány: Nem most van az ideje az ellenzék kritizálásának? Hát akkor mikor? - Belavány: Is now not the time to criticise the opposition? Well, when then? (24.hu, 2022)

Onafhankelijke nieuwspapers schrijven te weinig over kritiek op de oppositie, maar wel op de regering volgens Balavány. Wat er nu gebeurt is dat media bang zijn om kritisch te zijn op de oppositie, omdat dit mensen kan beïnvloeden om niet op de oppositie te stemmen waardoor Fidesz aan de macht zal blijven. Door die logica komt de verantwoordelijkheid van het verliezen van stemmen te liggen bij de journalist die erover schrijft, in plaats van de politicus die een fout maakt. De taak van de media is om objectieve informatie te geven, juist rond verkiezingstijd, zij mogen geen informatie bewust achterhouden om hun persoonlijke voorkeuren te promoten.

Artikel 5 – Az ellenzék Orbánt okolja a 400 forintos euróért - The opposition blames Orbán for the 400 forint euro (24.hu, 2022)

De oppositie reageert op de 400 forint per euro. Er zijn meer vergelijkbare valuta die slecht presteren door de oorlog in Oekraïne, maar de forint heeft de grootste problemen. Volgens de oppositie komen deze problemen door het beleid van de regering van Orbán. Een zwakke forint is slecht voor het volk. De oppositie zegt plannen hebben om de waarde te herstellen als zij verkozen worden.

Artikel 6 – Nem enged a kormány az üzemanyagárstopból, de várja a kutak javaslatait - The government does not give in to fuel price freeze, but awaits proposals from the wells (hvg.hu, 2022)

De prijs van benzine is aan het stijgen in Europa, om Hongaarse families te beschermen tegen deze hoge prijzen mag de prijs van benzine niet verder toenemen van de regering. Hierdoor kunnen tankstations in de problemen komen, zij kunnen de hogere kosten niet doorberekenen aan hun klanten. Er is overleg tussen de regering en vertegenwoordiging van tankstations om een beleid te vormen dat voor beide partijen werkt.

Artikel 7 – Feldman Zsolt: A kormány komplex módon segíti a vidék gazdaságát - Zsolt Feldman: The Government is providing complex support for the rural economy (ORIGO, 2022)

Er is een beleid ingevoerd dat landbouw en de ontwikkeling van het platteland moet bevorderen. Er zijn wetten over belastingvoordelen, vernieuwing van landbouwbedrijven en een crisisverzekering voor de landbouw. Wanneer de EU de plannen goedkeurt kan het vernieuwde systeem worden ingevoerd.

Artikel 8 - Sziijártó Péter elmagyarázta, a kormány miért mond nemet a halált okozó fegyverek átszállítására: Nem tesszük célponttá a magyar embereket” - Péter Sziijártó explained why the government says no to the transfer of lethal weapons: ‘We are not targeting the Hungarian people’ (Blikk, 2022)

Orbán heeft aangekondigd geen wapens of soldaten te sturen naar het oorlogsgebied in Oekraïne. Ook wil de regering niet dat dodelijke wapens door Hongarije getransporteerd worden, deze transporten zouden namelijk een militair doelwit kunnen worden, de Hongaarse mensen moeten hiertegen worden beschermd.

Artikel 9 – Bús Balázs: Elképesztően felületesek a baloldali kultúrpolitikusok - Balázs Bús: Left-wing cultural politicians are incredibly superficial (Index, 2022)

Balázs Bús is gestopt als burgemeester, omdat deze rol niet samen kon gaan met zijn baan als vice-president van het Nationale Cultuur Fonds. Hij vertelt over ‘Shipyard Island’, linkse partijen zouden de plek (opnieuw) proberen te verkopen en subsidie verminderen, waardoor de culturele projecten daar zouden moeten stoppen.

Artikel 10 – 50 nap múlva választunk: így látják a közelgő kampányt olvasóink és a szakértők - We vote in 50 days: how our readers and the experts see the upcoming campaign (Blikk, 2022)

Aankomende zaterdag zal Orbán een speech houden waarmee de verkiezingscampagne officieel van start gaat. Waarschijnlijk zal hij vertellen over zijn plannen voor de komende vier jaar. Vier dagen later zal zijn tegenstander Márki-Zay ook een speech geven. Uit een enquête onder lezers van Blikk is gebleken dat 93% al weet op wie ze gaan stemmen zonder de campagne. Ook blijkt dat 73% bang is voor fraude bij de verkiezingen en 75% weet vrij zeker dat er schandalen naar boven zullen komen over de kandidaten tijdens de verkiezingscampagnes.

4.2.2 Codes 2022

Uit de artikelen uit 2022 zijn een heel aantal codes gehaald door ATLAS.ti, deze codes zijn gefilterd en waar nodig samengevoegd en bewerkt, vervolgens zijn de codes opgedeeld in thema's voor beter overzicht. De codes zijn te vinden in de bijlagen (figuur 3).

4.2.3 Stellingen en beoordeling 2022

Op basis van de codes zijn stellingen geformuleerd (tabel 5). De partijprogramma's van 2022 zijn beoordeeld aan de hand van de stellingen (tabel 8), verantwoording voor deze beoordeling is ook te vinden in de bijlagen (tabel 9). Hierbij is het belangrijk om te vermelden dat Fidesz in 2022 geen partijprogramma gepubliceerd heeft, de beoordeling van Fidesz is daarom gebaseerd op de speech die partijleider Viktor Orbán gaf op 12 februari 2022 waarin de prestaties van het afgelopen jaar en de plannen voor komende jaren werden gepresenteerd.

5. Conclusie

5.1. Conclusie 2018

Op basis van de resultaten kan er worden geconcludeerd dat er geen correlatie is gevonden tussen de thema's besproken in de media, de partijprogramma's en de verkiezingsuitslagen. Volgens dit onderzoek zou Jobbik de winnaar van 2018 verkiezingen moeten zijn en kan de winst van Fidesz niet worden onderbouwd met de correlatie tussen de thema's besproken in de media en de verkiezingsuitslag.

5.2. Conclusie 2022

Ook in 2022 zou Fidesz niet worden verkozen volgens dit onderzoek. EM en Mi Hazánk zijn het vaker met de stellingen eens dan Fidesz. Ook in 2022 kan de overwinning van Fidesz dus niet verklaard worden door een correlatie tussen de thema's besproken in de media, partijprogramma's en de verkiezingsuitslag.

5.3. Algemene conclusie

Er is geen correlatie gevonden tussen thema's besproken in de media, partijprogramma's van Hongaarse partijen en de uitslagen van de Hongaarse parlementsverkiezingen van 2018 en 2022. Er kan niet worden uitgesloten dat deze correlatie bestaat, maar dit onderzoek geeft geen aanwijzing voor het bestaan van deze correlatie.

6. Discussie

Voor het samenstellen van de top vijf meest bezochte nieuws-sites is de web-traffic van vaak bezochte Hongaarse nieuwssites geanalyseerd, maar deze lijst is niet afkomstig uit 2018 of 2022. Het is mogelijk dat er een site was die erg populair was in 2018 of 2022, maar later minder relevant is geworden en daardoor niet in de lijst van nieuwssites waarvan de web-traffic is geanalyseerd tergecht is gekomen. Wel zijn de verschillen tussen het aantal bezoekers van de meest populaire sites en de minder populaire sites vrij groot (honderdduizenden bezoekers tegenover miljoenen bezoekers), dus er kan met vrij veel zekerheid worden gezegd dat de gebruikte nieuwssites zo veel meer lezers hebben dat zij meer impact zullen hebben op de bevolking dan de niet-gebruikte sites.

Toen er vervolgens artikelen gezocht moesten worden is ervoor gekozen om dit te doen via Google. Deze keuze is gemaakt omdat dit erg veel tijd bespaart vergeleken met het doorzoeken van de archieven van alle nieuwssites. Dit bespaart veel tijd, omdat Google niet ieder artikel toont, maar zelf al filtert op 'relevantie', maar dit roept uiteraard de vraag op van hoe accuraat Google's definitie van 'relevant' is. Wanneer er geen of niet genoeg resultaten gevonden konden worden van een bepaalde nieuwssite via Google is er alsnog gebruik gemaakt van het archief van deze site. In de archieven kan niet worden gezocht op de zoektermen, er moet zelf worden bepaald welke artikelen wel of niet bij de zoektermen passen, ook dit is een vorm van filteren waarbij fouten gemaakt kunnen worden.

Door de tijdslimiet kon dit onderzoek slechts op kleine schaal worden uitgevoerd, tien artikelen per jaar is niet genoeg om echt iets te kunnen zeggen over wat speelt in de samenleving

op dat moment. Daar komt bij dat er heel veel gefilterd is in de artikelen om tot tien artikelen per jaar te komen, het is goed mogelijk dat dit filteren niet volledig correct is gedaan. Wellicht zijn artikelen niet meegenomen in onderzoek die juist relevante informatie bevatten, of zijn er juist artikelen gebruikt die minder relevant waren en weinig impact hebben gehad op de bevolking. De sites zijn geselecteerd op basis van het aantal bezoekers van de site, maar bij het selecteren van artikelen is er geen rekening mee gehouden hoe vaak een artikel is gelezen en hoeveel effect dit artikel mogelijk gehad kan hebben. Daarnaast hebben, ondanks dat is geprobeerd zo objectief mogelijk te zijn in de selectie, eigen ideeën over wat belangrijk is en wat niet meegespeeld in het selecteren van artikelen. Een ander persoon had hoogstwaarschijnlijk andere artikelen geselecteerd en was hierdoor mogelijk tot een andere conclusie gekomen. Om de validiteit van dit onderzoek te verbeteren op het gebied van de artikelen die worden gebruikt zouden er dus meer artikelen moeten worden geanalyseerd en moet het filteren zorgvuldiger worden gedaan, bijvoorbeeld door te kijken naar hoeveel mensen het artikel hebben gelezen en door een objectievere manier van selecteren vinden.

Toen er eenmaal twintig artikelen geselecteerd waren moesten deze eerst nog vanuit het Hongaars vertaald worden. Hoewel er bewust is gekozen voor een analysemethode waarbij ondertoon minder belangrijk is, blijft het lastig om te zeggen of de analyse accuraat was geweest als de originele artikelen hiervoor waren gebruikt. DeepL is betrouwbaarder dan andere site, maar natuurlijk niet perfect. Een kleine vertaalfout zou mogelijk een verkeerde op kunnen leveren. En zelfs al was de originele versie gebruikt, dan is het nog altijd maar de vraag of het artikel wordt geïnterpreteerd zoals de journalist het heeft bedoeld.

In de thematische analyse moeten kernwoorden en -zinnen gemarkeerd worden om deze om te zetten in codes, maar het is lastig te zeggen welke delen van het artikel belangrijk zijn en welke niet. Ook hier geldt dat een ander persoon andere keuzes zou maken, dit zou andere codes en daardoor andere resultaten opleveren. Ook kan door de focus op kernwoorden en -zinnen de context naar de achtergrond verdwijnen, terwijl deze juist bepaalt wat de journalist over probeert te brengen. Een van de grootste problemen qua validiteit zijn de stellingen. Ten eerste is het een aanname dat lezers van artikelen deze meningen zullen vormen. De stellingen zijn gebaseerd op onderwerpen en toon van de kranten, maar dit is voor een groot deel gebaseerd op interpretatie. Ook is de agenda-setting theorie niet helemaal goed toegepast bij het formuleren van de stellingen. Volgens agenda-setting zijn het de onderwerpen die vaak voorkomen die als belangrijk worden gezien, maar doordat er slechts tien artikelen zijn gebruikt kan er niet worden gezegd welke onderwerpen vaak worden besproken, alleen welke onderwerpen een keer zijn besproken.

In het laatste deel van de methode, het beoordelen van de partijprogramma's aan de hand van de stelling, is vrij subjectief. De beoordeling is gedaan door één persoon. Er is geprobeerd zo objectief mogelijk te zijn door criteria te stellen aan wanneer een bepaalde score gegeven mag worden, maar het blijft een score gebaseerd op de interpretatie van de stelling en het partijprogramma van degene die de beoordeling uitvoert. Er is geprobeerd de validiteit hiervan zo veel mogelijk te behouden door een verantwoording te geven van iedere beoordeling.

Er moet worden benadrukt dat 'meningen van Hongaren' in dit onderzoek altijd staat voor 'meningen van Hongaren volgens de theorie van agenda-setting'. Er is geen wetenschappelijke consensus over of de theorie van agenda-setting echt is. Heeft het nieuws daadwerkelijk effect op stemkeuze, en zo ja, in hoeverre? In dit onderzoek is geprobeerd om aan te tonen of agenda-setting, ervan uitgaande dat de theorie wel klopt, wel of niet mogelijke verklaring is voor de stemkeuze van Hongaren op Fidesz.

Het beeld van de partijen en hun standpunten over bepaalde onderwerpen is gevormd op basis van hun partijprogramma. Er kan echter niet worden aangetoond dat alle kiezers deze partijprogramma's ook lezen. Er is een vrij grote kans dat de meeste kiezers hun beeld van de partij op een andere manier vormen, bijvoorbeeld door eerdere ervaringen met beleid van de partij of door toespraken en interviews waarin ideeën worden gedeeld.

Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat kiezers bepalen op wie ze stemmen door te kijken welke partij de meeste overeenkomst heeft qua standpunten. De werkelijkheid is echter dat veel kiezers loyaal zijn aan een bepaalde partij, de stemkeuze wordt dan al gemaakt voordat de campagne is begonnen. Nieuws en partijprogramma's hebben dan nauwelijks tot geen invloed op de stemkeuze.

De stellingen zijn gebaseerd op codes uit artikelen van verschillende sites. Deze sites hebben verschillende achtergronden, een aantal zijn meer rechts-georiënteerd en een aantal zijn meer links. Het is onwaarschijnlijk dat een gewone burger alle sites leest, de meeste mensen die nieuwssites lezen zullen slecht één of hooguit twee of drie sites lezen. De totale lijst met geformuleerde stellingen zal te divers zijn vergeleken met de standpunten van de gemiddelde Hongaar, omdat er bij het formuleren van stellingen in tegendeel tot het vormen van standpunten meerdere bronnen met verschillende perspectieven zijn gebruikt.

Interpretatie is een probleem in ieder onderzoek, maar juist omdat er hier onderzoek wordt gedaan naar de situatie in een ander land zijn verschillen in interpretatie onvermijdelijk. Ten eerste uiteraard door de taal en de noodzakelijke vertalingen, maar ook doordat de achtergronden van de onderzoekers heel anders zijn dan de mensen die de artikelen lezen en mogen stemmen in de Hongaarse verkiezingen. Fidesz heeft helaas in beide jaren geen partijprogramma gepubliceerd. De beoordeling moest worden gedaan op basis van een speech waarin de belangrijkste punten naar voren komen, maar die lang niet zo uitgebreid is als de partijprogramma's van de andere partijen. Hierdoor kon er voor veel stellingen geen of geen sterke beoordelingen gemaakt worden voor Fidesz. Fidesz heeft in de beoordeling niet veel punten verloren door het niet eens te zijn met stellingen, dit kwam zelfs maar weinig voor, maar vooral door geen of geen duidelijke uitspraken te doen over de stelling. Als Fidesz wel een mening had gegeven over al deze stellingen, was de uitkomst mogelijk heel anders geweest.

Dit onderzoek kan absoluut niet worden gebruikt om harde conclusies te trekken over de correlatie tussen thema's in het Hongaarse nieuws, hun overeenkomst met partijprogramma's en de uitkomst van de Hongaarse verkiezingen. Hiervoor is het onderzoek op een te kleine schaal uitgevoerd en is de mogelijke

invloed van subjectiviteit te groot, er kan geen valide conclusie getrokken worden. Wel kan dit onderzoek worden gebruikt om verder te onderzoeken of de voorlopige conclusie dat er geen correlatie is klopt, of dat wanneer men die uitgebreider onderzoekt blijkt dat deze correlatie er wel is.

Referenties

- 24.hu. (2018, maart 10). Csányi: egy új kormány hatalmas bizonytalanságot jelentene a bankoknak. 24.hu. Opgehaald van <https://24.hu/fn/gazdasag/2018/03/10/csanyi-egy-uj-kormany-hatalmas-jelentene/>.
- 24.hu. (2022, maart 7). Az ellenzék Orbánt okolja a 400 forintos euróért. 24.hu. Opgehaald van <https://24.hu/belfold/2022/03/07/ellenzek-400-forint-euro-orban-viktor/>.
- 24.hu. (2022, februari 16). Balavány: Nem most van az ideje az ellenzék kritizálásának? Hát akkor mikor? 24.hu. Opgehaald van <https://24.hu/belfold/2022/02/16/ellenzek-kritika-kormanyvaltas-fugget/>.
- Àdám, Z., & Bozòki, A. (2016). *State and Faith: Right-wing Populism and Nationalized Religion in Hungary*.
- Alhojailan, M. I. (2012). *Thematic Analysis: A Critical Review of Its Process and Evaluation*. West East Journal of Social Sciences, 2012(1), 39-47.
- Alivi, M. A., Akmar, G. A., & Tamam, E. (2018). *Significant Effects of Online News on Vote Choice: A Review*. International Journal of Web Based Communities. <https://doi.org/10.1504/IJWBC.2018.10016623>.
- Ballester, R. (2024, oktober 8). *Political Developments and Democracy in Hungary*. (L. Rekers & N. Tufek, Interviewers).
- Bíró-Nagy, A. (2021, februari). *Orbán's Political Jackpot: Migration and the Hungarian Electorate*. Journal of Ethnic and Migration Studies.
- Blikk. (2022, februari 11). 50 nap múlva választunk: Így l'atj'ak a k'ozelgő kampányt olvasdink és a szak'ert'o. Blikk. Opgehaald van <https://www.blikk.hu/aktualis/politika/kampanyindito-orban-viktor-marki-zay-peter-wqh5r4s>.
- Blikk. (2022, maart 1). Szijjártó Péter elmagyarázta, a kormány miért mond nemet a halált okozó fegyverek átszállítására: Nem tesszük célponttá a magyar embereket". Blikk. Opgehaald van <https://www.blikk.hu/valasztas-2022/szijasrt-peter-fegyver-szallitas-orosz/krc6yrv>.
- Bozòki, A. (2016, december). *Mainstreaming the Far Right*.
- Chaffee, S., & Frank, S. (1996). *How Americans Get Political Information: Print Versus Broadcast News*.
- Demokratikus Koalíció. (2017). *Sokak Magyarországa A Demokratikus Koalíció PROGRAMJA*.
- Egységben Magyarországért. (2022). *CSAK FELFELE! AZ EMELKEDŐ MAGYARORSZÁG*.
- European Parliament. (2022, september 15). *MEPs: Hungary Can No Longer Be Considered a Full Democracy*. Opgehaald van European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220909IPR40137/meps-hungary>.
- Fidesz. (2018, februari 20). *Viktor Orb'an's "State of the Nation" Address*. Budapest.
- Fidesz. (2022, februari 12). *Prime Minister Viktor Orb'an's "State of the Nation" Address*. Budapest.
- Hajnal, Á. (2024). *Popular Autocrats: Why Do Voters Support Viktor Orb'an's Government in Hungary? A Quantitative Analysis*. Public Choice.
- Hungarian National Assembly. (z.d.). *Electing Members of the National Assembly*. Opgehaald van <https://www.parlament.hu/web/house-of-the-national-assembly/election>.
- McCombs, M. E., & Shaw, D. L. (1972). *The Agenda-Setting Function of Mass Media*. The Public Opinion Quarterly. Opgehaald van <https://www.jstor.org/stable/2747787>.
- Momentum. (z.d.). *Orosz Anna*. Opgehaald van <https://momentum.hu/politikusaink/orosz-anna>.
- Nemzeti V'alaszt'asi Iroda. (2022, april 16). *Orsz'aggy'ul'es "osszet'etele*. Opgehaald van <https://vtr.valasztas.hu/ogy2022/orszaggyules-osszetetele>.
- Orbán, V. (2014, juli 26). Prime Minister Viktor Orbán's Speech at the 25th Bálványos Summer Free University and Student Camp. Tusnádfürdő, Roemenië.
- ORIGO. (2018, maart 27). 2010 után megfeleződött az állam devizaadóssága. Origo. Opgehaald van <https://www.origo.hu/gazdasag/2018/03/a-lakossag-devizaadossaga-lenullazodott>.
- ORIGO. (2018, maart 14). A magyarok szerint az ellenzék sikere növelné a migrációt és a bűnözést. Origo. Opgehaald van <https://www.origo.hu/itthon/2018/03/szazadveg-felmeres-migracio-bunozes>.
- ORIGO. (2022, februari 10). Feldman Zsolt: A kormány komplex módon segíti a vidék gazdaságát. ORIGO. Opgehaald van <https://www.origo.hu/gazdasag/2022/02/a-kormany-segiti-a-videki-gazdasagokat>.
- ORIGO. (2022, februari 15). Történelmi rekord a magyar gazdaság növekedése. ORIGO. Opgehaald van <https://www.origo.hu/gazdasag/2022/02/magyar-gazdasagi-novekedes-nagy-meglepetes>.
- Orosz, A. (2024, oktober 7). *Political Developments and Democracy in Hungary*. (L. Rekers, & N. Tufek, Interviewers).
- Patricia Moy, D. T. (2016). *Agenda-Setting, Priming, and Framing*. The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy. John Wiley & Sons, Inc.

- Polyák, G. (2019). Media in Hungary: Three Pillars of an Illiberal Democracy. In E. Polonska, Public Service Broadcasting and Media Systems in Troubled European Democracies. Palgrave Macmillan.
- Sándor, J. (2018, april 5). Elmúlt nyolc év: Permanens reform és kudarc az oktatásban. Index. Opgehaald van https://index.hu/belfold/2018/valasztas/2018/04/05/oktatas_fidesz_orban-kormany_elmult_nyolc_ev_klik_pisa_reform_nat_beremeles/?token=4aa761e0c89d4bc7d1724776c95f48f9.
- Scoggins, B. (2020, september 24). Identity Politics or Economics? Explaining Voter Support for Hungary's Illiberal FIDESZ.
- Static Valasztas. (z.d.). Az országgyűlés összetétele. Opgehaald van ORSZÁGGYŰLÉSI KÉPVISELŐK VÁLASZTÁSA: <https://static.valasztas.hu/dyn/pv18/szavossz/hu/150.html>.
- Static Választása. (2018). Az országgyűlés összetétele. Opgehaald van <https://static.valasztas.hu/dyn/pv18/szavossz/hu/150.html>.
- Szabó, M. (2011). From a Suppressed Anti-Communist Dissident Movement to a Governing Party: The Transformations of Fidesz in Hungary. Corvinus Journal of Sociology and Social Policy. Opgehaald van <https://cjssp.uni-corvinus.hu/index.php/cjssp/article/view/48/30>.
- Waterbury, M. A. (2020). Populist Nationalism and the Challenges of Divided Nationhood: The Politics of Migration, Mobility, and Demography in Post-2010 Hungary. East European Politics and Societies and Cultures.
- Winter, J. P., & Eyal, C. H. (1981). Agenda Setting for the Civil Right Issue. Oxford University Press.
- Szab'o, M. (2011). *From a Suppressed Anti-Communist Dissident Movement to a Governing Party: The Transformations of Fidesz in Hungary*. Corvinus Journal of Sociology and Social Policy. Opgehaald van <https://cjssp.uni-corvinus.hu/index.php/cjssp/article/view/48/30>.

