

**UNIVERSITY
OF TWENTE.**

Pre-University

Inhoudsopgave

TECHNOLOGIE	T. Hogervorst, N. Spier, et al. “Het fabriceren van een antropomorfe, sort robotic vinger”	4
	A. Kolk, Y ter Denge, et al. “Het effect op de CO ₂ -uitstoot als Nederland gaat rijden op waterstof”	12
	Q.J.M. Hoenink, J.F.B. Reuver, et al. “Geothermie een voordeling alternatief voor fossiele brandstoffen? Hoe lonend geothermische projecten zijn vergeleken met zonne- en windenergetische projecten in 2019”	25
	C.Q. Wang, R. de Vries, et al. “Technisch herontwerp van Lansinkesweg en Industriestraat in Hengelo met behulp van drie ambities: veiligheid, duidelijkheid en toekomstgerichtheid”	33
	M. Buitenweg, M.M.H. Elsjan, et al. “Het visualiseren van grafieken in de ruimtelijke vierde dimensie”	45
NATUURWETENSCHAP	I.E.Y. Bartelds, I.S.M. Olde Dubbelink, et al. “De invloed van HLA-B27 positiviteit op de diagnose van JIA (met enthesitis) volgens het ILAR-systeem”	51
	S.C.M. Pelle, M.T.A. ten Brinke, et al. “Het effect van adrenaline op de longfunctie na meerdere achtbaanritten”	58
	S. Varsovia, S.J.A. Jansen, et al. “Het verband tussen de aangeboren conditie en het allocentrische ruimtelijk visueel geheugen bij adolescenten”	65
	S. de Graaf, Y. Vos, et al. “Een onderzoek naar de geschiktheid van een zelfontworpen lesbrieff deeltjesfysica voor 5 vwo”	72
GEDRAG	M. van Veen, S. Nijhof, et al. “Correlatie tussen IQ en EQ bij kinderen van 10-11 jaar”	79
	L.M. Beens, K. Shoaeh Bargh, et al. “Het effect van kleuren op het leervermogen van kinderen met dyslexie”	86
	M. van Heezik, M. Askari, et al. “Effects of music therapy on depressive symptoms in young adults”	92
MAATSCHAPPIJ	E. Peters, M. Eggink, et al. “Beïnvloeding van de publieke opinie door middel van kunst door het naziregime”	97
	P.J.R.P. Thöni, F.J.A. Schumer, et al. “Ethiek en de dierproef”	106
	N. van Heerde, I. Kleine, et al. “Het effect van de Panama Papers”	112
	S. Nijman, W. Vonk, et al. “Fossiele lobby en klimaatbeleid van de Europese Unie”	120

Voorwoord

Samen groeien, ontwikkelen, reflecteren en leren. Dat is de essentie van het Honoursprogramma van Pre-U. Niet alleen de deelnemende leerlingen zitten vol in dit proces, maar ook de betrokken docenten en UT-studenten zelf. En dat blijkt onder andere uit dit boekwerk. Over drie lichtingen heeft het slotstuk van het Honoursprogramma een grote metamorfose ondervonden. Wat begon als een stapel profielwerkstukverslagen met een beoordeling, groeide uit tot een prachtige journal met gepeerreviewde papers over de onderzoeken die door de leerlingen zijn uitgevoerd. Geen beoordeling, maar feedback van docenten, UT-studenten en medeleerlingen: onderweg, op het concept en op het eindproduct.

Onderzoek doen is niet makkelijk. Moeten nadenken over en reflecteren op de validiteit, de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van je werkwijze, van je verwerking, van de conclusies die je trekt maakt het niet makkelijk. Al je bevindingen van dat proces – een half jaar werk – condenseren tot een begrijpelijk paper van een aantal bladzijden lijkt een onmogelijke opgave. Het is een lat die voor menig masterstudent te hoog is om te springen. En toch ligt dit journal er, geschreven en gereviewd door middelbare scholieren in hun examenjaar. Ongekend.

Woorden schieten tekort om te beschrijven hoe trots ik hierop ben. Trots op de leerlingen, die een enorm intensief proces van leren, incasseren en reflecteren heb doorlopen om deze eindstreep te halen en zich niet hebben laten afschrikken door de hoge lat. Trots op de docenten, die gedurfd hebben de lat zo hoog te leggen, de schoolse didactiek en structuur los te laten en te vertrouwen in de groeigerichte leermentaliteit en het zelfsturend leervermogen van deze leerlingen. Trots op de UT-studenten die als begeleiders een sleutelrol hebben gespeeld in het proces en trots op de programmacoördinatoren die met een grote taakvolwassenheid het volledige Honoursprogramma georganiseerd hebben en achter de schermen altijd de leerlingen op het hoofdpodium hebben gezet.

Dit journal is de opbrengst van de collectieve inspanning van de Honoursgemeenschap met de leerlingen als verbindend middelpunt. Het is een testament van het leerproces waarin alle betrokkenen het onderste uit hun eigen kan hebben gehaald. Maar het is ook een verzameling van interessante artikelen over de meest uiteenlopende, relevante onderwerpen: voor ieder wat wils. Ik wens je heel veel leesplezier en verwondering, over de inhoud, maar vooral over de context waarin deze tot stand is gekomen.

Sander Wenderich
Projectleider Pre-U Honoursprogramma

Colofon

Dit is een bundel van de papers die geschreven zijn door de studenten van het Pre-U Honoursprogramma, lichting 2018-2020. In het tweede jaar van het programma voerden zij in tweetallen (en soms drietal- len) zelfstandig een onderzoek uit om een eigen onderzoeksvraag te beantwoorden. Daarover schreven zij een paper, dat gepeerreviewed is door medestudenten, UT-studenten en docenten van het Honourspro- gramma. De ontvangen feedback is verwerkt en het eindresultaat is in deze bundel te lezen.

Veel papers hebben een bijlage met aanvullende informatie en figuren. Deze is digitaal te vinden op de website van Pre-U, evenals een digitale versie van het journal zelf. Scan onderstaande QR code om beide bestanden te bekijken:



Jaar: 2020
Oplage: 75 stuks

Vormgeving:
Milou Gankema (www.milougan- kema.nl)

Druk- en bindwerk: Gildeprint, Enschede

Het fabriceren van een robotische, antropomorfe vinger

T. Hogervorst¹, N. Spier¹, H.J. groote Beverborg¹, E. Krolis², E.M. Meijer²

¹Het Erasmus, Almelo

²Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - Because of the increasing use of robots in daily life, the interactions between humans and robots must become more intuitive and organic. A robotic hand should therefore be anthropomorphic. With today’s knowledge, it is difficult to create a completely anthropomorphic robotic finger because of the complex mechanisms of the human hand. A few researches have tried to make their own variations of anthropomorphic robotic human hands. However, none are both compromised of the same part as the human hand and have the same performance. This research strives to create a new design which is as strong and has the same range of motion as a human hand. It shall also contain the same components (e.g. muscles and bones) as its human counterpart.

In this paper the design of an anthropomorphic finger is presented. The finger possesses all the bones and muscles of a human index finger. PAM-actuators are used to imitate the six human muscles which enable all movements of the index finger. The bones are 3D printed based on a human cadaver. A human index finger can exert 43.05 Newtons force while doing the distal pad press. The prototype can exert a maximum of 0.392 Newtons performing the same coupling. While performing the distal pad pull the prototype exerts 0.353 Newtons and a human finger 60.09 Newtons on average. The range of motion of the prototype is 0°-60° while a normal human index finger has a range of 0°-290°.

In conclusion the prototype contains the same parts as a human hand, but it does not measure up to a human hand regarding strength and range of motion.

Introductie

Robots worden steeds belangrijker in het dagelijks leven. In de Cambridge Dictionary [1] staat dat een robot “een mechanisch device die automatisch werkt of bestuurd wordt door een computer” is. Volgens een onderzoek van Oxford in 2019 [2] is het aantal robots tussen 2010 en 2016 verdubbeld. Daarom wordt de interactie tussen mens en robot belangrijker, en moet deze intuïtiever en organischer worden. In een onderzoek uit 2011 [3] werd geconcludeerd dat bij biologische bewegingen mensen zich eerder verbonden voelen met robots. Om de interactie tussen mens en robot te verbeteren, zal een robothand een interactie moeten bewerkstelligen die meer lijkt op die van een menselijke hand. Toch zijn robothanden een uitdaging om geheel zowel in samenstelling als prestatie te laten overeenkomen met de menselijke hand, omdat deze meerdere complexe mechanismen kent. De menselijke hand is één van de meest complexe delen van het menselijke lichaam volgens een onderzoek van Dr. McGavin [4]. De kunstmatige spier moet, net zoals een menselijke spier, met behulp van een lineaire samentrekking de vinger laten bewegen, zodat de beweging zelf menselijk overkomt. Alle onderdelen moeten dus antropomorf zijn, wat betekent dat het zowel in samenstelling als prestatie dicht in de buurt van een menselijke hand moet komen (zie onderaan de pagina voor een uitgebreide definitie). Om de robotische hand antropomorf te maken kan er gebruik worden gemaakt van soft robotics. Soft robotics is een subcategorie in de robotica, waar gestreefd wordt naar een intuïtieve en gevoelige interactie van de robot [5]. Er wordt gefocust op technologieën die levende organismen nabootsen, gebruikmakend van zachte materialen. Er zijn verscheidene onderzoeken gedaan naar soft robotics en antropomorfe handen/vingers en zodanige aandrijving. Echter is er nog geen hand/vinger gefabriceerd, waarvan het onderzoek te vinden is, waarbij de hand in samenstelling en prestatie in zijn geheel gelijk is aan een menselijke hand. Mensen voelen zich meer verbonden met robots die zich organisch bewegen. Om deze organische beweging te bereiken moet zo dicht mogelijk bij de samenstelling en prestatie van een menselijke vinger gebleven

worden. Het doel wordt daarom om een volledig robotische, antropomorfe vinger te fabriceren. Dat wordt op de volgende manier gedefinieerd:

Het prototype is antropomorf als het aan de volgende eisen voldoet:

I. Het komt overeen in samenstelling met de menselijke hand. Het prototype voldoet aan dit subdoel als een onderdeel voor alle botten, gewrichten, spieren en pezen aanwezig is. Daarnaast moeten deze onderdelen op dezelfde wijze samengesteld zijn als in de menselijke hand. Dus als bot A vastzit aan pees B in de menselijke hand, moet dat ook het geval zijn in het prototype. II. Het komt overeen in prestatie met de menselijke hand. Het prototype voldoet aan dit subdoel als de onderdelen botten, gewrichten, spieren en pezen in samenwerking eenzelfde kracht en beweging kunnen leveren als een menselijke hand. In figuur 1 is de robothand van Rob Scharff [6] te zien. Hij kan ongeveer dezelfde bewegingen als een hand maken, maar de aandrijving lijkt niet op die van een menselijke hand. Doordat de aandrijving niet lijkt op die van een menselijke hand, zijn de bewegingen niet geheel mensachtig. Er zitten geen onderdelen in het ontwerp die overeenkomen met spieren en pezen. Er wordt gebruik gemaakt van holtes die bij hoge luchtdruk uitzetten. Doordat sommige gedeelten makkelijker uitzetten dan anderen, kunnen de bewegingen van een hand nagebootst worden.

Er zijn ook onderzoeken gedaan naar soft robotic aandrijving die spieren imiteren. Pneumatic Artificial Muscles (PAM) zijn hier een voorbeeld van. Deze zijn getest voor gebruik in een robothand [7] [8]. Uit beide onderzoeken blijkt dat de PAM-actuators geschikt zijn voor het aandrijven van een robothand, waarvan één te zien is in figuur 2. Geen van beide onderzoeken heeft gebruik gemaakt van een antropomorf ontwerp van de hand. De vorm van de hand is nagebootst om de grijpbewegingen van de hand te kunnen maken, zonder de samenstelling van botten, spieren, pezen en gewrichten.

Het onderzoek van Tavakoli [9] is meer gefocust op het namaken van een zeer antropomorfe vinger. Dat hebben zij behaald door een endoskeleton, geïnspireerd door de menselijke bouw in 3D te printen, en daaromheen een ander, zacht materiaal te printen, zoals te zien in figuur 3. De hand is echter niet robotisch, aangezien deze wordt aangedreven door de spierkracht van een menselijke hand.

In het onderzoek van Z. Xu en E. Todorov [10] is geprobeerd een mechanische hand te maken, die de functie en werking van een menselijke hand zo realistisch mogelijk imiteert. De botten en gewrichten van de hand zijn aan de hand van een 3D-model van een linkerhand van een kadaver gemaakt, en zijn dus antropomorf, zoals te zien in figuur 4. Echter hebben Xu en Todorov als aandrijving elektromotoren gebruikt. Deze aandrijving is niet antropomorf, omdat niet een lineaire samentrekking maar circulaire rotaties zorgen voor beweging. Er zijn weinig tot geen volledig antropomorfe handen gefabriceerd, waarbij alle onderdelen van de hand aanwezig zijn en de prestatie gelijk is aan een menselijke hand. Met dit onderzoek wordt geprobeerd aan te tonen of deze combinatie mogelijk is en hoe deze eruit zou komen te zien. Er is gekozen om eerst een vinger te maken. Dit zou later bij het ontwerpen van een volledige hand gebruikt kunnen worden. Het einddoel voor dit onderzoek is een volledig functionerende antropomorfe wijsvinger, waarbij mogelijk soft robotics gebruikt worden.

Theorie

Er is gekozen om een wijsvinger na te maken, omdat de wijsvinger, middelvinger en ringvinger dezelfde onderdelen (botten, gewrichten, spieren en pezen) bevatten. Iedere vinger heeft zes spieren en pezen en drie botten en gewrichten. De afmetingen van de botten van iedere vinger staan niet geheel in dezelfde verhouding met de andere vingers [11]. Toch kan dezelfde methode van fabricage aangehouden worden voor deze drie vingers. De pink en duim worden buiten beschouwing gelaten, omdat deze andere spieren, pezen en gewrichten bevatten. Met het ontwerpen van de wijsvinger en daarmee de ringvinger en middelvinger, wordt de grootste stap gezet tot het ontwerpen van een volledige hand. Er is geen voordeel bij het ontwerpen van een wijsvinger ten opzichte van het ontwerpen van een middelvinger of ringvinger.

Botten en gewrichten in de wijsvinger

In figuur 5 zijn de botten van de wijsvinger te zien. De theorie is samengesteld uit een artikel over de anatomie van een hand [12] en een onderzoek van S. Panchal-Kildare en K. Malone [13]. Daarnaast is er gebruik gemaakt van een onderzoek waar een anatomisch correct de menselijke mechanismen heeft nagemaakt [14]. In datzelfde onderzoek zijn ook de gemiddelde lengtes van de vingerkootjes vermeld.

De botten in figuur 5 zijn:

- (1) Metacarpalen (MC): het middenhandsbeentje die in de palm zitten.
- (2) Phalanx proximalis (PP): de eerste vingerkoot, en daarbij de langste vingerkoot. In de wijsvinger is deze vingerkoot gemiddeld 5,10 cm. Het gewricht tussen de metacarpalia en de phalanxis proximalis wordt het metacarpophalangeaal-gewricht genoemd (MCP-gewricht).
- (3) Phalanx media (MP): de tweede vingerkoot, en daarbij de op één na langste vingerkoot. Het tweede vingerkootje is, in de wijsvinger, gemiddeld 2,69 cm. Het gewricht tussen de phalanxis medialis en phalanxis proximalis wordt het

proximaal-interphalanxaal-gewricht genoemd (PIP-gewricht). (4) Phalanx distalis (DP): de derde en laatste vingerkoot. Dit is het vingertopje en dus het kleinste vingerkootje, in de wijsvinger, met gemiddeld 1,55 cm. Het gewricht tussen de phalanx distalis en de phalanx medialis wordt het distaal-interphalanxaal-gewricht genoemd (DIP-gewricht).

De botten van een menselijke vinger zijn geen perfecte scharnieren, waardoor de botten een grote bewegingsvrijheid hebben. Het menselijk gewricht kan veel minder bewegingen maken dan twee botten die aan elkaar verbonden zijn. De minimale en maximale hoek die een gewricht kan maken wordt de Range of Motion (ROM) genoemd. In het onderzoek van H. Gellman en H. Mckellop [15] wordt de ROM van alle gewrichten in de hand gemeten. Om de bewegingsvrijheid in te perken tot de gemiddelde ROM van een hand, heeft elk gewricht gewrichtsbanden. Deze zorgen ervoor dat de bewegingsvrijheid naar links, rechts en achteren wordt tegengehouden. De collateral ligaments en de volar plate zorgen voor een stabiele beweging. In de onderzoeken van Z. Xu en E. Todorov [10] en D. Hu, L. Run en D. Howard [16] is een overzicht gemaakt van de mechanismen in een menselijke vinger. Daaruit is het volgende over de collateral ligaments en volar plate gehaald.

De colleteral ligaments zitten aan de zijkanten van het gewricht schuin tegenover het scharnierpunt. Op die manier voorkomen ze, dat de botten naar de zijkant kunnen uitwijken zoals te zien in figuur 6B. Er zijn twee collateral ligaments aan beide kanten en één volar plate (figuur 6A). De twee collateral ligaments zijn: het accessory collateral ligament en het true collateral ligament. Het accessory collateral ligament zit vast aan het scharnierbot en de volar plate. De volar plate zit op zijn beurt vast aan het scharnierende bot. Deze voorkomt dat de vinger kan overstrekken naar achteren. Daarnaast zit het true collateral ligament vast aan beide botten.

Spieren en pezen in de wijsvinger

Op de site ‘Innerbody’ [17] zijn de namen en de werking van alle spieren te vinden. De zes spieren, die te zien zijn in figuur 7, maken alle bewegingen van de wijsvinger mogelijk. De flexor digitorum superficialis (1), de flexor digitorum profundus (2) en extensor indicis (3) zijn extrinsieke spieren. Dat betekent dat de spieren zich in de onderarm bevinden. De flexor digitorum superficialis (1) en profundus (2) laten de vingers krullen. De flexor digitorum superficialis (1) zit met een pees vast aan het middelste vingerkootje en verkleint de hoek tussen de onderste vingerkootjes en het middenhandsbeentje. De flexor digitorum profundus (2) zit met een pees vast aan het buitenste vingerkootje en zorgt voornamelijk voor het verkleinen van de hoek tussen de buitenste vingerkootjes. De extensor indicis (3) is de antagonist van deze spieren. Hij strekt de wijsvinger en zit met een pees vast aan het uiterste vingerkootje. De dorsal interosseous spier (4), palmar interosseous (5) spier en lumbricale spier (6) zijn intrinsieke spieren. Zij zitten dus in de hand zelf. De dorsal interosseous spier (4) van de wijsvinger spreidt de wijsvinger en de palmar interosseous spier (5) trekt hem naar de middelvinger toe. De uiteindes van deze spieren zitten aan de phalanx proximalis. De lumbricale spier (6) verkleint de hoek tussen het onderste vingerkootje en het middenhandsbeentje terwijl het het uiteinde van de vinger

recht houdt. Het uiteinde zit vast aan de phalanx distalis. A. DiDomenico en M. Nussbaum hebben onderzoek gedaan naar de kracht van een vinger [18]. Twee van de oefeningen hadden alleen betrekking op de wijsvinger: de 90° Distal Pad Pull en de 180° Distal Pad Press. Bij de 90° Distal Pad Pull wordt de palm naar beneden gericht en het proximaal-interphalanxaal-gewricht wordt in een hoek van 90° gebracht, terwijl de kracht die het topje van de vinger kan leveren gemeten wordt. De gemiddelde geleverde kracht is bij deze oefening 60,09N met een standaarddeviatie van 25,24N. Bij de 180° Distal Pad Press wordt de palm naar beneden gericht en de vinger rechtgehouden, terwijl de kracht die het vingertopje kan leveren gemeten wordt. De gemiddelde geleverde kracht is bij deze oefening 43,05N met een standaarddeviatie van 18,43N. Het doel is zoals in de inleiding genoemd om een antropomorfe vinger te maken. Hierbij zijn de volgende doelen gesteld aan de hand van de theorie:

- Alle botten van een menselijke wijsvinger moeten aanwezig zijn (de metacarpalum, de phalanx proximalis, de phalanx media en de phalanx distalis).
- Alle spieren die nodig zijn bij het bewegen van een menselijke wijsvinger moeten aanwezig zijn (de flexor digitorum superficialis, de flexor digitorum profundus, de extensor indicis, de musculus dorsal interosseous, de musculus palmar interosseous en de musculus lumbrical).
 - Deze spieren moeten met dezelfde pezen op dezelfde plekken verbonden worden met de botten als bij een mens.
- De Range of Motion moet overeenkomen met die van een menselijke hand. Hierbij worden de uitkomsten vergeleken met die van de test van H. Gellman en H. Mckellop.
- De kracht moet overeenkomen met die van een menselijke hand. Daarbij worden de tests van DiDomenico en A. Nussbaum gebruikt.

Materiaal en Methode

Fabricage van botten en gewrichten

Voor het prototype zijn de STL-bestanden gebruikt van het onderzoek van Grayson Galinsky [19], waarbij Grayson Galinsky gebruik heeft gemaakt van het onderzoek van Zhe Xu en Emanuel Todorov [10]. De 3D-modellen (te zien in figuur 8) zijn gemaakt met behulp van de hand van een menselijk kadaver. De botten zijn geheel gelijk aan de menselijke botten, afgezien van het gebruikte materiaal. De botten die zijn uitgeprint voor de wijsvinger zijn (1) de metacarpalum, (2) de phalanx proximalis, (3) de phalanx media en (4) de phalanx distalis. De grootte van de botten zijn respectievelijk: 7,1 cm, 6,4 cm, 3,4 cm en 1,9 cm. De botten zijn 1,25 maal groter dan de botten van de gemiddelde mens, zie de discussie voor de verklaring. De STL-bestanden zijn geprint met de Ultimaker 2+, in PLA.

De botten zijn met elkaar verbonden via een afgeknipt tuitje van een ballon. Het tuitje heeft aan beide einden een gat. In deze gaten worden de botten geplaatst, waardoor de ballon de botten bij elkaar houdt.

Voor de gewrichten zou eigenlijk een siliconen sok gemaakt worden. Dit is eerder gedaan in het onderzoek van Z. Xhu, V. Kumar, Y. Matsuoka en E. Todorov [20]. Hierbij zijn de botten aangepast, zodat ze in meerdere stukken geprint konden worden, zoals in figuur 9 te zien is. Hierdoor konden zij een stalen ring om het bot vastzetten met de siliconen sok en een

chrochet gewrichtsband vastgezet op die stalen ring. X. Zhu en E. Todorov hebben met behulp van een 3D-programma een mal voor de siliconen sok gemaakt. Hoe zij dat precies hebben gedaan en met welk programma wordt echter niet benoemt. Hier wordt op teruggekomen in de discussie.

Fabricage van spieren en pezen

Als actuator is er gekozen voor Pneumatic Artificial Muscles (PAM). De actuator is op de site ‘Soft Robotics Toolkit’ [21] beschreven en in het onderzoek van S. Obiajulu [22]. Bij PAM wordt gebruik gemaakt van luchtdruk om lineaire beweging te creëren. Daar zijn drie (hoofd)onderdelen voor nodig: een ballon (figuur 9: grijs), een gevlochten slang (figuur 9: rood/zwart) en een pomp. De ballon, in samenwerking met de gevlochten slang, zorgt ervoor dat de spier zich samentrekt. In figuur 9a is de PAM-actuator te zien, zonder dat de luchtpomp aan staat. Als de luchtpomp wordt aangezet, zet de ballon zich uit door de luchtdruk. De diameter wordt groter en doordat de buitenkant zich niet op dezelfde wijze kan uitzetten neemt de lengte af, zoals te zien in figuur 9b. De kracht die de kunstmatige spier kan uitoefenen, ligt aan de sterkte van deze drie onderdelen. De pomp moet genoeg luchtdruk kunnen genereren, waarbij de ballon en slang sterk genoeg moeten zijn om niet te knappen. Bij het prototype is gebruikt gemaakt ballonnen, besteld via bol.com [23] en een gevlochten slang van Etsy [24]. Deze producten zijn als losse actuator getest. De test-spier had een totale lengte van 26cm en kon tot 21cm lengte samentrekken zonder weerstand. Dat is een samentrekking van 19,3%. Het is niet te zeggen of dit voldoende is tot het hele prototype in elkaar is gezet. De pezen zijn gemaakt van henneptouw. De uiteinden van het touw zijn aan spijkertjes geknoopt die in de botten zijn bevestigd op de plaatsen waar menselijke pezen aan het bot vastzitten. De andere uiteinden zijn bevestigd aan de spieren. Om de weerstand te verminderen zitten de pezen in holle plastic buisjes. Alle zes spieren die nodig zijn om een menselijke vinger te bewegen (zie: spieren en pezen in de wijsvinger) zijn te vinden in het prototype. De uiteinden van de spieren zijn aan de testopstelling vastgemaakt.

Fabricage van het besturingssysteem

Om de vinger te besturen is een systeem gecreëerd dat de lucht naar de verscheidene spieren leidt, zoals te zien in figuur 11. De hoofdleidingen (geel; figuur 11) zijn in één keer geprint, waarnaast de luchtschakelaren (paars; figuur 11) zes keer apart zijn geprint. De onderdelen moeten namelijk kunnen bewegen. Deze onderdelen zijn aan elkaar bevestigd met zes bouten en moeren die door de gaten (1) passen. Er is aan de binnenkant van beide onderdelen rubber van een binnenband geplakt om het luchtdicht te maken.

In het gele onderdeel zitten alle luchtwegen. De spieren worden aan gat (2) aangesloten, gat (3) aan de compressor en gat (4) is een uitgang voor de perslucht. Het gat (2) is verbonden aan het tegenoverliggende gat (5). Gat (3) is met alle gaten (6) verbonden. Elk gat (4) is aangesloten aan een corresponderend gat (7).

Het paarse onderdeel maakt het schakelen tussen perslucht in de spier en uit de spier mogelijk. De groef (8) verbindt, wanneer hij naar de kant met de compressor wordt gekanteld, gat (5) met gat (6). Dan loopt perslucht in de spier. De groef (8) verbindt wanneer hij naar de andere kant wordt gekanteld gat (5) met gat (7). Hierdoor loopt de perslucht uit de spier.

Testen

Om te testen in hoeverre het prototype aan de doelen voldoet worden de volgende testen uitgevoerd:

Overeenkomst test

Om te bepalen of de robot qua onderdelen overeenkomt met een menselijke hand, worden ze vergeleken. De in de theorie genoemde onderdelen worden allemaal aangewezen in het prototype.

Range of Motion test

Om te bepalen of de bewegingen van de robot lijken op menselijke bewegingen, wordt de Range Of Motion gebruikt. In de theorie staat de Range of Motion van een menselijke hand. Deze wordt op dezelfde manier bepaald als de onderzoekers van wie de gegevens gebruikt worden. Een goniometer wordt naast de vinger gehouden en deze wordt vervolgens afgelezen. Elk gewricht wordt op zijn beurt getest door eerst de samentrekkende spieren en daarna de strekkende spieren aan te sturen. Hierdoor kan worden bepaald hoe groot de hoek is bij de gestrekte positie (hoek = 0°) en de samengetrokken positie.

Kracht test

Om te meten of de prestatie van de robot die van een menselijke hand nadert, worden twee krachttesten gedaan. De gemeten kracht wordt vergeleken met geschatte waarden uit het onderzoek van DiDomenico en Nussbaum die in de theorie zijn benoemd. De uitvoering van de krachtmeting wordt op dezelfde manier gedaan als in dat onderzoek. De krachten worden in Newton omgezet, zoals in het onderzoek wordt gedaan. Drukkracht: De drukkracht wordt gemeten door de vinger gestrekt te houden met een touw vast aan de top van de vinger zoals in figuur 12.1. Aan het touwtje komt een massa te hangen, in dit geval een waterfles (mw). Er wordt bijgehouden bij welke massa de vinger zichzelf in een rechte positie kan houden. Deze massa wordt omgerekend naar kracht. Trekkracht: De trekkracht wordt gemeten door de vinger 90° te buigen, zoals te zien in figuur 12.2. Vervolgens wordt net zoals bij de trekkracht een touw aan de top van de vinger vastgemaakt en hier een gewicht aan gehangen. Hier wordt ook gekeken bij welke gewichten de vinger het gewicht op een constante positie kan houden.

Testen en resultaten

Overeenkomst test

In figuur 13.1 is te zien dat de metacarpalum (MC), de phalanx proximalis (PP), de phalanx media (MP) en de phalanx distalis (DP) aanwezig zijn in het prototype.

In figuur 13.2 is het besturingssysteem te zien en de zes spieren die qua plaats overeenkomen met de spieren in een menselijke vinger. Spier (1) en (6) komen overeen met de dorsal en palmar interossei. Spier (2) heeft dezelfde plaatsing en werking als de flexor digitorum superficialis (1). Spier (3) moet de musculus lumbricalus in functie overnemen. Spier (4) komt overeen met de flexor digitorum profundus (2) en spier (5) met de extensor indicis. Iedere spier heeft zijn bijbehorende pees, die ieders op de bijbehorende plek zijn vastgezet op het bot.

Range of Motion test

Van alle gewichten is de Range of Motion in graden gemeten. Zie tabel 1.

Krachttest

Drukkracht: Het doel was om een gelijkende kracht te kunnen uitoefenen als een menselijke hand. De menselijke vinger kan een kracht van gemiddeld 43,05N [18] uitoefenen, met een standaarddeviatie van 18,43N. Het doel is om minimaal 25N aan kracht te kunnen uitoefenen, het punt waarop de vinger gelijk is aan een zwakkere menselijke hand (maar nog wel binnen de gemiddelde groep). De massa is de massa van het gewicht dat aan het prototype gehangen is. Deze massa is vervolgens in kracht omgerekend. Zie tabel 2.

Trekkracht: Het doel was om een gelijkende kracht te kunnen uitoefenen als een menselijke hand. De menselijke vinger kan een kracht van gemiddeld 60,09N [18] uitoefenen, met een standaarddeviatie van 25,24N. Het doel is om minimaal 35N aan kracht te kunnen uitoefenen, het punt waarop de vinger gelijk is aan een zwakkere menselijke hand (maar nog wel binnen de gemiddelde groep). De massa is de massa van het gewicht dat aan het prototype gehangen is. Deze massa is vervolgens in kracht omgerekend. Zie tabel 3.

Conclusie

Het doel van dit onderzoek was om een robotische antropomorfe vinger te fabriceren. Het doel dat alle botten en spieren en pezen aanwezig zijn is gehaald. In het prototype zijn de metacarpalum, de phalanx proximalis, de phalanx media en de phalanx distalis (de botten) aan te wijzen. Alle spieren (de flexor digitorum superficialis, de flexor digitorum profundus, de extensor indicis, de musculus dorsal interosseous, de musculus palmar interosseous en de musculus lumbrical) zijn aanwezig. Ze zijn met pezen aangesloten op dezelfde plekken aan spieren als in de menselijke vinger.

De beweging van het prototype is niet gelijkend met het doel. Het heeft een veel kleinere Range Of Motion. De totale maximale hoek die een vinger kan maken is 290° en het prototype haalde een hoek van 60°. Het prototype moest ook een gelijke prestatie kunnen neerzetten als die van een menselijke hand. Het doel om een trekkracht te leveren van minstens 35N, is met een maximale kracht van 0,353N niet gehaald. De drukkracht met een maximale kracht van 0,392N, komt ook niet in de buurt van het doel van minstens 25N.

Discussie

Bij het ontwerpen van de hand is gekeken naar de aanwezigheid van onderdelen en de presentatie. Om antropomorf te zijn heeft de robot dezelfde onderdelen nodig als een menselijke hand. De belangrijkste onderdelen zijn de botten, gewrichten, spieren en pezen. Deze komen terug in het prototype. De huid is hierbij verwaarloosd, omdat deze geen significante functie heeft bij het maken van de bewegingen. De doelen die gericht waren op prestatie zijn vergeleken met algemeen aanvaarde waarden uit gepubliceerd onderzoek. Hierbij zijn de Range of Motion en de krachtlevering als belangrijkste meetwaarden van de prestatie van het prototype en de hand gekozen, omdat deze direct door de werking van de botten, gewrichten, spieren en pezen beïnvloed worden.

Aanvankelijk werd de eis gesteld dat het prototype na een uur lang functioneren dezelfde samenstelling en prestatie moest kunnen behouden. Dat zou getest worden in de duurttest. In deze test zou het prototype gedurende een uur worden bewogen. De beelden van hoe het prototype in het begin bewoog zouden vergeleken worden met beelden van hoe het na

een uur bewoog. Het prototype zou de test hebben doorstaan als er geen tot weinig verschillen waren tussen de beelden van vóór de test en ná de test. Daarnaast zou de krachttest herhaald worden om te kijken of het prototype de krachtdoelen nog steeds haalde. Bij het testen werd duidelijk dat dit onhaalbaar was. Als het prototype bij de eerste testen de krachtdoelen niet haalt, zal die deze na een uur nog steeds niet halen. Daarom is deze test niet uitgevoerd en is de eis weggehaald bij de theorie en de test weggehaald bij materiaal en methode.

Bij het testen van de bewegingshoeken is er gebruik gemaakt van een goniometer, die naast de vinger wordt gelegd en afgelezen wordt. De goniometer die is gebruikt had echter geen gradencirkel, en deze werd dus na het vaststellen van de hoek met een geodriehoek opgemeten. De hoek kan iets verschoven zijn terwijl de goniometer van de vinger af is gehaald en op de geodriehoek is geplaatst. Deze verschuiving zal een paar graden zijn geweest, wat het minder betrouwbaar maakt. Dit maakt de resultaten niet invalide, omdat ook de bewegingshoeken van menselijke handen met een paar graden verschillen. Daarnaast kan het verschil van 230° niet te wijten zijn aan deze afwijking van maximaal 10°.

In de krachttesten is er gebruik gemaakt van een waterflesje met een bepaalde hoeveelheid water en een weegschaal om de verschillende hoeveelheden gewicht te testen. Tijdens het wegen viel op dat de weegschaal alleen gewichten aangaf om de 2 gram. Het lijkt dus zo te zijn dat de weegschaal maar tot 2 gram nauwkeurig is. Dit was niet op de weegschaal vermeld. Dit betekent dat er een grote foutmarge is in de meetresultaten, en dat de max kracht die is uitgeoefend met ±0,02N afwijkt. Dit lijkt niet significant, maar omdat de resultaten onder de 0,4N uitvallen, worden de uitkomsten toch onbetrouwbaar. Het verschil tussen de gemeten kracht en de kracht waarnaar gestreefd werd is wel zo groot dat een afwijking van ±0,02N insignificant is. Hierdoor zijn de resultaten wel valide en kan geconcludeerd worden dat het streven niet behaald is.

Tijdens het uitvoeren van de trekkrachttest knapte de ballon van de flexor digitorum profundus. Vermoedelijk kwam dit door te veel luchtdruk dat op de kleine opening kwam te staan. Dit kan een volgende keer voorkomen worden door om de tuit van de ballon ook nog een extra bout of elastieken band te bevestigen, om zo de druk op die plek op te vangen.

De actuator is daarnaast gemaakt van een modellerballon in een buis van kunststof gaas. Bij het aanschaffen van deze producten hebben levertijd en kosten een grote rol gespeeld. Er zijn betere ballonnen en gazen buizen te vinden. Bij vervolgonderzoek kunnen andere ballonnen en gazen buizen getest worden op kracht en uithoudingsvermogen. Zo kunnen beter onderbouwde keuzes gemaakt worden, die kunnen leiden tot spieren met meer krachtlevering en samentrekking.

De vinger bewoog stroef, omdat de pezen wrijving ondervonden. Het laatste kootje kon niet ombuigen. Een dunner gladder touw zou een oplossing kunnen zijn en er zou geëxperimenteerd kunnen worden met het gebruik van vloeistoffen rondom de vinger om wrijving te elimineren. Dit zou een vervolgonderzoek vergen. Er zouden testen naar de weerstand bij verschillende pezen gedaan kunnen worden. Dit zou kunnen door de spieren te vervangen met veren en uitrekking van de veren te meten. Hiermee zou bepaald kunnen worden wat de weerstand van de pezen is.

Bij het 3D printen zijn er problemen ontstaan. De 3D printer Ultimaker 2+ is gebruikt. Bij het printen van de botten bleef er steunmateriaal achter op het scharnieroppervlak. Er is een

poging gedaan om het glad te maken met schuurpapier, maar er bleven oneffenheden op de botten. Hierdoor konden de botten niet soepel over elkaar heen scharnieren, waardoor de spieren nog meer kracht moesten leveren. Het is niet te bepalen hoe de oneffenheden de beweging precies hebben beïnvloed. Vermoedelijk is dat deel van de reden dat het laatste kootje niet om kon buigen. Daarnaast is er gekozen om de afmetingen van de botten, verkregen uit de bron, niet aan te passen naar het menselijk gemiddelde. Door de vergroting van 1.25x te behouden is de vinger groter, maar het is vooral praktischer om mee te werken.

Bij het printen van het besturingssysteem trok het plastic krom door de hitte van de 3D-printer. Hierdoor passen de onderdelen niet perfect op elkaar en kon lucht ontsnappen. De luchtdruk is lager en er wordt minder kracht gezet. Het trok hoogstwaarschijnlijk krom, doordat het besturingssysteem een relatief grote oppervlakte heeft voor een printstuk. Het is deels opgelost door een rubberen tussenstuk te gebruiken, in een poging het luchtdicht te maken. Volgende keer zou gebruik gemaakt kunnen worden van kleinere onderdelen, en deze zouden eventueel later aan elkaar worden bevestigd. Toch bestaat altijd het gevaar, dat een onderdeel krom trekt.

De PAM-actuator trekt samen met behulp van luchtdruk. Om deze luchtdruk te leveren is een compressor gebruikt. De geleverde druk kon weinig vermeld worden. Met een compressor met meer vermogen kan meer luchtdruk worden geleverd. Een hogere luchtdruk betekent dat de PAM-actuatoren sneller kunnen samentrekken en er vermoedelijk meer kracht gezet kan worden.

Er zijn alternatieve actuatoren langsgekomen zoals de HASEL-actuator die in werking overeen kwamen met menselijke spieren. Deze actuator kan zeer gecontroleerd samentrekken, wat perfect zou zijn voor dit ontwerp. Deze actuator heeft een zeer grote spanning nodig (>6 kV), wat het te gevaarlijk maakt om mee te testen. Daarnaast zou de fabricage van deze actuator meer tijd in beslag nemen dan de PAM-actuator.

De vinger wordt bestuurd met een zelfgemaakt besturingssysteem. Er zijn roterende schakelaren om de luchtrichting en luchtdruk te regelen. Het besturen van de vinger is nu mensenwerk. De vinger wordt beïnvloed door hoe de bestuurder met het besturingssysteem omgaat. Bij een vervolgonderzoek, zou een elektronisch besturingssysteem ontworpen kunnen worden met als doel de schakelaren te elimineren en zo gevaar op weggelopen lucht te voorkomen.

De testen waren betrouwbaar en valide genoeg om de conclusie te trekken. Echter is er nog ruimte voor verbetering bij het ontwerpen van het prototype. Achteraf gezien was de combinatie van doelen onhaalbaar met de aanwezige middelen en tijd. Aangezien de combinatie nooit eerder gemaakt is, kon verwacht worden dat het een uitdaging zou zijn, maar toch is gekozen de uitdaging aan te gaan. Door de samenstelling van het prototype in zeer specifieke eisen vast te leggen, werden de eisen die gesteld werden aan de prestatie onrealistisch. Doordat slechts één ontwerpicyclus werd uitgevoerd, konden de resultaten niet verwerkt worden in een nieuw ontwerp. Met vervolgonderzoek en mogelijk een groter budget kan het mogelijk zijn om een antropomorfe robotische vinger te maken.

Bibliografie

[1] Cambridge University Press, „Cambridge Dictionary,” Cambridge University Press, 2020. [Online].

Available: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/robot>. [Geopend 2 Februari 2020].

[2] Oxford Economics, „How Robots Change the World,” Oxford Economics, Oxford, 2019.

[3] A. Kupferberg, S. Glasauer, M. Huber, M. Rickert, A. Knoll en T. Brandt, „Biological movement increases acceptance of humanoid robots as human partners in motor interaction,” *AI & SOCIETY*, vol. I, nr. 26, p. 339–345, 2011.

[4] D. G. McGavin, „The incredible human hand and foot,” *BBC*, 18 Februari 2014.

[5] C.Lashi, B. Mazzolai en M.Cianchetti, „Soft robotics: Technologies and systems pushing,” *Sci. Robo*, vol. I, nr. 1, 2016.

[6] R. Scharff, „Soft Robotics,” Faculty of Industrial Design Engineering, [Online]. Available: <https://www.tudelift.nl/en/ide/research/research-labs/foundational-labs/soft-robotics/>. [Geopend 14 december 2019].

[7] M. Mukhtar, E. Akyürek, T. Kalganova en N. Lesne, „Control of 3D Printed Ambidextrous Robot Hand Actuated by Pneumatic Artificial Muscles,” 2015.

[8] M. Faraj, N. Azlan en M. H. Alsibai, „Development of anthropomorphic robotic hand driven by Pneumatic Artificial Muscles for robotic applications,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.

[9] M. Tavakoli, A. Sayuk en J. Lourenço, „Anthropomorphic finger for grasping applications: 3D printed endoskeleton in a soft skin,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, nr. 91, p. 2607–2620, 2017.

[10] Z. Xu en E. Todorov, „Design of a Highly Biomimetic Anthropomorphic Robotic Hand towards Artificial Limb Regeneration,” *IEEE*, Stockholm, Sweden, 2016.

[11] A. Buryanov en V. Kotiuk, „Proportions of Hand Segments,” *Int. J. Morphol.*, vol. III, nr. 28, pp. 755-758, 2010.

[12] Ilsebo, „De anatomie van de hand,” *Infonu*, 25 Februari 2011. [Online]. Available: <https://wetenschap.infonu.nl/anatomie/36174-de-anatomie-van-de-hand.html>. [Geopend 27 September 2019].

[13] S. Panchal-Kildare en K. Malone, „Skeletal Anatomy of the Hand,” *The Hand Clinic*, vol. 29, nr. 14, pp. 459-471, 2013.

[14] A. D. Deshpande, Z. Xu, M. J. V. Weghe, B. H. Brown, J. Ko en L. Y. Chang, „Mechanisms of the Anatomically Correct Testbed,” *IEEE*, vol. 18, nr. 1, pp. 238-250, 2013 .

[15] H. Gellman en H. McKellop, „Functional range of motion of the joints of the hand,” *The Journal Of Hand Surgery*, vol. 15, nr. 2, pp. 240-243, 1990.

[16] D. Hu, L. Run en D. Howard, „Biomechanical Analysis of the Human Finger Extensor Mechanism during,” *PLoS ONE*, vol. 9, nr. 4, p. 10, 2014.

[17] T. Barclay, „Muscles of the Hand and Wrist,” 16 juli 2019. [Online]. Available: https://www.innerbody.com/image_skel13/ligm27.html.

[18] A. DiDomenico en M. A. Nussbaum, „Measurement and prediction of single and multi-digit finger strength,” *Ergonomics*, vol. 15, nr. 46, pp. 1531-1548, 2010.

[19] G. Galinsky, „3d printed biomimetic robotic prosthetic hand,” 10 Juni 2017. [Online]. Available: <https://pinshape.com/items/36355-3d-printed-biomimetic-robotic-prosthetic-hand>.

[20] Z. Xu, V. Kumar, Y. Matsuoka en E. Todorov, „Design of an Anthropomorphic Robotic Finger,” in *Biomedical*

Robotics and Biomechatronics, Rome, Italië, 2012.

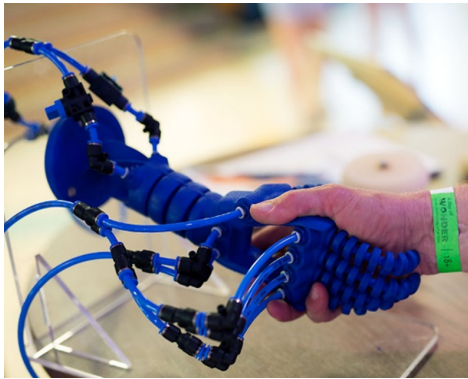
[21] E. Roche, „Pneumatic Artificial Muscles,” [Online]. Available: <https://softroboticstoolkit.com/book/pneumatic-artificial-muscles>. [Geopend 23 november 2019].

[22] S. Obiajulu, „Soft Pneumatic Artificial Muscles with Low Threshold Pressures for a Cardiac,” *Massachusetts Institute of Technology*, Massachusetts, 2013.

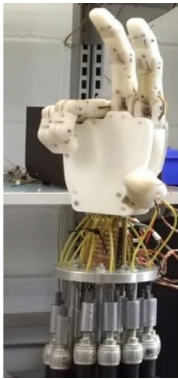
[23] Shoppartners, „Witte modeller ballonnen 25 stuks,” *bol.com*, 1999. [Online]. Available: https://www.bol.com/nl/p/witte-modeller-ballonnen-25-stuks/9200000073687911/?bltgh=IHoafuaq0uESIf-A-8JIwA.1_4.8.ProductTitle#product_specifications. [Geopend 30 Januari 2020].