7. Figuren & Tabellen

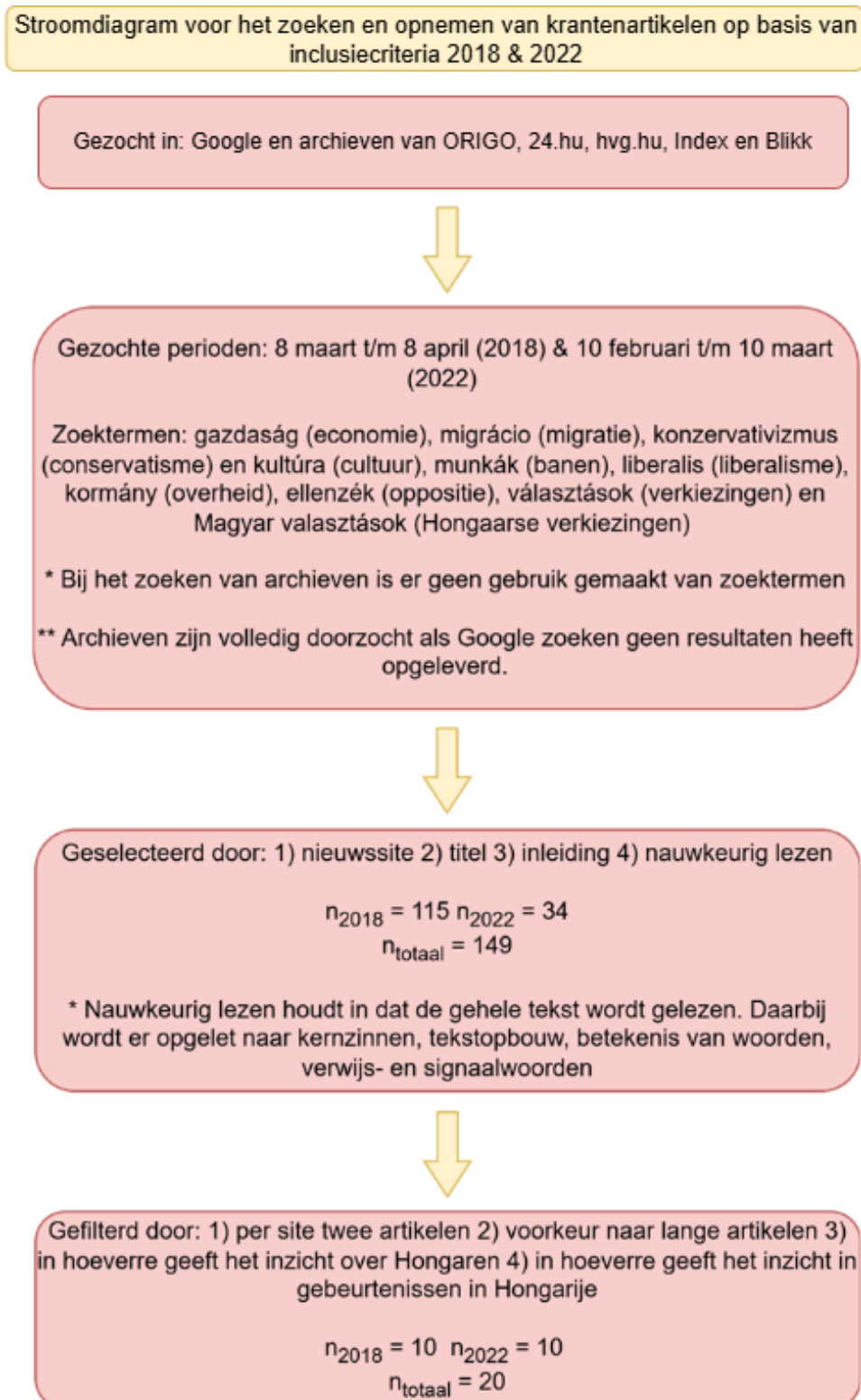


Figure 1: Het selecteren van papers

2018 - Codes per artikel				
Origo	24.hu	hvg.hu	Index	Blikk
Hungarians say opposition success would increase migration and crime	Nine striking differences between first and third Orbán governments	How we became a country of economic emigrants under Orbán	Eight years gone: permanent reform and failure in education	Elections 2018: big changes ahead for women in Hungary if, it is implemented now
Oppositiepartijen, bezorgdheid over openbare veiligheid, hervorming oppositie, openbare veiligheid, bezorgdheid van kiezers, veiligheid van Europa, migrantenmisdriven, bezorgdheid over migratie, geweldsmisdrijven.	Wanhopig, tegenstelling, kiezersbeslissingen, overheidsprestaties, beleidsmatige oppositie, gerespecteerde supporters, vermijden van debatten, beperkte media-interacties, transparantie rechtvaardiging, misbruik van overheidssteun, systematische diefstal, sportsubsidies, politieke advertenties, media-invloed, censuur, propaganda, extremisme, racistische advertenties, antimigratie-standpunt, harde kritiek, xenofobie, natie beschermen, uitsluiting van niet-aanhangers	Economische emigranten, negatieve economische omstandigheden, economische zorgen, economisch herstel, kiezerssteun, overheidsacties, werkgelegenheid, kiezerszorgen, ontevredenheid, hopeloosheid, tekort aan arbeidskrachten, loonsverhoging, geschoolde arbeidskrachten, tekort aan banen, over-kwalificatie, emigratie van jongeren, beloften regering, steun van kiezers, emigratie bestrijden, wetgeving implementeren, jeugdprogramma's	Onderwijshervormingen, centralisatie, ongelijkheid in onderwijs, herinvoering onvoldoendes, afschaffing symbolen voor vrij onderwijs, gespecialiseerde inspecties, verplichte kleuterschool, dagonderwijs, versterking onderwijsfunctie, hoog percentage voortijdige schoolverlaters, problemen bij het vinden van een vaste baan, werkgelegenheid, lage salarissen, economische situatie, beloofde loonsverhoging, onderwijsuitgaven OESO-vergelijking, tekort aan arbeidskrachten, werkmaatschappij, studentenprotesten, regering krabbelt terug, collegegeld.	Bezorgdheid over de openbare veiligheid, ondersteunende omgeving, loonkloof tussen mannen en vrouwen, bedreigingen, oppositie, dialoog, gebaar, afstand nemen van het vorige regime, haat, het blokkeren van de herwaarding van misdaden.
Government foreign exchange debt halved after 2010	Csányi: a new government would mean huge uncertainty for banks	Success propaganda and what lies behind it: the seven cardinal sins of the Orbán government	These young people today are ruining everything	200 people freeze to death in Hungary this winter
Economische ontwikkeling, economische stabiliteit, wendbaarheid van het beleid, crisispreventie, politieke instabiliteit, negatieve economische trend, verandering van de schuld in vreemde valuta, positief beeld, kritiek, overheidsschuld, overwinning van de oppositie, economische omstandigheden, overheidsschuld, schuldvermindering, buitenlandse investeringen, succesvol economisch beleid.	Banksysteem, economische omgeving, politieke stabiliteit, ondersteunende omgeving, gunstige relatie, positief sentiment.	Propaganda, economisch succes, migrantenaantallen, steun van kiezers, schuldfinanciering, vechten tegen EU, kritische blik, economische omstandigheden, media-aandacht, beslissingen van kiezers, belastingafrek voor gezinnen, werkgelegenheidsgroei, hogere lonen, voorwaardelijke deelname, armoederisico, lagere uitkeringen, Hongaars overwicht, nationale industrie versterkt, Russische energiedeals, huurverlaging, staatsbemoeienis	Kritiek, culturele identiteit, economische kwesties, bestuur, politieke ideologieën, economische competentie, economische omstandigheden, economische groei, berichtgevingsstrategieën, kiezersgedrag, consumentengedrag.	Problemen met gezondheidszorg, problemen met huisvesting.

Figure 2: Codes per artikel 2018

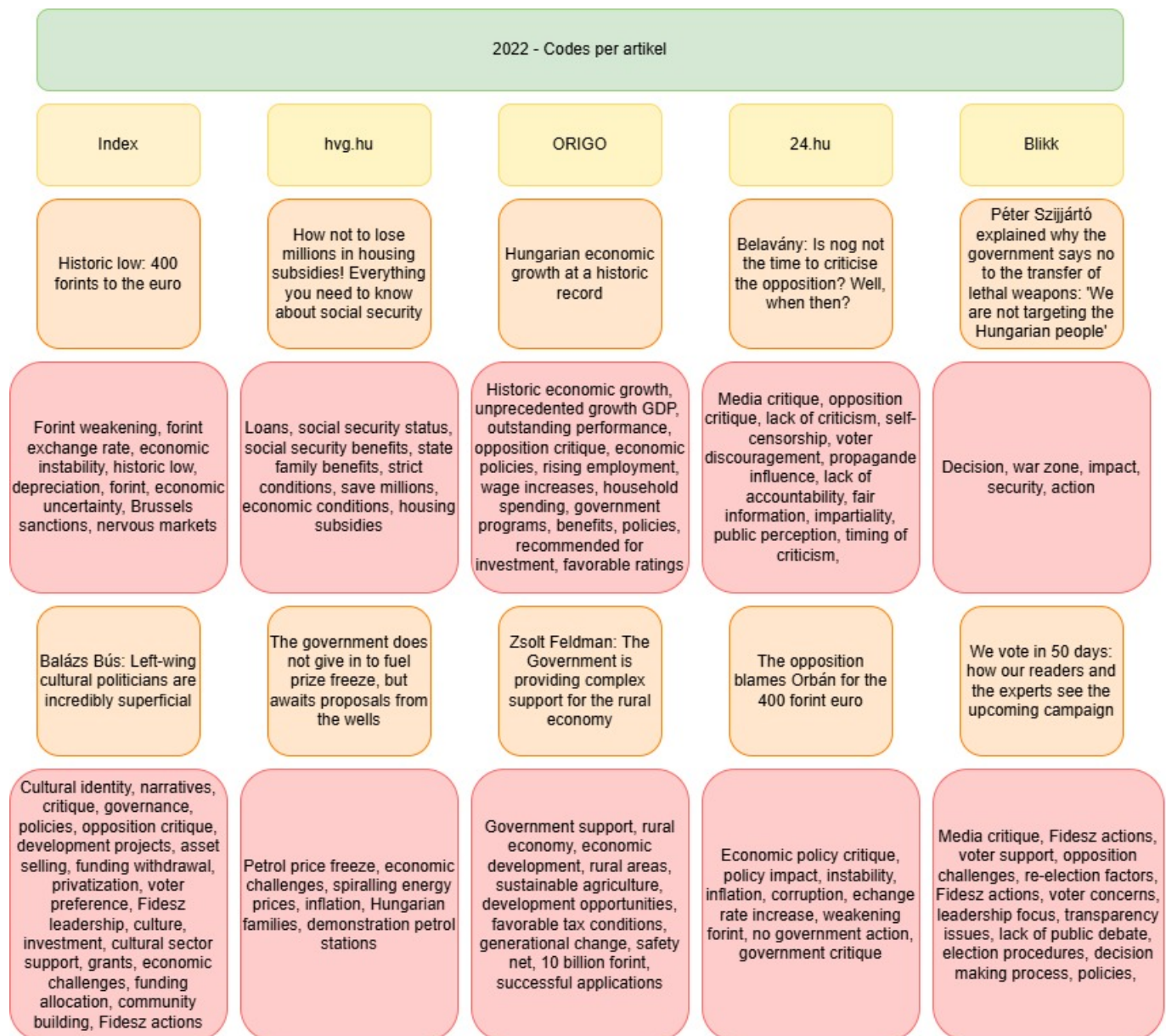


Figure 3: Codes per artikel 2022

Krant	Webtraffic maart	Webtraffic april	Webtraffic totaal
Index	4.657.257	4.502.907	9.160.164
ORIGO	3.921.494	4.056.300	7.977.794
hvg.hu	2.712.247	2.121.341	4.833.588
Magyar Nemzet	0	0	0
Blikk	3.385.155	3.797.697	7.182.852
Hirado.hu	328.750	206.013	534.763
mandiner	96.939	127.162	224.101
vg.hu	87.420	115.220	202.604
24.hu	3.172.097	3.156.022	6.328.119

Table 1: Webtraffic 2018

Krant	Webtraffic februari	Webtraffic maart	Webtraffic totaal
Index	5.138.953	4.904.235	10.043.188
ORIGO	3.756.817	3.683.441	7.440.258
hvg.hu	3.179.881	2.925.768	6.105.649
Magyar Nemzet	394.292	348.027	742.319
Blikk	3.946.800	4.076.849	8.023.649
Hirado.hu	361.818	339.088	700.906
mandiner	409.604	340.189	749.793
vg.hu	311.696	288.580	600.276
24.hu	4.531.739	3.517.717	8.049.456

Table 2: Webtraffic 2022

Criteria	Waardering
<i>De partij is het helemaal niet eens met de stelling en meldt dit expliciet. De partij heeft een plan om ervoor te zorgen dat acties voor de stelling niet zullen gebeuren, of heeft een plan waardoor het tegengestelde zal gebeuren.</i>	- - -
<i>De partij is het niet eens met de stelling. De partij noemt specifiek het onderwerp van de stelling en laat duidelijk merken dat zij het hier niet mee eens is. De partij is het expliciet niet eens met de stelling, maar benoemt geen plan van aanpak.</i>	- -
<i>Op basis van de standpunten van de partij over gerelateerde onderwerpen kan worden aangenomen dat de partij het niet eens zal zijn met de stelling, maar het onderwerp van de stelling wordt niet specifiek benoemd. De partij is impliciet niet eens met de stelling</i>	-
<i>Er is niks in het partijprogramma te vinden over de stelling. De partij heeft geen mening over de stelling of vermeldt deze niet in haar partijprogramma.</i>	0
<i>Op basis van de standpunten van de partij over gerelateerde onderwerpen kan worden aangenomen dat de partij het eens zal zijn met de stelling, maar het onderwerp van de stelling wordt niet specifiek benoemd. De partij is het impliciet niet eens met de stelling.</i>	+
<i>De partij is het eens met de stelling. De partij noemt specifiek het onderwerp van de stelling en laat duidelijk merken dat zij het hier mee eens is. De partij is expliciet eens met de stelling, maar benoemt geen plan van aanpak.</i>	+ +
<i>De partij is het helemaal eens met de stelling en meldt dit expliciet. De partij heeft een plan om de stelling om te zetten in een beleid, of heeft een plan waardoor het tegengestelde niet zal gebeuren.</i>	+ + +

Table 3: Criteria voor beoordeling partijprogramma's

Thema's	Stellingen	
Economie	1.	De regering moet prioriteit geven aan het herstellen van de waarde van de forint om de economische koopkracht van burgers te versterken.
	2.	Om economische records te blijven behalen, moet de regering investeren in innovatieve sectoren en kleine ondernemers steunen.
	3.	De forint moet actief worden versterkt door internationale samenwerkingen te zoeken met stabiele valuta-economieën.
	4.	De regering moet wetgeving ontwikkelen om de negatieve effecten van inflatie op lage inkomensgroepen te beperken.
Brandstof en milieu	5.	Er moet een energiebeleid komen dat prijschommelingen beheerst zonder tankstations failliet te laten gaan.
	6.	De overheid moet voorstellen van vertegenwoordigers van eigenaren van tankstations actief betrekken in het beleid rond brandstofprijzen.
	7.	De landbouw moet worden ondersteund met subsidies en initiatieven gericht op duurzaamheid en innovatie.
Hervormingen van politiek en media	8.	Media moeten politieke partijen even kritisch behandelen, ongeacht de potentiële impact op de verkiezingsuitslagen.
	9.	De regering moet zich onthouden van druk op mediaorganisaties en transparantie bevorderen in berichtgeving.
	10.	De regering moet maatregelen nemen om verkiezingsfraude te voorkomen.
	11.	Er moet meer voorlichting komen om het vertrouwen in het verkiezingssysteem te herstellen en participatie te vergroten.
	12.	De campagnefinanciering van politieke partijen moet openbaar en transparant zijn.
Internationaal beleid en veiligheid	13.	Hongarije moet zich neutraal opstellen in internationale conflicten en geen soldaten en wapens naar het oorlogsgebied sturen.
	14.	Hongarije moet het transporteren van wapens door het land voor oorlogsdoeleinden niet toestaan om van Hongarije geen doelwit te maken.
	15.	De impact van economische sancties tegen Rusland op de economie van Hongarije moet transparanter worden gecommuniceerd naar de bevolking.
Cultuur en onderwijs	16.	De regering moet cultuurprojecten beschermen door middel van vaste subsidies en onafhankelijke fondsen.
	17.	Subsidies van culturele instellingen mogen niet afhankelijk zijn van politieke voorkeuren.
	18.	De verkoop van culturele locaties aan particuliere partijen moet via openbare consultaties worden goedgekeurd.
Subsidies en sociale zekerheid	19.	De regering moet zorgen voor een vereenvoudigd en toegankelijk systeem voor sociale zekerheid, zodat mensen beter weten of ze recht hebben op subsidies.
	20.	Een rentevrije lening moet standaard onderdeel worden van subsidies voor jonge gezinnen.
	21.	De regering moet duidelijke richtlijnen publiceren over sociale zekerheidsvoorwaarden voor subsidies om ongelijkheid te verminderen.

Table 4: Stellingen 2022

Partijen

Thema's	Stellingen	DK	Fidesz*	Jobbik	LMP	MSZP
Nationale identiteit	1	- -	+ + +	+ + +	+ + +	+
	2	- -	+ + +	+ + +	+	+
Economische stabiliteit	3	+	+ + +	+ + +	+ + +	0
	4	+ +	0	+ + +	+ + +	+
	5	0	0	0	0	0
	6	+	0	+	+ + +	+ +
	7	+ + +	0	+ +	+ + +	+ + +
	8	+ + +	0	+ + +	+ + +	+ + +
	9	+ + +	0	+ + +	+ + +	+
Openbare veiligheid	10	+ + +	0	+ + +	+ + +	+ +
	11	-	+ + +	+ + +	0	- -
	12	-	+ + +	+ + +	+	- - -
	13	0	+ + +	+ + +	0	-
	14	0	+	+ +	0	0
	15	- -	+ + +	+ + +	-	- -
	16	0	+ +	0	0	0
Politiek landschap en instabiliteit	17	0	+	0	0	0
	18	0	+ +	0	0	0
	19	+ + +	- -	+ + +	+ + +	+ + +
	20	+ + +	0	+ + +	+ +	+ + +
	21	+ + +	0	+ + +	+ + +	+ +
	22	+ + +	0	+ +	+ + +	0
	23	+ +	0	+ + +	+ + +	+ +
Sociale kwesties	24	+ + +	0	0	+ +	+ +
	25	+ + +	0	+ + +	+ +	+
	26	0	0	0	+ +	+ +
	27	+ +	0	0	+ + +	0
	28	+ +	0	+ + +	+ + +	+
	29	+	0	0	+ +	+ +
	30	+ + +	0	+ + +	+ + +	+ + +

*Aangezien Fidesz geen partijprogramma heeft gepubliceerd is de beoordeling gebaseerd op de speech van partijleider Viktor Orbán op 18 februari 2018, in deze speech worden de plannen van de partij gepresenteerd.

Table 5: Beoordeling 2018

De neutraliteit van interviewvragen in politieke interviews van Nieuwsuur, volgens mensen van minimaal zestien jaar uit het oosten van Nederland

E. Scheffer ¹, S.B.M. Vos ², M.A. van Tienen ³, A.A. ten Cate ³, F.J. Loos ¹ & E.B.M. Boers ²

¹ Etty Hillesum Lyceum Het Vlier, Deventer

² Het Stedelijk Kottenpark, Enschede

³ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract – This study researches the extent to which the questions asked by interviewers of Nieuwsuur are perceived as neutral in political interviews by people aged at least 16 from the eastern part of the Netherlands. The participants had to fill in a questionnaire. The participants had to evaluate the following statement: ‘This question is neutral.’ The questionnaire consisted of twenty-three questions. The questions with each time the same statement, are based on the Question Analysis System and a sixth dimension called persistence added specifically for television interviews. Nine interviews were analysed and questions asked during the interviews are categorised within dimensions. Using the number of different types of questions asked during the interview and the score the participants gave to these types of questions, a neutrality score is compiled for each person per interview. The average neutrality scores of each interview do not exceed 51 %. The results indicate that the interview with the Forum voor Democratie (FvD) is viewed as significantly less neutral than the other eight interviews. It also shows that there are no significant differences between the way the respondents of different gender, political preference or generation view neutrality.

Voorwoord

Deze paper is ons resultaat van het Pre-U honoursprogramma op de Universiteit Twente. Interesse in de politiek en de neutraliteit van de media heeft tot het idee van dit onderzoek geleid. Door deze interesses te combineren met communicatie tussen mensen in interviews en de visie van mensen op neutraliteit, is dit onderzoek tot stand gekomen. Wij hopen dan ook dat dit onderzoek bijdraagt aan het streven van nieuwsorganisaties (onder andere Nieuwsuur) naar neutraliteit. Verder willen wij onze begeleidster M.A. van Tienen bedanken voor haar hulp en inzet tijdens dit proces. Ook gaat onze dank uit naar A.A. Ten Cate voor de kennis die wij afgelopen anderhalf jaar hebben mogen ontvangen.

1. Introductie

De afgelopen jaren is het vaker in het nieuws geweest. Geert Wilders had het er bijvoorbeeld over, de NOS is (té) links (WNL, 2017). Ongehoord Nederland heeft een onderzoek laten uitvoeren waaruit blijkt dat Nederlanders de NPO vaak niet evenwichtig vinden (Ongehoord Nederland, 2024). Als laatste had de rechtse regeringscoalitie in 2021 twee keer zoveel spreektijd in de media dan de oppositie partijen (Van der Parre, 2021). Er wordt door verschillende partijen gesuggereerd dat de media in bijzonder de NOS en NPO niet helemaal evenwichtig zijn (Pen, 2017).