[24] WISHsupplies, „2,7 yards/2,5m Mesh Tube, Plastic Net Thread Cord, Nylon Mesh Tubing, Jewellery Making S 40 165 8mm,” *Etsy*, 2020. [Online]. Available: <https://www.etsy.com/ca/listing/492366898/27-yards25m-mesh-tube-plastic-net-thread>. [Geopend 30 Januari 2020].

[25] S. R. Toolkit, Artist, Smart Braid Soft Self Sensing Pneumatic Artificial Muscles. [Art]. Soft Robotic Toolkit, 2018.



Figuur 1: De robohand van Rob Scharff [6]



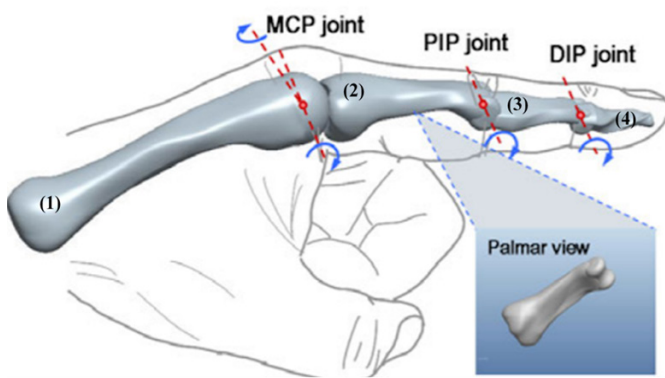
Figuur 2: Robot hand met PAM-actuatoren [8]



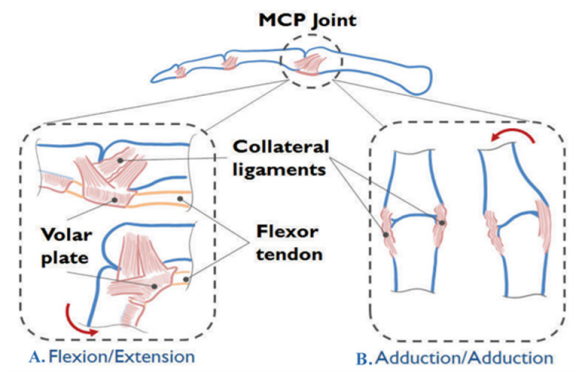
Figuur 3: Antropomorfe vingers [4]



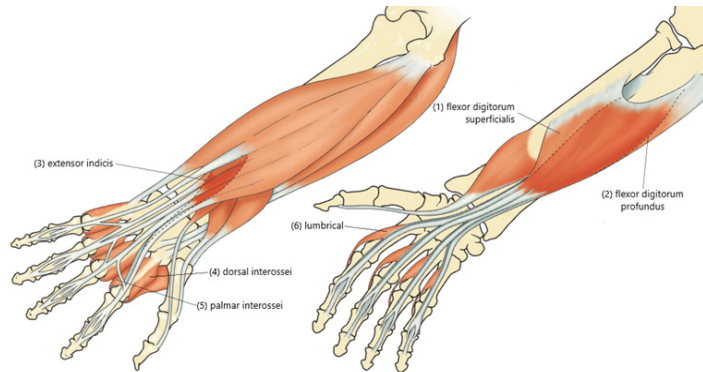
Figuur 4: Antropomorfe robotische hand van Xu en Todorov [10]



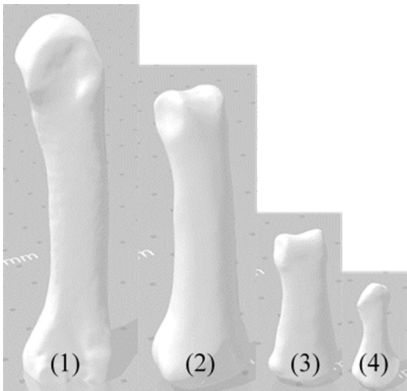
Figuur 5: 3D-model van een laser-gescande wijsvinger [10]



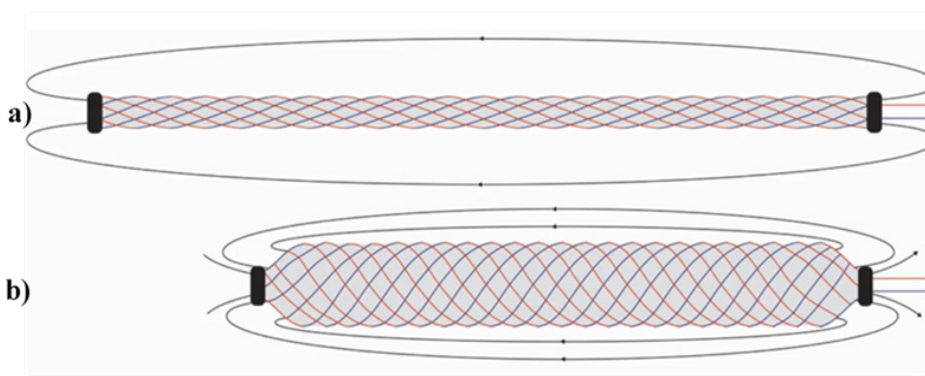
Figuur 6: Schematische weergave van de functie van de collateral ligaments en volar plate in het MCP-gewricht [10]



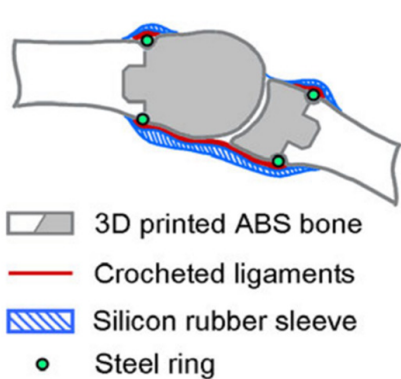
Figuur 7: De spieren verantwoordelijk voor de bewegingen van de wijsvinger [12]



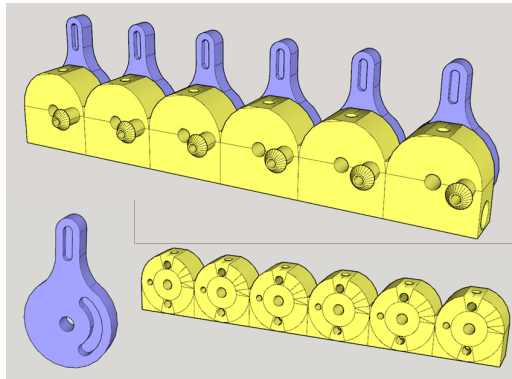
Figuur 8: STL-bestanden van de botten in de wijsvinger



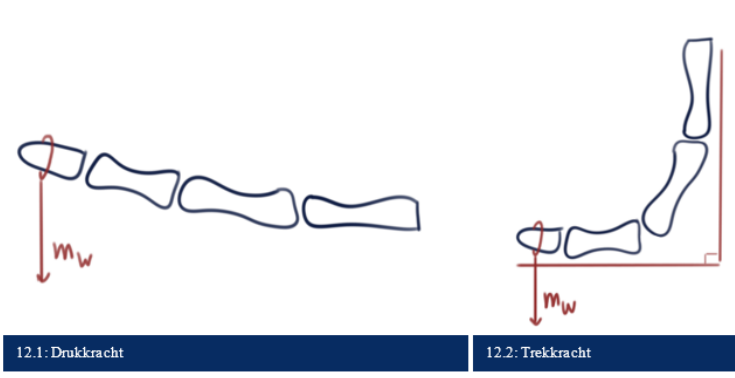
Figuur 10: werking PAM-actuatoren [21]



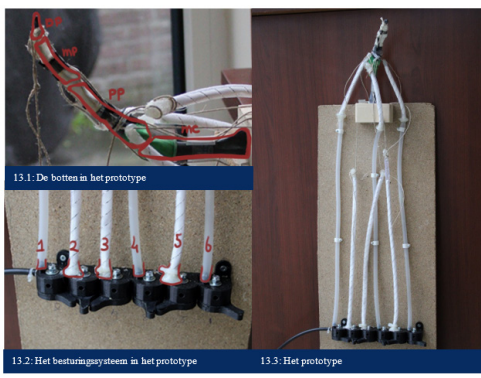
Figuur 9: Siliconen sok van X. Zhu, V. Kumar, Y. Matsuoka en E. Todorov [20]



Figuur 11: Het besturingssysteem (boven het gehele systeem en onder de losse delen bijgedraaid)



Figuur 12: Schematische tekening van de testopstellingen



Figuur 13: Onderdelen van het prototype

TABEL 1: RANGE OF MOTION		
Gewricht	ROM van een menselijke vinger (graden) [15]	ROM van het prototype (graden)
MCP	0-100	0-44
PIP	0-105	0-16
DIP	0-85	0-0*
Totaal	0-290	0-60

*het DIP-gewricht kon niet worden bewogen, zie discussie

TABEL 2: DRUKKRACHT		
Massa (gram)	Kracht (Newton)	Voldoet/voldoet niet
20	0,196	Wel
30	0,294	Wel
40	0,392	Wel
42	-	Niet: de vinger buigt om. *
44	-	Niet: de vinger buigt om.
50	-	Niet: de vinger buigt om

*de vinger buigt om bij 42 gram, hoewel als deze met de vinger aan de achterkant wordt gesteund (de functie van een gewrichtsband) kan deze het gewicht wél houden.

TABEL 3: TREKKKRACHT		
Massa (gram)	Kracht (Newton)	Voldoet/voldoet niet
20	0,196 N	Wel
30	0,294 N	Wel
34	0,333 N	Wel
36	0,353 N	Wel
38	-	Niet: de vinger buigt om.
40	-	Niet: de vinger buigt om.

Het effect op de CO₂-uitstoot als Nederland gaat rijden op waterstof

Het gebruik van waterstof in het vervoer in Nederland

Anne Kolk¹, Yuri ter Denge², L. Weedage³, P. Vos¹, L. Brenneisen², Enzo Meijer³

¹Lyceum de Grundel, Hengelo

²Bataafs Lyceum, Hengelo

³Afdeling Pre-U-, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - The main goal of this study was to gain more knowledge of the effect on the CO₂-emissions if The Netherlands would use the vehicles on hydrogen fuel, instead of fossil fuels. As a starting point, we used previous studies by W. Hoogenraad (2004) and T. Lambrechts (2008) about the possibilities of using hydrogen as an energy carrier in vehicles. These studies showed the potentials of hydrogen, but did not give an answer to the following question: If hydrogen was used as an energy carrier in vehicles in the Netherlands, what would the effect be on the CO₂-emissions in 10 years?

The main question is answered by answering two sub-questions: Which vehicle should be implemented to reduce the CO₂ emissions as much as possible and which form of hydrogen production should this country use to produce the most hydrogen with the least CO₂-emissions? The questions have been answered by literature research and informing companies.

The results show that the Netherlands should implement buses from the company Van Hool and make hydrogen with electrolysis, using wind energy. This bus already drives in The Netherlands and because of the range and the time it takes to tank, it would not make a difference with the buses which drive today.

If all buses would be replaced with buses on hydrogen fuel by 2030, it would reduce the CO₂-emissions with 2,7%. Furthermore, the emissions caused by cars could reduce, because taking the bus would be a good alternative for traveling in the city. Results also show that there lie a lot of chances in the hydrogen-business, by combining elements in the production of hydrogen.

Inleiding

Het merendeel van het vervoer in Nederland rijdt tegenwoordig nog altijd op fossiele brandstoffen. Dit draagt bij aan de toenemende CO₂-uitstoot en als gevolg daarvan aan de klimaatverandering en het broeikas-effect (Lorraine Whitmarsh, 2010). Men kan kiezen voor een alternatieve vorm van energie of blijven bij het gebruik van fossiele brandstoffen, maar deze raken op. Om deze reden moet er wel een andere manier van energieopwekking gevonden worden. Waterstof kan hiervoor de oplossing zijn, aangezien er de laatste tijd steeds vaker ontwikkelingen zijn in de branche van de waterstofauto en waterstofbus. De CO₂-uitstoot in Nederland wordt niet alleen veroorzaakt door voertuigen, maar wel voor een deel en door deze voertuigen te vervangen voor een waterstofvariant zou de CO₂-uitstoot aanzienlijk kunnen slinken. Tegenwoordig wordt er slechts in kleine mate waterstof geproduceerd voor voertuigen aangezien het gebruik van waterstof op dit moment nog niet zo ver ontwikkeld is als het gebruik van benzine, diesel of elektriciteit voor het transport. De potentie van waterstof is echter groot aangezien het rendement van een waterstofmotor in een auto nog kan worden verhoogd, wat zorgt voor meer energie per waterstofmolecuul en als gevolg daarvan voor een grotere afstand per volle tank. Dit maakt waterstof aantrekkelijk, maar waarom wordt dit dan nog niet veelvuldig toegepast? In dit onderzoek wordt onder andere naar deze vraag gekeken. Echter is dat niet het belangrijkste van dit onderzoek, want een vermindering van de CO₂-uitstoot van voertuigen in Nederland is het doel. Hierbij wordt gekeken naar efficiënte en schone vormen van waterstofproductie waarmee de uitstoot van koolstofdioxide door het vervoer in Nederland fors kan worden verminderd. Doordat waterstof een nieuw energieproduct is als alternatief voor fossiele brandstoffen, worden er steeds betere vormen van productieprocessen gevonden, die efficiënter zijn. Daar moet in dit onderzoek rekening mee worden gehouden

opdat de efficiëntste en wellicht de nieuwste methode van waterstofproductie zal worden gebruikt.

Theoretisch kader

Waterstof

Bij dit onderzoek naar waterstof in het vervoer in Nederland is het belangrijk te begrijpen wat waterstof is. Bewust of onbewust komt iedereen dagelijks in contact met waterstof. Het is immers het hoofdbestanddeel van water. Waterstofatomen vertegenwoordigen 90% van alle atomen en 75% van alle massa in het heelal (Lambrechts, 2008). Ondanks dit is het dagelijks contact met waterstof bij het grote publiek nog niet bekend (Lambrechts, 2008). Deze onwetendheid is hoofdzakelijk te wijten aan het feit dat waterstof op aarde steeds gebonden is aan andere atomen in de vorm van moleculen.

Een van de eerste toepassingen van waterstof was het gebruik in verkenningsluchtballonnen (Rifkin, 2002). De meeste mensen denken bij waterstofgebruik met deze luchtballonnen aan de beruchte ramp met de Hindenburg in Lakehurst, New Jersey in 1937, waarbij een grote hoeveelheid waterstofgas ontbrandde en 37 mensen omkwamen. De meeste slachtoffers overleden door de val of door brandwonden van de brandstof die werd gebruikt voor de aandrijving van de zeppelin. Bovendien werd de explosie veroorzaakt door een combinatie van slecht weer in combinatie met de hoogst brandbare stof die gebruikt werd om de zeppelin dicht te maken. Zo is er bij het grote publiek een verkeerd beeld ontstaan over de veiligheid van waterstof (Lambrechts, 2008).

Waterstof raakte door de ramp met de Hindenburg in diskrediet, ondanks dat het een groot potentieel had, maar in de industrie werd en wordt het nog volop gebruikt. In tegenstelling tot wat de mensen denken is waterstof geen energiebron maar een energiedrager, zoals elektriciteit. Waterstof mag dan overal terug te vinden zijn, toch is het op aarde zeldzaam in

zuivere vorm (Rifkin, 2002). Scheikundig gezien is waterstof een atoom dat in de natuur voorkomt als 2-atomig molecuul, bekend als H₂. Aangezien waterstof (H) het kleinste element is in het periodiek systeem, is H₂ tevens het lichtste gas.

Waterstofatomen zijn bijna altijd gebonden aan andere atomen (zoals aan zuurstofatomen in water), doordat ze reactief zijn. Om waterstof te kunnen gebruiken als energievoorzienaar moet deze stoffen daarom ontleed worden, opdat de gewonnen waterstof op een efficiënte manier via een brandstofcel omgezet kan worden in elektriciteit.

Om een conclusie uit het onderzoek te halen moeten bepaalde zaken duidelijk worden verwoord, zoals duurzaamheid. Voor duurzaamheid worden namelijk verschillende betekenissen gebruikt, die elk het woord net een andere betekenis geven. Voor dit onderzoek wordt als betekenis van duurzaamheid dat van het Brundtland-rapport (Verenigde Naties, 1987) genomen: *“Sustainable development is development that meets the need for the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.” (Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling waarbij de huidige wereldbevolking in haar behoeften voorziet zonder de komende generaties te beperken om in hun behoeften te voorzien.)*

Bij deze definitie wordt niet op de gehele ‘future generations’ gefocust, maar, zoals in dit onderzoek bedoeld is, slechts de toekomst in Nederland. Wederom kan aan deze betekenis de term ‘future generations’ worden verduidelijkt: over welke periode iets duurzaam moet zijn wordt namelijk niet gesteld, en over het algemeen is een lange periode zoals langer dan een eeuw bijna niet te meten: er zouden dan grote veranderingen hebben kunnen plaatsvinden, die invloed hebben gehad op de duurzaamheid van een product.

Waterstof voor het gebruik in transport heeft zowel voor- als tegenstanders, beiden met argumenten die voor hun visie pleiten. Waterstof heeft namelijk aan de ene kant voordelen, maar is nog erg nieuw als energiedrager in het vervoer. In vergelijking met brandstoffen die tegenwoordig veelvuldig gebruikt worden, lijkt waterstof een goede vervanger vanwege meerdere voordelen. Zo is waterstof overal te vinden, daarom is het theoretisch gezien duurzaam; het kan niet opraken. Wel is het probleem dat waterstof amper in zuivere vorm te vinden is en moet het worden geproduceerd.

Het produceren van waterstof, wat zowel op milieuvriendelijke als -schadelijke manier kan worden gedaan, namelijk met hulp van wind- of zonne-energie, is duurzaam. Wind en zonlicht raken niet op, maar economisch gezien is het niet duurzaam: de energie die te halen is uit windmolens en zonnepanelen is op het moment nog lang niet genoeg om waterstof te produceren voor alle voertuigen in Nederland. Dit komt mede door de lage inhoudelijke energie van waterstof: want alhoewel een kilogram waterstof meer energie levert dan een kilogram benzine zorgt de lage dichtheid van waterstof voor een significant groter volume waterstof om aan een kilogram te komen (Mazloomi & Gomes, 2012). Dit maakt de transportatie van waterstof naar waterstofstations weer duurder.

De al eerdergenoemde Hindenburg-ramp kan mensen achterdochtig maken over het gebruik van waterstof, is dit namelijk wel veilig? Waterstof heeft namelijk een lagere ontstekingsenergie dan benzine (0,02 MJ per liter tegenover 0,26 MJ per liter) en is om deze reden labieler. De Hindenburg-ramp is echter een voorbeeld van onveilig gebruik van

waterstof en de onwetendheid van de gevaren die op de kust liggen als waterstof onjuist wordt ingezet. Deze zeppelin was namelijk bestemd om op helium te vliegen, maar wegens de politieke verhoudingen tussen Duitsland, het land waar de zeppelin afkomstig van was, en de Verenigde Staten, het land dat helium zou leveren en West-Europa, dat langzaam maar steeds meer in conflict met nazi-Duitsland kwam, werd door de Verenigde Staten geen helium geleverd aan Duitsland voor de zeppelin. Als gevolg liet men deze zeppelin, ondanks de gevaren die scholen bij een zo grote zeppelin, net als zijn kleinere voorgangers op waterstof vliegen. Wel zorgt de lage dichtheid van waterstof ervoor dat het snel verdwijnt in de atmosfeer, wat iets bijdraagt aan de veiligheid van waterstof. Op het moment zouden er nog meerdere aanpassingen moeten worden gemaakt om het gebruik van waterstof veilig te maken. Denk hierbij aan hittedetectoren (in geval van ontsteking, en in het algemeen, zijn waterstofvlammen moeilijk te zien met het blote oog) (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, z.j.), veilige systemen voor waterstofgebruik (sommige metalen worden in aanraking met waterstof namelijk broos, wat voor lekkages en bijgevolg voor gevaren kan zorgen) en een manier waarmee een lekkage gevonden kan worden.

Er is vernieuwing nodig om waterstof in te voeren in de mobiliteit. Dit is te zien op het gebied van tankstations: het bouwen van een tankstation waar je waterstof kan tanken is niet goedkoop, rond de 1,5 miljoen euro (Algemeen Dagblad, 2019). De ruim 4.000 tankstations (Tankpro, 2018) in Nederland zouden samen ruim 6 miljard, wellicht nog meer, aangezien niet elk station evenveel pompen heeft, nodig hebben voor de volledige vervanging van tankstation naar waterstofstation.

Probleemstelling

Het doel van dit onderzoek is om het effect op de CO₂-uitstoot in Nederland, over een tijdspad van 10 jaar, tot 2030, als Nederland waterstof als energiedrager zou gebruiken in de vervoermiddelen, te onderzoeken en hierover tot een advies aangaande de inzet hiervan te komen. Er zijn twee deelvragen met daarbij verschillende onderzoeksvragen opgesteld, die hieronder kort beschreven zijn. Door deze deelvragen te beantwoorden is de hoofdvraag te beantwoorden. De hoofdvraag is:

Hoofdvraag: *Welk vervoermiddel en welke vorm van waterstofproductie moet Nederland inzetten, als waterstof als energiedrager gebruikt zou worden, voor het grootste effect op de CO₂-uitstoot in 10 jaar?*

Deelvraag 1: *Welk vervoermiddel op waterstof moet worden ingezet in Nederland om de CO₂-uitstoot zo laag mogelijk te maken?*

Doordat de deelvraag ingaat op de CO₂-uitstoot kan goed worden gekeken naar de grotere vervuiler in het Nederlandse vervoer, de lijnbus of de auto. Hiervoor moet echter wel worden gekeken naar de onderzoeksvragen, opdat de mogelijkheid van een vervanging naar waterstof goed mogelijk is. Allereerst is het belangrijk de CO₂-uitstoot te achterhalen, en dit is de eerste onderzoeksvraag van de eerste deelvraag: wat is de huidige CO₂-uitstoot in Nederland per jaar? Hierbij wordt specifiek gekeken naar een overzicht van de huidige situatie, wat betreft de CO₂-uitstoot door lijnbussen en auto's. Vragen die hierbij zullen worden beantwoord zijn het aantal rijdende Nederlandse voertuigen in Nederland, het aantal gereden kilometers in Nederland van deze Nederlandse voertuigen in één jaar (voor

dit onderzoek zijn cijfers uit 2017 gekozen, de meest recent mogelijke feiten van het CBS) en de CO₂-uitstoot van al deze voertuigen die in het gekozen jaar vrijkwamen. Het is belangrijk te weten hoeveel potentie de waterstofauto en -bus op de Nederlandse markt hebben. De tweede onderzoeksvraag richt zich op welke modellen het beste passen bij de initiatieven rondom het gebruik van waterstof in het vervoer: Wat is de huidige markt van bussen en auto's op waterstof in Nederland? Een belangrijk onderwerp hierbij is het productieproces, waarbij de CO₂-uitstoot wordt vergeleken. Een specifieke vraag die hierbij zal worden beantwoord is welke modellen van auto's en bussen op waterstof er anno 2019 in Nederland beschikbaar zijn. Als laatste moet voor de eerste deelvraag bepaald worden wat de vervangingstijd zal zijn naar een waterstofvoertuig. Bij deze vraag wordt er gekeken naar de tijd die nodig zal zijn om alle voertuigen van één soort te vervangen naar een model op waterstof. Hierbij worden de verschillende soorten auto's en bussen gescheiden. Zo wordt hier de volgende onderzoeksvraag beantwoord: hoeveel jaar zou de vervanging van een soort voertuig op fossiele brandstoffen naar een variant op waterstof duren? Om tot de conclusie van deze onderzoeksvraag te komen, moet in ieder geval duidelijk worden wat de totale productietijd van het aantal vervoermiddelen van de modellen is, en of deze productie niet in overmaat is voor het verkeer. Kortom, hoeveel waterstofvoertuigen jaarlijks in het verkeer kunnen komen, waarbij deze de voertuigen op fossiele brandstoffen doen vervangen en wat de planning is voor waterstofstations. Hierna kan er een overwogen beslissing worden genomen over welk model moet worden ingezet in Nederland, en kan er door middel van de gevonden gegevens gekeken worden wat het verschil is met de huidige CO₂-uitstoot. Daarbij kan de benodigde jaarlijkse hoeveelheid waterstof worden berekend als Nederland de vervoermiddelen zou inzetten. Met alleen de eerste deelvraag kan nog geen conclusie worden getrokken met betrekking tot de hoofdvraag. Bij het tweede deel van het onderzoek wordt er gekeken naar verschillende manieren van waterstofproductie, waarbij wordt uitgegaan van de hoeveelheid waterstof berekend bij de eerste deelvraag. De gekozen grondstof, energieopwekking of omzetting proces heeft gevolgen voor de andere mogelijkheden. Hierom moet er gekeken worden naar het totaalplaatje. Zo komt de tweede deelvraag tot stand: Deelvraag 2: *welke vorm van waterstofproductie moet Nederland inzetten, opdat de geproduceerde hoeveelheid waterstof maximaal is en de CO₂-uitstoot minimaal?*

Bij de eerste onderzoeksvraag van de tweede deelvraag wordt er gekeken naar grondstoffen, waaruit waterstof gemaakt kan worden. Er moet duidelijk worden wat de schoonste en efficiëntste manier van waterstofproductie is, en hiervoor is een juiste grondstof nodig. De volgende onderzoeksvraag moet hierom worden beantwoord: welke grondstoffen kunnen worden gebruikt voor de productie van waterstof? Hierbij moet duidelijk worden op welke manier de bestaande grondstoffen die potentie hebben voor waterstofproductie worden verkregen en welke stoffen bij de omzetting van de grondstof naar waterstof vrijkomen; zijn dit schadelijke of milieuvriendelijke stoffen? Bij de tweede onderzoeksvraag worden de beste manieren om de energie voor de productie van waterstof op te wekken

onderzocht. De gestelde onderzoeksvraag is: welke vormen van energieopwekkingen zijn mogelijk voor de productie van waterstofproductie? Hierbij wordt gekeken naar de feiten en naar de voor- en nadelen hiervan. Deze onderzoeksvraag wordt onderzocht door te kijken naar het productieproces dat na de energieopwekking volgt, de benodigheden voor het productieproces en de omzettingsefficiëntie van de manieren van energieopwekking. Daarbij wordt gekeken naar de voor- en nadelen van de desbetreffende energieopwekkingen en de CO₂-uitstoot die bij de dergelijke vormen van energieopwekking vrijkomt. Bij de laatste onderzoeksvraag van de laatste deelvraag wordt er gekeken naar hoe van de gekozen grondstof waterstof wordt gemaakt. Deze onderzoeksvraag focust op de omzettingsprocessen en luidt als volgt: welke omzettingsprocessen zijn mogelijk bij de onderzochte manieren van energieopwekking? In deze context wordt gekeken naar specifieke vragen als: wat is de CO₂-uitstoot bij elk omzettingsproces, en wat zijn de voor- en nadelen van deze CO₂-uitstoot en dit omzettingsproces? Na deze laatste onderzoeksvraag is het mogelijk een manier van waterstofproductie te selecteren die het best in Nederland past en kan aan de hand van beide deelvragen de hoofdvraag beantwoord worden om een compleet plan op te stellen en het effect op de totale CO₂-uitstoot in 10 jaar tijd vanaf 2019 uit te rekenen.

Methode

Dit onderzoek is in mei 2019 gestart en wordt in februari 2020 afgerond. De eerder opgestelde onderzoeksvragen leiden tot keuzes wat betreft de uitvoering van dit onderzoek. Er is gebruik gemaakt van publieke informatie, zoals onderzoeken die reeds zijn afgesloten, lopend zijn of komen. Zo zijn de onderzoeken ‘Op weg met Waterstof’ van W. Hoogenraad en ‘Waterstof onderweg’ van T. Lambrechts uitgangspunten geweest voor de start van dit onderzoek en zijn de conclusies vergeleken met de ondervonden deelconclusies. (Zie Discussie)

Tevens is er contact gezocht met verscheidene fabrikanten als Toyota en Van Hool om meer informatie te winnen. Hierbij is gevraagd naar de tanktijd en het aantal liter dat in een volle tank past voor elk van de desbetreffende voertuigen. Daarbij is gevraagd of het mogelijk is gebruik te maken van de waterstof-tankstations in Nederland. Van de waterstofbusfabrikant is er een gedetailleerde technische fiche verkregen van het fuel cell-voertuig Exqui.City 18 meter. Tijdens een telefonisch gesprek met technische medewerkers van Toyota is er geïnformeerd naar de technische aspecten van de Toyota Mirai (zie Resultaten: Vervoermiddel).

Verder is gebruik gemaakt van onlinebronnen, zoals het Centraal Bureau voor de Statistiek, Rijkswaterstaat en Milieu Centraal.

Verdere inkadering

De hoofdvraag van dit onderzoek bevat de volgende begrippen: energiedrager en vervoermiddelen. Deze worden hieronder toegelicht.

De CBS-begrippenlijst geeft voor energiedrager het volgende begrip: Een product dat energie bevat in de vorm van een brandstof, warmte of kracht (Centraal Bureau voor de Statistiek 7, sd). Hierbij kan er onderscheid worden gemaakt tussen secundaire

en primaire energiedragers. Waterstof valt onder de eerste categorie, omdat water met behulp van energie nog moet worden omgezet.

Dit project richt zich op de vervoermiddelen lijnbus en personenauto, sinds deze de meest gebruikte vervoermiddelen zijn in Nederland (Centraal bureau voor de Statistiek 1, 2016). De kosten en gebruiksvriendelijkheid vallen buiten de scope van het onderzoek, omdat de kosten bij elke optie hoog zullen zijn en de gebruiksvriendelijkheid moeilijk meetbaar is doordat het gebruik van waterstof in het verkeer nog erg nieuw is.

Validiteit en betrouwbaarheid

In dit onderzoek is uitgegaan van twee onderzoeken: “Waterstof onderweg” van T. Lambrechts en “Op weg met Waterstof” van W. Hoogenraad.

Waterstof onderweg – T. Lambrechts

Bij dit onderzoek is gekeken naar het gebruik van waterstof en in welke mate het als brandstof een invloed zou hebben op de milieu-impact van het personentransport over de weg. Er is bekeken op welke manieren waterstof geproduceerd, opgeslagen, getransporteerd en gebruikt kan worden. Hierbij werden reële en fictieve pathways uitgedacht waarbij de verschillende methoden gecombineerd werden met voertuigen met een interne verbrandingsmotor en voertuigen met brandstofcellen. Uit dit onderzoek is gekomen dat voertuigen met een brandstofcel efficiënter zijn ten opzichte van een verbrandingsmotor. Verder is vastgesteld dat het gebruik van hernieuwbare energie om waterstof te produceren met voorsprong de meest milieuvriendelijke manier is voor de productie van waterstof.

Op weg met waterstof – W. Hoogenraad

In dit onderzoek is bekeken wat de mogelijkheden en knelpunten zijn om in de toekomst waterstof grootschalig in te voeren als energiedrager voor transporttoepassingen. Genoemde knelpunten zijn de opslag van waterstof, het ontbreken van de waterstofinfrastructuur en de kosten. Zonder infrastructuur zal niemand een auto op waterstof kopen en zonder de vraag naar waterstof zal zich geen infrastructuur ontwikkelen. Een oplossing hiervoor is decentrale productie. Als laatste zullen de kosten van de auto op waterstof sterk moeten dalen wil het concurrerend worden met conventionele voertuigen. De vraag naar waterstof zal moeten groeien, beginnende met kleinschalig gebruik in stationaire of mobiele toepassingen. Indien de vraagzijde van waterstof toeneemt wordt de aanbodzijde gestimuleerd zich te ontwikkelen, en op een kostenefficiënte manier waterstof te produceren. Dit onderzoek stelt vast dat de grootste drijfveren voor waterstof in transporttoepassingen stijging van de olieprijs en technologische ontwikkelingen zijn. Indien de olieprijs stijgt wordt de ontwikkeling van alternatieve brandstoffen gestimuleerd en de concurrentiepositie versterkt

ten opzichte van fossiele brandstoffen.

Het vergelijken van bovenstaande onderzoeken met dit onderzoek, in combinatie met andere bronnen schetst een beeld van de kansen en knelpunten die komen kijken bij de inzet van waterstof in de mobiliteit. In de discussie wordt besproken of de bevindingen van dit onderzoek en bovenstaande onderzoeken overeenkomen. De geraadpleegde bronnen werden gekozen op basis van doel (inzet van waterstof), actualiteit en auteur. Dit maakt dit onderzoek valide genoeg om een schatting te geven van het effect op de CO₂-uitstoot. In dit onderzoek zijn schattingen gemaakt van de hoeveelheid CO₂ die vrijkomt en het aantal voertuigen in Nederland. Deze schattingen maken dit onderzoek minder betrouwbaar in vergelijking met onderzoeken die eigen metingen hebben verricht of die wel toegang hebben tot deze aantallen. Er zijn echter wel meerdere bronnen geraadpleegd voor eenzelfde bewering of feit. Deze zijn te vinden in de bronnenlijst.

Resultaten

Vervoermiddel

Vergelijking lijnbus en personenauto

Om te ontdekken welk waterstofvoertuig moet worden ingezet in Nederland, is één van de belangrijkste punten waar rekening mee moet worden gehouden de cijfers: hoeveel CO₂ stoot de auto in Nederland uit en hoeveel is dit in vergelijking met de lijnbus? Hierbij moet worden gekeken naar het aantal voertuigen van het desbetreffende soort om de uitstoot per lijnbus te vergelijken met de uitstoot per auto. Zo wordt direct gekeken naar de totale huidige uitstoot van koolstofdioxide door lijnbus en auto in Nederland per jaar. Nederlandse personenauto's leggen elk jaar steeds meer kilometers af (Centraal Bureau voor de Statistiek 4, 2019), dit wordt berekend door het aantal personenauto's, en het gemiddelde aantal door deze auto's gereden kilometers. Dit gemiddelde daalde in 2018 met 1,0 procent. Dat personenauto's in 2018 een recordaantal kilometers reden, kan komen door de toename van het aantal auto's op de weg. Het aantal gereden kilometers zijn onderverdeeld in de volgende autosoorten: Benzine/overige, Diesel en LPG. Elektrische auto's en auto's op waterstof en dergelijke zijn niet meegenomen: omdat deze soorten geen gebruik maken van fossiele brandstoffen, blijven deze getallen irrelevant voor het onderzoek.

Bronnen:

- * (Centraal bureau voor de Statistiek 1, 2016)
- ** (Centraal Bureau voor de Statistiek 3, 2019)
- *** (Centraal Bureau voor de Statistiek 5, 2019)
- **** (Centraal Bureau voor de Statistiek 6, 2019)
- ***** (Centraal Bureau voor de Statistiek 2, 2019)

Tabel 1: Vergelijking lijnbus en personenauto

	Aantal	Kilometers door Nederlandse voertuigen in Nederland	Emissie CO ₂ Totaal
Lijnbus	6,6 duizend (2017) *	491,3 miljoen km (2017)***	529 miljoen kg***** (2017)
Personenauto	8,2 miljoen (2017) ^{7**}	103,5 miljard km (2017) ****	18,9 miljard kg***** (2017)

Een ander punt waarop auto en bus worden vergeleken in efficiëntie als waterstofvoertuig is de huidige markt. In tegenstelling tot benzine-, diesel- en zelfs elektrische auto's (en bussen) is de markt in Nederland beperkter voor de waterstofauto en de waterstofbus. Hier komt verandering in. In Nederland moeten in 2025 alle nieuwe bussen en vanaf 2030 alle bussen in het openbaar vervoer rijden op elektriciteit en waterstof. Deze afspraken zijn gemaakt met Oud-Staatssecretaris Dijksma van Infrastructuur en Milieu op 15 april 2016 (Rijksoverheid, 2016). Er zijn al verschillende initiatieven geweest waarbij er proeven werden gedaan met brandstofcelbussen. Vervoerbedrijf GVB heeft van december 2003 tot januari 2008 drie bussen laten rijden (Scholtens, 2003), en van begin 2012 tot mei 2014 wederom 2 bussen (GVB Holding NV, 2014). QBuzz startte in 2017 met een proef in Drenthe met 2 waterstofbussen, gemaakt door de fabrikant Van Hool en zal eind 2019 22 waterstof-elektrische bussen inzetten (Asser Courant, 2019). Tevens wil vervoerder Flixbus in 2021 waterstofbussen gaan inzetten (Wiesmayer, 2019). In het buitenland rijden er al bussen op waterstof rond. In Tokyo is de Toyota Sora op de weg gezet en in aanloop naar de Olympische Spelen van 2020 moeten er 100 exemplaren rijden. Deze zijn goed ontvangen aangezien de bus erg veilig is door het intelligente systeem, dat voetgangers herkent en de chauffeur waarschuwt bij het afslaan. (Toyota, 2018). In België en Duitsland worden waterstofbussen ingezet, gemaakt door de fabrikant Van Hool. In de lente van 2019 kwamen de eerste bussen, een totaal van 30, in Keulen en dit is hiermee de grootste bestelling ooit in heel Europa. Van Hool bouwt sinds 2005 waterstofbussen voor Amerikaanse markt en sinds 2007 voor de Europese markt en produceert twee typen met de nieuwste module. (Van Hool, 2018) Voor de bussen op waterstof zijn er twee modellen geselecteerd: De Toyota Sora en de Van Hool Exqui.City 18 Fuel Cell. Deze zijn gekozen omdat het lopende projecten zijn, al ingezet in het verkeer en van verschillende fabrikanten of vervoerders komen. De Sora is uitgerust met het Toyota Fuel Cell System (TFCS) van de Toyota Mirai. De CO₂-uitstoot is net als de uitstoot van de Mirai nul. De waterstofbus is voorzien van 10 waterstof tanks

met in totaal 600 liter inhoud. De bus kan gebruik maken van de waterstof tankstations voor persoonsauto's, omdat het gebruik maakt van dezelfde waterstof infrastructuur. Bovendien is de Sora uitgerust met een stroomvoorzieningssysteem met een energiecapaciteit en vermogen van respectievelijk 235 kilowattuur en 9 kilowatt. Hiermee kan de bus fungeren als een externe energiebron, bijvoorbeeld na een natuurramp. (Toyota, 2018) Vervoerder QBuzz heeft op dit moment twee waterstofbussen in Groningen en Drenthe rijden, gemaakt door de fabrikant Van Hool. (OVPro, 2019) Het aanbod van de waterstofauto's op de Nederlandse markt is vooralsnog beperkt tot de Toyota Mirai en Hyundai NEXO. De Toyota Mirai was de eerste sedan op waterstof in Nederland, gekomen in 2016. Hierna is er alleen nog de Hyundai NEXO gekomen. In 2022 wordt de eerste waterstofauto van BMW verwacht, de BMW i Hydrogen Next. (Janson, 2019) Voor de waterstofauto's zijn twee modellen gekozen: De Toyota Mirai en de Hyundai Nexa, want dit zijn nu de enige verkrijgbare auto's op waterstof in Nederland. Bij het vergelijken van de gekozen modellen waterstofauto's en -bussen zijn enkele variabelen gekozen.

Een belangrijke variabele is de actieradius. De actieradius is de afstand die een voertuig kan afleggen zonder tussentijds van buitenaf energie aan het voertuig toe te voegen. Bij een grotere actieradius kan een bus of auto bijgevolg langer doorrijden, dit vermindert het aantal keer dat een auto of bus naar een watertankstation moet en vermindert daardoor de reistijd. Eveneens is er met de actieradius te berekenen hoe vaak een bus of auto moet tanken in een jaar (aantal kilometers/ aantal bussen = gemiddeld aantal km/ bus/ actieradius = hoe vaak tanken per jaar). Als tweede moet er rekening worden gehouden met de benodigde tijd om te tanken: Bij een kleinere tanktijd kunnen meer auto's en bussen gebruik maken van het tankstation in een bepaalde tijd. Hierdoor kunnen meer auto's en/of bussen de weg op. De hoeveelheid waterstof (volle tank) geeft de hoeveelheid waterstof die nodig is om een tank compleet te vullen en

Tabel 2: Vergelijking modellen

	Actieradius (op volle tank)	Benodigde tijd om te tanken	Maximaal aantal inzittenden	Hoeveelheid waterstof (volle tank)	Hoeveelheid waterstof per inzittende
Van Hool Exqui.City 18 Fuel Cell	350 km	8 minuten	46	38,2 kg	1,2 kg
Bus (Toyota Sora)	400	20 minuten	79	600 liter	7,6 liter
Auto (Toyota Mirai)	550 km	Ongeveer 3 minuten	5	4,8 kg	1,0 kg
Auto (Hyundai NEXO)	650 km	5 minuten	5	3 x 52,2 liter = 156,6 liter	31,3 liter

hiermee is te berekenen hoeveel gram waterstof nodig is per jaar om alle bussen of auto's te kunnen voorzien van brandstof. De hoeveelheid waterstof per inzittende laat zien wat het verschil is tussen de hoeveelheid waterstof per passagier die wordt verbruikt bij een bus en bij een auto. Hiermee is te zien bij welk vervoermiddel de meeste personen worden vervoerd met zo min mogelijk waterstof. Om een schatting te maken van de tijdsduur van de vervanging van een benzine- of dieselauto of -bus naar de waterstofauto of -bus, is zowel de totale productietijd als de qua productie mogelijke toelating van het aantal waterstofvoertuigen dat per jaar in het verkeer kan komen van belang. Huidige plannen om van de benzine- of dieselauto naar de waterstofauto over te stappen zijn al gevorderd. Zo moet het aantal waterstofstations anno 2020 twintig bedragen, hoewel er in Nederland op dit moment (september 2019) nog maar vijf waterstofstations geplaatst zijn (Hyundai, 2019). Het merendeel van de overige vijftien stations wordt al gebouwd en de verwachtingen zijn dat deze hun deadline in 2020 zullen behalen. Een klein probleem hierbij is dat al deze stations voornamelijk in het westen en noorden van Nederland liggen, wat de waterstofauto minder aantrekkelijk maakt voor inwoners van Overijssel, Flevoland en Limburg. Een tijdelijke oplossing voor een deel van deze groep, inwoners van Limburg, is het gebruik van een groter aantal waterstof tankstations in Duitsland: vlak over de grens staan stations waar Limburgers desnoods hun waterstofauto kunnen bijvullen. Voor dit andere deel moeten er meer stations worden geplaatst, zodat zij efficiënt van waterstof gebruik kunnen maken. Het plan is dat in 2025 al vijftig waterstofstations zullen zijn geplaatst in Nederland en meer verspreid (Hoogenraad, 2004). Hierom is het verstandig de komende jaren nog niet te snel waterstofvoertuigen in te zetten, want dit zorgt alleen maar voor problemen wat betreft tanken, vooral met slechts vijf waterstofstations in Nederland. Wel is belangrijk te vermelden dat waterstofstations steeds sneller worden geplaatst, als gevolg zal het aantal waterstofvoertuigen dat per jaar in het verkeer kan komen toenemen (Hyundai, 2019). Als een auto er ongeveer 5 minuten over doet waterstof te tanken, kunnen negen à tien auto's per uur per pomp tanken, met eventuele langere pomptijden, zoals de tijd van het betalen, meegerekend. Niet in elk gebied zullen evenveel stations komen te staan, daar moet rekening mee gehouden worden. Rondom Rotterdam staan bijvoorbeeld op dit moment al twee stations en er zijn plannen voor uitbreiding wat betreft het aantal stations, met name in het westen (Hyundai, 2019). De productietijd van de waterstofauto verschilt weinig van een andere auto. Op de motor en opslagtank na is er amper een verschil tussen een waterstof- en benzineauto te merken. De fabricage van een Toyota (in het algemeen) is ongeveer 20 uur, maar dit betekent niet dat er elke 20 uur een auto wordt gemaakt. Het drogen van lak kost namelijk tijd en op efficiënte manier kunnen er tegelijkertijd meerdere Mirai-modellen worden gemaakt. De Toyota-fabriek in het Japanse Takaoka maakt bijvoorbeeld elke dag zo'n 800 Toyota's. Focust men hier op de Mirai, zou dit makkelijk het aantal van 50.000 waterstofauto's dat Toyota in 2025 wil hebben kunnen bereiken. Dit is natuurlijk niet het plan maar wel laat het de mogelijkheden zien van een snelle vervanging naar de waterstofauto. Het klaarmaken van de auto totdat deze bij de autodealer staat duurt wat langer, zo'n 2 tot 3 maanden (Autozine, 2013). Logischerwijs is het produceren van een bus een grotere klus

en duurt de fabricage langer. De tijd na de fabricage, waarbij papieren op orde moeten worden gebracht en de bus een schoonmaak krijgt, is een minder groot verschil dan bij de auto. Een waterstofbus kan echter tussen de 2 en 3 maanden worden gemaakt, maar de kans dat dit langer duurt is wel groter dan bij de auto, aangezien er meer materiaal nodig is en er meer moet worden verwerkt. Aangezien er nog geen duidelijke plannen zijn gesteld voor wat er zal gaan gebeuren, nadat er 50 waterstofstations zijn geplaatst, kan nog niet precies worden gezegd wanneer deze stations met enige regelmaat door heel Nederland zijn te vinden. Wel is ongeveer te bedenken wanneer dit zover zal zijn, door te kijken naar de toename van waterstofstations in de afgelopen jaren. Zo zou er kunnen worden aangenomen dat rond 2035 in de meeste middelgrote en grote steden van Nederland (meer dan 50.000 inwoners) minstens één waterstofstation te vinden is, als je naar de groei van waterstofstations kijkt (5 in 2019; 20 in eind 2020; 50 in 2025). Dit zijn namelijk niet meer dan 85 (middel)grote steden en wegens de snellere groei van waterstoftransport in het westen en noorden van Nederland dan in het andere deel wordt deze ruime marge van 2035 genomen. Uit dit onderzoek valt te halen dat er al volop plannen zijn voor waterstof in de mobiliteit in Nederland en het vervoer dat daarbij hoort. Of nu de waterstofbus of waterstofauto eerder moet worden ingezet in Nederland, is de vraag waarover gediscussieerd zou kunnen worden. Eerst is er gekeken naar de CO₂-uitstoot veroorzaakt door voertuigen in Nederland. De auto zorgt overduidelijk voor het gros van de uitstoot aangezien alle auto's samen in Nederland meer kilometers bij elkaar maken dan de kleine hoeveelheid bussen, maar per voertuig heeft de bus zowel een groter aandeel in aantal kilometers als in uitstoot. Eén bus stoot in een jaar evenveel CO₂ uit als 35 auto's en maakt jaarlijks evenveel kilometers als bijna zes auto's. Zodoende zou kunnen worden gezegd dat één bus op waterstof laten rijden evenveel effect heeft op de CO₂-uitstoot als 35 auto's ombouwen tot waterstofauto's, met het productieproces buiten beschouwing gelaten. Met alleen deze conclusie kan er echter nog geen antwoord op de onderzoeksvraag worden gegeven. Als de nu in Nederland beschikbare auto- en bus modellen die op waterstof rijden erbij worden gehaald valt op dat er voor zowel auto als bus twee voorname mogelijkheden zijn. Onder de waterstofauto's is de markt in handen van de modellen Toyota Mirai en Hyundai Nexa, in het openbaar vervoer lopen het concern Van Hool met de Exqui City en wederom Toyota met het model Sora voorop. Daarbij zijn er al plannen voor een volledige vervanging van alle bussen naar waterstofbussen in Nederland. Bij auto's zijn hier, mede door het grote aantal ervan en het probleem dat dit vaak particulier bezit is, nog geen afspraken voor. De Van Hool waterstofbus is op dit moment het beste exemplaar in Nederland, vooral vanwege zijn ruime beschikbaarheid. Daarom is het verstandiger eerst een begin te maken met bussen die op waterstof rijden, en daarna pas met auto's. Als alle bussen in Nederland in Nederland vervangen zouden worden door de Van Hool Exqui City, zou elk van deze bussen zo'n 212 keer in het jaar moeten bijtanken. Dit wordt op dit moment vaak aan het eind van de dag gedaan en derhalve maakt dit weinig verschil uit met de huidige situatie van tanken met een lijnbus.