De NOS zelf streeft naar ongebondenheid en objectiviteit (NOS, z.d.-b). Nieuwsuur, die mede onder NPO en NOS valt, zegt zelf onafhankelijk, onpartijdig en ongebonden nieuws te brengen (NOS, z.d.-a). Wanneer een instantie, zoals de NOS, feiten presenteert zonder zich te laten beïnvloeden door hun eigen overtuigingen, politieke voorkeuren of externe druk, is er sprake van inhoudelijke neutraliteit. In dit onderzoek wordt er gekeken naar formele neutraliteit. Formele neutraliteit verwijst naar de manier waarop journalistieke inhoud wordt gepre-

senteerd. Vooringenomenheid van een interviewer uit zich dan ook in het vraagontwerp, dus de inhoud en formulering van een vraag (Varwijk, 2008). Aan de hand van het vraagontwerp kun je bepalen hoe neutraal een interview is.

Om te kunnen meten hoe neutraal een interview is, hebben Clayman en Heritage (2002b) samen met hulp van Elliot en McDonald (2006, 2007) het Question Analysis System (QAS) opgesteld. Middels dit systeem kun je wetenschappelijk meten hoe neutraal een interview is. Het QAS is gebaseerd op resultaten van eerdere onderzoeken over journalistiek vraagontwerp (Clayman & Heritage, 2002b).

Door met het QAS te meten wat mensen als neutraal beschouwen kan de media hun programma's eventueel afstemmen op wat de kijkers als neutraal beschouwen. Dit is relevant, omdat de manier waarop media verhalen en nieuws brengen kan leiden tot polarisatie (Nederlands Jeugdinstituut, z.d.-a). Polarisatie is het proces waarbij mensen over elkaar steeds meer gaan denken in termen van 'wij' tegenover 'zij' (Nederlands Jeugdinstituut, z.d.-b). De media verkondigen dat ze streven naar neutraliteit en volgens het QAS zijn de media misschien ook wel wetenschappelijk neutraal, maar dit kan door de kijkers op dat moment anders worden ervaren. Door als media zijnde te weten wat mensen als wel en niet neutraal beschouwen kunnen zij door eventuele aanpassingen de polarisatie in Nederland proberen te verminderen. Als kijkers het gevoel hebben dat het nieuws veelal met dezelfde gedachtegang wordt gebracht, dan versterkt dit het 'wij' tegenover 'zij' gevoel (Nederlands Jeugdinstituut, z.d.-a).

Verder is de neutraliteit alleen op de 'wetenschappelijke' manier gemeten en is er nog niet eerder gekeken naar wat de samenleving als neutraal ziet. Oftewel wat de perceptie is van neutraliteit en of dit verschilt per gender, leeftijd of politieke voorkeur. Dit leidt tot de onderzoeksvraag: 'In hoeverre wordt de vraagstelling van interviewers bij Nieuwsuur in politieke in-

interviews als neutraal waargenomen door mensen van minimaal zestien jaar uit het oosten van Nederland?’

2. Theoretisch kader

2.1. Neutraliteit voor interviewers

In het dagelijks leven is iemand neutraal als deze persoon zijn mening niet laat doorschemeren en geen kanten kiest (Nederlands woordenboek - Woorden.org, z.d.). Voor tv-interviewers werkt dit net iets anders. Tv-interviewers moeten een neutrale rol aannemen in hun interviews. Er wordt op gerekend dat interviewers gedragscodes van de journalistieke cultuur volgen. Journalistieke gedragscodes zijn er in de vorm van geschreven en ongeschreven regels. De geschreven gedragscodes hebben geen wettelijke basis, maar zijn bedacht door journalistieke organisaties of redacties om journalisten een leidraad te bieden voor hun dagelijkse praktijk (International Federation of Journalists, 2019). Een interviewer heeft een objectieve houding wanneer een interviewer zich aan deze journalistieke gedragscodes houdt, zoals eerlijkheid en onafhankelijkheid. Dit betekent dat ze dan geen partij mogen kiezen en onderwerpen onbevooroordeeld moeten benaderen. Tegelijkertijd hebben interviewers een belangrijke democratische functie: kritisch zijn. Zij moeten geïnterviewden ondervragen en hen ter verantwoording roepen. Dit houdt in dat zij feiten checken, onwaarheden aan de kaak stellen en ook tegengestelde meningen aandragen om een goed geïnformeerd publiek te garanderen. Wanneer een interviewer te objectief blijft, kan het lijken alsof hij de geïnterviewde niet voldoende kritisch ondervraagt, wat de kritische functie ondermijnt. Wanneer een interviewer juist heel kritisch wordt, door confronterende vragen te stellen of tegenstrijdige feiten en meningen in te brengen, kunnen zij worden beschuldigd van partijdigheid en een gebrek aan neutraliteit (Raad voor de Journalistiek, z.d.). Het is voor interviewers vaak dan ook moeilijk om hier een tussenpositie in te vinden, omdat hier maar een dunne scheidingslijn tussen ligt. Een interviewer wordt snel te kritisch gevonden, maar ook te objectief (Varwijk, 2008). Het is dus de bedoeling dat interviewers een geschikte tussenpositie vinden. Clayman en Heritage schrijven dat interviewers deze tussenpositie innemen door hun vragen zo te ontwerpen dat ze rekening houden met de neutraliteitsnorm, maar gelijktijdig ook nog een kritische houding aan kunnen nemen. De functie van het stellen van een vraag is tevens erachter komen wat iemand zijn standpunt is en niet het geven van je mening (Clayman & Heritage 2002a). Varwijk stelde dat vragen stellen op deze manier volgens de journalistieke norm beschouwd wordt als een vorm van interactie die neutraal is (Varwijk, 2008). Het is van belang dat interviewers de geïnterviewde kritisch benaderen en niet alleen de mogelijkheid geven aan de geïnterviewde om zichzelf te verkopen aan het publiek, omdat dit de interviewer de mogelijkheid biedt om echte feiten te achterhalen en een evenwichtig beeld te geven (Clayman & Heritage, 2002a). Het innemen van een neutrale positie en tegelijkertijd kritisch zijn, wordt gedaan door de aandacht te leggen op een evenwichtige verdeling van deze twee functies in het vraagontwerp en door alle geïnterviewden hetzelfde te behandelen. De nadruk ligt dus vooral op de evenwichtige benadering van geïnterviewden en minder op de vraag of interviewers dit objectief doen (Varwijk, 2008).

2.2. Dimensies

Bij dit onderzoek wordt de perceptie van neutraliteit van het vraagontwerp onderzocht aan de hand van het QAS, bestaande uit 5 dimensies: Initiatief, Directheid, Assertiviteit, Oppositie, Verantwoording en een zesde dimensie genaamd Persistentie, die volgens Varwijk aan het systeem kan worden toegevoegd, specifiek bij tv-interviews (Varwijk, 2008). De eerste 5 dimensies behoren tot het Question Analysis System (QAS) dat is ontwikkeld door Clayman en Heritage. Met het QAS wordt de vijandigheid van de gestelde vragen van een interviewer geanalyseerd. Met vijandigheid wordt bedoeld dat de interviewer met de vraag tegen het standpunt van de geïnterviewde ingaat of zich (te) kritisch uit over bepaalde kwesties. De vijandigheid kan worden geanalyseerd door alle gestelde vragen in te delen in de vijf dimensies van het QAS en de zesde dimensie bedacht door Varwijk. Elke dimensie is uitgewerkt aan de hand van vraagontwerp, dus verschillende kenmerken waarop vragen worden opgesteld, deze kenmerken worden gebruikt als indicatoren voor die dimensie (Clayman et al., 2007). Door dit systeem kunnen vragen die in interviews worden gesteld aan verschillende geïnterviewden met elkaar worden vergeleken, omdat mogelijke verschillen in de vijandigheid van de vraag bij verschillende interviews de indicator is van tekortkoming van neutraliteit in het vraagontwerp en dus de vraagstelling van de interviewer. Met mogelijke verschillen in vijandigheid wordt bedoeld dat de interviewer bij het ene interview meer vijandige vragen stelt dan bij het andere interview (Varwijk, 2008). De aanwijzingen van de eerste drie dimensies houden zich vooral bezig met de vorm van de vraag. De dimensies oppositie en verantwoording hebben meer betrekking op de inhoud van de vraag (Clayman et al., 2007).

Initiatief: Bij initiatief wordt de vraag van de interviewer afgebakend en gezorgd dat de geïnterviewde de vraag minder goed kan ontwijken. In een interview kunnen journalisten zich terughoudend opstellen. Ze laten dan de geïnterviewde, met alle ruimte, een antwoord bedenken op vragen. Ze kunnen er aan de andere kant ook voor kiezen om de vragen op zo'n manier te stellen dat ze het antwoord in een bepaalde dwingende richting sturen. Interviewers nemen dan meer een betrokken houding in (Clayman & Heritage, 2002b). Initiatief is dus de mate waarin vragen eerder betrokken of ondernemend zijn in hun doelen dan terughoudend (Clayman et al., 2007). Initiatief kenmerkt zich op 3 manieren:

1. Door inleidende uitspraken voorafgaand aan de vraag
2. Door meer dan één vraag te stellen binnen een beurt
3. Een vervolgvraag stellen

De eerste vorm van initiatief maakt het voor de geïnterviewde moeilijker om de vraag te ontwijken. De tweede vorm stelt hogere eisen aan de geïnterviewde (Clayman et al., 2006). De derde vorm van initiatief is gemaakt voor persconferenties. Bij dit onderzoek is er onderzoek gedaan naar interviews en niet naar persconferenties, daarom is deze vorm van initiatief niet van toepassing. De eerste twee vormen van initiatief kunnen ook samen ingezet worden, om zo een vraag met veel initiatief te stellen (Varwijk, 2008). In principe is initiatief vijandig, omdat de geïnterviewde nu het idee heeft dat hij de vraag wel moet beantwoorden, maar dit kan natuurlijk verschillen per context,

omdat een interviewer nog altijd zijn kritische rol probeert te vervullen.

Directheid: Directheid gaat over hoe voorzichtig een journalist een vraag stelt. De indicatoren voor de dimensie zijn indicatoren die het tegenovergestelde in kaart brengen dus indirectheid, want hoe indirecter een interviewer is, hoe minder vijandig hij is. Als er een directe vraag wordt gesteld is er vijandigheid aanwezig. Zowel verwijzingen van de interviewer in een vraag naar zichzelf als naar anderen, verminderen de dwang in de vraag. Als deze verwijzingen er niet zijn, dan wordt de vraag op een meer dwingende manier aan geïnterviewden voorgelegd en dan dus directer (Clayman et al., 2007). Indirectheid neemt meestal de vorm aan van een zin, bijzin of zin die voorafgaat aan de vraag en deze inkadert (Clayman & Heritage, 2002b). Indirectheid kenmerkt zich op twee verschillende manieren:

1. Uitingen die verwijzen naar de intentie, motivatie en mogelijkheid van de interviewer om de vraag te stellen
2. Uitingen die verwijzen naar de mogelijkheid of wil van de geïnterviewde om de vraag te beantwoorden

Bij de eerste indicator leidt de interviewer met uitingen als 'ik vraag me af' of 'ik wil graag vragen' de vraag in (Varwijk, 2008). De interviewer vraagt toestemming voor het stellen van de vraag. Bij de tweede gaat het om uitingen als 'wilt u' of 'kunt u'. Hierbij heeft de geïnterviewde de kans of mogelijkheid om de vraag niet te beantwoorden (Clayman et al., 2007). Dit is minder vijandig omdat hier de nadruk ligt op de mogelijkheid van beantwoorden en niet op het moeten beantwoorden.

Assertiviteit: De mate waarin een interviewer het lukt om een bepaald antwoord te suggereren, te impliceren of te 'pushen', tijdens het stellen van een vraag (Clayman & Heritage, 2002b). Assertiviteit wordt met het QAS grotendeels gemeten bij 'ja of nee' vragen. Sommige 'ja en nee' vragen zijn neutraal, anderen suggereren een antwoord. Met neutrale 'ja en nee' vragen worden vragen bedoeld die er zijn om bepaalde informatie of context voor de kijker duidelijker te maken. Deze vragen impliceren verder geen antwoord. Bij alle vragen die assertiviteit bevatten worden de vragen zo geformuleerd dat er een bepaald antwoord wordt 'verwacht' (Varwijk, 2008). Dit kan soms gunstig uitpakken voor de geïnterviewde, als het antwoord van de vraag past bij de mening van de geïnterviewde. Dit is verschillend wanneer er sprake is van een tegengestelde voorkeurshouding. Dit gebeurt wanneer de interviewer met de vraag tegen het standpunt van de geïnterviewde ingaat (Clayman & Heritage, 2002b). Assertiviteit in vraagontwerp kan door:

1. Suggestieve inleiding
2. Suggestieve vraagstelling

Een combinatie van beide is ook mogelijk. Bij een suggestieve inleiding wordt bedoeld dat de interviewer in de inleiding voor de vraag argumenten noemt, die azen naar een bevestigend antwoord (Varwijk, 2008). Vragen kunnen ook in de formulering van de vraag assertief zijn. Dat zijn vragen die onder andere negatief zijn geformuleerd. Het gaat hier dan om vragen zoals

'is het niet' of 'denk je niet dat'. Deze vragen suggereren 'ja' op zo'n manier, dat de interviewer eerder een bewering maakt, dan een vraag stelt (Clayman & Heritage, 2002a, 2002b). Er zijn echter nog meer indicatoren voor een suggestieve vraagstelling. In het Nederlands zijn vragen zoals 'is het niet', niet de enige vragen die een bevestigend antwoord verwachten. Ook vraagwoorden als 'hè', of woorden als 'toch'. Daarnaast zijn aarzeling wekkende werkwoordsvormen als 'zouden we' ook een vorm van assertiviteit, of formuleringen die er volledig op gericht zijn om instemming, dus een ja of een nee, te krijgen (Korswagen, 1988).

Oppositie: Bij oppositie stelt de interviewer vragen en neemt standpunten in die (te) kritisch zijn en tegengesteld zijn aan de standpunten van de geïnterviewde (Clayman et al., 2006). Interviewers kunnen die standpunten uitdrukken:

1. In de inleiding van de vraag
2. In het onderwerp van de vraag in zijn totaliteit

Er wordt oppositie getoond in de inleiding van de vraag als een interviewer in de inleiding expliciet ingaat tegen eerdere uitspraken van de geïnterviewde, uitspraken van de geïnterviewde tijdens het interview of als de interviewer in de inleiding erg kritisch tegenover de standpunten van de geïnterviewde is. Ook opmerkingen voor de vraag die onenigheid uitdrukken, tegenstrijdigheden tussen wat er gezegd is en wat er gedaan is met betrekking tot de geïnterviewde, behoren tot oppositie in de inleiding van de vraag (Clayman & Heritage, 2002b). Bij de eerste manier van oppositie in de inleiding benoemt de interviewer in de vraag argumenten of levert kritiek, daarna wordt de geïnterviewde gevraagd om antwoord te geven op deze kritiek. De tweede manier van een opponerende inleiding is door het vermelden van kritiek in de inleiding van de vraag. Deze kritiek wordt vervolgens voor 'waar' aangenomen en hier wordt aansluitend een vraag over gesteld. Op deze manier krijgt de geïnterviewde geen kans meer om zich te verdedigen tegen dit standpunt. Het is daarom dat deze soort inleidingen meer opponerend zijn dan de eerste (Varwijk, 2008). Interviewers kunnen zichzelf 'neutraler' maken door de kritiek of argumenten uit de inleiding af te schuiven op iemand anders. Ze benoemen dan alleen het standpunt van de derde persoon en blijven op die manier 'neutraal', omdat ze niet zelf met het standpunt komen (Heritage & Roth, 1995). Feitelijk gezien uit de interviewer nog steeds kritiek en valt dit dus onder een mate van vijandigheid, maar de kijker zou dit als neutraal kunnen waarnemen, omdat het op iemand anders wordt afgeschoven.

Algehele oppositie: Een vraag zonder inleiding en een vraag met inleiding kunnen allebei ook indicatoren zijn voor de dimensie oppositie. Bij beide gevallen is er sprake van oppositie als ze in het geheel van de vraag opponerend zijn (Clayman et al., 2007). Bij een vraag zonder inleiding gaat het meestal om vragen die expliciet ingaan tegen wat de geïnterviewde net heeft gezegd, die vragen zijn dus opponerend. Bij een vraag met inleiding, gaat het over een opponerende inleiding, dus een kritische inleiding, met daarbij een kritische vraag. De interviewer heeft dus een algehele kritische houding (Clayman et al., 2007).

Verantwoording: Verantwoording wordt vertaald in vragen die

de geïnterviewde verzoeken om kwesties of standpunten uit te leggen of te verantwoorden. De interviewers vragen om uitleg, hoe het kan dat iets is gedaan of gebeurd en weigeren het beleid of standpunt te accepteren zoals het is, daarom zijn dergelijke vragen op zekere hoogte vijandig (Clayman et al., 2007). De mate van vijandigheid verschilt echter per soort vraag die er wordt gesteld. De dimensie verantwoording heeft twee indicatoren:

1. Verantwoordingsvraag
2. Beschuldigende verantwoordingsvraag

De mildere vorm van de dimensie is de 'normale' verantwoordingsvraag. Bij een verantwoordingsvraag, wordt er gevraagd waarom de geïnterviewde iets heeft gedaan, hierbij blijft de interviewer 'formeel neutraal'. Dit zijn vragen als: 'Waarom heeft u dat gedaan?' (Clayman & Heritage, 2002b). De meer vijandigere vorm is de beschuldigende verantwoordingsvraag. Dit zijn vragen als: 'hoe kan dat?'. Bij deze vragen wordt niet alleen gevraagd om iets uit te leggen, maar wordt er ook aangenomen dat de geïnterviewde geen acceptabele verklaring kan geven (Varwijk, 2008).

Persistentie: De laatste dimensie voor het meten van neutraliteit is persistentie. Met het QAS wordt de neutraliteit gemeten bij zowel persconferenties als bij interviews, echter worden verschillen tussen deze twee niet meegenomen in het systeem (Varwijk, 2008). Bij interviews is het mogelijk om een reeks vragen achter elkaar te vragen. Dit maakt het ook mogelijk om de geïnterviewde tot verantwoording te roepen voor het inadequaats beantwoorden van de vraag. Dit kan op verschillende manieren:

1. De vraag te herhalen
2. Interrumperen van de beurt van de geïnterviewde
3. De geïnterviewde expliciet tot verantwoording roepen voor het inadequaats beantwoorden van de vraag

Het wordt als het ware als een morele verplichting gezien om vragen te beantwoorden. Dit geldt niet alleen voor publieke figuren in tv-interviews maar ook voor mensen in het algemeen tijdens bijvoorbeeld een gesprek (Schegloff, 1972). Ook is het voor de geïnterviewde slechte publiciteit als ze een vraag ontwijken of niet willen beantwoorden (Clayman, 2001). Door de vraag te herhalen, tracht de interviewer alsnog een volwaardig antwoord uit de geïnterviewde te krijgen, zonder dat die expliciet tot verantwoording wordt geroepen (Clayman, 2001). Dit kan de interviewer eenmalig doen, maar ook meerdere keren. De interviewer kan de beurt van de geïnterviewde ook interrumperen (Bilmes, 1999). Dit gebeurt wanneer de interviewer vindt dat het antwoord tijdens de beurt van de geïnterviewde al niet goed genoeg is. Op deze manier laat de interviewer dus zien dat het antwoord niet goed of volwaardig is (Varwijk, 2008). Als laatste kan de interviewer, als de vraag niet goed of onvolledig wordt beantwoord, de geïnterviewde expliciet daarop aanspreken (Clayman, 2001).

3. Methode

3.1. Materialen

Voor het uitvoeren van dit onderzoek is het volgende nodig:

1. Negen politieke interviews van hetzelfde nieuwsplatform die in hetzelfde jaar hebben plaatsgevonden.
2. 23 vragen die tijdens politieke interviews zijn gesteld door interviewers en onder één van de varianten van de zes dimensies vallen.
3. Online enquête-tool, zoals in dit geval het programma Qualtrics.
4. Statistisch computerprogramma, zoals SPSS.
5. Respondenten die uit het oosten van Nederland komen die minimaal zestien jaar zijn.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van het programma Qualtrics als enquête-tool. Dit programma geeft toegang tot elk mogelijk vraagtype, randomiseren en samenwerking. Ook biedt Qualtrics de mogelijkheid om te kunnen zien hoelang respondenten erover doen om de enquête in te vullen, waardoor het filteren van resultaten makkelijker wordt. Als iemand maar kort zou doen over het invullen van deze enquête en er bijvoorbeeld alleen maar dezelfde score is gegeven, kan er makkelijker worden gekeken of de score wordt meegenomen.

Om respondenten te werven is er gebruik gemaakt van online platforms, maar ook een fysieke poster om de enquête te promoten (zie figuur 1). Deze poster is op school opgehangen en online verspreid.

3.2. Het experiment

3.2.1 Enquête

Het doel van het onderzoek is om te achterhalen in hoeverre de vraagstelling van interviewers bij Nieuwsuur in politieke interviews als neutraal wordt waargenomen door de respondenten. Dit is gedaan door middel van een enquête (Zie Appendix). Om dit onderzoek uit te voeren en deze enquête te kunnen maken, zijn er negen interviews van Nieuwsuur geanalyseerd (NOS, 2023a, 2023b, 2023c, 2023d, 2023e, 2023f, 2023g, 2023h, 2023i). Er is gekozen voor interviews met partijleiders van verschillende partijen met één interviewer die Nieuwsuur vertegenwoordigt. Per interview verschilt het welke interviewer het interview houdt, maar ze vertegenwoordigen beide Nieuwsuur, dus wordt er alleen gekeken naar de vraagstelling. De partijen zijn ieder verdeeld in een linkse, rechtse of midden partij. Zo zijn er van elke politieke richting drie partijen uitgekozen, waarvan het interview geanalyseerd wordt. Dit zijn de partijen Partij van de Arbeid (PvdA)-GroenLinks, Partij voor de Dieren (PvdD) en de Socialistische Partij (SP) die de linkse richting vertegenwoordigen. De partijen Nieuw Sociaal Contract (NSC), Partij voor de Vrijheid (PVV) en BoerBurgerBeweging (BBB) vallen onder de midden partijen. De rechtse richting wordt vertegenwoordigd door de Volkspartij voor Vrijheid en Democratie (VVD), het Juiste Antwoord (JA21) en FvD. Deze verdeling is gemaakt aan de hand van het kieskompas in 2023 (Friso, 2023). Deze verdeling is daarmee alleen gebaseerd op economisch gebied. Er is voor gekozen om deze partijen van tevoren in te delen in de groepen rechts, links en midden bij de

vraag: ‘Wat is uw politieke voorkeur?’ Deze groepen werden dus zo in de enquête gepresenteerd, omdat iedereen op deze manier rechts, links en midden op dezelfde manier zou interpreteren.

Elk interview wordt getranscribeerd en alle vragen die tijdens het interview door de interviewer aan de geïnterviewde gesteld zijn, worden gemarkeerd. Elke vraag die de interviewer heeft gesteld, moet worden gecategoriseerd in één van de dimensies van het QAS of de zesde dimensie persistentie en binnen die dimensie moet er worden gekeken in welke vorm die dimensie in die vraag voorkomt. De vragen worden eerst apart gecategoriseerd door de twee onderzoekers en daarna wordt er in overleg gekeken of er overeenstemming is. Als dit er niet is wordt er samen gekeken naar de juiste dimensie waar de vraag onder valt. Sommige vragen vallen onder meerdere dimensies of categorieën, deze worden meegenomen in de berekeningen als twee vragen, omdat er anders meer vragen gecategoriseerd zouden zijn, dan dat er daadwerkelijk gesteld zijn tijdens het interview. In de enquête worden de respondenten gevraagd om een stelling te beoordelen. De stelling is steeds hetzelfde, namelijk: ‘De volgende vraag is neutraal.’ De vragen die de respondenten moesten beoordelen stonden steeds onder de stelling. Elke dimensie kan op verschillende soorten manieren worden geuit in een vraag (Varwijk, 2008). De vragen die steeds onder de stelling stonden waren één van die manieren, zo zaten er uiteindelijk 23 vragen in de enquête, die de respondenten moesten beoordelen. De antwoord mogelijkheden waren de cijfers één tot vijf, waarbij één helemaal oneens is, twee oneens is, drie niet eens / niet oneens is, vier eens is en vijf helemaal eens is. Dit wordt ook wel de Likertschaal genoemd. Er is gekozen voor een schaalverdeling van één tot vijf, omdat het begrip neutraliteit niet is gedefinieerd. Er is bewust voor gekozen om neutraliteit niet te definiëren, omdat het doel is om te achterhalen wat het publiek als neutraal ziet. De vragen in de enquête worden dus gebaseerd op de dimensies en daarbij de categorieën van het QAS en deze vragen beoordelen de respondenten.

Het kan lastig zijn om heel gedetailleerd te kijken naar neutraliteit, als er geen definitie van neutraliteit is gegeven. Het verschil tussen een vier en een vijf is groter op een schaal van één tot vijf, dan op een schaal van één tot tien. Het zou dus moeilijker zijn voor de respondent om een keuze te maken tussen twee getallen bij een grotere schaalverdeling. Dit komt doordat het verschil tussen twee getallen bij een grotere schaalverdeling dan minimaal is, vooral als er niet is gegeven wat er met neutraliteit wordt bedoeld.

Daarnaast is de enquête vrij lang door de 23 vragen en is het gebruik van de Likertschaal dus voordeliger voor het werven van respondenten, omdat de enquête met een Likertschaal sneller in te vullen is (Poortinga, z.d.). Er is niet één bepaalde doelgroep voor de enquête, omdat er wordt bepaald wat de mensen als neutraal beschouwen en hierbij ook verschillende leeftijden, geslachten en politieke voorkeuren vergeleken worden. Het maakt daarom niet uit wie precies de enquête invult. Wel is het zo dat de enquête zestien plus is, omdat mensen van zestien jaar of ouder maatschappijleer hebben gehad op school of mogen stemmen. Zij weten dus vaak al iets meer van de politiek af en zullen zich sneller met de politiek bezighouden. Bovendien wordt er van de respondenten verwacht dat ze in staat zijn

om stukjes tekst te analyseren. Nog jongere kinderen zijn hier vaak niet toe in staat, daarom is er een minimum van zestien jaar gesteld. Enquêtes die niet volledig zijn ingevuld, worden niet meegenomen in de resultaten. Dit is gedaan, omdat het resultaat niet kan worden gebaseerd op half ingevulde enquêtes. Er kan dan niet worden gesteld dat de conclusie gebaseerd is op de mening van alle respondenten.

3.2.2 Gewicht

Er zijn nog twee laatste vragen toegevoegd aan de enquête (zie Appendix). Het doel van deze twee vragen is kijken of de mens een bepaalde dimensie of zelfs meerdere dimensies zwaarder mee vindt wegen aan de neutraliteit, dus of de mens wellicht vindt dat sommige dimensies voor meer neutraliteit zorgen dan andere. Dit wordt ook wel het gewicht van een dimensie genoemd. Hier is voor gekozen, omdat er zo een beter beeld geschetst kan worden over hoe de respondenten neutraliteit beschouwen. In deze vragen wordt gevraagd of de respondent de volgende vragen wil vergelijken en ze op volgorde van meest neutraal naar minst neutraal wil zetten. De vragen mogen hierbij ook op dezelfde hoogte staan, want het hoeft niet zo te zijn dat de ene dimensie meer bijdraagt aan neutraliteit dan de ander. Na de gestelde vraag staan er zes vragen, één uit elke dimensie die de respondenten op volgorde moeten zetten. Er is gekozen voor vragen die de respondenten eerder in de enquête al hebben beoordeeld op neutraliteit, zodat ze al bekend waren met de vragen. Ook zijn de vragen zo uitgekozen dat ze ook goed met elkaar te vergelijken zijn. Zo bestaat één van de twee vragen voornamelijk uit vragen met een inleiding. Er wordt twee keer gevraagd om de vragen op volgorde te zetten van meest naar minst neutraal om de conclusie meer valide te maken.

3.3. Variabelen

Om dit onderzoek goed uit te voeren, moet de variabele die invloed uitoefent op de resultaten vraagontwerp zijn, dit moet niet iets anders zijn. Als de onafhankelijke variabele vraagontwerp is, dan zullen de respondenten tijdens de enquête puur op basis van vraagontwerp een verschil in neutraliteit aangeven. Er moeten dus geen andere invloeden zijn die de onafhankelijke variabele niet meer onafhankelijk maken. Iemand's politieke voorkeur is bijvoorbeeld niet van toepassing. Zo zijn in de enquête namen van politici, politieke partijen of kenmerken van een bepaalde partij vervangen door een letter bijvoorbeeld (a) (zie Appendix). Mensen kunnen wanneer ze informatie verwerken en oordelen vellen, worden beïnvloed door hun motivaties en verlangen (Kunda, 1990). Deze verlangen kunnen bijvoorbeeld de meeste zetels voor de PVV in de Tweede Kamer zijn. In de enquête wordt er een kritische vraag aan de partij leider van de VVD gesteld over Geert Wilders. In deze vraag staat het woord islamhaat in combinatie met de partijnaam. Dit kan ervoor zorgen dat deze vraag als minder neutraal wordt beschouwd door de mensen met die motivatie, omdat de PVV hier aan een negatief woord ‘islamhaat’ wordt gekoppeld. Kenmerken als politieke partijen of kenmerken van een bepaalde partij kunnen dus invloed hebben op de manier waarop een persoon het vraagontwerp als neutraal ziet. Deze beïnvloeding zou het onderzoek in gevaar kunnen brengen, omdat het onderzoek dan niet meer helemaal betrouwbaar en

valide is, vandaar dat deze termen dus zijn weggehaald. Daarnaast wordt het begrip "neutraliteit" niet gedefinieerd. Door het begrip uit te leggen, wordt het antwoord 'geframed'. De framing van een keuze kan grote invloed hebben op welke optie iemand kiest, door achterliggende realiteit verschillend te presenteren (Tielmeijer, 2010). Als men dus in een enquête het begrip neutraliteit al zou definiëren voordat de enquête wordt ingevuld, dan zullen de respondenten de neutraliteit bepalen aan de hand van die definitie en niet aan de hand van de eigen mening, daarom wordt in dit geval de wetenschappelijke definitie van het woord neutraliteit gezien als framing. Het onderzoek gaat namelijk over hoe mensen neutraliteit waarnemen.

3.4. Verwerking resultaten

Voor iedere vraag binnen elke dimensie is er door de respondenten een neutraliteitsscore gegeven van één tot vijf. Er is al geanalyseerd hoe vaak een soort vraag in een interview voorkwam. Met deze gegevens kan er eerst een neutraliteitsscore per dimensie uitgerekend worden met behulp van de neutraliteitsscore die per persoon is gegeven en hoe vaak een soort vraag voorkwam in een interview. Dit is een score die wordt gebruikt om de neutraliteit te kwantificeren. Aan de bovenkant van de formule staan alle totale scores van die persoon voor een interview per dimensie bij elkaar opgeteld. Aan de onderkant staat hoe vaak een dimensie in een interview voorkwam. Dit wordt gedaan, omdat hiermee een score wordt berekend die representatief is voor de hele dimensie in een interview, waardoor er beter vergeleken kan worden. De formule ziet er zo uit:

Neutraliteitsscore per dimensie =

((Neutraliteitsscore persoon 1 vraag één x aantal keer dat deze soort vraag voorkwam in het interview) + (Neutraliteitsscore persoon 1 vraag twee x aantal keer dat deze soort vraag voorkwam in het interview) + (Neutraliteitsscore persoon 1 vraag drie x aantal keer dat deze soort vraag voorkwam in het interview)) / totaal aantal keer dat vragen binnen die dimensie voorkwamen in het interview.

Er wordt dus steeds per persoon een neutraliteitsscore berekend, zodat er uiteindelijk per persoon per interview een neutraliteitsscore over blijft. Zo gaan er geen gegevens verloren, zoals het aantal respondenten. In dit model maakt het niet uit dat er een verschillend aantal vragen wordt gesteld per dimensie, want als er een neutraliteitsscore per dimensie wordt uitgerekend, staat aan de bovenkant de totale neutraliteitsscore van alle vragen in die dimensie samen. Er wordt dan gedeeld door het aantal vragen dat wordt gesteld. Dit laatste getal is natuurlijk groter als er meer verschillende soorten vragen in de enquête staan. Er wordt dus al rekening gehouden met een verschil in aantal vragen. Er is voor gekozen om de schaal van één tot vijf om te rekenen naar een schaal van nul tot één, omdat het gebruik van een schaal van nul tot één het gemakkelijker maakt om alle dimensies met elkaar te vergelijken, omdat er ook makkelijk procenten van gemaakt kunnen worden. Om de neutraliteitsscore per dimensie om te rekenen naar een schaal van nul tot één is de volgende formule gebruikt:

Neutraliteitsscore per dimensie met schaal nul tot één =

$$\frac{\text{neutraliteitsscore per dimensie} - 1}{5 - 1}$$

Aan de hand van de antwoorden van de respondenten op de vragen over de gewichten van de dimensies, wordt er een gewicht per dimensie opgesteld. Hierbij is het van belang dat er voor een verdeling van gewichten wordt gekozen die samen gelijk is aan 1,0, omdat dit ervoor zorgt dat de schaal van nul tot één wordt behouden. De formule krijgt dan de vorm:

Neutraliteitsscore dimensie 1 met gewicht = Gemiddelde neutraliteitsscore per dimensie x bepaalde gewicht

Met deze gegevens wordt er een neutraliteitsscore opgesteld, die het hele interview representeert. Dit wordt gedaan, omdat het uiteindelijke doel is om de neutraliteitsscores van verschillende interviews met elkaar te vergelijken. Er wordt dan één score geproduceerd die aangeeft hoe neutraal een interview volgens een respondent is. Dit getal wordt geproduceerd door alle neutraliteitsscores per dimensie, waarbij de gewichten al zijn ingecalculeerd, bij elkaar op te tellen. Dit mag, omdat er met de gewichten al is uitgerekend hoe elke dimensie bijdraagt aan de totale neutraliteitsscore. Er wordt al rekening gehouden met de relevantie van de dimensies. Deze neutraliteitsscore wordt dus voor elke respondent apart uitgerekend per interview.

Dit is de methode die wordt gebruikt om alle negen interviews met elkaar te vergelijken, maar met de resultaten wordt er ook gekeken naar de scores bij rechtse, linkse en midden partijen. Ook wordt er in de enquête aan de respondenten gevraagd naar hun geslacht, leeftijd en politieke voorkeur, zodat er gekeken kan worden naar de scores die bijvoorbeeld verschillende generaties geven. Op deze manier kunnen eventuele verschillen in de perceptie van het begrip neutraliteit tussen verschillende 'groepen mensen' worden vergeleken. Dit zorgt ervoor dat er een specifiek beeld kan worden geschetst over hoe mensen neutraliteit beschouwen, omdat er niet alleen wordt gekeken naar wat de algehele bevolking ziet als neutraal, maar ook naar de eventuele verschillen tussen groepen in wat zij als neutraal zien. Hierdoor zouden er specifiekere aanpassingen kunnen worden voorgesteld aan de media, omdat verschillende generaties bijvoorbeeld naar andere programma's kijken (Schaper et al., z.d.).

4. Resultaten

4.1. Respondenten

Aan dit onderzoek hebben 124 mensen deelgenomen, waarvan 38 mensen de gehele enquête hebben ingevuld. Er is voor gekozen om de laatste twee vragen in de enquête niet mee te nemen, omdat er te weinig respondenten waren om een geldig gewicht te berekenen per dimensie. Er is nu doorgerekend met een gelijk verdeeld gewicht, dus 1/6 per dimensie. Door de laatste twee vragen weg te halen, zijn er uiteindelijk zeventig respondenten overgebleven die alles behalve de laatste twee vragen hebben ingevuld.

4.2. Alle respondenten

Uit de enquête kwam dat de respondenten, het interview met de VVD als 50,63 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 49,33 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 48,31 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 48,79 % neutraal en de het interview

met GL-PvdA als 50,99 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 48,92 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de respondenten als 49,18 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 47,73 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 37,60 % als neutraal gezien (zie Figuur 2).

4.3. Geslacht

Uit de enquête kwam dat de 21 mannelijke respondenten, het interview met de VVD als 51,68 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 51,16 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 49,88 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 50,58 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 51,81 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 50,65 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de mannelijke respondenten als 50,57 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 50,11 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 38,87 % als neutraal gezien (zie Figuur 3).

Uit de enquête kwam dat de 49 vrouwelijke respondenten, het interview met de VVD als 50,18 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 48,55 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 47,63 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 48,02 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 50,64 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 48,18 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de vrouwelijke respondenten als 48,58 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 46,72 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 37,05 % neutraal gezien (zie Figuur 3). In de enquête heeft geen enkele respondent aangegeven zich geen man of vrouw te voelen. Er wordt dus alleen gekeken naar het verschil tussen mannen en vrouwen.

4.4. Politieke voorkeur

Uit de enquête kwam dat de 11 rechtse respondenten, het interview met de VVD als 48,54 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 47,62 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 45,92 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 46,24 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 48,37 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 46,08 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de rechtse respondenten als 46,50 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 45,58 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 35,95 % neutraal gezien (zie Figuur 4). Uit de enquête kwam dat de 34 linkse respondenten, het interview met de VVD als 50,40 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 49,67 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 49,02 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 49,43 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 51,30 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 49,12 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de linkse respondenten als 49,34 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 48,27 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 38,23 % neutraal gezien (zie Figuur 4).

Uit de enquête kwam dat de 25 midden georiënteerde respon-

denten, het interview met de VVD als 51,87 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 49,63 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 48,39 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 49,04 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 51,71 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 49,90 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de respondenten als 50,14 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 47,95 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 37,46 % neutraal gezien (zie Figuur 4).

4.5. Generaties

Uit de enquête kwam dat de 36 respondenten van generatie Z, het interview met de VVD als 47,43 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 46,01 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 45,03 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 45,10 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 48,13 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 45,14 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de respondenten van generatie Z als 45,25 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 44,21 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 34,24 % als neutraal gezien (zie figuur 5).

Uit de enquête kwam dat de vier respondenten van generatie Y, het interview met de VVD als 51,21 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 51,00 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 50,01 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 50,09 % neutraal en het interview met GL-PvdA als 55,31 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 48,68 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de respondenten van generatie Y als 48,44 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 48,39 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 38,22 % als neutraal gezien (zie Figuur 5).

Uit de enquête kwam dat de twintig respondenten van generatie Xennial, het interview met de VVD als 52,54 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 51,20 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 49,57 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 50,30 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 51,76 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 51,70 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de respondenten van generatie Xennial als 52,54 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 49,62 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 40,18 % als neutraal gezien (zie Figuur 5).

Uit de enquête kwam dat de acht respondenten van generatie X, het interview met de VVD als 55,61 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 54,98 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 54,89 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 55,95 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 56,55 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 53,96 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de respondenten van generatie X als 53,49 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 53,36 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 40,81 % als neutraal gezien (zie Figuur 5).

Uit de enquête kwam dat de twee respondenten van generatie babyboomers, het interview met de VVD als 68,18 % neutraal zagen. Ze zagen het interview met JA21 als 64,52 % neutraal. Het interview met de SP wordt als 64,80 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de PVV als 68,92 % neutraal en de het interview met GL-PvdA als 63,82 % neutraal. Het interview met de NSC wordt als 69,49 % neutraal beschouwd. Het interview met de PvdD wordt door de respondenten van generatie babyboomers als 70,62 % neutraal gezien. De respondenten zagen het interview met de BBB als 68,57 % neutraal. Het interview met de FvD wordt als 58,10 % als neutraal gezien (zie Figuur 5).

4.6. Significantie

Bij de percentages van alle respondenten bij elkaar, valt op dat het interview met de FvD als significant minder neutraal wordt gezien. Dat blijkt ook uit de uitgevoerde independent samples t-test (zie Tabel 1). $p < 0,001$, dus geldt $p < 0,05$, wat het verschil significant maakt.

Tussen de neutraliteitsscores van mannen en vrouwen zitten geen significante verschillen. Dat is gebleken uit de Mann-Whitney U Test. Er geldt steeds: $p > 0,05$ (zie Tabel 2).

Tussen de neutraliteitsscores van de drie politieke voorkeuren zijn er geen significante verschillen gevonden. Dat is gebleken uit de Kruskal-Wallis-Test. Er geldt steeds: $p > 0,05$ (zie Tabel 3).

Tussen de neutraliteitsscores van de verschillende generaties zijn er wel significante verschillen gevonden. Bij de interviews met de VVD, SP, PVV, NSC, PvdD, BBB en FvD geldt: $p < 0,05$. Bij de interviews met GL-PvdA en JA21 geldt: $p > 0,05$ (zie Tabel 4).

Tevens is het zo dat de generatie babyboomers bestaat uit twee respondenten. Daarom is significantie nog een keer berekend zonder deze generatie. Tussen de neutraliteitsscores van de verschillende generaties zonder de generatie babyboomer is er één significant verschil gevonden. Bij het interview met de PVV geldt: $p < 0,05$. Bij alle andere interviews geldt: $p > 0,05$ (zie Tabel 5).

5. Conclusie

De onderzoeksvraag van dit onderzoek luidt: ‘In hoeverre wordt de vraagstelling van interviewers bij Nieuwsuur in politieke interviews als neutraal waargenomen door mensen van minimaal zestien jaar uit het oosten van Nederland?’ Uit de resultaten blijkt dat de interviews niet als volledig neutraal worden gezien. De gemiddelde neutraliteitsscores komen niet boven de 51% uit. Daarnaast blijkt dat er een significant verschil zit tussen het interview met de FvD en de andere interviews. Bovendien wordt er geen significant verschil tussen andere interviews gevonden. Er kan dus worden gesteld dat het interview met de FvD als minder neutraal wordt gezien.

Tussen de neutraliteitsscores van mannen en vrouwen zitten geen significante verschillen. Er kan dus niet worden gesteld dat mannen en vrouwen neutraliteit anders zien.

Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de neu-

traliteitsscores van de drie politieke voorkeuren. Er kan dus niet worden gesteld dat mensen met verschillende politieke voorkeuren neutraliteit anders zien.

Tussen de verschillende generaties blijken er wel significante verschillen te zijn gevonden. Er zit een significant verschil bij de interviews met de VVD, SP, PVV, NSC, PvdD, BBB en FvD. Bij zeven van de negen interviews zit dus een significant verschil. Er zijn echter maar twee respondenten die onder de laatste generatie vallen ‘babyboomers’, die sterk een andere mening hebben over het begrip neutraliteit. Dit zou er wellicht voor kunnen zorgen dat dit de significantie beïnvloedt, daarom is ervoor gekozen om de significantie ook zonder de generatie babyboomers te berekenen. Tussen de verschillende generaties zonder de generatie babyboomers blijkt er één significant verschil te zijn gevonden. Bij het interview met de PVV blijkt er een significant verschil te zitten. Bij één van de negen interviews zit dus een significant verschil tussen de generaties zonder de generatie babyboomers. Door deze minderheid kan er niet worden gesteld dat mensen van verschillende generaties anders nadenken over het begrip neutraliteit.

6. Discussie

Bij het verwerken van de resultaten is er gekeken of er een significant verschil is tussen wat de respondenten, maar ook groepen respondenten vinden van de neutraliteit van negen interviews van Nieuwsuur. Uit de resultaten is gebleken dat er geen significante verschillen zijn tussen de groepen respondenten. Bij de verschillende generaties is opgevallen dat de generatie babyboomers, maar twee respondenten bevat. Andere generaties zijn ook niet erg groot, door het totale aantal respondenten van zeventig. Het respondenten aantal is niet groot genoeg om geldige conclusies te kunnen trekken over verschillende groepen mensen. Door de respondenten te verdelen in bijvoorbeeld geslachten of politieke voorkeuren, werd het respondenten aantal per groep aanzienlijk kleiner. Dit is terug te zien bij de conclusie over de verschillende generaties. Er was te zien dat als de generatie babyboomers weggehaald werd, de significantie veranderde. Dit kan invloed hebben gehad op het onderzoek, omdat de conclusie met een groter aantal respondenten betrouwbaarder is en dus ook anders had kunnen uitvallen. Er zijn zeventig mensen geweest die het eerste deel van de enquête hebben ingevuld. Om betere conclusies te kunnen trekken, had dit aantal dus groter moeten zijn. Dit kan te maken hebben met de opbouw van de enquête. De enquête was volgens de respondenten te lang en ook vaak complex. Ze hadden moeite met het invullen en in de resultaten was dan ook te zien dat veel respondenten halverwege zijn gestopt. De enquête bestond uit 23 vragen met nog twee laatste vragen die een gewicht moesten bepalen per dimensie. Vooral de laatste twee vragen waren erg lang, omdat ze zes verschillende vragen met elkaar moesten vergelijken. Er is voor gekozen om deze twee vragen aan het eind weg te laten, omdat 32 respondenten deze laatste twee vragen niet hebben ingevuld, maar de rest van de enquête wel. Dit maakt het onderzoek minder complex, omdat de dimensies nu worden gezien als evenwichtig, terwijl sommige respondenten die de laatste twee vragen wel hebben ingevuld, bepaalde dimensies minder mee vonden wegen dan anderen. Voor een vervolgonderzoek is het beter om van tevoren meer onderzoek te doen naar enquêtes en hoe enquêtes het meest ef-

fectief werken, om meer respondenten te werven.