Totale watergebruik waterstofbus per jaar

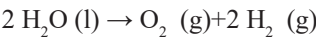
$$\left. \begin{array}{l} 491,3 \text{ mln km} \\ 350 \text{ km per tank} \end{array} \right\} \left[\frac{491,3 \times 10^6}{350} = 1.403714,2857142 \text{ tanks} \right. \\ \left. \left. \frac{1.403714,2857142 \times 38,2}{38,2 \text{ kg H}_2 \text{ per tank}} = 53621885,714 \dots \text{kg H}_2 \right. \right]$$
$$\left. \begin{array}{l} \rho_{\text{H}_2} = 0,08988 \text{ kg/m}^3 \\ 53621885,714 \dots \text{kg H}_2 \end{array} \right\} \left[\frac{53621885,714 \dots}{0,08988} = 596594189,07 \dots \text{m}^3 \right]$$
$$\left. \begin{array}{l} 596594189,07 \dots \text{m}^3 = 596594189077,5 \dots \text{L} \\ 1235,95 \text{ L H}_2 \text{ per } 1,0 \text{ L H}_2\text{O} \end{array} \right\} \left[\frac{596594189077,5 \dots}{1235,95} = 482698934,799 \dots \text{L H}_2\text{O} \right]$$

In de voorgaande berekening is te zien hoeveel water nodig is per jaar om alle waterstofbussen te voorzien van genoeg waterstof. Gebruik gemaakt van de volgende bronnen: (Waterstofnet, 2010)

Grondstof

De onderstaande tabel geeft compact weer welke grondstoffen kunnen worden gebruikt om waterstof te produceren. Hierbij zijn het productieproces en de eventuele tussenstof ook zichtbaar. Voor het produceren van waterstof zijn er een aantal grondstoffen mogelijk: biomassa, afvalstoffen, fossiele brandstoffen en water. Alle vier hebben een verschillende productieroute naar het uiteindelijke product. Dit kan met of zonder tussenstof. Bij gebruik van een afvalstof of water wordt er direct gebruik gemaakt van de grondstof. Dit is echter het tegenovergestelde van erg, want bij werken met een tussenstof moet meer van de grondstof worden gebruikt, wat een lager rendement oplevert (Hoogenraad, 2004). Van deze vier grondstoffen stoten fossiele brandstoffen schadelijke gassen uit. Door windturbines en zonnepanelen te plaatsen kan met de opgevangen energie waterstof worden geproduceerd uit water door gebruik te maken van elektrolyse. Bij elektrolyse van water komt waterstof en zuurstof vrij. In

een reactievergelijking ziet dit er als volgt uit:



Worden er afvalstoffen gebruikt, dan is de uitkomst wat anders. Aangezien deze vooral uit koolwaterstoffen bestaan, kunnen er daarbij stoffen als methaan vrijkomen. Deze stoffen zijn slecht voor het milieu. Een andere potentiële optie is het gebruik van biomassa. Hierbij komt eveneens CO₂ vrij, maar dit is moeilijk te vergelijken met de uitstoot van de andere stoffen. Deze uitstoot kan namelijk makkelijk worden hersteld met het plaatsen van nieuwe biomassa in de natuur, waardoor de hoeveelheid CO₂ in de lucht niet toeneemt (Milne, Elam, & Evans, 2002). Wordt er biomassa genomen voor waterstofproductie, dan komt hier de CO₂ bij vrij die de grondstof had opgenomen. Als er dan een boom geplant zou worden, zou deze weer ongeveer dezelfde hoeveelheid uitgestoten CO₂ opnemen. Het probleem met biomassa als grondstof voor waterstof is de brede betekenis die het heeft. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland geeft de volgende definitie: “De biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en restanten van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw, de visserij- en aquacultuursector en aanverwante bedrijfstakken en ook de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval.” (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, sd). Vanwege deze beschrijving moet er naar een specifiek soort biomassa worden gekeken. Zo zijn houtsnippers en plantaardige oliën twee heel verschillende biologische producten die elk goede en slechte eigenschappen hebben voor waterstofproductie. Daarbij maakt het verschil van energie-efficiëntie van de verschillende stoffen het er niet makkelijker op. Vanwege het feit dat water makkelijker te verkrijgen is dan een specifiek

soort biomassa wordt in het vervolg van dit onderzoek water genomen als grondstof voor waterstofproductie. Naar de andere mogelijke grondstoffen wordt niet meer gekeken. Kortom, water is verreweg de meest efficiënte grondstof om waterstof te produceren en de productie ervan zorgt voor de minst vervuilende uitstoot, omdat er alleen zuurstof (O₂) vrijkomt.

Energieopwekkingen

In tegenstelling tot fossiele brandstoffen bepaalt de wijze waarop waterstof wordt geproduceerd voor het grootste gedeelte de hoeveelheid schadelijke emissies die vrijkomen, zoals CO₂. Dit onderzoek is gericht op de vermindering van de CO₂-uitstoot en om deze reden zullen vooral de meer CO₂-neutrale manieren van waterstofproductie worden besproken. Tijdens dit onderzoek is gekeken naar elektrische energie en thermische energie. Kernenergie is niet meegenomen in dit onderzoek, aangezien het radioactieve materiaal dat overblijft nog honderden of duizenden jaren actief blijft. Dit is een gevaarlijke erfenis die wordt meegegeven aan de volgende generatie en een negatieve impact op het milieu heeft.

Elektrische energie

Voor de opwekking van elektrische energie zijn er meerdere mogelijkheden. Allereerst zijn er zonnecellen. Dit zijn elektrische cellen waarmee lichtenergie omgezet wordt in bruikbare elektrische energie. Zonnecellen maken op die manier rechtstreeks elektriciteit uit zonlicht. Er bestaan twee soorten zonnecellen. De fotonvoltaïsche cellen en de foto-elektrochemische cellen. In dit onderzoek wordt er alleen gekeken naar de eerste soort. Deze bestaan volledig uit vaste stof. Er wordt een groot aantal fotonvoltaïsche cellen tegelijk in een zonnepaneel gemonteerd. De huidige fotonvoltaïsche cellen hebben een omzettingsefficiëntie van 15%. Dit is aanzienlijk minder dan bij windenergie. Een van de grootste nadelen van zonnecellen is de grote impact op het milieu. Deze manier van waterstofproductie zorgt voor de grootste milieuschade ten opzichte van alle waterstofproducties (Lambrechts, 2008). Ten tweede is er windenergie. Van alle hernieuwbare energiebronnen biedt windenergie waarschijnlijk het grootste potentieel, voor het aanmaken van waterstof door middel van elektrolyse. Op dit moment is de efficiëntie van de elektriciteitsproductie uit windenergie tussen 12 en 25%. Dit is afhankelijk van de plaats waar de windgenerator staat. De omzettingsefficiëntie van elektriciteit uit windenergie tot waterstof ligt ergens tussen 70 en 90% (Lambrechts, 2008).

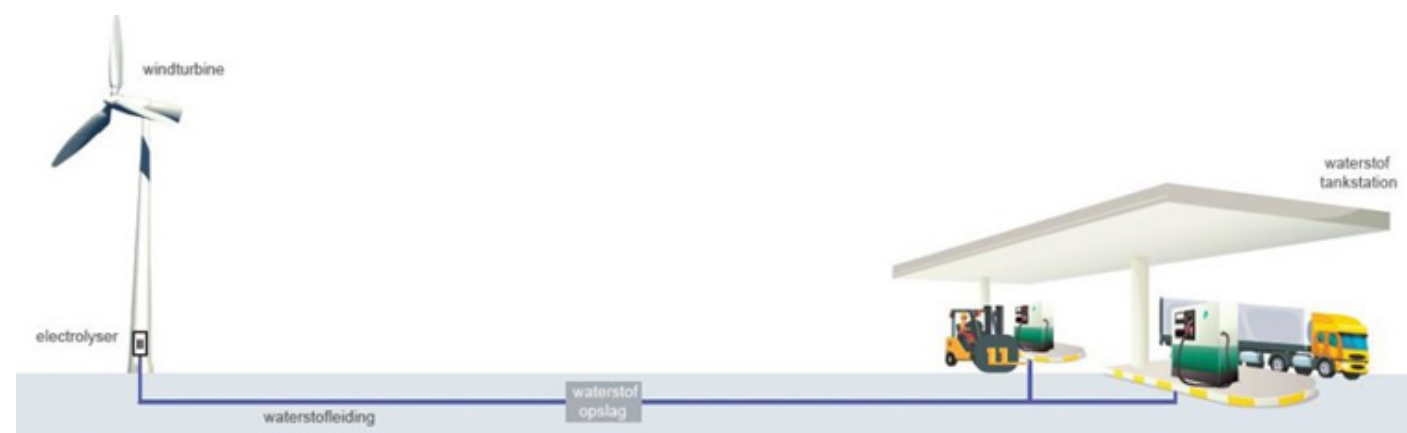
De combinatie van windturbines en de productie van waterstof biedt enkele praktische voordelen van meer gecentraliseerde grootschalige waterstofproductie. Door gebruik te maken van windturbines is een gecentraliseerde productie van waterstof mogelijk. Bovendien zal het dan op afgelegen plekken mogelijk zijn om op een milieuvriendelijke manier waterstof te produceren. Doordat de elektrolysetoestellen die verwerkt worden in de windturbines kunnen bepaalde elektronische onderdelen, zoals de transformatoren tussen wissel- en gelijkstroom, gedeeld worden gebruikt. Idealiter gaat er daarbij gelijk een waterstofleiding naar de tankstations, zodat er geen transport hoeft worden ingezet om de waterstof te vervoeren.

Daarnaast kan met enkele kleine aanpassingen de mast van de

windmolens gebruikt worden om de geproduceerde waterstof in op te slaan. Op die manier kunnen windturbines worden gezien als lokale energieleveranciers van waterstof. Een groot nadeel van windenergie is de variërende hoeveelheid wind. Op momenten van piekverbruik is er niet noodzakelijk meer wind. Door het opslaan van waterstof kan dit wel deels worden opgevangen. Er wordt wel verwacht dat het omzettingsproces van wind naar waterstof nog zal verbeteren (Lambrechts, 2008). Als laatste is er hydro-elektrische energie. Bij deze vorm van energieopwekking van hydro-elektrische energie wordt er gebruik gemaakt van waterkracht. Waterkracht is energie die is opgewekt uit stromend water. Hoewel Nederland een waterland is, speelt energieproductie met waterkracht hier (nog) geen grote rol. Slechts een paar procent van de totale hoeveelheid groene stroom wordt in Nederland opgewekt met waterkracht. Nederland heeft een aantal middelgrote waterkrachtcentrales bij rivieren. Energieopwekking door middel van waterkracht kan op plekken als rivieren en aan de kust, met systemen die golf- en getijdenkrachten omzetten in elektriciteit. De ontwikkeling van energie uit water zit in Nederland nog steeds in de startfase, maar meer investeren in energie uit water kan een enorme impuls geven aan onder andere de kenniseconomie en werkgelegenheid. Projecten in het buitenland laten zien dat energie uit water nu al concurrerend is. Dat komt door de hoge voorspelbaarheid en de mogelijkheid van slimme integratie van energiewinning uit water met bijvoorbeeld bruggen en dammen. De potentie van energie uit water laat zich in Nederland al volop zien. Een goed voorbeeld zijn de getijdenturbines van Tocado in de Oosterschelde stormvloedkering, die dagelijks energie opwekken. De werking van de getijdenturbines in de afgelopen jaren heeft aangetoond dat er geen negatieve effecten op de veiligheid of op de omgeving zijn. Op de Afsluitdijk wordt elektriciteit opgewekt uit het verschil tussen zoet- en zoutgehalte tussen het IJsselmeer en de Waddenzee door het bedrijf REDstack. Opscaling van deze projecten, aangevuld met andere initiatieven kunnen tegen 2030 een vermogen opwekken van circa 200 tot 300 Megawatt (Scheijgrond, 2019). Grote voordelen van het omzetten van vermogen van de waterturbine in elektriciteit zijn de grote toepasbaarheid en het grote bereik. Het gegenereerde vermogen kan voor alle typen elektrische apparaten gebruikt worden en het gebruik van de door de turbine geleverde energie is niet gekoppeld aan de plaats waar de turbine zich bevindt. (Werkgroep OntwikkelingsTechnieken (WOT), 2003). Ook hebben waterturbines, die werden ontwikkeld in de negentiende eeuw en nog steeds worden gebruikt voor het opwekken van elektriciteit, een rendement van tenminste 85 procent (Decker, 2013). Waterkracht kent wel nadelen. Stuwdammen kunnen plaatselijke ecosystemen aantasten door een verandering van de stroomsnelheid en de temperatuur van het water. Dit geeft een snellere neerslag van slib. Verder zijn uitgebreide voorzieningen nodig om te voorkomen dat een groot aantal vissen sterft doordat ze niet langs de centrales kunnen komen. (Milieu Centraal, sd) Doordat de ontwikkeling hydro-elektrische energie nog in de startfase is, heeft het, ondanks het grote rendement, weinig potentie voor waterstofproductie.

Tabel 3: Grondstoffen, tussenstof, productieproces en energie (Hoogenraad, 2004)

Grondstoffen	Tussenstof	Productieproces	Energie
Fossiel Steenkool Aardgas Olie	<i>Syngas</i> <i>Benzine</i> <i>Diesel</i> <i>Methanol</i> <i>Ammonia</i> <i>Direct gebruik grondstof</i>	<i>Thermisch</i> <i>Reforming</i> <i>Stoom</i> <i>Partiele oxidatie</i> <i>Plasma</i> <i>Vergassing</i> <i>Pyrolyse</i>	<i>Thermisch</i> Fossiel Duurzaam Nucleair
<i>Biomassa</i> Houtcellulose Zetmeel Plantaardige olie Black liquor	<i>Ethanol</i> <i>Methanol</i> <i>Biodiesel</i> <i>Biogas</i> <i>Suikers</i> <i>Direct gebruik grondstof</i>	<i>Elektrochemisch</i> <i>Elektrolyse</i> <i>Foto-elektrochemisch</i>	<i>Elektriciteit</i> Fossiel Duurzaam Nucleair
<i>Afvalstoffen</i> Afvalwater Stadsafval Rookgassen	Direct gebruik grondstof	<i>Biologisch</i> <i>Fotobiologisch</i> <i>Aërobe fermentatie</i> <i>Anaërobe fementatie</i>	<i>Lichtenergie</i> Zon
Water	Direct gebruik grondstof		



Figuur 1 Windturbine direct aangesloten op een waterstoftankstation (Lagerwey, 2017)

Thermische energie

Thermische energie is warmte. De bewegingsenergie van moleculen bepaalt de temperatuur. Hoe heftiger die moleculen bewegen, hoe warmer het is, hoe meer energie het bevat.

Ten eerste is er zonnewarmte. De straling van de zon (infrarood, licht en UV) wordt door een zonnecollector omgezet in warmte. Zonnecollectoren zijn er in verschillende uitvoering, zoals heatpipes, vlakkeplaatscollectoren, thermodynamische panelen en PVT-panelen. Met name rondom zonne-energiecentrales kan de opslag van energie in een gesmolten zout worden toegepast. Bij deze centrales reflecteren en concentreren duizenden bewegende spiegels het zonlicht op een centraal punt om warmte te genereren. Met behulp van deze warmte wordt wel elektriciteit opgewekt. Dit proces is hetzelfde als in conventionele stoom genererende fabrieken (kolen, gas of nucleair). Deze vorm is echter hernieuwbaar zonder dat er uitstoot of afval ontstaat. (Boogaard, 2015) Een voorbeeld is de Gemasolar centrale in Spanje, waar men een productiereserve tot 15 uur kan genereren. Het nadeel van deze centrales is dat het niet mogelijk is in Nederland, omdat er een overvloed aan zon voor nodig is en een centrale, zoals in Spanje, neemt 195 hectare in beslag. (Torresol Energy, 2018) Ten tweede is er restwarmte. De restwarmte die de agrarische sector en de industriële processen geven kunnen direct worden gebruiken als thermische energie.

Als laatste is er thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), deze kan een duurzaam en substantieel alternatief zijn voor aardgas. TEO maakt gebruik van de temperatuurverschillen van het oppervlaktewater gedurende de seizoenen. In de zomer wordt de warmte opgeslagen (Stowa, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Unie van Waterschappen, 2017). De warmte kan worden ingezet als thermische energie. De thermische energie heeft een potentieel van ongeveer 150 PJ per jaar. (Rijkswaterstaat, 2018)

Zowel wind-, zonne en hydro-elektrische energie zijn CO₂-neutraal. De bouw van de windturbines, zonnepanelen en watercentrales en bijvoorbeeld stuwdammen geven echter wel CO₂-uitstoot. In dit onderzoek zal worden aangenomen dat deze ongeveer gelijk zijn.

De omzettingsefficiëntie van windenergie is hoger dan bij andere energieopwekkingen. Hierdoor is het mogelijk om met minder wind meer water om te zetten naar waterstof dan bij andere energiesoorten. Om deze reden is windenergie het meest geschikt voor Nederland als energieopwekker voor de productie van waterstof.

Bij het kiezen van windenergie als energievorm komen andere praktische voordelen kijken. Het gebruik van windenergie is

gelijk in te zetten, in tegenstelling tot hydro-elektrische energie, en de omzetting van water naar waterstof kan in de windturbine plaatsvinden. Later kunnen meerdere energievormen worden gecombineerd, zoals hydro-elektrisch, maar windenergie kan op korte termijn de meeste waterstof geven.

Omzettingsprocessen

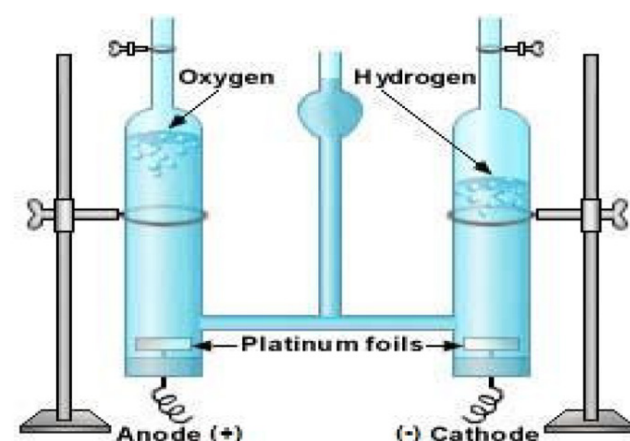
Op basis van de gekozen grondstof en energiesoort zal er alleen gekeken worden naar omzettingsprocessen die mogelijk zijn bij elektrische energie.

Elektrolyse

Elektrolyse is de meest voor de hand liggende methode om water te splitsen. Bij elektrolyse zorgt een potentiaal tussen twee elektroden (een kathode en anode) ervoor dat de positief geladen partikels (kationen) zich naar de kathode bewegen en dat de negatief geladen partikels (anionen) zich aangetrokken voelen tot de anode. Aan de kathode vindt een reductieproces plaats. Dit wil zeggen dat de kathode elektronen afstaat aan de oplossing, waardoor de positief geladen delen zich aangetrokken voelen. Aan de anode vindt een omgekeerde reactie plaats, die oxidatiereactie worden genoemd. Hierbij worden elektronen onttrokken aan de oplossing. In het geval van elektrolyse van water ontstaat er waterstofgas aan de kathode en zuurstofgas aan de anode. Bij deze omzetting van elektriciteit naar waterstof wordt een efficiëntie behaald tussen 70 en 90%. Hierdoor is elektrolyse een behoorlijk efficiënt scheikundig proces.