In dit onderzoek zijn de politieke partijen ieder verdeeld in een linkse, rechtse of midden partij. Deze verdeling is alleen gebaseerd op economisch gebied. Het was beter geweest om per interview te kijken welke onderwerpen aan bod kwamen en daarbij te kijken of de partij daarbij een links, midden of rechts standpunt inneemt. Op basis van die standpunten kan de partij onder links, midden of rechts worden verdeeld. Als de partij bijvoorbeeld voornamelijk linkse standpunten inneemt dan zou de partij als linkse partij worden ingedeeld. Op die manier wordt er ook rekening gehouden met bijvoorbeeld waarden en cultuur.

Ook is er aangegeven dat het filteren van de resultaten makkelijker zou worden met het programma Qualtrics, omdat dit programma de mogelijkheid biedt om te kunnen zien hoelang een respondent erover doet om de enquête in te vullen. Bij de resultaten van de respondenten waren geen afwijkingen te zien in de scores, dus bijvoorbeeld mensen die telkens alleen maar dezelfde score hadden ingevuld of in vergelijking met anderen heel kort over het invullen van de enquête deden. Deze factoren hebben ertoe geleid dat alle resultaten zijn meegenomen.

Om de resultaten van de enquête om te zetten in data die gebruikt kon worden om iets te kunnen zeggen over de neutraliteit, moesten eerst alle vragen uit de interviews worden gecategoriseerd. Het categoriseren van de vragen is door twee personen gedaan, daardoor is er een grotere kans dat vragen wellicht in de verkeerde dimensie zijn geplaatst. In andere onderzoeken hebben ze dit in teams uitgevoerd, waardoor de kans op fouten kleiner wordt. Daarnaast zou het zelfs in teams lastig kunnen zijn om geen fouten te maken, omdat het uitsluiten van de eigen mening moeizaam gaat. Dit kan invloed hebben gehad op het onderzoek, omdat de neutraliteitsscores worden berekend aan de hand van hoe vaak een soort vraag voorkomt in een interview. Sommige vragen in de interviews vielen onder meerdere dimensies of categorieën. Deze vragen hebben zijn in de berekening meegenomen als twee vragen, hierdoor komt het aantal vragen dat daadwerkelijk tijdens het interview is gesteld, niet meer overeen met het aantal gecategoriseerde vragen per interview. Dit heeft verder geen effect op de daadwerkelijke neutraliteitsscore, omdat er dan wordt gedeeld door het aantal gecategoriseerde vragen per interview, maar dit is wel iets waar in vervolgonderzoek rekening mee moet worden gehouden.

Nadat alle data verzameld was, moest de data worden verwerkt. Hiervoor werd in eerste instantie een neutraliteitsscore per interview uitgerekend. Echter was het zo dat met deze data, informatie verloren ging over bijvoorbeeld het aantal respondenten. Dat zorgde ervoor dat er geen statistische toets kon worden uitgevoerd. Er is toen voor gekozen om in plaats van een neutraliteitsscore per interview, een neutraliteitsscore per persoon per interview uit te rekenen. Met deze data konden er namelijk wel statistische toetsen worden uitgevoerd en daarmee conclusies worden getrokken.

Om de validiteit van een vervolgonderzoek te verhogen, zijn er een aantal aspecten waar rekening mee moet worden gehouden. In een vervolgonderzoek zou er gevraagd kunnen worden naar de reden van het geven van een score. Zo kan er ook een verklaring worden gezocht voor de reden dat een neutraliteitsscore

van het ene interview significant kleiner is dan dat van een ander interview. Ook zou er vaker gevraagd moeten worden of een respondent een bepaalde vraag wil beoordelen, omdat veel vragen binnen één categorie in een dimensie vallen. Deze vragen kunnen vaak net iets verschillen van elkaar, waardoor de vragen anders ervaren kunnen worden. Bovendien vergroot de herhaling van het beoordelen van de vragen de betrouwbaarheid.

Eerder in de paper is benoemd dat de nadruk ligt op een evenwichtige benadering van geïnterviewden en minder op de vraag of interviewers dit objectief doen. In dit onderzoek is er te weinig aandacht besteed aan het analyseren van de vraag of er een evenwichtige benadering is. Voor een vervolgonderzoek wordt er dan ook sterk aangeraden om ook te kijken naar bias in aandacht, dus of elke politieke partij bijvoorbeeld evenveel spreektijd krijgt.

In dit onderzoek is er ook niet gekeken naar verbale taal in combinatie met non-verbale taal. Dit zou interessant kunnen zijn voor een vervolgonderzoek, omdat dit eventueel invloed zou kunnen hebben op de manier waarop een bepaalde vraag wordt ervaren. Ook kan er nog gekeken worden naar de reactie van de geïnterviewde. Hoe een geïnterviewde reageert of welke uitspraken de geïnterviewde doet, bepalen onder andere de vragen die de interviewer stelt. Hier wordt in dit onderzoek geen rekening mee gehouden.

Verder is het opgevallen dat de respondenten die ook het tweede deel van de enquête hebben ingevuld, het over het algemeen eens waren met wat er wetenschappelijk als neutraal wordt gezien. Hier valt verder niet veel over te zeggen, omdat er te weinig respondenten waren die het tweede deel van de enquête hebben ingevuld om een conclusie te kunnen trekken over de relatie van de perceptie van neutraliteit en de wetenschappelijke neutraliteit. Het was beter geweest om vóór dit onderzoek te kijken naar de relatie van de perceptie van neutraliteit en de wetenschappelijke neutraliteit. Voor een vervolgonderzoek zou het dus beter kunnen zijn om eerst te kijken naar wat mensen als neutraal zien en wat er wetenschappelijk als neutraal wordt gezien en of dit van elkaar verschilt.

Referenties

- Bilmes, J. (1999). Questions, answers, and the organization of talk in the 1992 vice presidential debate: Fundamental considerations. *Research on Language and Social Interaction*, 32(3), 213-242. <https://doi.org/10.1207/s15327973rl320301>
- Clayman, S. E. (2001). Answers and evasions. *Language in Society*, 30(3), 403-442. <https://doi.org/10.1017/s0047404501003037>
- Clayman, S. E., & Heritage, J. (2002a). The news interview. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511613623>
- Clayman, S. E., & Heritage, J. (2002b). Questioning presidents: Journalistic deference and adversarialness in the press conferences of U.S. presidents Eisenhower and Reagan. *Journal of Communication*, 52(4), 749-775. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2002.tb02572.x>

- Clayman, S. E., Elliott, M. N., Heritage, J., & McDonald, L. L. (2006). Historical trends in questioning presidents, 1953-2000. *Presidential Studies Quarterly*, 36(4), 561-583. <https://doi.org/10.1111/j.1741-5705.2006.02568.x>
- Clayman, S. E., Heritage, J., Elliott, M. N., & McDonald, L. L. (2007). When does the watchdog bark? Conditions of aggressive questioning in presidential news conferences. *American Sociological Review*, 72(1), 23-41. <https://doi.org/10.1177/000312240707200102>
- Friso, B. (2023). Partijen trekken niet langer naar links, de kiezers zitten in het midden [Foto]. *Trouw*. <https://www.trouw.nl/politiek/>
- Heritage, J. C., & Roth, A. L. (1995). Grammar and institution: Questions and questioning in the broadcast news interview. *Research on Language and Social Interaction*, 28(1), 1-60. https://doi.org/10.1207/s15327973rlsi2801_1
- International Federation of Journalists. (2019). Wereldwijd handvest voor ethiek in de journalistiek. <https://edesevos.nl/wp-content/Global-Charter-of-Ethics.pdf>
- Korswagen, C. J. J. (1988). Drieluik mondelinge communicatie (1ste editie). Bohn Stafleu van Loghum. <https://archive.org/details/drieluikmondelin0000unse/page/4/mode/1up?view=theater>
- Kunda, Z. (1990). The case for motivated reasoning. *Psychological Bulletin*, 108(3), 480-498. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.108.3.480>
- Nederlands Jeugdinstituut. (z.d.-a). De invloed van media op polarisatie. <https://www.nji.nl/polarisatie/de-invloed-van-de-media-op-polarisatie>
- Nederlands Jeugdinstituut. (z.d.-b). Wat is polarisatie en hoe werkt het? <https://www.nji.nl/polarisatie/wat-is-polarisatie-en-hoe-werkt-het>
- Nederlands woordenboek - Woorden.org. (z.d.). Neutraal. <https://www.woorden.org/woord/neutraal>
- NOS. (z.d.-a). Over Nieuwsuur. <https://nos.nl/nieuwsuur/over>
- NOS. (z.d.-b). Taken & Missie - over NOS. Over NOS. <https://over.nos.nl/organisatie/taken-en-missie/>
- NOS. (2023a, november 2). *In gesprek met FvD-lijsttrekker Thierry Baudet* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/>
- NOS. (2023b, november 6). *In gesprek met Joost Eerdmans (JA21)* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/13961/video/2496931-in-gesprek-met-joost-eerdmans-ja21>
- NOS. (2023c, november 9). *In gesprek met SP-lijsttrekker Lilian Marijnissen* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/>
- NOS. (2023d, november 10). *In gesprek met PvdD-lijsttrekker Esther Ouwehand* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/>
- NOS. (2023e, november 11). *In gesprek met NSC-lijsttrekker Pieter Omtzigt* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/>
- NOS. (2023f, november 14). *In gesprek met PVV-lijsttrekker Geert Wilders* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/>
- NOS. (2023g, november 15). *In gesprek met BBB-lijsttrekker Caroline van der Plas* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/>
- NOS. (2023h, november 16). *In gesprek met GL-PvdA-lijsttrekker Frans Timmermans* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/collectie/>
- NOS. (2023i, november 17). *In gesprek met VVD-lijsttrekker Dilan Yeşilgöz* [Video]. NOS. <https://nos.nl/nieuwsuur/video>
- Ongehoord Nederland. (2024, mei 30). *Onderzoek bewijst: alleen links tevreden met de NPO*. <https://ongehoordnederland.tv/242527/persberichten/>
- Pen, J. (2017, maart 14). *Trekken de media links voor? We zochten uit hoe vaak politici op tv komen*. NPO3. <https://npo.nl/npo3/brandpuntplus/politici-op-tv>
- Poortinga, E. (z.d.). *De Likertschaal voor enquêtevragen in scriptieonderzoek*. Studiemeesters. <https://www.studiemeesters.nl/studietips/>
- Raad voor de Journalistiek. (z.d.). *Journalistieke code*. <https://www.rvdj.be/pagina/journalistieke-code>
- Schaper, J., Wennekers, A., & de Haan, J. (z.d.). *Kijken. Sociaal en Cultureel Planbureau*. <https://digitaal.scp.nl/trends-in-mediatijsd/>
- Schegloff, E. A. (1972). *Sequencing in conversational openings*. In De Gruyter eBooks (pp. 91-125). <https://doi.org/10.1515/9783110880434-006>
- Tiemeijer, W. L. (2010). *Hoe mensen keuzes maken: De psychologie van het beslissen*. Amsterdam University Press.
- Van der Parre, H. (2021, maart 2021). *Onderzoek: Rechts domineert de verkiezingscampagne op radio en tv*. NOS Nieuws. <https://nos.nl/artikel/>
- Varwijk, J. (2008). *Rechts, links of rechtschapen* [Masterthesis, Universiteit van Tilburg]. <https://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=121294>
- WNL. (2017, 10 maart). *Alexander Pechtold haakt in op 'linkse NOS' Wilders* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=uPyqES4vx_Q

7. Figuren



Figure 1: De poster

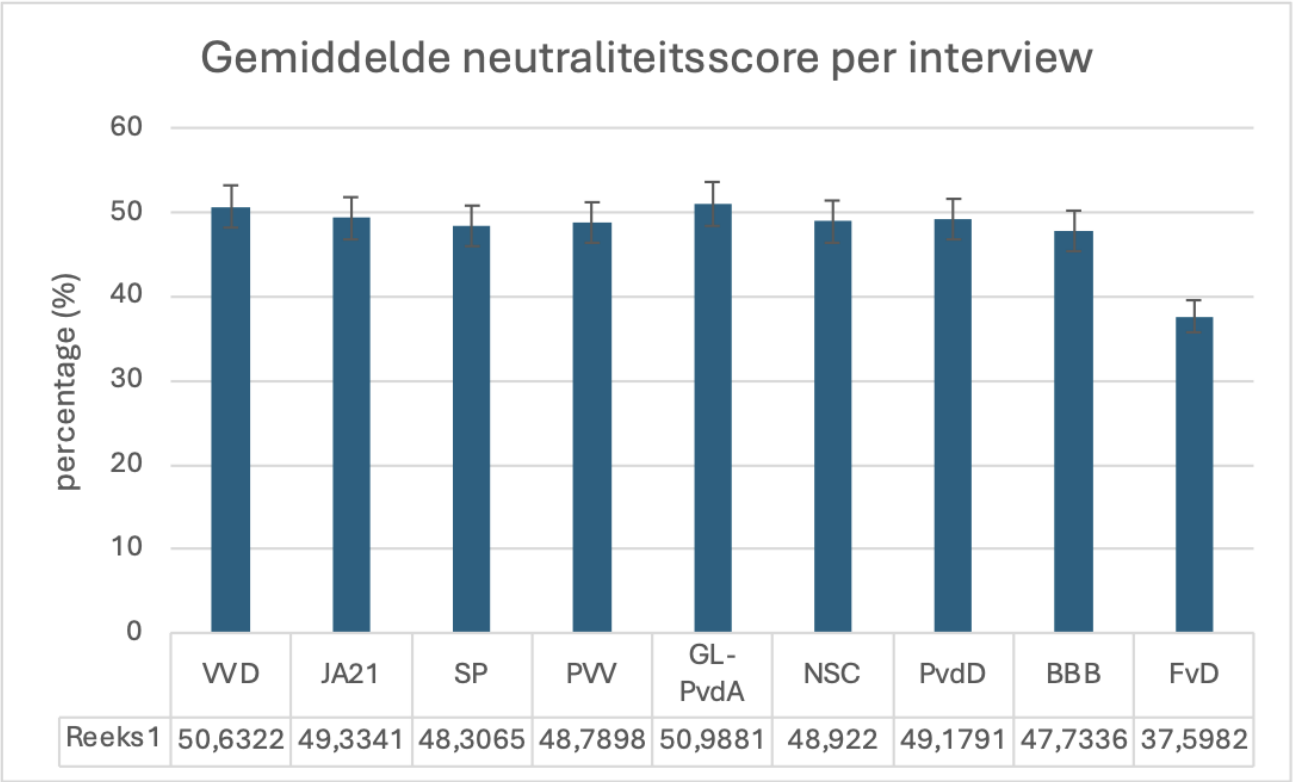


Figure 2: Gemiddelde neutraliteitsscore per interview voor alle respondenten

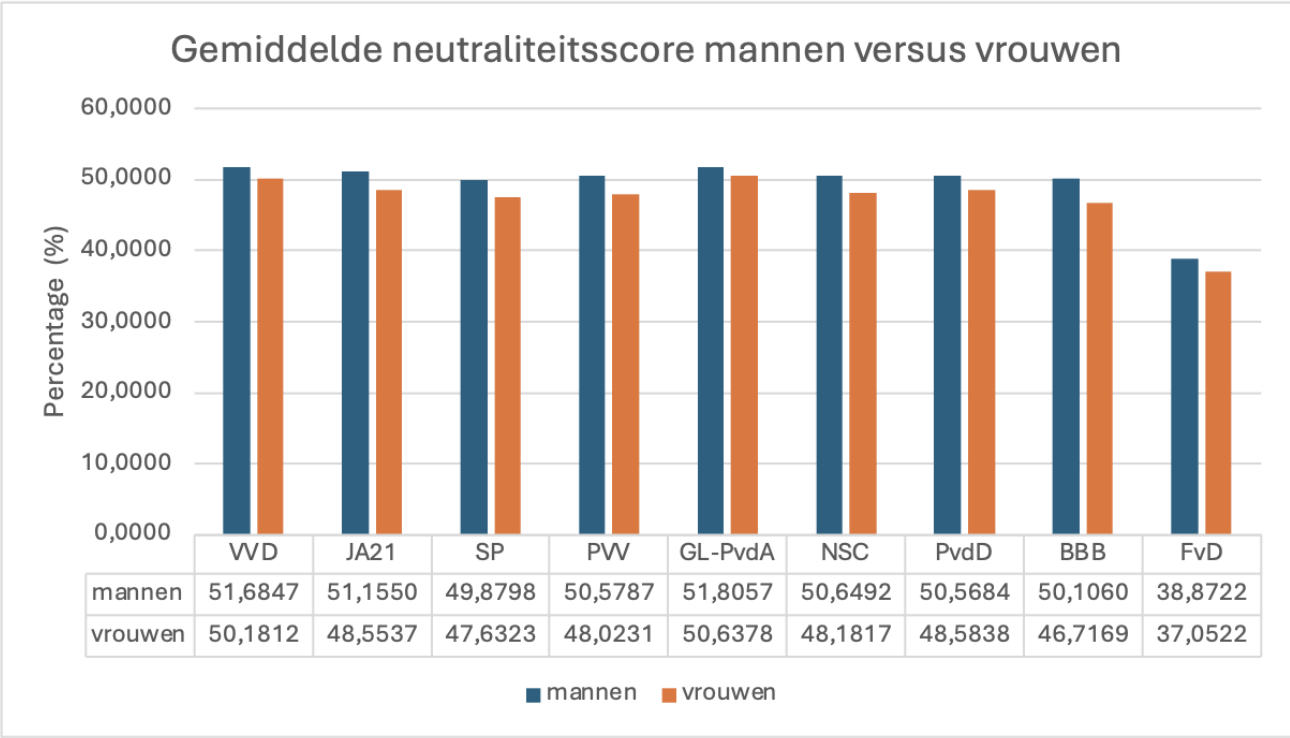


Figure 3: Gemiddelde neutraliteitsscore per interview voor mannen versus vrouwen

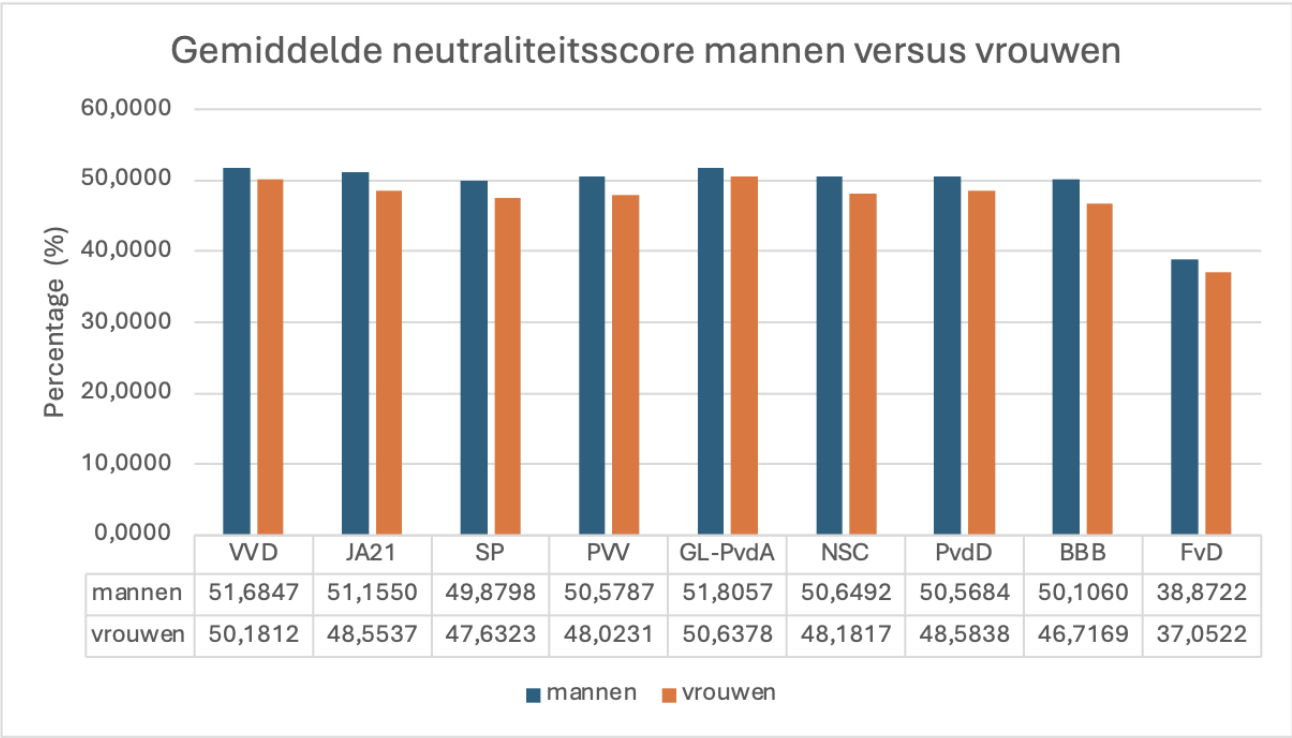


Figure 4: Gemiddelde neutraliteitsscore per interview voor mannen versus vrouwen

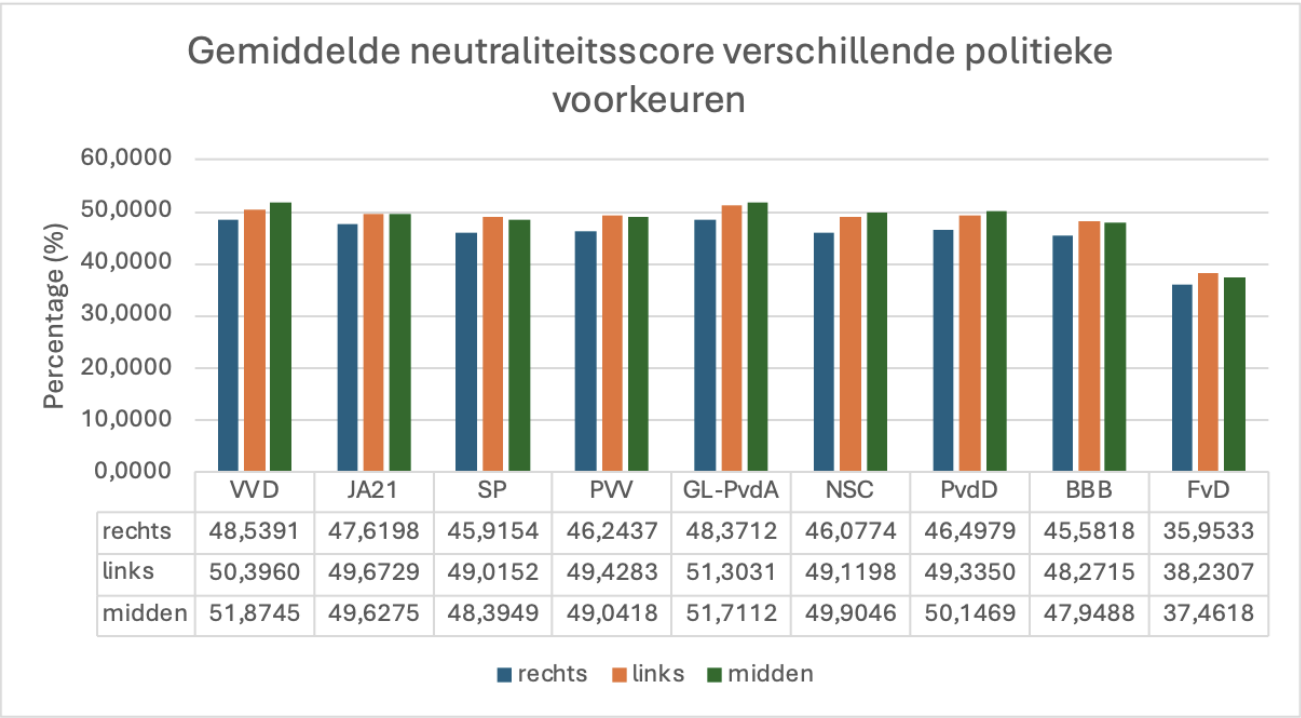


Figure 5: Gemiddelde neutraliteitsscore per interview voor verschillende politieke voorkeuren

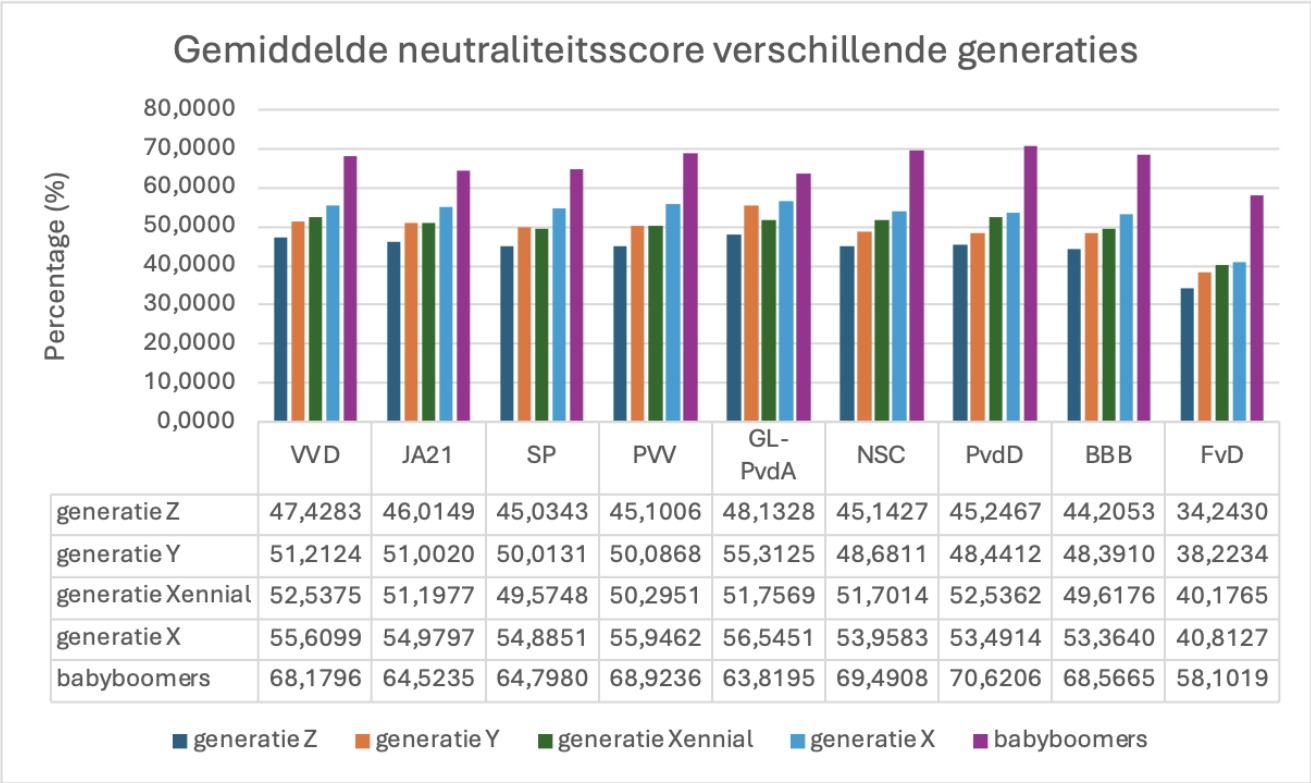


Figure 6: Gemiddelde neutraliteitsscore per interview voor verschillende generaties

8. Tabellen

		F	Sig.	t	df	One-Sided p	Two-Sided p	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Interviews BBB-FvD	Equal variances assumed	.317	.574	5.745	138	<.001	<.001	10.135365 529	1.7643203 33	6.6467686 85	13.623962 372
	Equal variances not assumed			5.745	137.595	<.001	<.001	10.135365 529	1.7643203 33	6.6466778 10	13.624053 247

Table 1: Verschil interview BBB en FvD

	VVD	JA21	SP	PVV	GL-PvdA	NSC	PvdD	BBB	FvD
Mann-Whitney U	482.000	453.000	451.000	452.500	499.000	462.000	460.000	426.000	465.500
Wilcoxon W	1707.000	1678.000	1676.000	1677.500	1724.000	1687.000	1685.000	1651.000	1690.500
Z	-.417	-.788	-.814	-.795	-.199	-.673	-.698	-1.134	-.628
Asymp. Sig. (2-tailed)	.677	.431	.416	.427	.843	.501	.485	.257	.530

Table 2: Mannen versus vrouwen

	VVD	JA21	SP	PVV	GL-PvdA	NSC	PvdD	BBB	FvD
Kruskal-Wallis H	.904	.516	.505	.639	1.215	.472	.499	.443	.454
df	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Asymp. Sig.	.636	.773	.777	.727	.545	.790	.779	.801	.797

Table 3: Politieke voorkeuren

	VVD	JA21	SP	PVV	GL-PvdA	NSC	PvdD	BBB	FvD
Kruskal-Wallis H	9.871	9.157	10.583	12.287	8.911	11.206	11.260	10.801	10.939
df	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.043	.057	.032	.015	.063	.024	.024	.029	.027

Table 4: Generaties

	VVD	JA21	SP	PVV	GL-PvdA	NSC	PvdD	BBB	FvD
Kruskal-Wallis H	6.568	6.263	6.648	7.933	5.941	7.213	7.562	6.873	6.786
df	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.087	.100	.084	.047	.115	.065	.056	.076	.079

Table 5: Generaties zonder babyboomers

9. Enquête

x Wat is uw geslacht?

- ☐ man
- ☐ vrouw
- ☐ anders

y Wat is uw leeftijd?

z Wat is uw politieke voorkeur?

- ☐ rechts (VVD, JA21, FvD, BVNL)
- ☐ links (GroenLinks-PvdA, DENK, BIJ1, PvdD, SP)
- ☐ midden (NSC, BBB, PVV, D66, CU, Volt, SGP, CDA)

Einde blok: gegevens respondent

Start van blok: Blok 3

Q29 Op de volgende pagina krijgt u een aantal stellingen te zien die u moet beoordelen. Deze gaan over de neutraliteit van een vraag, dit kan ook in combinatie met een tekstfragment zijn. We vragen u hoe neutraal u de vraag vindt. Het gaat hierbij dus om uw mening en wat u als neutraal beschouwt. Bij sommige vragen en tekstfragmenten zullen sommige woorden zijn vervangen door letters die tussen haakjes staan (bijv. (a)), hier stonden oorspronkelijk namen of politieke partijen.

Einde blok: Blok 3

Start van blok: Beoordeel de volgende stellingen.

I (Initiatief) 1 Beoordeel de stelling:

De volgende vraag is neutraal.

Nou, laten we kijken waar die komma ligt. Ik zou bijvoorbeeld net iets meer willen weten over de dynamiek rondom (a). Had u misschien verwacht, want u zette die deur op een kier en hij, ja kunnen we wel zeggen, hij kwam binnen. Hij liet zijn (b) standpunt buiten staan, maar hij kwam door die deur. En nu is er iets interessants aan de hand, want (c) die wees er gister opnieuw op dat het (d) programma in strijd is met de Grondwet en dat hij met zo'n verkiezingsprogramma niet met de (d) kan samenwerken. En nou ben ik heel concreet benieuwd, zegt u dat ook?

- ☐ helemaal oneens
- ☐ oneens
- ☐ niet eens / niet oneens
- ☐ eens |
- ☐ helemaal eens

I2 Hebt u zich er wel eens mee bemoeid toen dit allemaal rond (a) speelde? Toen hij weer eens wat vergeten was? Toen hij geen (b) had? Hebt u hem toen wel eens gewoon daarop aangesproken en gezegd, (a) joh, wat gebeurt hier?

I3 Ja, wat is eigenlijk het verschil tussen u en (a)?

D (Directheid) 1 Mag ik iets over uw houding vragen?

D2 Maar dan vraag ik me ook af, hebt u zich er wel eens mee bemoeid toen dit allemaal rond (a) speelde?

D3 Wilt u het daar vanavond over hebben?

D4 Met wie zou u een coalitie willen?

A (Assertiviteit) 1 (a) is tegen duurzaamheidsonzin, maar ze hebben wel 22 miljoen uitgegeven aan duurzaamheid. Maar daar houdt het nog niet helemaal op. Een andere toezegging belofte uit het verkiezingsprogramma; verlaging van de motorrijtuigenbelasting. Nou, je raadt het al. Wat gebeurde er uiteindelijk in de provincie? De motorrijtuigenbelasting gaat in het akkoord omhoog. Een andere belofte uit het verkiezingsprogramma; geen dienstauto's meer voor bestuurders van de provincie. Dat hoeven ze niet, die kunnen zelf rijden, en wat denkt u, die ene bestuurder waar ik het net al over had? (b) rijdt rond in een dienstauto en die is nota bene elektrisch, dus eigenlijk is (a) in een hele groene coalitie gestapt in Flevoland. Zo zie je maar weer, wie had dat gedacht? (a) is flexibel en bereid om allerlei water bij de wijn te doen om mee te doen. Ja met dank aan (a) is Flevoland de duurzaamste provincie van Nederland. Bent u daar trots op?

A21 Maar is het eerlijke verhaal niet ook dat er een links kabinet eigenlijk gewoon niet in zit?

A22 U wilt de kiezer niet vertellen of u dit gaat complementeren over links of over rechts?

A3 Maar op gegeven moment is er wel een patroon zichtbaar, toch?

A4 Want zij is niet het enige voorbeeld, hè?

A5 Zou dat juist een uitingsvorm zijn?

O (Oppositie) 1 Ja een oud partijgenoot. Hij zegt kretologie, het kan allemaal niet, want het is eigenlijk tegen de rechten van de mensen. Is dat niet gewoon ook het eerlijke verhaal? Dat u het wel wil, maar nou ja, wat we net zagen waar u tegenaan loopt, dat het ook niet kan, dat je dat ook gewoon tegen je kiezers dan moet zeggen?

O2 'Ja, neem de inhoud serieus', zegt u, daar hebt u deze week wat kritiek op gekregen, want laten we even naar een campagnebeeld kijken, wat deze week toch wel de media domineerde. Ja klaar met oude politiek en nu zijn er best wel mensen die zeggen 'Het is behoorlijk cynisch'. En er zijn misschien wel nog meer mensen die zeggen 'Hoe geloofwaardig is dit nou, 13 jaar (a), toeslagenaffaire, Gronings gas en Kamp wordt soms genoemd, die erelid werd, de wooncrisis, zorgkosten.' Wie klaar is met oude politiek moet misschien juist wel niet op de (a) stemmen. Dit lijkt een soort antireclame, toch?

O3 Als je kijkt naar de kiezers stromen, dan zie je dat er bij de (a) mensen weggaan naar andere partijen, maar er maar heel weinig bijkomen. Van andere partijen zie je maar heel weinig mensen naar de (a) gaan. Eigenlijk is de conclusie: ze haalt dezelfde stemmers als (b), alleen iets minder en als je dan ook nog naar het verkiezingsprogramma kijkt. Als je dat goed leest, is daar eigenlijk ook niet zo heel veel veranderd. Dus het zijn dezelfde kiezers, het zijn dezelfde politici en het is min of meer hetzelfde verkiezingsprogramma. Het is heel knap dat er een soort nieuw fris geluid is, maar het is eigenlijk min of meer hetzelfde mevrouw (c)?

O4 persoon 1: Ik ben in Denemarken geweest met mijn team om te kijken hoe het daar gaat. Alle maatregelen die ze daar genomen hebben, hebben geleid tot een enorme teruggang van het aantal migranten.

persoon 2: Maar daar zijn ze inmiddels ook weer op teruggekomen, hè?

V (Verantwoording) 1 Ja, u veroordeelt dus die inval en noemt (a) inmiddels ook verwerpelijk. Maar toch steunt u geen moties om sancties in te stellen tegen (b). Waarom niet?

V2 U zegt dat we eerlijk moeten eten, want zo steunen we de boeren, want de producten komt rechtstreeks van het land. Op sommige producten zien we dan staan dat die helemaal niet uit Nederland komen. Japanse noedels uit China, runderbavette uit Ierland en aardappelen uit Frankrijk, hoe kan dat?

P (Persistentie) 1 persoon 1: Ik ben als kleine verhuurder ontzettend benieuwd naar hoe u dat gaat waarmaken.

persoon 2: Ik ben het ongelooflijk met u eens en ik zeg er meteen bij, dat heeft u op dit moment weinig aan, dus ik. Er komen nog een paar zinnen achteraan.... Het was makkelijker geweest voor mij om te zeggen: 'nou, we hebben al zo'n toets, dus dan kijken we even naar uw situatie'. Ik hoor van ondernemers het werkt niet.

persoon 1: Maar hoe gaat u dat waarmaken?

P2 persoon 1: Wat we hier dus zien is dat een thema wat voor u heel belangrijk is, waar u van alles aan doet om dat op de kaart te zetten, dat dat in de organisatie, ja, geen navolging krijgt. Dat is toch opmerkelijk. Hoe kan dat?

persoon 2: Politieorganisatie bedoelt u?

persoon 1: Juist, en dan blijft de vraag hoe dat dan kan, dat dat niet tussen de hoofden van die mensen is gekomen.

persoon 2: Nou ja, dus kijk op het moment dat je aangifte gaat doen, moet dat serieus opgepakt worden en behandeld worden en dan kan het zijn dat men zegt met deze aangifte of met deze feiten of met deze stappen kunnen wij niet verder. Dat kan.

Persoon 1: Ja, maar goed. In dit geval had dat niet gemogen. Dat zegt u net en de vraag is dus: hoe kan het dat dat die systematiek niet geland is bij de mensen bij de politie?

P3 persoon 1: Als we het wat algemener kijken, dan zie ik dat de systematiek wel degelijk goed geborgd is, maar dat wil niet zeggen dat het 100% van de keren goed gaat en...

persoon 2: Daar is dit het bewijs van?

persoon 1: Ja, dit is heel pijnlijk, want journalisten moeten altijd vrij hun werk kunnen doen.

P4 persoon 1: Bent u bereid om mee te regeren?

persoon 2: Ja, maar het is nog geen 22 november, dus we zitten nog midden in de campagne.

persoon 1: Maar weet u het niet? Wilt u het niet zeggen?

persoon 2: Nee ik wil vooral dat we doen waar de (a) voor is opgericht en we zijn opgericht, omdat de politiek zijn mooie beloften en zo'n mooie woorden over (b) niet nakwam en iemand moet zeggen tot hier en niet verder.

persoon 1: Maar dat is geen antwoord op de vraag.

Einde blok: Beoordeel de volgende stellingen.

Start van blok: Blok 3

q Vergelijk de volgende vragen en zet de nummers op volgorde van meest neutraal naar minst neutraal, hierbij mogen ze ook op dezelfde hoogte staan. De ene vraag hoeft dus niet neutraler te zijn dan de andere, we vragen alleen om uw mening. Geef hierbij ook aan waarom u voor deze volgorde heeft gekozen.

1. Nou, laten we kijken waar die komma ligt. Ik zou bijvoorbeeld net iets meer willen weten over de dynamiek rondom (a). Had u misschien verwacht, want u zette die deur op een kier en hij, ja kunnen we wel zeggen, hij kwam binnen. Hij liet zijn (b) standpunt buiten staan, maar hij kwam door die deur. En nu is er iets interessants aan de hand, want (c) die wees er gister opnieuw op dat het (d) programma in strijd is met de Grondwet en dat hij met zo'n verkiezingsprogramma niet met de (d) kan samenwerken. En nou ben ik heel concreet benieuwd, zegt u dat ook?

2. Mag ik iets over uw houding vragen?

3. (a) is tegen duurzaamheidsonzin, maar ze hebben wel 22 miljoen uitgegeven aan duurzaamheid. Maar daar houdt het nog niet helemaal op. Een andere toezegging belofte uit het verkiezingsprogramma; verlaging van de motorrijtuigenbelasting. Nou, je raadt het al. Wat gebeurde er uiteindelijk in de provincie? De motorrijtuigenbelasting gaat in het akkoord omhoog. Een andere belofte uit het verkiezingsprogramma; geen dienstauto's meer voor bestuurders van de provincie. Dat hoeven ze niet, die kunnen zelf rijden, en wat denkt u, die ene bestuurder waar ik het net al over had? (b) rijdt rond in een dienstauto en die is nota bene elektrisch, dus eigenlijk is (a) in een hele groene coalitie gestapt in Flevoland. Zo zie je maar weer, wie had dat gedacht? (a) is flexibel en bereid om

allerlei water bij de wijn te doen om mee te doen. Ja met dank aan (a) is Flevoland de duurzaamste provincie van Nederland. Bent u daar trots op?

4. Als je kijkt naar de kiezers stromen, dan zie je dat er bij de (a) mensen weggaan naar andere partijen, maar er maar heel weinig bijkomen. Van andere partijen zie je maar heel weinig mensen naar de (a) gaan. Eigenlijk is de conclusie: ze haalt dezelfde stemmers als (b), alleen iets minder en als je dan ook nog naar het verkiezingsprogramma kijkt. Als je dat goed leest, is daar eigenlijk ook niet zo heel veel veranderd. Dus het zijn dezelfde kiezers, het zijn dezelfde politici en het is min of meer hetzelfde verkiezingsprogramma. Het is heel knap dat er een soort nieuw fris geluid is, maar het is eigenlijk min of meer hetzelfde mevrouw (c)?

5. Ja, u veroordeelt dus die inval en noemt (a) inmiddels ook verwerpelijk. Maar toch steunt u geen moties om sancties in te stellen tegen (b). Waarom niet?

6. persoon 1: Wat we hier dus zien is dat een thema wat voor u heel belangrijk is, waar u van alles aan doet om dat op de kaart te zetten, dat dat in de organisatie, ja, geen navolging krijgt. Dat is toch opmerkelijk. Hoe kan dat?

persoon 2: Politieorganisatie bedoelt u?

persoon 1: Juist, en dan blijft de vraag hoe dat dan kan, dat dat niet tussen de hoofden van die mensen is gekomen.

persoon 2: Nou ja, dus kijk op het moment dat je aangifte gaat doen, moet dat serieus opgepakt worden en behandeld worden en dan kan het zijn dat men zegt met deze aangifte of met deze feiten of met deze stappen kunnen wij niet verder. Dat kan.

persoon 1: Ja, maar goed. In dit geval had dat niet gemogen. Dat zegt u net en de vraag is dus: hoe kan het dat dat die systematiek niet geland is bij de mensen bij de politie?

w Vergelijk de volgende vragen en zet de nummers op volgorde van meest neutraal naar minst neutraal, hierbij mogen ze ook op dezelfde hoogte staan. De ene vraag hoeft dus niet neutraler te zijn dan de andere, we vragen alleen om uw mening. Geef hierbij ook aan waarom u voor deze volgorde heeft gekozen. 1. Hebt u zich er wel eens mee bemoeid toen dit allemaal rond (a) speelde? Toen hij weer eens wat vergeten was? Toen hij geen (b) had? Hebt u hem toen wel eens gewoon daarop aangesproken en gezegd, (a) joh, wat gebeurt hier?

2. Wilt u het daar vanavond over hebben?

3. Want zij is niet het enige voorbeeld, hè?

4. persoon 1: Ik ben in Denemarken geweest met mijn team om te kijken hoe het daar gaat. Alle maatregelen die ze daar genomen hebben, hebben geleid tot een enorme teruggang van het aantal migranten.

persoon 2: Maar daar zijn ze inmiddels ook weer op teruggekomen, hè?

5. U zegt dat we eerlijk moeten eten, want zo steunen we de boeren, want de producten komt rechtstreeks van het land. Op sommige producten zien we dan staan dat die helemaal niet uit Nederland komen. Japanse noedels uit China, ~~underbavette~~ uit Ierland en aardappelen uit Frankrijk, hoe kan dat?

6. persoon 1: Bent u bereid om mee te regeren?

persoon 2: Ja, maar het is nog geen 22 november, dus we zitten nog midden in de campagne.

persoon 1: Maar weet u het niet? Wilt u het niet zeggen?

persoon 2: Nee ik wil vooral dat we doen waar de (a) voor is opgericht en we zijn opgericht, omdat de politiek zijn mooie beloften en zo'n mooie woorden over (b) niet nakwam en iemand moet zeggen tot hier en niet verder.

Persoon 1: Maar dat is geen antwoord op de vraag.

Einde blok: Blok 3

Het decoy-effect bij jongeren leeftijd 14 tot 18 uit verschillende financiële klassen in Twente

M. Tapper ¹, M. Wegdam ², E.S. Langevoort ³, A. ten Cate ³, P. Nijland ¹ & W. Oortman ²

¹*Lyceum de Grundel, Hengelo*

²*Twents Carmel College lyceumstaat, Oldenzaal*

³*Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede*

Abstract – This study examined how adolescents aged 14 to 18 make decisions when exposed to the decoy-effect, a well-known marketing strategy. The decoy effect exploits our tendency to perceive a choice as more attractive when compared to a less logical alternative. In this case it is the option that gives you less value for your money. We aimed to determine whether this effect influences adolescents from various financial backgrounds in Twente and how they approach their decision-making. We conducted a survey with 171 adolescents, divided into two groups. One group was presented with an additional, less attractive option (the decoy), while the other group was not. The results showed that adolescents in the group exposed to the decoy option were more likely to choose a specific product (1000 grams for €2.39), with their preference rising from 17% in the control group to 28%. At the same time, fewer adolescents chose the decoy option (500 grams). This pattern was observed across all income groups, though the effect was more pronounced among adolescents from higher-income families. These findings demonstrate that the way choices are presented can significantly influence decision-making, even among adolescents. The study provides new insights into adolescent decision-making and how marketing strategies can effectively target different demographic groups.