Het elektrolyseproces kan worden uitgelegd aan de hand van het toestel van Hoffman (1818-1892, Duitsland),

Figuur 2 Toestel van Hoffman (Lambrechts, 2008)



hierboven weergegeven. Door het water geleidend te maken met behulp van kaliumnitraat (KNO₃) en vervolgens onder stroom te zetten met behulp van elektroden wordt het water gesplitst in waterstofgas (H₂) en zuurstofgas (O). De elektrolysetoestellen die vandaag de dag gebruikt worden zijn complex en geavanceerder dan deze op de afbeelding. Onder druk is namelijk een betere efficiëntie te bereiken van het elektrolyseproces. (Lambrechts, 2008)

Foto-elektrochemische omzetting

Fotolyse is de splitsing van bepaalde stoffen onder invloed van licht. In de fotovoltaïsche industrie wordt volop onderzoek gedaan naar cellen en membranen die voldoende voltage kunnen leveren om onder invloed van zonlicht water te splitsen en die stabiel zijn in een water-elektrolyt omgeving. Een fotochemisch toestel, waarin alle functies van fotoabsorptie en watersplitsing gecombineerd worden, zou het meeste potentieel kunnen bieden om duurzaam waterstof te produceren. Wetenschappers zijn er in proefopstellingen al in geslaagd om een zonlicht-waterstof omzetting te bereiken met een efficiëntie van 12%.

Het grote voordeel van de foto-elektrochemische omzetting is de verkorte cyclus. In vergelijking met de foto-elektrolyse cyclus wordt de elektrolyse tussenstap hier weggelaten en stijgt de efficiëntie. Door het combineren van de fotovoltaïsche cellen en het elektrolysetoestel in één kan er bespaard worden op de wijze van elektrolyse, de halfgeleider verwerking, de verbindingen en de bekabeling. Naar schatting brengt dit een efficiëntiestijging van 30% met zich mee, van 12 naar 40%.

Het principe van een foto-elektrochemische cyclus is relatief simpel. Een PEC (foto-elektrochemisch) toestel bestaat uit twee elektroden: een halfgeleider elektrode en een platina metaal elektrode die beide ondergedompeld worden in een waterig elektrolyt. In plaats van een externe elektriciteit te gebruiken absorbeert de halfgeleider zonlicht en zo de nodige stroom. Zo wordt waterstof geproduceerd aan het oppervlak en de halfgeleider en zuurstof aan de metaalelektrode. Het knelpunt in deze cyclus is om een halfgeleider te vinden die de juiste elektrische eigenschappen vertoont en die stabiel is in een aquatisch milieu.

Wetenschappers zijn volop bezig met het zoeken naar een oplossing voor dit probleem. Veelbelovende halfgeleiders zijn galliumnitride en amorf siliconen. Op de lange termijn zijn er grote verwachtingen van foto-elektrochemische omzetting van water. (Lambrechts, 2008)

Zowel elektrolyse als foto-elektrochemie is CO₂-neutraal, sinds waterstof wordt omgezet. Alleen de productie van het toestel zal CO₂-uitstoot geven. Het grootste verschil tussen de twee omzettingsprocessen is dat de foto-elektrochemische omzetting nog niet gebruikt kan worden, sinds er nog geen geschikte halfgeleider is gevonden. Hoewel wetenschappers hier volop mee bezig zijn, is het niet duidelijk wanneer deze manier van omzetten gebruikt kan worden.

Om deze reden is elektrolyse het enige mogelijke omzettingsproces voor de productie van waterstof. Elektrolyse is CO₂-neutraal, er komen geen andere reactieproducten vrij en de efficiëntie is hoog.

Conclusies

Welk vervoermiddel en welke vorm van waterstofproductie moet Nederland inzetten, als waterstof als energiedrager gebruikt zou worden, voor het grootste effect op de CO₂.

uitstoot in 10 jaar?

Tijdens dit onderzoek is gekeken naar welk vervoermiddel Nederland zou moeten inzetten. De waterstofbus, de Van Hool Exqui City, moet er in plaats van de lijnbus komen. Zodoende zal de CO₂-uitstoot in Nederland verminderen. Deze bus rijdt al in de provincies Drenthe en Groningen (Asser Courant, 2019) en heeft een kleine tanktijd vergeleken met de Toyota Sora. Door een actieradius van 350 km hoeft de bus pas aan het eind van de dag weer te tanken. Dit zal weinig verschil maken in de huidige situatie van het tanken van een lijnbus. Voor de benodigde hoeveelheid waterstof zal jaarlijks voor de lijnbussen alleen 482 miljoen liter water nodig zijn.

Als alle lijnbussen worden vervangen zal de uitstoot jaarlijks afnemen en in 2030 zal er geen CO₂-uitstoot meer van de lijnbussen zijn. Bij auto's zal echter nog wel sprake zijn van uitstoot van broeikasgassen. In 2017 was de uitstoot van CO₂ van lijnbussen 529 miljoen kilogram en bij auto's was dit 18872 miljoen kilogram (Centraal Bureau voor de Statistiek 2, 2019). Alhoewel de lijnbus relatief gezien een klein deel van de uitstoot veroorzaakt, kan deze makkelijker worden vervangen. Bovendien zal de waterstofbus als een goed alternatief voor de auto worden gezien door het duurder wordende benzine.

Waterstof zelf zorgt niet voor uitstoot van milieuschadelijke gassen. Wel komt dit kijken bij de productie van waterstof. Op dit moment veroorzaken zowel de productie van de gekozen vorm van energieopwekking, als de benodigdheden voor de elektrolyse van water voor milieuvriendelijke gassen. In dit proces liggen kansen om de CO₂-uitstoot, die vrijkomt bij het maken van de windturbines en de elektrolysetoestellen, te verminderen. Door het combineren van de productie van waterstof en de opwekking van de energie kunnen onderdelen worden samengevoegd. Idealiter gaat er daarbij gelijk een waterstofleiding naar de tankstations, zodat er geen transport hoeft worden ingezet om de waterstof te vervoeren.

Dit onderzoek toont aan dat de CO₂-uitstoot in 10 jaar zal afnemen. Hierbij is aangenomen dat door de toenemende kilometers door auto's (Centraal Bureau voor de Statistiek 6, 2019) en de toename van het aantal waterstofauto's in Nederland (Energiepodium, 2016) de uitstoot langzaam zal stagneren en uiteindelijk zelfs verminderen. Als de uitstoot van auto's is gestagneerd en er geen uitstoot meer is door waterstofbussen, zal de uitstoot van alle lijnbussen en auto's met 2,7% zijn afgenomen. Daarbij zal door de toenemende beschikbaarheid van waterstoftankstations en waterstofauto's (Hyundai, 2019) ervoor zorgen dat dit nog zal kunnen toenemen. In het gebruik van waterstof liggen kansen, die op dit moment nog niet te voorzien zijn.

Discussie

Binnen dit onderzoek is een aantal beperkingen gevonden waarmee rekening gehouden dient te worden.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van meerdere onderzoeken, online bronnen en contact met leveranciers, zoals is terug te vinden in de bronnenlijst. Gebruikte cijfers komen voornamelijk van het CBS, echter deze kunnen met enkele jaren verouderd zijn. Bij dit onderzoek is ervoor gekozen om gebruik te maken van de gegevens van 2017, omdat dit het enige jaar was waarvoor alle benodigde gegevens bekend waren (CO₂-uitstoot, aantal voertuigen enz.). Dit kan ook een vertekend resultaat geven, sinds te zien is dat het aantal personenauto's sindsdien is gestegen. Hierom is ervoor gekozen schattingen naar boven af te ronden om zo een meer reëel beeld te geven.

De hoeveelheid CO₂ die vrijkomt bij de productie van de lijnbus, windturbines en elektrolysetoestellen zijn niet bekend en moeilijk in te schatten. Hierdoor is niet een compleet beeld te krijgen van de CO₂-uitstoot. Als gevolg hiervan is het niet mogelijk om de CO₂-uitstoot van een auto op fossiele brandstoffen en de productie daarvan en een auto op waterstof te vergelijken.

Het volgende punt is dat er zeer weinig gegevens over waterstoftransport met behulp van pijpleidingen bekend zijn. In bijna alle studies worden de emissies die hieraan verbonden zijn genegeerd. Het pijpleidingtransport is vrij efficiënt en zal naar schatting minder CO₂ geven dan waterstoftransport over de weg. De exacte emissies in verband met waterstoftransport met pijpleidingen werden nergens gevonden en worden daarom ook niet opgenomen in de berekening. Dit zal slechts een kleine vertekening zijn in de resultaten, maar moet wel in het achterhoofd worden gehouden.

Voor het waterstoftransport over de weg kunnen wel gegevens gevonden worden. Het onderzoek “Waterstof onderweg” geeft dat een vrachtwagen per kilogram H_2 er 70 kg CO_2 vrijkomt. Bij deze berekening is uitgegaan van meerdere schattingen en daardoor onbetrouwbaar en daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

Een andere beperking is dat het aantal tankstations en het aantal waterstofvoertuigen een vicieuze cirkel is. Als er niet meer waterstofvoertuigen komen, komen er niet meer waterstoftankstations en andersom. Hierdoor gaat het proces om meer waterstofvoertuigen te krijgen in Nederland langzaam. Er zijn plannen om het aantal waterstof-tankstations te verhogen in de komende jaren, maar dit zijn er nog niet genoeg om rijden op waterstof toegankelijk te maken voor voertuigen die kleine afstanden rijden. Hierdoor is de toename van waterstofauto's moeilijk in te schatten.

Verder dient opgemerkt te worden dat het water dat nodig is voor de productie van waterstof ergens vandaan moet komen. Hierbij moet rekening worden gehouden met het feit dat het water, dat in het elektrolysetoestel gaat, redelijk zuiver moet zijn. Daarom zal het halen van water uit bronnen als de zee en meren enerzijds slecht voor het milieu zijn en anderzijds zal dit een compleet nieuwe opstelling vereisen om het water te zuiveren. Afvalwater zal een mogelijkheid kunnen zijn, maar hier moet tevens rekening gehouden worden met het zuiveringsprobleem. Nader onderzoek zou moeten bekijken welke bron hiervoor het best geschikt zou zijn.

Vervolgens was voor het onderzoek gekeken naar het houden van diepte-interviews. Tijdens dit onderzoek is gebleken dat dit geen toevoeging zou hebben. Wel is er voor informatie over bepaalde aantallen contact gezocht met bedrijven, zoals Van Hool en Toyota.

Wat betreft het vinden van de juiste grondstof voor waterstofproductie is gekeken naar met name de onderzoeken van W. Hoogenraad en T. Lambrechts. Verder hebben enkele andere onderzoeken en artikelen informatie verschaft. Zo is door een vergelijking tussen de waterstofvoertuigen van Toyota en Van Hool, tevens bedrijven waar contact mee is gezocht, duidelijk geworden dat de Van Hool Exqui City de beste optie is voor een waterstofvoertuig in Nederland. Dit betekent dat de bronnen een groot deel van dit onderzoek ondersteunen, met name het CBS qua de geconcludeerde slinking van de CO₂-uitstoot op de Nederlandse wegen.

In vergelijking met de onderzoeken 'Waterstof onderweg' en 'Op weg met waterstof' zijn er veel overeenkomsten.

Het doel van de twee onderzoeken waren echter anders dan het doel van dit onderzoek. Deze onderzoeken hebben zich meer gericht op de kansen en knelpunten van het inzetten van waterstofvoertuigen en de voordelen van rijden op waterstof in vergelijking met elektrisch rijden of op fossiele brandstoffen. In dit onderzoek is gekeken naar het effect op de CO₂-uitstoot en is een afname berekend. Deze aantallen zijn niet te vergelijken met de twee onderzoeken. Wel komt de gekozen energieopwekking met de meeste potentie overeen met het onderzoek 'Waterstof onderweg' en wordt deze in combinatie met elektrolyse gezien als een grote kans in de inzet van waterstof.

De door dit onderzoek verkregen resultaten waren deels anders dan eerst verwacht. Wel was namelijk de hypothese dat de uitstoot van CO₂ zou verminderen in het vervoer in Nederland door waterstofvoertuigen in te zetten. Onverwacht was echter de grootte van deze vermindering, 2,7%. Hierbij is wel belangrijk te vermelden dat deze afname naar verwachting in werkelijkheid lager uit zal vallen, aangezien, zoals al eerder in deze discussie vermeld, niet alle factoren konden worden meegenomen in dit onderzoek. Betreffende de gekozen vorm van waterstofproductie en het gekozen vervoermiddel en model was er aan het begin van dit onderzoek nog een gat in de kennis over alle vormen van waterstofproductie en de huidige en toekomstig geplande waterstofauto's en -bussen, verwachtingen hierover waren anders.

Bij herhaling van dit onderzoek over een aantal jaar zullen er andere modellen van waterstofbussen en auto's rijden op de weg en nieuwe manieren van waterstofproductie en energieopwekking zijn. Ook zullen mensen meer of minder met personenauto's gaan en meer of minder gebruik maken van het openbaar vervoer. Dit kan effect hebben op de resultaten en een andere conclusie geven. Wel kan worden gesteld dat bij herhaling van dit onderzoek over een kortere tijd of met het gebruik van dezelfde gegevens er wel dezelfde conclusie uit zal komen. Op basis hiervan kan gesteld worden dat dit onderzoek zowel valide als niet valide is.

Het onderzoek voorziet bij een praktische ingebruikname van de Van Hool waterstofbus een forse afname van de CO₂-uitstoot door het Nederlandse vervoer. Hierom is het voor Van Hool en Nederland van belang druk te leggen op de vervanging van de lijnbus naar de waterstofbus (model Van Hool Exqui City). Daarnaast geeft dit onderzoek een ontwikkeling op theoretisch vlak van het waterstofvervoer weer ten opzichte van de oudere bronnen van W. Hoogenraad en T. Lambrechts.

Om voor een vervolgonderzoek tot een preciezer antwoord te komen is belangrijk dat de gebruikte bronnen voor de statistieken recenter zijn opdat een significanter antwoord kan worden gegeven over de vermindering van de CO₂-uitstoot. Als de CO₂-uitstoot nog lager moet zijn voor een toekomstig onderzoek, moet wederom gekeken worden naar zowel het productieproces van waterstof als de beschikbare waterstofvoertuigen in Nederland. Dit ligt echter buiten de kaders van het onderzoek en is dus moeilijk zelf aan te passen, maar er dient rekening mee te worden gehouden dat er onder andere een vooruitgang zal kunnen komen in de waterstofproductie en de productie van vervoermiddelen die op waterstof rijden. Ook kunnen er bij een vervolgonderzoek gesprekken worden gevoerd met openbaarvervoerbedrijven als QBuzz en bestuurders van auto's om te kijken of de auto's en bussen bevallen en waar hier de kansen liggen. Zo kunnen

mensen ook aangespoord worden om meer gebruik te gaan maken van vervoermiddelen die op waterstof rijden, door middel van het aantrekkelijker maken van deze manier van reizen. Daarbij zouden gesprekken met de overheid ervoor kunnen zorgen dat de waterstofinfrastructuur wordt verbeterd. Als gevolg hiervan zou de waterstofauto ook aantrekkelijker kunnen worden voor kleine afstanden en kunnen bussen in meerdere steden gaan rijden. Door gesprekken te houden met betrokkenen zullen de belangen duidelijk worden en kan er een effectief plan worden gemaakt om de inzet van waterstof als brandstof werkelijkheid te maken.

Bibliografie

Algemeen Dagblad. (2019, februari 5). Pomphouder wacht niet op oliemaatschappijen en opent zelf waterstofpomp. Algemeen Dagblad.

Asser Courant. (2019, juli 25). OV Bureau Groningen Drenthe gaat met 20 bussen over op waterstof. Opgehaald van [www.assercourant.nl: https://assercourant.nl/artikel/1035458/ov-bureau-groningen-drenthe-gaat-met-20-bussen-over-op-waterstof.html?harvest_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://assercourant.nl/artikel/1035458/ov-bureau-groningen-drenthe-gaat-met-20-bussen-over-op-waterstof.html?harvest_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)

Autozine. (2013, juni 11). Bezoek Toyota Fabriek. Opgehaald van Autozine: <https://www.autozine.nl/diversen/bezoek-toyota-fabriek>

Boogaard, L. V. (2015, oktober 1). De mogelijkheden tot opslag van energie. Opgehaald van Wij maken Nederland: <https://wijmakenederland.nl/bijdrage/de-mogelijkheden-tot-opslag-van-energie>

Centraal bureau voor de Statistiek 1. (2016). Transport en mobiliteit. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.

Centraal Bureau voor de Statistiek 2. (2019, september 11). Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; wegverkeer. Opgehaald van [www.cbs.nl](https://opendata-cbs-nl.ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7063/table?ts=1573292303961): <https://opendata-cbs-nl.ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7063/table?ts=1573292303961>

Centraal Bureau voor de Statistiek 3. (2019, maart 7). Motorvoertuigenpark; type, leeftijdsklasse, 1 januari. Opgehaald van [www.cbs.nl: https://opendata-cbs.nl/ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82044NED/table?ts=1573293875522](https://opendata-cbs.nl/ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82044NED/table?ts=1573293875522)

Centraal Bureau voor de Statistiek 4. (2019, september 17). Personenauto's rijden recordaantal kilometers in 2018. Opgehaald van [www.cbs.nl](https://www.cbs.nl/ezproxy2.utwente.nl/nl-nieuws/2019/38/personenauto-s-rijden-recordaantal-kilometers-in-2018): <https://www.cbs.nl/ezproxy2.utwente.nl/nl-nieuws/2019/38/personenauto-s-rijden-recordaantal-kilometers-in-2018>

Centraal Bureau voor de Statistiek 5. (2019, november 5). Verkeersprestaties bussen; kilometers, leeftijdsklasse, grondgebied . Opgehaald van [www.cbs.nl: https://opendata-cbs-nl.ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80589ned/table?ts=1573292949880](https://opendata-cbs-nl.ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80589ned/table?ts=1573292949880)

Centraal Bureau voor de Statistiek 6. (2019, september 17). Verkeersprestaties personenauto's; kilometers, brandstofsoort, grondgebied. Opgehaald van [www.cbs.nl: https://opendata-cbs-nl.ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80428ned/table?ts=1573292634056](https://opendata-cbs-nl.ezproxy2.utwente.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80428ned/table?ts=1573292634056)

Centraal Bureau voor de Statistiek 7. (sd). Methoden.
Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen?tab=e#id=energiedrager>

Decker, K. d. (2013, augustus 18). Waterkrachtcentrales. Opgehaald van Down to earth magazine: <https://downtoearthmagazine.nl/waterkrachtcentrales/>

Energiepodium. (2016, februari 3). Over tien jaar wint waterstofauto het in aantal van elektrische. Opgehaald van Energiepodium: <https://www.energiepodium.nl/artikel/over-tien-jaar-wint-waterstofauto-het-in-aantal-van-elektrische>

GVB Holding NV. (2014). Jaarverslag GVB Holding NV Op weg. Amsterdam: GVB Holding NV.

Hoogenraad, W. (2004). *Op weg met Waterstof*. Delft: Hogeschool Inholland.

Hyundai. (2019, maart 29). Nederland krijgt er snel veel waterstof-tankstations bij. Opgehaald van Hyundai: <https://imotion.hyundai.nl/nederland-krijgt-er-snel-veel-waterstof-tankstations-bij/>

Janson, N. (2019, juni 7). Alles over rijden op waterstof. Opgehaald van www.zerauto.nl: <https://zerauto.nl/alles-over-rijden-op-waterstof/>

Lagerwey. (2017, oktober 18). De eerste waterstofmolen voor duurzame brandstof komt in Nederland. Opgehaald van www.lagerweywind.nl: <https://www.lagerweywind.nl/blog/2017/10/18/eerste-waterstofmolenduurzame-brandstof-komt-nederland/>

Lambrechts, T. (2008). Waterstof onderweg . Brussel: Vrije Universiteit Brussels.

Lorraine Whitmarsh, J. K. (2010, maart 19). Climate change and cars in the EU: the roles of auto firms, consumers, and policy in responding to global environmental change. Opgemaakt van Oxford Academic: <https://academic.oup.com/cjres/article-abstract/3/3/427/490966>

Mazloomi, K., & Gomes, C. (2012). Hydrogen as an Energy Carrier: Prospects and Challenges.

Milieu Centraal. (sd). Waterkracht. Opgehaald van Milieu Centraal: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/waterkracht/>

Milne, T. A., Elam, C. C., & Evans, R. J. (2002). Hydrogen from Biomass: State of the Art and Research Challenges.

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.
(z.j.). Safe Use of Hydrogen. Opgehaald van [https://www.
energy.gov/eere/fuelcells/safe-use-hydrogen](https://www.energy.gov/eere/fuelcells/safe-use-hydrogen).

OVPro. (2019, juli 25). Qbuzz krijgt nog eens 20 waterstofbussen en tankstation. Opgehaald van [www.ovpro.nl: https://www.ovpro.nl/bus/2019/07/25/qbuzz-krijgt-nog-eens-20-waterstofbussen-en-tankstation/](https://www.ovpro.nl/bus/2019/07/25/qbuzz-krijgt-nog-eens-20-waterstofbussen-en-tankstation/)

Rifkin, J. (2002). *The Hydrogen Economy*.
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (sd). Soorten
biomassa voor verbranding. Opgehaald van Rijksdienst
voor Ondernemend Nederland: [https://www.rvo.nl/
onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-
opwekken/bio-energie/toepassingen/soorten-biomassa-voor-
verbranding](https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/toepassingen/soorten-biomassa-voor-verbranding)

Rijksoverheid. (2016, april 15). Nederlands OV stapt over op 100 procent uitstootvrije bussen. Opgehaald van [www.rijksoverheid.nl: https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2016/04/15/nederlands-ov-stapt-over-op-100-procent-uitstootvrije-bussen](https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2016/04/15/nederlands-ov-stapt-over-op-100-procent-uitstootvrije-bussen)

Rijkswaterstaat. (2018, oktober 4). Potentie thermische energie uit water groter dan gedacht. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2018/10/potentie-thermische-energie-uit-water-groter-dan-gedacht.aspx>

Scheijgrond, P. (2019, juli 3). Nederland moet nu inzetten op energie uit water. Opgehaald van Energie uit water: <http://www.energieuitwater.nl/Nieuws/>

nederlandmoetnuinzettenopenergieuitwater

Scholtens, M. P. (2003, december 12). Stadsbussen op schoon waterstof. Opgehaald van www.volkskrant.nl/https://www.volkskrant.nl/economie/stadsbussen-op-schoon-waterstof-b758178b/

Stowa, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Unie van Waterschappen. (2017). Thermische energie uit oppervlaktewater. Amersfoort, Utrecht, Nederland. Tankpro. (2018, april 12). Aantal tankstations neemt licht af; omzet shops zit in de lift. Tankpro.