1. Introductie

Winkels lijken tegenwoordig altijd koopjes klaar te hebben om zo veel mogelijk klanten aan te trekken. Vaak worden er marketingstrategieën ingezet om de consument te verleiden om meer te kopen. Een van deze strategieën is het decoy- of attraction-effect. Voor het eerst geïntroduceerd in 1982 (Huber, Payne & Puto, 1982) waarbij gekeken wordt hoe consumenten keuzes maken wanneer er een extra optie wordt toegevoegd die asymmetrisch gedomineerd is door andere opties. Dit houdt in dat die optie beter is in één of meer eigenschappen dan één andere optie, en ‘slechter’ is dan één andere optie. Om te bepalen of iets beter of slechter is, wordt naar de eigenschappen gekeken. Vaak wordt dit op basis van hoeveelheid, zoals 200 gram of 500 gram bepaald. De 500 gram is in dit geval beter, omdat het meer is, maar is dan weer slechter wanneer er een 1000g is toegevoegd. Dit toevoegen van de extra optie wordt het decoy-effect genoemd. Vaak worden keuzes gemaakt door mensen op basis van aspecten van een product, dit is namelijk makkelijk toe te passen en te beredeneren (Slovic, 1975). Alhoewel daarvoor lang was uitgegaan van een model waarin het toevoegen van een optie aan een bepaalde keuzeset, de aandacht voor alle opties evenredig zou verdelen (Luce, 1959). Dit blijkt echter niet zo te hoeven zijn, aangezien dit met het decoy-effect weerlegd kan worden. Dit oude model: ‘independence from irrelevant alternatives’ is één van velen die later werd ontkracht door het decoy effect. Veel modellen en variaties hierop komen neer op de regelmatigheids-hypothese (of -aannname). Dit houdt in dat een toevoeging van een nieuwe optie, niét de kans vergroot dat er gekozen wordt voor een optie uit de originele set (Huber et al., 1982). Het blijkt echter zo te zijn dat dit bij het decoy-effect wel gebeurt (Stoffel, Sun, Hirst, von Wagner & Vlaev, 2023).

De effectiviteit van het decoy-effect kan afhangen van de context waarin keuzes worden gemaakt (Simonson, 1989). Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de presentatie van alternatieven.

Dit onderzoek zal de volgende onderzoeksvraag beantwoorden: ‘Hoe beïnvloedt het decoy-effect jongeren uit verschillende financiële klassen in Twente en wat is hun gedachtegang?’

Omstandigheden zoals risicoaversie (Chen, Zhao, Xu & Zhu, 2024), prijsstelling, leeftijd en het aantal alternatieven zijn van belang bij het beantwoorden van de onderzoeksvraag. Er is echter nog weinig informatie die de financiële status, leeftijd en woonplaats combineert bij het bepalen van in welke mate het decoy-effect werkt. Gedachtegang op individueel niveau is ook vaak betrokken in al bestaande onderzoeken (Bijv. Simonson, 1989; Sun, 2023). De gedachtegang is dit echter niet vaak gecombineerd met een specifieke doelgroep, zoals jongeren of mensen in een bepaalde financiële klasse.

2. Theoretisch kader

De introductie heeft al ingeleid wat een decoy-effect is, maar om de onderzoeksvraag te beantwoorden wordt eerst door middel van literatuuronderzoek nog antwoord gegeven op deze vragen:

- Hoe is het decoy-effect eerder getest?
- Hoe wordt een effectieve decoy gekozen?
- Wat voor invloed hebben de omstandigheden van een onderzoek mogelijk op het decoy-effect?
- Wanneer telt iets als een succesvol decoy-effect?

2.1. Hoe is het decoy-effect eerder getest?

Het decoy-effect is vaak getest door middel van enquêtes of steekproeven, bijvoorbeeld in onderzoek van Sherlin et al. in 2019. Daarnaast worden in onderzoeken door Stoffel et al in 2023 en in onderzoeken die terug dateren naar 1982 al steekproeven en enquêtes gebruikt om het decoy-effect te testen. Hierin is een brede hoeveelheid aan opties gegeven, waarin bij enkele vragen een decoy verwerkt zat. Deze is

in alle opzichten ‘slechter’ dan het doelwit, de optie die de aanbieder wil verkopen omdat hier de meeste winst op wordt gemaakt (Neurolaunch, 2024). Op het doelwit wordt extra aandacht gelegd door het toevoegen van de decoy (Communicating Psychological Science, 2024). Vaak wordt de decoy getest door het toevoegen van een derde optie. Het bekende popcornvoorbeeld laat dit eenvoudig zien (Pak & Ferdowsian, 2021):

1. Een kleine popcorn voor €3
2. Een grote popcorn voor €7

De keuze die gemaakt wordt kan puur aan andere omstandigheden liggen zoals bijvoorbeeld honger en betalingsbereidheid. Wanneer een derde optie wordt toegevoegd verandert de dynamiek:

1. Een kleine popcorn voor €3
2. Een medium popcorn voor €6,50
3. Een grote popcorn voor €7

Er is een grotere kans dat mensen voor de €7 optie gaan, aangezien zij denken ‘winst’ te maken. Een halve euro meer betalen levert hun een grote popcorn op in plaats van een medium. Door zo’n asymmetrisch overtroffen optie toe te voegen kun je dus voorkeur veranderen. Deze versie van het decoy-effect wordt in praktijk veel gebruikt. Het decoy-effect wordt vervolgens gemeten door naar de resultaten te kijken, waarbij wordt beoordeeld of de voorkeur daadwerkelijk is verschoven richting het doelwit (Mortimer, 2019).

2.2. Hoe wordt een effectieve decoy gekozen?

Om antwoord te geven op deze vraag zijn verschillende bronnen geraadpleegd aan welke ‘criteria’ een decoy over het algemeen moet voldoen:

Een decoy moet asymmetrisch gedomineerd worden. Dit houdt in dat het slechter is op alle vlakken dan het doelwit, maar niet volledig slechter dan de andere, meestal kleine optie, ook wel het alternatief. Er wordt een situatie gecreëerd waarvoor het doelwit aantrekkelijk lijkt (Huber et al., 1982)

De decoy ligt qua prijs of een andere belangrijke eigenschap (Frederick et al., 2014) erg dicht bij het doelwit om op te vallen in vergelijking met het alternatief. De kwaliteit van een product kan echter bij het toepassen van een decoy-effect alleen in getallen worden uitgedrukt, bijvoorbeeld de prijs (€2 of €3) of de hoeveelheid (500g of 1000g). In deze eigenschappen van een kenmerk van een product kan niet ingespeeld worden op individuele behoeftes van een persoon, zoals honger (Frederick et al., 2014)..

De decoy moet passen bij cognitieve biases (=vooringenomenheid) van consumenten die ze bij een reeks producten hebben. Mensen maken keuzes op basis van spijtaversie (Pak et al., 2021). Dit houdt in dat ze proberen te vermijden dat ze spijt krijgen en achteraf een andere keuze zouden

maken. Bewust en onbewust bekijkt iemand goed alle opties waaruit ze kunnen kiezen. Er worden dan bijvoorbeeld afwegingen gemaakt over hoeveel behoefte de consument heeft aan het product en hoeveel zij hiervoor zouden willen betalen. Hierbij proberen ze zelfvertrouwen op te bouwen bij het maken van een keuze om er later dus geen spijt van te krijgen. Een goed gekozen decoy moet de perceptie van waarde van een consument beïnvloeden, waardoor ze minder risico voelen bij het maken van een keuze. Zo hoopt de aanbieder de consument te beïnvloeden om voor de doelwit-optie te kiezen.

Er moet vermeden worden dat mensen voor de decoy kiezen (Simonson, 1989) en dus moet er gezorgd worden dat de decoy zodanig onaantrekkelijk is dat er niet voor gekozen gaat worden. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door de prijs overduidelijk te hoog te maken of door de kwaliteit van een product sterk te verminderen. Het doel is namelijk dat de decoy alleen het doelwit aantrekkelijk maakt.

Een decoy kan getest worden op verschillende manieren.

Een steekproef is een van de voornaamste (Sellers-Rubio & Nicolau-Gonzalez, 2015). Met een enquête kunnen consumentenreacties geanalyseerd worden. In dit onderzoek wordt dan ook gebruik gemaakt van een enquête om de resultaten te verkrijgen. In de enquête kunnen namelijk veel aanpassingen gedaan worden in één of meerdere kenmerken van de decoy zelf. Daarmee kunnen uiteindelijk de resultaten gemaximaliseerd worden. Met een kenmerk wat aangepast kan worden, wordt vaak prijs, kwaliteit of kwantiteit bedoeld.

2.3. Wat voor invloed hebben de omstandigheden binnen een onderzoek mogelijk op het decoy-effect?

Het decoy-effect werkt het beste wanneer mensen geen sterke voorkeur hebben en de keuze volledig gebaseerd kan worden op de gegeven eigenschappen van een product (Frederick et al., 2014). Extra invloeden als honger, emotionele staat etc. moeten zo veel mogelijk vermeden worden. Twee belangrijke invloeden zouden kunnen zijn:

2.3.1 Prijs

Een veelgebruikte variabele die invloed heeft op het decoy-effect is de manier van het gebruiken van de prijs. De prijs zorgt er vaak voor dat een decoy effectief werkt (Pak et al., 2021). De mate waarin een bepaalde eigenschap opvalt speelt een grote rol in de werking van het decoy-effect (Chen, Zhao, Xu & Zhu, 2024).

Mensen die meer risico-avers zijn, zullen onder invloed van de decoy eerder geneigd zijn om voor de doelwit-optie te kiezen. Zij zullen normaliter eerder geneigd zijn om voor de veiligste optie te gaan die hun zekerheid lijkt te geven. Daarom lijkt de doelwit-optie aantrekkelijk, aangezien deze optie de beste prijs-hoeveelheid/kwaliteit verhouding lijkt te hebben. Dit principe kan echter ook averechts werken, waarbij mensen die erg risico-avers zijn de zekerheid zien in de kleinste goedkoopste optie. Uit Chen et al. (2024) kan echter wel geconcludeerd worden dat mensen die meer risico-avers zijn over het algemeen wel eerder voor de decoy zullen vallen. Ook door

Perversi & Regazzini is in 2015 onderzocht of de financiële situatie en betalingsbereidheid invloed heeft op de mate van hoe risico-avers een individu is. Hier leek een verband te zijn gevonden, waarbij hoger inkomen, met name bij jongeren, leidt tot minder risico aversie, en vice versa. De combinatie van risico-aversie en decoy-effect is wel bewezen en de combinatie van financiële situatie en risico-aversie ook. Daarom kan vermoed worden dat er een verband is tussen financiële situatie en het decoy-effect, hoewel dit niet expliciet getest is. Met behulp van het uitgevoerde onderzoek wordt geprobeerd om het gat in de kennis zo ver mogelijk te dichten.

2.3.2 Leeftijd

Een andere factor die onderzocht wordt, is leeftijd. Hierbij horen verschillen in cognitieve vaardigheden, door bijvoorbeeld veroudering of ontwikkeling (Pettibone, 2012). Jongeren hebben vaak een snellere reactietijd en zullen onder tijdsdruk sneller handelen. Onder tijdsdruk kan minder goed een volledig vergelijkingsproces plaatsvinden en gebleken is dat het decoy-effect minder effectief werkte (Marini & Paglieri, 2019). In de afwezigheid van tijdsdruk werkte het decoy-effect beter, dit omdat mensen goed de afweging konden maken. Jongeren hebben over het algemeen snellere hersenen maar zijn minder risico-avers (Steinberg, 2008). Het is daarom te verwachten dat jongeren over het algemeen eerder zullen vallen voor het decoy-effect vanwege snellere hersenprocessen en het oppikken van de aanwezigheid van de decoy. Het is echter zo dat vanwege de mindere risico-aversie en het meer korte termijn denken, het ook averechts zou kunnen werken en ze voor de goedkoopste optie en ook de decoy zelf kunnen kiezen. Er zou dus een verandering kunnen zijn in de effectiviteit van het decoy-effect wanneer deze puur op jongeren getest is. Deze verandering ten opzichte van volwassenen wordt niet meegenomen in dit onderzoek.

2.4. Wanneer telt iets als een succesvol decoy-effect?

Iets telt als een succesvol decoy-effect wanneer een voorkeur is verschoven van de middelste of kleine optie naar de meer winstgevende en dominante 'doelwit' optie (Huber et al., 1982). Als een deelnemer op de kwantitatieve wijze is gevallen voor het decoy-effect betekent dit: keuze is 1000 gram. Als een deelnemer op de kwalitatieve manier is gevallen, dan is de keuze van de respondent de 1000 gram optie geweest en de redenering van de deelnemer voldoet aan de vastgestelde criteria op een basis van consistentie. Vaak wordt met behulp van controlevragen en testvragen gecontroleerd en vergeleken wat dan die werkelijke verschuiving is.

Een verschuiving wordt vaak gemeten in percentages of proportie van keuzeverdeling (Sun, 2023). Om te bepalen of veranderingen significant zijn worden door studies statistische analyses uitgevoerd. Voorbeelden zijn chi-kwadraattoetsen of regressieanalyses (Pak et al., 2021). Wanneer de voorkeur 10-20% verschuift richting het doelwit wordt effect als succesvol beschouwd (Huber et al., 1982; Simonson, 1989). De werkelijke verschuivingsdrempel voor een 'succesvolle' decoy is afhankelijk van de omstandigheden van het onderzoek. Op een kleinere schaal zou een verandering van 10 procentpunten een gepaste norm zijn. (Simonson, 1989) Er wordt dus een norm vastgelegd en kunnen de uiteindelijke resultaten

vergeleken worden om conclusies te kunnen trekken over het feit dat een decoy wel of niet gewerkt heeft op de testgroep.

3. Methode

Het onderzoek wordt uitgevoerd door middel van een steekproef. De gegevens voor het onderzoek worden verzameld via een enquête waarin de respondenten verschillende vragen moeten beantwoorden. De enquête bestaat uit multiple choice en open vragen. In het onderzoek worden respondenten een set opties voorgelegd, waarna er op basis van vooraf vastgestelde criteria beoordeeld wordt of het decoy-effect hun keuze heeft beïnvloed. Met behulp van deze vragen wordt geprobeerd erachter te komen hoe de effectiviteit van het decoy-effect verschilt tussen financiële klassen, maar daarnaast ook de algehele invloed van de decoy op de keuzes van de geteste groep. Het onderzoek bestaat uit twee enquête versies, een testgroep-enquête en een controlegroep-enquête. Dit hebben we nodig om nadrukkelijk de verandering van voorkeur per optie te meten tussen de test- en controlegroep. Dit wordt in het onderzoek gedaan door de resultaten per enquête te vergelijken. Er is voor het gebruik van een enquête gekozen omdat dit een gepaste manier is om kwalitatieve én kwantitatieve data te kunnen verzamelen én te dit te kunnen onderscheiden door hier in de vraagstelling rekening mee te houden. Daarnaast is een enquête makkelijk te verspreiden en een goede manier om onze doelgroep te bereiken. Specifieke vraagstelling en het nut/ doel per vraag staat in de bijlage 'Bijlage Paper enquêtevragen'.

Om onze specifieke onderzoeksgroep te bereiken, jongeren tussen 14 en 18 jaar die in Twente wonen, wordt de enquête op Lyceum de Grundel in Hengelo en Twents Carmel College (TCC) lyceumstraat in Oldenzaal. Deze scholen zijn voor ons het meest toegankelijk en ze liggen in de grotere steden van Twente, hier zullen dus mensen vanuit heel Twente komen.

3.1. Dataverzameling

Als eerst vragen we algemene demografische informatie zoals leeftijd, geslacht en woonplaats. Leeftijd en woonplaats zijn hier het belangrijkste om te zorgen dat een respondent binnen ons onderzoek valt. Vervolgens wordt er gevraagd naar inkomsten van een respondent (in grote lijnen) om ze bepaalde categorieën te kunnen plaatsen:

1. 0 – 50€ per maand
2. 50 – 150€ per maand
3. 150 – 300€ per maand
4. 300+ euro per maand

Hiermee kunnen we onderzoeken of er een verband zit tussen het percentage mensen dat in de decoy is getrapt en hun inkomensgroep waar zij tot behoren. Daarnaast vragen we naar aankoop- voorkeuren en gewoonten. Met deze voorkeurvragen kunnen we voorwaarden stellen over wanneer iemand voor de decoy is gevallen op de kwalitatieve manier. De controlegroep-enquête zal dus géén decoy bevatten en de testgroep-enquête wel. Er zijn ook vragen toegevoegd ter verantwoording van de keuze van een product. Hier kan gekozen worden uit Prijs/Hoeveelheid, Prijs of Hoeveelheid en uiteraard een open optie voor eigen antwoord. Hiermee kunnen we dus ook samen met een

vraag over bestedingsgedrag bepalen of iemand voor de decoy is gevallen op de kwalitatieve manier. Er zijn 2 opeenvolgende vragen waarbij uit verschillende formaten/prijzen van een 2 verschillende producten gekozen moet worden, eerst een vraag over chocoladeletters zonder een decoy in beide enquêtes en daarna een vraag over pepernoten mét decoy in de testversie. Deze vraag is om voornamelijk de groepen met respondenten met elkaar te kunnen vergelijken door spendeergedrag te bekijken. Als hier percentueel dezelfde verhouding is ingevuld gaan we ervan uit dat we met dezelfde soort mensen zitten en we dus wél de enquêtes met elkaar kunnen vergelijken. Daarnaast kan deze vraag mogelijke vermoedens van respondenten afleiden.

De vraag die de decoy test luidt: Stel je gaat naar de winkel en haalt pepernoten. Je kunt kiezen uit 3 opties om mee te nemen (smaak naar keuze, zelfde kwaliteit). Welke zou je kopen?

1. 250 gram voor €0,69
2. 500 gram voor €1,79
3. 1000 gram voor €2,39

Hier is duidelijk dat de middelste optie de decoy is en dat zo gehoopt wordt om te bereiken dat de 1000 gram optie voor €2,39 eerder gekozen wordt. We hebben formaten gekozen die vaak in de supermarkt voorkomen en een product wat niet gelijk helemaal opgegeten hoeft te worden, zoals popcorn, wat vaak als voorbeeld gebruikt wordt bij het decoy-effect. Hierdoor is de grotere optie ook een realistisch optie voor mensen die niet veel eten, waardoor ze minder snel geneigd zouden zijn om voor de grootste optie te gaan. De controlegroep-enquête heeft respondenten voornamelijk van Lyceum de Grundel en de testgroep-enquête heeft respondenten voornamelijk van TCC lyceumstraat. Via Google Forms zijn de enquêtes gemaakt en ze zijn ingevuld over een tijdsbestek van ongeveer 2 weken. Deelnemers zijn vooraf geïnformeerd dat deelname vrijwillig is en anoniem. Aan de docenten op de TCC lyceumstraat is gevraagd om het in de les te behandelen en op teams te zetten. Op Lyceum de Grundel is gevraagd de enquête in de mail te zetten om op deze manier de enquête toegankelijk te maken voor leerlingen. De leerlingen hebben grotendeels de enquête in de les ingevuld. Leerlingen die niet aanwezig waren in de les, of de enquête niet onder de les gemaakt hebben. Kregen de kans om op een ander moment thuis, of op school de enquête alsnog in te vullen. Dit is gedaan om toch een sociale druk uit te oefenen op respondenten om eerlijk antwoord te geven.

3.2. Resultaten behandelen

Om te bepalen of een inzending van een enquête meetelt voor het onderzoek moeten we bepaalde criteria vastleggen om het onderzoek meer valide en betrouwbaarder te maken - Wanneer antwoorden niet duidelijk en inconsistent zijn telt de gehele inzending niet mee en zal deze van de lijst verwijderd worden.

Dit is omdat een inconsistente inzending de eerlijkheidsfactor mist (Research Scape International, 2024). Deze is essentieel voor een kloppend onderzoek. Zonder dit kan alles ingevuld worden zonder dat het realistisch is. Daarnaast kan onduidelijkheid ontstaan door gehaaste inzending. Wanneer iemand niet de tijd neemt om de enquête eerlijk/kloppend naar hun mening in te vullen, ontstaan verwarrende resultaten (Leiner, 2013).

- Trollgedrag of misbruik Antwoorden met ongepaste inhoud zullen niet meetellen, aangezien deze dus ook niet eerlijk. We zullen op een subjectieve manier moeten bepalen of iets ongepast is. Wanneer iemand een ongepaste opmerking plaats bij het open antwoorden deel (wat verplicht is om in te vullen), die niet gebaseerd is op de chocolade, de pepernoten of algemene andere omstandigheden bij het uitzoeken van eten, dan telt deze inzending niet mee (SurveyMonkey, 2024; Greenbook, 2024). Een vergrootte versie van het kwantitatieve redeneringsschema is afbeelding 1 en van het kwalitatieve redeneringsschema is afbeelding 2.

We hebben twee redeneringsschema's, een voor kwantitatief en een voor kwalitatief. De kwantitatieve hebben we simpel gehouden: Je bekijkt hem als volgt: Je begint bij P1, de 'verantwoording/tussenpremissen' staan hier links van. We laten een inzending dit 'parcours' afleggen om te bepalen in welk vakje ze terecht komen:

1. Inzending telt niet mee
2. Inzending telt mee en respondent is voor decoy gevallen
3. Inzending telt mee en respondent is niet voor decoy gevallen

Als je 'Ja' antwoordt bij P1 ga je naar P2, als je hier ook 'Ja' antwoordt dan ga je naar P3. Wanneer je bij P3 bent ga je dus naar vak 2. Vak 1 is er alleen wanneer een respondent niet binnen onze onderzoeksgroep valt en naar deze inzending wordt dus niet gekeken.

De testgroep, bestaande uit 109 deelnemers, werd blootgesteld aan een situatie waarin een decoy-optie aanwezig was, terwijl de controlegroep, met 62 deelnemers, dezelfde enquête met gelijke verpakkingsgroottes aangeboden kreeg, echter zonder decoy. In dit onderzoek is de testgroep-enquête naar TCC lyceumstraat en de controlegroep-enquête naar Lyceum de Grundel gestuurd.

4. Resultaten

Deelnemers werden ingedeeld in vier financiële klassen, en de verdeling van hun keuzes werd zorgvuldig geanalyseerd. Testgroep: Keuzeverdeling met decoy-optie De testgroep kreeg drie verpakkingsgroottes aangeboden: 250 gram voor €0,69 500 gram voor €1,79 1000 gram voor €2,39 De 500gramverpakking werd in deze situatie gebruikt als decoyoptie. De verdeling van keuzes in deze groep was als volgt: 28% koos voor de 1000 gram, 26% koos voor de 500 gram, 46% koos voor de 250 gram. De controlegroep kreeg dezelfde verpakkingsgroottes aangeboden, maar met prijzen die geen decoy-effect opriepen: 250 gram voor €0,59 500 gram voor €1,19 1000 gram voor €2,39 Hier was de verdeling van keuzes: 16% koos voor de 1000 gram, 37% koos voor de 500 gram, 47% koos voor de 250 gram.