Torresol Energy. (2018). Gemasolar. Opgehaald van Torresol Energy: <https://torresolenergy.com/en/gemasolar/> Toyota. (2018, oktober 30). Toyota waterstofbus gaat de weg op! Opgehaald van www.toyota.nl/https://www.toyota.nl/over-toyota/toyota-world/toyota-waterstofbus-sora-gaat-de-weg-op.json

Van Hool. (2018, februari 28). Van Hool bouwt 40 waterstofbussen voor Keulen en Wuppertal (Duitsland). Opgehaald van www.vanhool.be/https://www.vanhool.be/nl/nieuws/van-hool-bouwt-40-waterstofbussen-voor-keulen-en-wuppertal-duitsland

Verenigde Naties. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Opgehaald van UN Documents: <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I>

Waterstofnet. (2010). Eigenschappen van waterstof. Opgehaald van Waterstofnet: https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/Pdf-Ppt/waterstoftabel.pdf

Werkgroep OntwikkelingsTechnieken (WOT), S. M. (2003, mei). Cursus Duurzame Energie in ontwikkelingslanden. Enschede, Overijssel, Nederland: Studievereniging MONSOON, Werkgroep OntwikkelingsTechnieken, Universiteit Twente.

Wiesmayer, P. (2019, september 4). Flixbus begint pilot met waterstofbussen. Opgehaald van Innovation Origins: <https://innovationorigins.com/nl/flixbus-begint-pilot-met-waterstofbussen/>

Geothermie een voordelig alternatief voor fossiele brandstoffen? Hoe lonend geothermische projecten zijn vergeleken met zonne- en windenergetische projecten in 2019

Q.J.M. Hoenink¹, J.F.B. Reuver², J.P. Steenbergen¹, D.M.A. Ensink², F.J. Witmans³, E.M. Meijer³

¹Twents Carmel College Lyceumstraat, Oldenzaal

²Twents Carmel College De Thij, Oldenzaal

³Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - The Dutch government is trying to make the Netherlands less dependent on fossil fuels by subsidizing investments in sustainable, renewable energy sources.[1,2] Geothermal energy is seen as one of the potential alternative energy sources, but because only a few Dutch companies are involved in it, it is still in its infancy.[3-5] In recent years geothermal energy has undergone many developments in the Netherlands and feasibility studies show that the Dutch soil is suitable for applications of geothermal energy.[5] However, the profitability of geothermal energy in the Netherlands is still unknown and due to the high start-up costs, it is hard to say whether or not geothermal energy will be profitable.[6] To determine whether geothermal energy is worth the investment, it is necessary to investigate the profitability of geothermal applications in the Netherlands compared to other renewable energy sources.

The purpose of this research is to determine how cost-effective geothermal applications are in the Netherlands at the moment compared to other sustainable, renewable energy sources. The following research question has been drawn up for this: How profitable are geothermal applications in the Netherlands in 2019 compared to the applications of solar and wind energy on land in the Netherlands?

In order to provide an answer to the research question, various technical-economic parameters have been collected from the current scientific literature concerning the applications of geothermal energy and those of solar and wind energy on the basis of which the profit per kilowatt hour has been calculated. Subsequently the profitability of geothermal applications compared to the energetic applications of sun and wind was determined by calculating the percentage changes between geothermal and solar energy on the one hand and geothermal and wind energy on the other. The results show that in 2019 geothermal applications in the Netherlands are significantly less cost-effective than the applications of both solar and wind energy on land in the Netherlands. Therefore, it can be concluded that in 2019 geothermal applications in the Netherlands are less cost-effective compared to the energetic applications of both sun and wind on land in the Netherlands. This result means that the applications of solar and wind energy on land are currently a more cost-effective and therefore a more attractive investment item in the Netherlands for entrepreneurs when compared to the geothermal ones due to the higher degree of profitability that can be achieved.

Based on this, it is recommended to either invest more money in geothermal applications in the Netherlands or not to invest in geothermal energy at all so that investments can be made in other renewable energy sources. Possible follow-up research could focus on the effects of new developments on the profitability of the investigated energy types, the positive and negative external effects of the investigated energy sources for society or a more extensive cost analysis.

I. INTRODUCTIE

Het Nederlandse energiesysteem is momenteel nog sterk afhankelijk van fossiele brandstoffen.[1] Deze zijn slecht voor het milieu, omdat de voorraden ervan beperkt zijn en omdat er bij de verbranding van fossiele brandstoffen het broeikasgas CO₂ vrijkomt.[1] Om het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen stimuleert de Nederlandse overheid energiebesparing en de stapsgewijze overgang naar duurzame energie met als streven dat het Nederlandse energiesysteem in 2050 CO₂-vrij moet zijn.[1-2] Energiedeskundigen en de Nederlandse overheid zien geothermie als een van de mogelijke duurzame alternatieven voor de fossiele brandstoffen.[3-5]

A. Geothermie

Met de term geothermie of aardwarmte bedoelt men de warmte die in de gesteentes en vloeistoffen van de aarde ligt opgeslagen. [7] Deze warmte wordt gewonnen in aardwarmte installaties: in de productieput wordt warm water uit een ondergronds reservoir naar boven gehaald naar een warmtewisselaar, die de warmte van het water overbrengt naar een andere vloeistof,

waarna het benutte water in de injectieput weer in het reservoir wordt gepompt.[8-10] Hoe de gewonnen warmte vervolgens gebruikt wordt, verschilt per installatie.[7] Het gebruik van aardwarmte valt namelijk te verdelen in het directe gebruik, waarbij de warmte zelf wordt benut, en de stroomopwekking, waarbij de warmte in een geothermiec centrale wordt omgezet in elektrische energie.[7] Normaliter wordt de nabij het oppervlak gewonnen aardwarmte direct gebruikt en wordt de dieper gewonnen aardwarmte gebruikt voor stroomopwekking.[11] Een geothermiebron gaat gemiddeld zo'n dertig jaar mee. [10] Na deze periode wordt de bron met rust gelaten, zodat de temperatuur in de bron zich kan herstellen.[10-11] Dit herstelproces vindt plaats door middel van warmtegeleiding: de warmte van de aardkern wordt afgegeven aan diep gelegen gesteentes en vloeistoffen, waarna deze verder wordt afgegeven aan steeds ondieper gelegen gesteentes en vloeistoffen.[10-11] Hoewel dit proces warmte onttrekt aan de aardkern koelt deze hierdoor niet af.[12] Integendeel, door radioactieve vervalprocessen in de aardkern en -mantel en het proces van stollen en kristallisatie van het vloeibare deel van de kern komt er juist warmte vrij in de aardkern.[12] Na ongeveer 130 jaar

heeft de temperatuur in de injectieput zich herstelt tot circa 80% van de oorspronkelijke temperatuur.[10] Hierdoor kan een geothermische installatie na 130 jaar de productie weer hervatten.

Geothermie wordt hierdoor gezien als een duurzame hernieuwbare energiebron en een mogelijk alternatief voor fossiele brandstoffen.[4-6] Het heeft als voordelen dat het nagenoeg CO2-emissie vrij, 24 uur per dag beschikbaar en onafhankelijk van het weer is.[5]

B. Huidige situatie

Momenteel staat de Nederlandse geothermie nog in haar kinderschoenen en veelal in fase van onderzoek.[4,11] In Nederland houden zich namelijk slechts enkele bedrijven bezig met ontwikkelingen op het gebied van de geothermie, terwijl in landen als IJsland, El Salvador, Kenia, Nieuw-Zeeland, de Verenigde Staten en de Filipijnen dit al op veel grotere schaal gebeurt.[4,10-11,13-16]

Toch heeft de Nederlandse geothermie in de afgelopen jaren relatief veel ontwikkelingen doorgemaakt.[11] Zo is in 2007 begonnen met een project dat bestond uit vijf boringen tot 700 meter diepte, in 2008 is het eerste doublet, een aardwarmte-installatie bestaande uit een productie- en injectieput, geboord waarbij de warmte direct werd gebruikt voor een tuinbouwkas en in 2014 werd het eerste triplet, een aardwarmte-installatie bestaande uit twee productieputten en een injectieput, geboord. [11] Sinds 2011 bestaat in Nederland ook een subsidieregeling voor duurzaam geproduceerde energie en/of warmte, de Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+), om het gebruik van onder andere geothermie te stimuleren.[2,11] Dit alles tezamen heeft ervoor gezorgd dat Nederland aan het einde van 2015 een capaciteit van 125 megawatt energie had van met geothermie opgewekte energie.[11] In 2018 is deze zelfs uitgebreid tot 190 megawatt thermische energie. [4] Nederland telde destijds ongeveer twintig producerende geothermische projecten en naar schatting komen er jaarlijks twee nieuwe projecten bij.[11]

C. Probleemstelling

De Nederlandse geothermie is in de afgelopen jaren sterk gegroeid en de vele haalbaarheidsonderzoeken en boringen die momenteel aan de gang zijn, lijken erop te wijzen dat de Nederlandse ondergrond voldoende potentie heeft voor de winning van geothermie.[5,17] Echter, er is nog veel onduidelijk.[17] Zo zijn ook de opbrengsten van geothermie nog vrij onbekend.[17] Door de hoge opstartkosten lijkt het er daarom om te gaan spannen of toepassingen van geothermie ook daadwerkelijk lonend zijn als duurzame energiebron.[6] Daarom is het noodzakelijk om op korte termijn inzicht te verschaffen in hoeverre deze toepassingen rendabel zijn, zodat kan worden vastgesteld of geothermie de investeringen waard zijn. Door de opbrengsten en kosten van de toepassingen van geothermie in kaart te brengen en deze te vergelijken met die van twee andere vooraanstaande duurzame energiesoorten, zonne- en windenergie, kan dit inzicht worden verschaft. De onderzoeksvraag luidt daarom als volgt:

Hoe rendabel zijn geothermische toepassingen ten opzichte van de energetische toepassingen van zon en wind op land in Nederland in 2019?

II. METHODE

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden is inzicht

noodzakelijk in gegevens omtrent de opbrengsten en kosten van respectievelijk geothermische toepassingen en de energetische toepassingen van zon en wind in Nederland. Met behulp van deze gegevens kunnen namelijk de totale opbrengsten en kosten van de energiesoorttoepassingen worden berekend, die vervolgens kunnen worden gebruikt om de totale winst te berekenen door de totale opbrengsten te verminderen met de totale kosten.[18]

Voor dit onderzoek was het niet mogelijk om opbrengsten- en kostengegevens van de energie producerende toepassingen zelf te verzamelen. Daarom beroept dit onderzoek zich uitsluitend op de huidige (2020) wetenschappelijke literatuur om deze opbrengsten- en kostengegevens succesvol in kaart te brengen. De onderzoeken van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) omtrent de Stimuleringsregeling Duurzame Energietransitie (SDE++)[19-21] uit 2019 hebben hierin een belangrijke rol gespeeld.

A. Conceptadviezen SDE++ 2020

De onderzoeken van het PBL uit 2019[19-21] zijn bedoeld als conceptadvies over de SDE++ 2020 voor het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).[22-24] Elk onderzoek vestigt de aandacht op een van de duurzame energiesoorten die onder de SDE++ 2020 valt en verdeelt deze vervolgens verder in toepassings-categorieën die uniek zijn voor die energiesoort (zie appendix A voor een overzicht van de toepassingscategorieën die het PBL hanteert voor geothermie, zonne-energie en windenergie op land).[19-21] Het PBL geeft in ieder conceptadvies een overzicht van basisbedragen, algemene technisch-economische parameters en uitgangspunten die betrekking hebben op de toepassingscategorieën van de bijbehorende energiesoort.[19-25]

Voor dit onderzoek zijn de conceptadviezen omtrent geothermie[19], zonne-energie[20] en windenergie[21] van belang. Ook het onderzoek naar de voorlopige correctiebedragen voor de SDE++ 2020[26] en het Onrendabele-Top-model (OT-model) van het PBL[25], het document waarin het PBL de berekeningen voor de basisbedragen heeft uitgevoerd, zijn voor dit onderzoek van belang. Samen verstrekken deze bronnen namelijk de benodigde technisch-economische para-meters per energiesoorttoepassings-categorie voor de opbrengsten- en kostenberekeningen (zie appendix B voor een overzicht hiervan).[19-21,25-26]

Hoe de opbrengsten-, kosten- en winst-berekeningen van dit onderzoek in elkaar zitten, wordt uitgelegd in respectievelijk “Berekening van de opbrengsten”, “Berekening van de kosten” en “Berekening van de winst”. Een overzicht van deze berekeningen staat achtereenvolgens in appendix C, D en E. Voorafgaand aan deze berekeningen moet de hoeveelheid geproduceerde energie van de energiesoorttoepassingscategorie worden berekend. Hoe dit gaat wordt uitgelegd in “Berekening van de hoeveelheid geproduceerde energie” en een overzicht hiervan staat in appendix C.

Omdat de technisch-economische parameters uit de conceptadviezen van het PBL per energiesoorttoepassingscategorie zijn gegeven zullen de opbrengsten, kosten en winst per energiesoorttoepassingscategorie worden berekend.

B. Berekening van de hoeveelheid geproduceerde energie

Aan de basis van de opbrengsten-, kosten- en winstberekeningen

ligt de hoeveelheid netto opgewekte energie van de betreffende energiesoorttoepassingscategorie in kilo-wattuur (kWh) per jaar. Deze kan worden berekend door de hoeveelheid bruto opgewekte energie van de toepassings-categorie in kWh per jaar te verminderen met de hoeveelheid elektriciteit in kWh per jaar die tijdens de productie is verbruikt.[19] In de publicaties van het PBL is van elektriciteitsverbruik overigens alleen sprake bij geothermische toepassingen, omdat de pompinstallatie in de geothermische installatie moet worden voorzien van elektriciteit om te kunnen werken.[19] De parameter elektriciteits-verbruik is daarom uitsluitend te vinden in het conceptadvies omtrent geothermie.[19] De hoeveelheid bruto opgewekte energie wordt gevonden door gebruik te maken van de formule Energie (E) = Vermogen (P) × Tijd (t).[27] Hieruit volgt dat de hoeveelheid bruto opgewekte energie in kWh per jaar (E) gelijk is aan de vermenigvuldiging van het thermisch/elektrisch outputvermogen van de toepassingscategorie in kilowatt (P) met het aantal vollasturen per jaar van die toepassingscategorie (t).[27] Deze laatste twee parameters staan in respectievelijk de conceptadviezen en het OT-model van het PBL.[19-21,25]

Hoewel de meeste parameters uit de publicaties van het PBL afhankelijk zijn van het aantal jaren van productie, zijn de investeringskosten dat niet.[19-21] Wanneer geen rekening wordt gehouden met het aantal jaren van productie wordt hierdoor een vertekend beeld gegeven van de winstgevendheid van de investering, waardoor het lijkt alsof geen enkele energiesoorttoepassingscategorie het investeren waard is. Om dit te voorkomen moet wel rekening gehouden worden met het aantal jaren van productie. Daarom wordt voor de opbrengsten-, kosten- en winstberekeningen van dit onderzoek gesteld dat de energiesoorttoepassings-categorieën zich bevinden aan het einde van het twintigste productiejaar, wat inhoudt dat totaal voor twintig jaren aan energie is geproduceerd. Op deze manier wordt wel rekening gehouden met de technisch-economische parameters die afhankelijk zijn van het aantal jaren van productie, waardoor een realistischer beeld van de winstgevendheid van geothermische projecten ten opzichte van die van zonne- en windenergie kan worden geschetst. Bij deze aanname moet de kanttekening worden geplaatst dat dit onderzoek geen rekening houdt met veranderingen in de afgezette hoeveelheid energie en de energieprij. Hierover kunt u meer lezen in “Discussie”.

C. Berekening van de opbrengsten

De berekening van de opbrengsten heeft als doel het bepalen van de totale opbrengsten van de energiesoorttoepassingscategorie. De totale opbrengsten van een energiesoort-toepassingscategorie bestaan uit de som van de totale energieafzettingsofbrengsten en de totale SDE+-bijdrage die wordt ontvangen.[19-21,25] Deze bedragen zijn in euro’s.

De SDE+-bijdrage vergoedt het verschil tussen de kostprijs van de hernieuwbare energiesoorttoepassingscategorie, die het PBL heeft vastgelegd in het basisbedrag, en de marktwaarde van de geleverde energie, die het PBL heeft vastgelegd in het correctiebedrag.[28] Hieruit volgt dat de SDE+-bijdrage in euro’s per jaar berekend kan worden door het verschil tussen het basisbedrag van de energiesoort-toepassingscategorie en het correctiebedrag te vermenigvuldigen met de hoeveelheid netto geproduceerde energie van de energiesoorttoepassingscategorie. [28] Omdat de subsidieperiode voor de categorieën geothermie, zonne-energie en windenergie 15 jaar is en de

energiesoort-toepassingscategorie zich aan het einde van het twintigste productiejaar bevindt, wordt de totale ontvangen SDE+-bijdrage in euro’s berekend door de SDE+-bijdrage in euro’s per jaar te vermenigvuldigen met vijftien voor het aantal subsidiejaren.[28] De basisbedragen zijn te vinden in het OT-model van het PBL. De correctiebedragen staan vermeld in Voorlopige correctiebedragen 2020 voor de SDE++[26].

De totale opbrengsten van de energie-afzetting in euro’s zijn te berekenen door gebruik te maken van de formule Totale Opbrengsten (TO) = Prijs (p) × Afzet (q).[29] Hieruit volgt dat de totale opbrengsten van de energieafzetting van een toepassings-categorie in euro’s (TO) gelijk zijn aan de vermenigvuldiging van de gemiddelde energieprij van de betreffende energiesoort in 2019 in euro’s per kWh (p) met de hoeveelheid netto afgezette energie in kWh per jaar (q per jaar) en twintig voor het aantal jaren van productie.[29] Hierbij is de hoeveelheid afgezette energie gelijk aan de hoeveelheid opgewekte energie, doordat energieproducenten door aangegane contracten een bepaalde vergoeding krijgen voor de hoeveelheid geproduceerde energie.[30] De gemiddelde energieprij van de betreffende energiesoort komt overeen met het correctiebedrag van de energiesoort, omdat het PBL de marktwaarde van de energiesoort hierin heeft vastgesteld.[28]

D. Berekening van de kosten

De berekening van de kosten heeft als doel het bepalen van de totale kosten van de energiesoorttoepassingscategorie. De totale kosten van een energiesoort-toepassingscategorie bestaan uit de som van de totale investeringskosten, totale vaste operationele kosten voor 20 productie jaren en totale variabele operationele kosten voor 20 productie jaren.[19-21,25] Voor de meeste energetische toepassingen van zon geldt dat de totale kosten van de toepassingscategorie ook nog bestaan uit de eenmalige onderhoudskosten in jaar 12.[19-21] De hiervoor genoemde parameters zijn in euro’s.

De totale investeringskosten staan in het conceptadvies van het PBL omtrent de energiesoort, waaronder de energiesoort-toepassingscategorie valt, vermeld in euro’s per kW, ofwel euro’s/kilowatt . Door deze investeringskosten te vermenigvuldigen met het thermisch/elektrisch output-vermogen in kW worden de totale investeringskosten in euro’s × kilowatt / kilowatt = euro’s × kilowatt / kilowatt = euro’s × 1, ofwel euro’s, berekend.

De eenmalige onderhoudskosten in jaar 12 staan vermeld in het conceptadvies omtrent zonne-energie in euro’s per kW.[20] Aangezien ze dezelfde eenheid hebben als de totale investeringskosten van de energiesoorttoepassingscategorie vindt de omrekening naar euro’s op dezelfde manier plaats. De eenmalige onderhoudskosten in jaar 12 in euro’s worden dan gevonden door de eenmalige onderhoudskosten in jaar 12 in euro’s per kW te vermenigvuldigen met het thermisch/elektrisch outputvermogen in kW.

De totale vaste operationele kosten staan in het conceptadvies van het PBL omtrent de energiesoort, waaronder de energiesoort-toepassingscategorie valt, vermeld in euro’s per kW per jaar, ofwel “euro’s” /”kilowatt × aantal jaren “ . Door deze vaste operationele kosten eerst met twintig te vermenigvuldigen voor het aantal jaren van productie en vervolgens met het thermisch/elektrisch output-vermogen in kW worden de totale vaste operationele kosten in “euro’s × kilowatt × aantal jaren” /”kilowatt × aantal jaren” = euro’s × “ kilowatt × aantal jaren” /”kilowatt × aantal jaren” = euro’s

$\times \text{“ kilowatt”} / \text{“kilowatt”} \times \text{“ aantal jaren”} / \text{“aantal jaren”} = \text{euro's} \times 1 \times 1$, ofwel euro's, berekend.
De totale variabele operationele kosten staan in het conceptadvies van het PBL omtrent de energiesoort, waaronder de energiesoorttoepassingscategorie valt, vermeld in euro's per kWh per jaar. Het aantal jaar staat hier voor het aantal jaren van productie, zodat kan worden bepaald hoeveel energie in die jaren is geproduceerd. Hieruit volgt dat de totale variabele operationele kosten in “euro's” / “kilowattuur $\times$ aantal jaren” zijn gegeven. Door deze variabele operationele kosten te vermenigvuldigen met de totale in 20 productie jaren geproduceerde hoeveelheid netto opgewekte energie in kWh worden de totale vaste operationele kosten in “euro's $\times$ kilowattuur $\times$ aantal jaren” / “kilowattuur $\times$ aantal jaren” = euro's $\times$ “ kilowattuur $\times$ aantal jaren” / “kilowattuur $\times$ aantal jaren” = euro's $\times$ “kilowattuur” / “kilowattuur” $\times$ “ aantal jaren” / “aantal jaren” = euro's $\times 1 \times 1$, ofwel euro's, berekend.

E. Berekening van de winst

Aan de hand van de berekende totale opbrengsten en kosten kan de totale winst berekend worden.[18] Het doel van de berekening van de winst is dan ook om deze totale winst te berekenen.
Voor de berekening van de totale winst van een energiesoorttoepassingscategorie in euro's kan gebruik worden gemaakt van de formule Totale Winst (TW) = Totale Opbrengsten (TO) – Totale Kosten (TK).[18] Hieruit volgt dat de totale winst van een energiesoorttoepassingscategorie in euro's (TW) overeenkomt met het verschil tussen de totale opbrengsten van de energiesoort-toepassingscategorie in euro's (TO) en totale kosten ervan in euro's (TK).
Om vergelijking van de totale winst tussen de energiesoorten mogelijk te maken wordt de totale winst van de energiesoort gedeeld door de hoeveelheid netto opgewekte energie in 20 jaren van productie in kWh, zodat in een oogopslag kan worden gezien hoeveel euro winst de energiesoort-toepassingscategorie maakt per kWh en of dit meer of minder is dan een andere toepassingscategorie.