4.1. Vergelijking tussen test- en controlegroep

De resultaten tonen aan dat de decoy-optie de keuze voor de 1000-gramverpakking aanzienlijk vergrootte. Waar in de controlegroep slechts 16% voor de 1000 gram koos, steeg dit percentage in de testgroep naar 28%. Tegelijkertijd nam de populariteit van de 500 gram af van 37% in de controlegroep naar

26% in de testgroep. De keuze voor de 250 gram bleef relatief stabiel, met een lichte daling van 47% naar 46%.

4.2. Resultaten per financiële klasse

Om te bepalen hoe de financiële achtergrond het keuzegedrag beïnvloedde, werd de verdeling van keuzes per klasse geanalyseerd. Zie de tabel 2 voor de resultaten van de respondenten per klasse. Uit deze gegevens blijkt dat de 1000 gram optie veel vaker gekozen werd door de testgroep. Dit gebeurde in alle financiële klassen. Tegelijkertijd nam de populariteit van de 500 gram optie in alle klassen af bij de testgroep, aangezien dit een minder gunstige optie is qua prijs/hoeveelheid verhouding

5. Conclusie

Ons onderzoek laat zien dat het decoy-effect een duidelijke invloed heeft op de keuzes van jongeren uit Twente, ongeacht hun financiële klasse. De aanwezigheid van een decoy-optie leidde tot een aanzienlijke stijging in de keuze voor de 1000-gramverpakking, die in vergelijking met de 500 gram. De onderbouwing van de respondenten kwam bijna altijd neer op de prijs per gram verhouding en hieruit kunnen we dus concluderen dat het toevoegen van de decoy de kritische kijk van respondenten vergroot voordat ze een keuze maken

5.1. Financiële Klasse en Keuzegedrag

Bij deelnemers van de laagste financiële klasse (minder dan €50) werd de invloed van de decoy-optie het duidelijkst. In deze groep steeg het percentage deelnemers dat voor de 1000 gram koos van slechts 5% (controlegroep) naar 50% (testgroep). Dit wijst erop dat jongeren in deze klasse, ondanks hun beperkte budget, geneigd zijn om voor de schijnbaar voordeligste keuze te gaan wanneer de decoy de perceptie van waarde verandert. Bij deelnemers van de hoogste financiële klasse (meer dan €300) was de toename minder uitgesproken, maar nog steeds aanwezig. In deze groep steeg de keuze voor de 1000 gram van 10% in de controlegroep naar 22% in de testgroep. Dit suggereert dat het decoy-effect niet uitsluitend voorkomt bij lage financiële klassen maar dat het ook speelt bij deelnemers die meer te besteden hebben.

5.2. Redenatieproces van de jongeren

Deelnemers die beïnvloed werden door de decoy-optie gaven in de enquête aan dat zij vanwege de verhouding tussen prijs en hoeveelheid de keuze voor de 1000g hebben gemaakt binnen de testgroep. Als dit het geval was dan behoort de deelnemer van de enquête zowel tot de kwantitatieve als de kwalitatieve decoy-groep. Als de deelnemer dus geen redenatie had, behoort de deelnemer alleen tot de kwantitatieve decoy-groep. Voor veel deelnemers werd de 1000 gram optie de logische keuze, ondanks dat deze optie duurder was als dan het alternatief. De prijs per gram verhouding was gunstiger dan die van de 500 gram, dit heeft mensen ertoe geleid om voor de 1000 gram optie te kiezen.

Daarnaast blijkt dat de 250-gramverpakking in beide groepen relatief stabiel bleef, vooral onder jongeren die behoorden tot de lagere financiële klasse bleef deze keuze procentueel zowat gelijk. Dit kan bevorderd verder het principe dat er overeen-

stemming is bij het maken van een keuze van een bepaalde groep.

5.3. Antwoord op de Hoofdvraag

Hoe beïnvloedt het decoy-effect jongeren uit verschillende financiële klassen in Twente en wat is hun gedachtegang? Het decoy-effect beïnvloedt het keuzegedrag van jongeren uit verschillende financiële klassen in Twente aanzienlijk. Het idee van waarde van een product, gestimuleerd door de minder aantrekkelijke decoy-optie, zorgt ervoor dat jongeren vaker kiezen voor de grootste verpakking, oftewel het doelwit. Het decoy-effect heeft beïnvloed jongeren door hun redenatieproces te veranderen door een toevoeging van een decoy. De verandering in het proces bestaat uit het komen tot een besluit door het bekijken van elke optie waardoor de doelwit optie het voordeligst lijkt. De laagste financiële klasse toont het grootste verschil tussen controlegroep en de testgroep. De percentages van mensen die voor de 1000g optie koos steeg van 5% naar 50%. De hoogste financiële klasse toonde de kleinste stijging, van 12,5% naar 22,2%. Het decoy-effect beïnvloedt jongeren dus op een positieve manier in het perspectief van de aanbieder. Er lijkt een grotere keuzeverandering te zijn naarmate het inkomen daalt. Mensen met lagere betalingsbereidheid zullen dus meer beïnvloed worden bij de toevoeging van een decoy in een keuze set.

6. Discussie

6.1. Afvallers

Door in ons onderzoek een specifieke eisen te stellen over leeftijdscategorie en woonplaats hebben we risico op niet mogen generaliseren over de testgroep weten te beperken. Het totaal aantal participanten is uiteindelijk 172 in plaats van de originele 182 inzendingen. Dit is omdat er mensen waren die buiten de categorieën vielen (leeftijd/woonplaats) en daardoor niet meetellen aan ons onderzoek. Daarnaast waren er inzendingen met ongepaste inhoud. Ervan uitgaand dat de betrouwbaarheidsfactor op het gebied van eerlijkheid is beperkt doordat de respondenten het onderzoek anoniem hebben laten invullen, kan er niet vastgesteld worden dat alle antwoorden eerlijk zijn. De keuze om de enquête anoniem te maken is gemaakt omdat het ethisch incorrect is om mensen direct om hun inkomen te vragen. Dit is besloten omdat het ongepast zou zijn mensen op deze persoonlijke vragen te stellen.

6.2. Eerlijkheid

Het anoniem maken van de enquête heeft ervoor gezorgd dat mensen zich wellicht vrijer voelden om minder zorgvuldig de enquête in te vullen. Dit zou kunnen leiden tot minder betrouwbare resultaten aangezien de eerlijkheidsfactor hier mist. Deze factor is essentieel voor een valide onderzoek.

Er wordt vermoed dat de groep die misbruik heeft gemaakt van deze anonimiteit klein is genoeg is om te zeggen dat de conclusie niet verworpen hoeft te worden. Bij analyseren is zijn alle resultaten bekeken in de volgorde waarin ze zijn ingevuld. Hieruit is gevonden dat er veelal consistentie is tussen de vragen en er een coherent invulpatroon is geweest per respondent. De conclusie blijft op dit gebied dus geldig.

6.3. Opvallende inzendingen

Een aantal deelnemers heeft ondanks de aanwezigheid van de decoy alsnog voor de decoy zelf gekozen, deze optie paste blijkbaar beter bij hun behoefte, dit is teruggevonden in hun individuele resultaten. Ze hebben waarschijnlijk gekeken naar wat hun persoonlijke behoeftes waren en hebben daarbij besloten dat de prijs te verwaarlozen was. De vraag komt dan op of een groter prijsverschil er überhaupt voor zou kunnen zorgen dat men de 500g optie compleet vermijdt. Redenaties als 'de 1000g is te veel en 250g is te weinig' is in dit onderzoek vaak naar voren gekomen en we zijn ervan uitgegaan dat deze respondenten geen rekening houden met een prijs-tothoeveelheidverhouding. Hierdoor is hun keuze dus niet beïnvloed door de aanwezigheid van een decoy.

6.4. Vraagstelling enquête

Aan het eind van de enquête is elke deelnemer gevraagd of ze bekend zijn met het decoy-effect. Vervolgens werd een uitleg gegeven en gevraagd of ze denken dat hun keuze hierdoor beïnvloed is. Deze vraag zit in de enquête voor de controle- en voor de testgroep. Het is echter opvallend dat 44,4% (28 mensen) van de mensen in de controlegroep heeft vermeld dat ze denken dat hun keuze hierdoor is beïnvloed. Dit resultaat heeft ons twijfel opgeleverd over de manier van vraagstelling en hierdoor zijn enkele fouten in de vraagstelling van de enquête opgemerkt.

Een probleem in de vraagstelling van de enquête is gevonden bij het stellen van de criteria voor wanneer een respondent voor de decoy gevallen is op de kwalitatieve manier. Het is opgevallen dat vraag 8 (of prijs belangrijk is) en vraag 9 (of ze producten per winkel vergeleken) erg dicht op elkaar lagen. Met behulp van deze vragen hebben we consistentie bij het invullen bekeken maar we hadden vraag 8 anders moeten verwoorden om de consistentie bij kwalitatief-werkende decoy te bekijken. Er was gevraagd of prijs belangrijk is maar er had gevraagd moeten zijn of prijs-hoeveelheid belangrijk is voor de respondent. Er moest gevraagd worden of ze juist hier rekening mee houden. Dit zou ons besluit bij het bepalen of iemand succesvol in de decoy gevallen is beter kunnen laten lopen op gebied van coherentie.

Een andere kleine valkuil binnen ons onderzoek speelt zich ook af bij de enquête. De vraag over het inkomen waaraan we de deelnemers in de financiële klassen konden indelen is waarschijnlijk niet duidelijk genoeg geweest. Het kan zijn dat sommige jongeren hun zakgeld en of kleedgeld hebben meegerekend met het beantwoorden van deze vraag. Dit zou de indeling van de personen per klasse minder nauwkeurig kunnen maken. Toch laten de resultaten zien dat er een duidelijke en consistente trend is bij het keuzegedrag. Dat wijst erop dat dit geen invloed heeft gehad op de conclusie.

6.5. Invulomstandigheden

In het onderzoek is beperkte rekening gehouden met invulomstandigheden van een respondent. Alhoewel de grootste groep van leerlingen de enquête in een klaslokaal heeft ingevuld, was er ook toegang voor de leerlingen de enquête thuis in te vullen, hierdoor was er weinig sociale druk om de enquête volledig

eerlijk in te vullen. In de onderzoek is geen vraagstelling betreft de invulomstandigheden van de respondent zelf. Het is dus lastig om te bepalen welke omgeving en omstandigheid in het algemeen de enquêtes zijn ingevuld. Dit zou een negatief effect kunnen hebben in de validiteit van het onderzoek, aangezien de eerlijkheidsfactor hier beperkt wordt. Ook de invloed van de mate van honger bij een individu heeft mogelijk invloed op de accuraatheid van de resultaten. Er wordt geprobeerd om een zo natuurlijke situatie mogelijk na te bootsen om een zo realistisch mogelijke conclusie te kunnen trekken.

6.6. Toekomstig onderzoek

In toekomstig onderzoek zou er meer achteruit geredeneerd kunnen worden over de vraagstelling in de enquête. Welke data moet er precies ontvangen worden en bij welke vraagstelling kan dit verkregen worden. Daarnaast is er nog een mogelijkheid om de vergelijking te maken van de werking van het decoy-effect op jongeren tegenover volwassenen. Hiermee zouden resultaten bevonden kunnen worden over marketing die beter werkt op een bepaalde doelgroep dan op een andere doelgroep om op deze manier effectiever mogelijke klanten te beïnvloeden

Referenties

- Chen, S., Zhao, J., Xu, H., & Zhu, Z. (2024). *When and how does decoy effect work? The roles of salience and risk aversion in the consumer decision-making process*. *Electronic Commerce Research and Applications*, 63, 101354.
- Communicating Psychological Science. (n.d.). *The decoy effect*. Retrieved from <https://www.communicatingpsychologicalscience.com/blog/thedecoy-effect>.
- Frederick, S., Lee, L., & Baskin, E. (2014). *The Limits of Attraction*. *Journal of Marketing Research*, 51(4), 487–507. Retrieved from <https://doi.org/10.1509/jmr.12.0061>.
- Mortimer, G. (2019). *The decoy effect: how you are influenced to choose without really knowing it*. Bizcommunity.com (South Africa: Retail).
- Greenbook. (n.d.). *Identifying & evaluating sub-optimal responses in online surveys*. Retrieved from <https://www.greenbook.org/insights/insights>.
- Huber, J., & Puto, C. (1983). *Market Boundaries and Product Choice: Illustrating Attraction and Substitution Effects*. *Journal of Consumer Research*, 10(1), 31–44.
- Huber, J., Payne, J. W., & Puto, C. (1982). *Adding Asymmetrically Dominated Alternatives: Violations of Regularity and the Similarity Hypothesis*. *Journal of Consumer Research*, 9(1), 90–98.
- Leiner, D. (2013). *Too Fast, Too Straight, Too Weird: Post Hoc Identification of Meaningless Data in Internet Surveys*.
- Marini, M., & Paglieri, F. (2019). *Decoy effects in intertemporal and probabilistic choices: the role of time pressure, immediacy, and certainty*. *Behavioural Processes*, 162, 130–141. Re-

- trieved from <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2019.03.002>.
- Neurolaunch. (n.d.). *Decoy effect: How irrelevant options sway choices*. Retrieved from <https://neurolaunch.com/decoy-effect-psychology/>.
- Pak, R., & Ferdowsian, A. (2021). *The Decoy Effect and Risk Aversion*. New York University Stern School of Business & Princeton University Department of Economics.
- Perversi, E., & Regazzini, E. (2015). *Inequality and risk aversion in economies open to altruistic attitudes*. arXiv preprint arXiv:1507.00894.
- Pettibone, J. C. (2012). *Testing the effect of time pressure on asymmetric dominance and compromise decoys in choice*. Judgment and Decision Making, 7(4), 513–521. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/S193029750000284>.
- Pfanzagl, J., & Luce, R. D. (1962). *Individual Choice Behavior*. Econometrica, 30(1), 214. Retrieved from <https://doi.org/10.2307/1911299>.
- Researchscape International. (n.d.). *Pros and cons of including partial responses to surveys*. Retrieved from <https://researchscape.com/blog/partial-responses>.
- Sellers-Rubio, R., & Nicolau-Gonzalbez, J.-L. (2015). *Testing the decoy effect in the presence of store brands*. International Journal of Retail & Distribution Management, 43(2), 113–125. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/ijrdm-07-2013-0144>.
- Sherlin, I., Siswadhi, F., & Sarmigi, E. (2019). *Analysing the decoy effect on online product purchasing preference: An experimental study*. Advances in Economics, Business and Management Research, 132, 125–130. Retrieved from <https://doi.org/10.2991/aicmar-19.2019.25>.
- Simonson, I. (1989). *Choice Based on Reasons: The Case of Attraction and Compromise Effects*. Journal of Consumer Research, 16(2), 158–174.
- Slovic, P. (1975). *Choice between equally valued alternatives*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1(3), 280–287. Retrieved from <https://doi.org/10.1037/0096-1523.1.3.280>.
- Steinberg, L. (2008). *A Social Neuroscience Perspective on Adolescent Risk-Taking*. Developmental Review, 28(1), 78–106.
- Stoffel, S. T., Sun, Y., Hirst, Y., von Wagner, C., & Vlaev, I. (2023). *Testing the decoy effect to improve online survey participation: Evidence from a field experiment*. Journal of Behavioral and Experimental Economics, 107. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.socec.2023.102103>.
- Sun, H. (2023). *Behavioral Economics: The Decoy Effect*. Advances in Economics, Management and Political Sciences, 13, 46–51. Retrieved from <https://doi.org/10.54254/2754-1169/13/20230670>.
- SurveyMonkey. (n.d.). *Survey data cleaning: 7 things to check before you start your analysis*. Retrieved from <https://www.surveymonkey.com/curiosity>.

7. Figuren

Financiële Klasse	1000g (T)	500g (T)	250g (T)	1000g (C)	500g (C)	250g (C)
Minder dan €50	7	1	6	1	10	8
€50 - €150	9	3	11	6	5	6
€150 - €300	9	15	20	2	6	8
Meer dan €300	6	9	12	1	2	7

Table 1: Keuzes per Financiële Klasse in Testgroep (T) en Controlegroep (C)

Financiële Klasse	T (%)	C(%)
Minder dan 50	13%	31%
50 - 150	21%	26%
150 - 300	40%	15%
Meer dan 300	26%	28%

Table 2: Keuzes in Testgroep (T) en Controlegroep (C), Algemeen

Verpakking	Testgroep (%)	Controlegroep (%)
1000 gram	28%	16%
500 gram	26%	37%
250 gram	46%	47%

Table 3: Percentageverdeling per Financiële Klasse (Testgroep en Controlegroep)

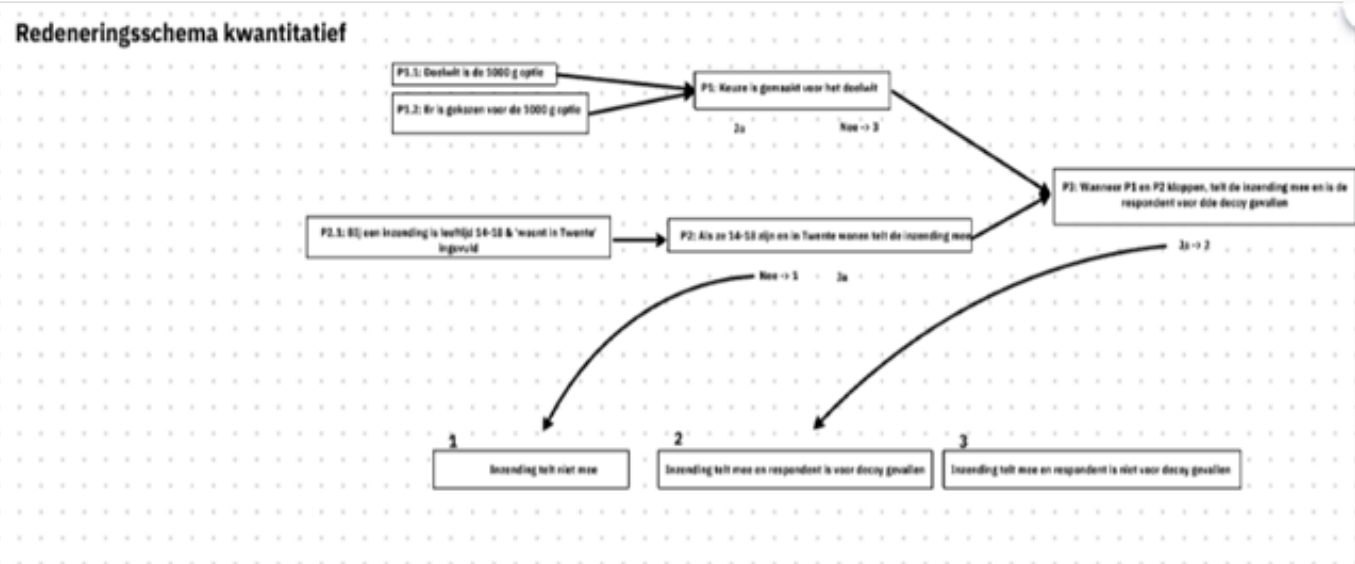


Figure 1

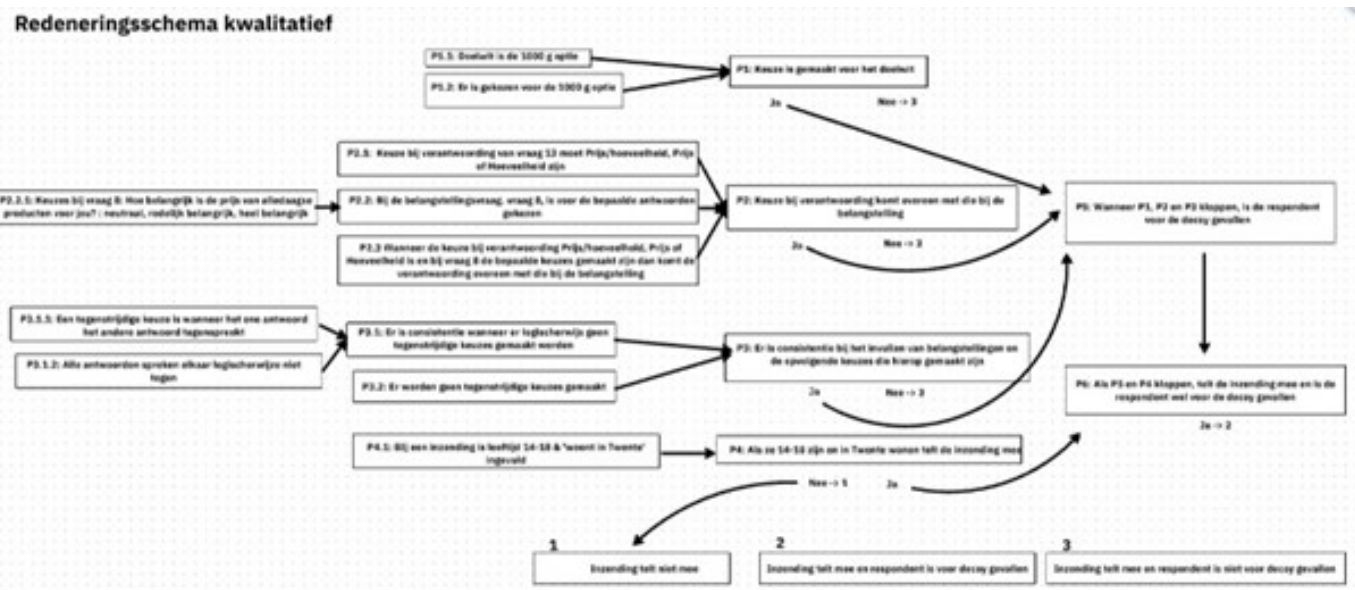


Figure 2



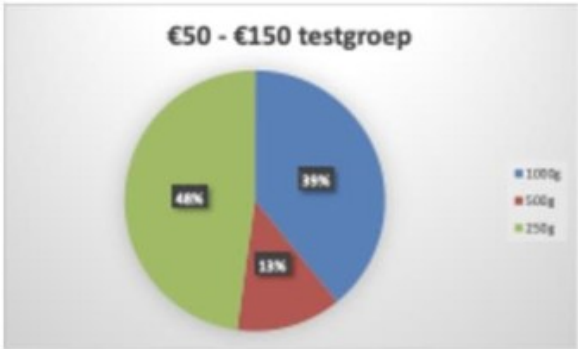
Cirkeldiagram 1



Cirkeldiagram 5



Cirkeldiagram 2



Cirkeldiagram 6



Cirkeldiagram 3



Cirkeldiagram 7



Cirkeldiagram 4



Cirkeldiagram 8

Figure 3



UNIVERSITY OF TWENTE.