F. Winstgevendheidsvergelijking

Om te bepalen hoe lonend geothermische toepassingen zijn ten opzichte van die van zonne- en windenergie in Nederland is een zo duidelijk mogelijk beeld nodig van de winst van een energiesoort. Door van de energiesoort de minimale, gemiddelde en maximale winst per kWh te bepalen wordt duidelijk tussen welke extreme waarden de winst van de energiesoort varieert, waardoor het beeld van de winstgevendheid wordt verduidelijkt. Deze berekeningen zullen nu worden aangestipt (zie appendix F voor een overzicht hiervan).
De gemiddelde (totale) winst van een energiesoort per kWh wordt gevonden door de totale winst per kWh van de energiesoorttoepassingscategorieën, die behoren tot deze energiesoort, te sommeren en vervolgens te delen door het aantal energiesoorttoepassingscategorieën die onder deze energiesoort vallen.
De minimale winst van een energiesoort per kWh komt overeen met de totale winst per kWh van de energiesoorttoepassingscategorie die tot deze energiesoort behoort en in vergelijking met de andere energiesoorttoepassingscategorieën van deze energiesoort de laagste winst per kWh heeft.
De maximale winst per kWh van een energiesoort is juist de totale winst per kWh van de toepassingscategorie behorende

tot deze energiesoort die in vergelijking met de andere toepassingscategorieën van deze energiesoort de hoogste winst heeft.
Aan de hand van de berekende minimale, gemiddelde en maximale winst per kWh kan worden bepaald hoe lonend geothermische toepassingen zijn ten opzichte van de energetische toepassingen van zon en wind in Nederland. Deze bepaling vindt plaats aan de hand van de procentuele verschillen tussen deze waarden van geothermie met die van zonne- en windenergie. De procentuele verschillen tussen een winstvariant van geothermie en die van zonne- of windenergie kunnen worden berekend aan de hand van de formule “nieuw - oud” / “oud “ “ $\times 100\%$ ”, waarbij “nieuw” de winstvergelijkingsparameter is van geothermie en “oud” de winst-vergelijkingsparameter is van ofwel zonne-energie ofwel windenergie van hetzelfde type als die van geothermie.[31] Een overzicht hiervan is ook in appendix F te vinden.

III. RESULTATEN

De resultaten van de opbrengsten-, kosten- en winstberekeningen zijn opgenomen in het Excel-document Het energetische rekenmodel (ER-model)[32]. Ook de berekening van de winstvergelijkings-parameters en de winstgevendheid zijn hierin verwerkt. In “Bibliografie” is dit document opgenomen als bron 32, waar u een link naar het bestand kunt vinden.
Het ER-model bestaat uit vijf tabbladen: colofon, geothermie, zonne-energie, windenergie en winstvergelijking.[32] In het tabblad colofon staat feitelijke informatie over het document.[32] In de tabbladen geothermie, zonne-energie en windenergie wordt eerst een samenvatting van de winstvergelijkings-parameters gegeven, waarna per energie-soorttoepassingscategorie de technisch-economische parameters en de afzet-, opbrengsten-, kosten- en winst-berekeningen worden verstrekt.[32] Aan het einde van de tabbladen geothermie, zonne-energie en windenergie staat een grafiek die de totale winst per kWh van de toepassingscategorieën van de energiesoort weergeeft.[32] De nummers op de x-as van deze grafieken komen overeen met de nummers van de toepassingscategorieën van de betreffende energiesoort zoals deze in appendix A staan vermeld. Deze grafieken van de totale winst per kWh van respectievelijk geothermie, zonne-energie en windenergie zijn ook opgenomen in achtereenvolgens figuur 7, 8 en 9 van respectievelijk appendix G, H en I.
In het tabblad winstvergelijking wordt eerst een overzicht gegeven van de winstgevendheid van geothermie ten opzichte van die van zonne-energie gevolgd door een overzicht van de winstgevendheid van geothermie ten opzichte van die van windenergie en een herhaling van de winstvergelijkingsparameters van de energiesoorten, waarmee de winstgevendheid is berekend. [32] Uit deze berekeningen volgt het volgende. De minimale totale winst per kWh van geothermie in Nederland bij 20 jaren van productie in 2019 valt 181,48% en 219,88% lager uit dan die van respectievelijk zonne- en windenergie op land in Nederland. [32] De gemiddelde totale winst per kilowattuur van geothermie in Nederland bedraagt bij 20 jaren van productie in 2019 96,95% minder dan die van de zonne-energie in Nederland en 95,43% minder dan die van windenergie op land in Nederland.[32] De maximale totale winst per kilowattuur van geothermie in Nederland valt 63,28% en 35,91% lager uit dan die respectievelijk zonne- en windenergie op land in Nederland bij 20 jaren van productie in 2019.[32]
Het tabblad winstvergelijking bevat onderaan ook een grafiek, waarin de winstvergelijkingsparameters van de energiesoort per

winstvergelijkings-parametertype (minimale, gemiddelde of maximale totale winst per kWh) zijn uitgezet.[32] Deze grafiek is ook opgenomen in figuur 10 van appendix J.

IV. CONCLUSIE

Nu de resultaten besproken zijn, kan een antwoord worden gegeven op de onderzoeksvraag. Wanneer er wordt gekeken naar de resultaten van geothermische toepassingen in Nederland ten opzichte van die van energetische toepassingen van zon en die van wind op land in Nederland bij 20 jaren van productie in 2019, dan valt er te zien dat geothermische toepassingen in Nederland zowel een procentueel lagere maximale, gemiddelde als minimale winst per kilowattuur hebben in vergelijking met die van de energetische toepassingen van zon en die van wind op land in Nederland. Hieruit valt te concluderen dat geothermische toepassingen in Nederland beduidend minder rendabel zijn dan energetische toepassingen van zon en wind op land in Nederland bij 20 jaren van productie in 2019.

V. DISCUSSIE

Zoals u in “Methode” heeft kunnen lezen is gedurende dit onderzoek gebruik gemaakt van tien technisch-economische parameters uit de onderzoeken van het PBL[19-21,25-26] om de totale winst per kWh van geothermische toepassingscategorieën en die van zonne- en windenergie in Nederland te berekenen. Aan de hand hiervan is vervolgens een drietal winstvergelijkings-parameters bepaald, waarmee de winstgevendheid van geothermie ten opzichte van zonne- en windenergie in Nederland in 2019 is bepaald.

A. Validiteit

Omdat de resultaten van dit onderzoek zijn gevonden aan de hand van de technisch-economische parameters van het PBL en de berekeningen die hiermee zijn uitgevoerd berust de validiteit van dit onderzoek op de relevantie van de gebruikte parameters en de juistheid van de gehanteerde berekeningen. Vanwege de actualiteit van de onderzoeken van het PBL en de mate waarin het onderwerp van dit onderzoek aansluit op de context van de onderzoeken van het PBL zijn de gebruikte parameters binnen dit onderzoek relevant en dus bruikbaar. Omdat in dit onderzoek de winst van de energiesoorten onderling is vergeleken blijkt de relevantie van de parameters ook uit de mate waarin de parameters van de energiesoorten onderling kunnen worden vergeleken. Vanwege het feit dat de parameters door dezelfde onderzoeksinstanties voor hetzelfde onderzoek zijn verstrekt is de kans erg groot dat de parameters op dezelfde wijze zijn benaderd en daardoor aan dezelfde variabelen zijn blootgesteld. Dit duidt op een hogere mate van vergelijkbaarheid, waardoor de parameters relevant zijn. De berekeningen van de hoeveelheid opgewekte energie, de energieafzettings-opbrengsten, de SDE+-bijdrage, de winst en de winstvergelijkingsparameters zijn in dit onderzoek gebaseerd op formules uit de natuurkunde of economie. [18,27,29,31] Deze formules zijn momenteel nog volop in gebruik en deskundigen uit deze vakgebieden zijn het er momenteel dan ook over eens dat deze formules juist zijn. [18,27,29,31] Dit zorgt ervoor dat de kans erg groot is dat de met deze berekeningen bepaalde parameters op een juiste manier zijn bepaald.
Omdat er geen directe formules bestonden voor de kostenberekeningen zijn deze bepaald aan de hand van basis wiskundige vaardigheden en de vaardigheid van het afleiden

van eenheden[33], zoals u in “Methode” hebt kunnen zien. Doordat deze benaderingswijze wetenschappelijk gefundeerd is, vergroot deze de kans dat de met deze berekeningen bepaalde parameters op een juiste manier zijn bepaald.
Om de juistheid van de berekeningen op een minder speculerende wijze te analyseren is een steekproef met enkele parameters uitgevoerd om te bepalen in hoeverre de parameters van het PBL een reëel beeld schetsen van de werkelijke situatie. Zo is het aantal vollasturen van zonne- en windenergie bepaald aan de hand van de weergegevens van vijftien KNMI-weerstations die verspreid zijn over Nederland. Uit de steekproef van zonne-energie volgde dat het aantal vollasturen voor zonne-energie uit de eigen analyse met een insignificante afwijking van 0,4% overeenkomt met de waarde die het PBL hiervoor hanteert. Daarnaast bleek dat de waarde van het PBL overeenkwam met de vollasturen voor zonne-energie uit het Nederlandse klimaatakkoord.[34] Uit een steekproef voor de totale winst van windenergie volgde dat deze met een afwijking van 3% overeenkwam met die van een vergelijkbare rekenom van de Groene Rekenkamer[35]. Uit deze steekproeven volgt dat de technisch-economische parameters van het PBL een reële weerspiegeling van de werkelijkheid geven.
Op basis van het voorgaande kan gesteld worden dat de resultaten van dit onderzoek valide zijn.

B. Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van dit onderzoek berust op de wetenschappelijkheid van de bronnen die de parameters verstrekten en de juistheid van de berekeningen. Dit laatste is aangetoond in “Validiteit”.
Dat de bronnen die de parameters verstrekten wetenschappelijk zijn, blijkt uit het feit dat ze zijn geschreven door een deskundig instituut op het gebied van strategische beleidsanalyses omtrent milieu, natuur en ruimte: het PBL.[19-21,25-26] Daarnaast blijkt dit uit het feit dat het PBL de onderzoeken in samenwerking heeft uitgevoerd met andere deskundige organisaties op het gebied van onderzoek, zoals TNO, en dat een van de auteurs van de onderzoeken een prominente rol heeft gespeeld in de onderzoeken uit voorgaande jaren omtrent de SDE+.[19-21,24,36-37]

C. Interpretatie van de resultaten

Uit de resultaten bleek dat geothermische toepassingen beduidend minder rendabel zijn dan de energetische toepassingen van zowel zon als wind op land in Nederland in 2019. Dit resultaat betekent dat de totale winst per kWh van de geothermische toepassingscategorieën telkens lager uitvalt dan de totale winst per kWh van de toepassingscategorieën van zonne- en windenergie op land. Dit is duidelijk te zien in de figuren 7, 8 en 9 van respectievelijk appendix G, H en I, aangezien de maximale totale winst per kWh van geothermie minder bedraagt dan de minimale totale winst van respectievelijk zonne- en windenergie. Opvallend aan dit resultaat is dan ook dat de totale winst per kWh voor geothermische toepassingen zoveel lager uitvalt. Dit resultaat was overigens wel te verwachten, aangezien geothermie in Nederland nog in de kinderschoenen staat en daardoor relatief minder ver ontwikkeld is op het gebied van winstgevendheid, terwijl zonne- en windenergie in Nederland al veel langer worden aangeboden en hierdoor al verder zijn in dit stadium van ontwikkeling.
Uit dit resultaat volgt dat de energetische toepassingen

van zon en wind op land in Nederland vanwege hun hogere winstgevendheid momenteel een aantrekkelijker investeringspost zijn voor investeerders dan geothermische toepassingen in Nederland.

Deze constatering kan twee reacties, maatschappelijke implicaties, teweeg brengen. Enerzijds kunnen investeerders meer gaan investeren in de Nederlandse geothermie met als doel dat Nederland ook gebruik kan maken van geothermische energiebronnen. Anderzijds kunnen investeerders juist minder gaan investeren in de Nederlandse geothermie, omdat investeringen in bijvoorbeeld toepassingen van zonne- en windenergie winstgevender zijn.

Hoewel er momenteel al wel onderzoeken zijn uitgevoerd naar de winstgevendheid van zowel geothermische toepassingen in Nederland als naar de energetische toepassingen van zon en wind op land in Nederland is tot nu toe uitsluitend gekeken naar de winstgevendheid van de energiesoort zelf en niet in vergelijking met andere energiesoorten. Momenteel geeft het merendeel van deze onderzoeken over geothermie en windenergie aan dat deze energiesoorten nog niet rendabel genoeg zijn om zonder flinke subsidies te kunnen.[6,38-43] Volgens Milieu Centraal[44] zijn zonnepanelen al wel een rendabele investering. In de toekomst zou geothermie echter wel zeer rendabel kunnen worden.[45] Volgens Trouw[45] zullen de kosten voor geothermie de komende jaren namelijk sterk dalen, waardoor het in een groot gedeelte van Nederland in 2030 al zeer rendabel zou zijn en in de rest van Nederland in 2050.

D. Beperkingen van het onderzoek

Zoals u in “Methode” hebt kunnen lezen was het voor dit onderzoek niet mogelijk om opbrengsten- en kostengegevens van de energie producerende toepassingen zelf te verzamelen, wat ertoe heeft geleid dat dit onderzoek zich uitsluitend op de huidige wetenschappelijke literatuur heeft beroepen om deze gegevens in kaart te brengen.

Omdat dit onderzoek vooral een beroep heeft gedaan op de onderzoeken van het PBL[19-21,25-26] om deze opbrengsten- en kostengegevens in kaart te brengen zijn de resultaten van dit onderzoek grotendeels afhankelijk van de juistheid van de technisch-economische parameters van het PBL. Daarnaast zijn niet alle mogelijke technisch-economische parameters in dit onderzoek meegenomen vanwege het feit dat het PBL voor geothermie en windenergie niet alle mogelijke parameters heeft meegenomen in de bepaling van kosten- en opbrengstengegevens[19-21,25-26] (zie appendix K en L voor een overzicht van de wel en niet meegenomen kostenparameters voor respectievelijk geothermie en windenergie). Hierdoor wijken de werkelijke opbrengsten en kosten per kilowattuur per energiesoort mogelijk enigszins af van de gevonden waarden in dit onderzoek.

In de berekeningen van de totale winst is gesteld dat de energiesoorttoepassings-categorieën zich bevinden in hun twintigste productiejaar. Hierbij is overigens geen rekening gehouden met inflatie en productiebeperkende en -stimulerende factoren.

Verder dient te worden vermeld dat dit onderzoek zich uitsluitend richt op de winstgevendheid met betrekking tot het verschil in opbrengsten en kosten. Hierbij is dus geen rekening gehouden met positieve en negatieve externe effecten.

Voor het aantal vollasturen hanteert het PBL bij windenergie de maximale waarden van de toepassingscategorieën.[19-

21,25-26] Deze waarden liggen tussen de 2.400 en 4.220 uren per jaar[21] en worden in het klimaatakkoord op 3.237 gesteld. [34] Het gebruik van deze maximale waarden geeft overigens een vertekend beeld van de werkelijkheid, omdat in de praktijk vaak niet de maximale vollasturen worden behaald. Uit de steekproef waarin het aantal vollasturen van windenergie is berekend aan de hand van de weergegevens van het KNMI volgt ook dat het aantal vollasturen voor windenergie in Nederland een stuk lager ligt dan de waarden van het PBL. Deze waarden zouden op basis van de steekproef namelijk tussen de 1.400 en 3.000 uren per jaar moeten bedragen, wat zou betekenen dat de gemiddelde totale winst per kWh voor windenergie zou dalen tot -0,0198 €/kWh. De spreiding van de vollasturen heeft te maken met de locatie van de windturbine. Aan de kust geldt een waarde van ongeveer 3.000 uren per jaar, terwijl meer landinwaarts de waarde tot 1.400 uren per jaar afneemt. Dit verschil in vollasturen valt deels te verklaren doordat er met de gemiddelde windsnelheid wordt gerekend. [21] Dat terwijl een lichte afwijking in de windsnelheid al voor een grote afwijking in het geleverde vermogen kan leiden, aangezien het geleverde vermogen wordt berekend door de verhouding tussen het nominaal vermogen en de nominale windsnelheid gelijk te stellen aan de verhouding tussen het daadwerkelijke vermogen en de daadwerkelijke windsnelheid. Dit staat beschreven in de wet voor nominaal vermogen en windsnelheid: $P_1/(v_1)^3 = P_2/(v_2)^3$. [46] Doordat de windsnelheid tot de derdemacht gaat zorgt een kleine afwijking al voor heel andere resultaten. Verder heeft de hoogte van de windturbine ook een zeer grote invloed op het aantal vollasturen per jaar. [47] Het PBL rekent met de gemiddelde windsnelheid op 100 meter hoogte.[21,25] Deze hoogte is ook aangehouden bij het verwerken van de weergegevens van het KNMI. Het PBL corrigeert deze waarde echter aan de hand van de tiphoogte van de windturbine, het hoogste punt dat de wieken van de windturbine bereiken, terwijl juist de ashoogte van belang is voor de energieproductie.[48] Dit is het punt waar de wieken met de turbine verbonden zijn.[49] Bij een gemiddelde windmolen zorgt dit voor een hoogteverschil van 20 tot 45 meter en bij modernere windturbines is dit verschil aanzienlijk groter.[47] Hierdoor zullen de vollasturen in de praktijk lager uitvallen dan de door het PBL bepaalde waarde.

Bij zonne-energie gaat het PBL ervan uit dat de opgewekte stroom wordt geleverd aan het elektriciteitsnet.[50] Dit zorgt overigens voor een vertekend beeld van de situatie, omdat er ook veel zonne-energie producerende partijen zijn, met name particulieren, die de opgewekte energie zelf gebruiken.[48] In deze gevallen is de subsidiering 0,019 €/kWh lager, waardoor de gemiddelde totale winst per kWh van zonne-energie in dit geval maar 0,007 €/kWh.[50] Dit zou ertoe leiden dat zonne-energie bij particulier gebruik juist het minst rendabel is in vergelijking met de geothermie en windenergie. In de meeste gevallen zal er echter een combinatie van eigen gebruik en terug levering optreden waardoor de winst tussen de 0,007 en 0,026 €/kWh zal liggen.[51]

E. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

De ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie gaan zeer snel dankzij de toenemende aandacht voor het milieu. Doordat dit onderzoek op 2019 is gericht zorgt dit voor een momentopname. Verder onderzoek is daarom noodzakelijk in de aankomende jaren om te bepalen of de winstgevendheid van de onderzochte energiesoorttoepassingen dusdanig

verandert door nieuwe ontwikkelingen. Uit een onderzoek van Trouw[45] blijkt bijvoorbeeld dat de kosten voor geothermie de komende jaren sterk zullen dalen. Vervolgonderzoek zou ook kunnen focussen op de positieve en negatieve externe effecten van de energiesoort-toepassingen voor de samenleving en in hoeverre een energiesoort gunstig is voor de maatschappij. Bij dit onderzoek is er namelijk alleen rekening gehouden met technische-economische parameters. Er zijn echter ook nog andere factoren die een belangrijke rol spelen. Bijvoorbeeld benodigde ruimte en geluidhinder. Daarnaast speelt ook het niet-in-mijn-achtertuin principe een belangrijke rol bij het plaatsen van bijvoorbeeld windmolens. Hierdoor zullen sommige economisch geschikte locaties niet kunnen worden gebruikt. Ook zou verder onderzoek de ontbrekende paramaters kunnen hanteren in een uitgebreidere analyse over de winstgevendheid van de onderzochte energiesoorten (zie appendix K en L voor een overzicht van de niet-meeegenomen parameters). Dit zou kunnen resulteren in een betere weergave van de geschikte locaties geven. Veel van de niet onderzochte parameters zijn namelijk gebiedsgebonden.

Het doel van de SDE+ regeling is het vergoeden van de onrendabele top. Dit zou betekenen dat ieder project evenveel winst zou moeten maken. Iedere instantie krijgt namelijk het verschil tussen de kostprijs en de opbrengsten vergoed. Uit de resultaten blijkt echter dat er grote verschillen tussen en zelfs binnen energiesoorten zitten. Dit zorgt ervoor dat de ene energiesoort beduidend rendabeler is dan de andere energiesoort. De SDE+ regeling bereikt hierdoor niet volledig het beoogde resultaat. Dit is nadelig voor de instanties die afhankelijk zijn van de subsidiëring en kan tot oneerlijke concurrentie leiden. Het herrekenen van SDE+ basis- en correctiebedragen zou ervoor kunnen zorgen dat het beoogde resultaat wel wordt behaald, waardoor het investeren in duurzame energie aantrekkelijker wordt. Een vervolgonderzoek zou daarom de basis- en correctiebedragen van het PBL kunnen analyseren.

VII. Bibliografie

Rijksoverheid. (z.d.-a). Fossiele brandstoffen in de toekomst. Geraadpleegd op 3 januari 2020, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/toekomst-fossiele-brandstoffen>.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-a). Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+). Geraadpleegd op 3 januari 2020, van <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/stimulering-duurzame-energieproductie-sde>.

Rijksoverheid. (z.d.-b). Rijksoverheid stimuleert gebruik aardwarmte. Geraadpleegd op 1 mei 2019, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/aardwarmte>.

Platform Geothermie. (z.d.-a). Veelgestelde vragen. Geraadpleegd op 22 november 2019, van <https://geothermie.nl/index.php/nl/geothermie-aardwarmte/veelgestelde-vragen>.

ThermoGIS. (z.d.). ThermoGIS - Geothermie in kaart. Geraadpleegd op 30 november 2019, van <https://www.thermogis.nl/>.

Oudshoorn, M.S & Nobels, F.S. (2014, 25 maart). Geothermische energie rendabel binnen 10 jaar? Geraadpleegd op 18 november 2019, van http://www.astro.rug.nl/~nobels/Geothermische_energie_Nobels_Oudshoorn.pdf.

PanTerra Geoconsultants. (z.d.). Aardwarmte. Geraadpleegd op 22 november 2019, van <https://www.aardwarmte.com/aardwarmte/>.

aardwarmte.com/aardwarmte/.

Hoewerkaardwarmte.nl. (z.d.-a). Opsporen. Geraadpleegd op 21 november 2019, van <https://hoewerkaardwarmte.nl/opsporen>.

Hoewerkaardwarmte.nl. (z.d.-b). Winnen. Geraadpleegd op 22 november 2019, van <https://hoewerkaardwarmte.nl/winnen>.

Rathenau instituut. (2017). Samen kennis aanboren – Verkenning van kennis en opvattingen over ultradiepe geothermie. Geraadpleegd op 21 november 2019, van <https://www.rathenau.nl/sites/default/files/Samenkennisaanboren.pdf>.

Wikipedia-bijdragers. (2019, 6 maart). Aardwarmte. Geraadpleegd op 22 november 2019, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Aardwarmte>.

Van Roekel, A. (2013, 25 juni). Kan aardwarmte opraken? Geraadpleegd op 27 januari 2019, van <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/kan-aardwarmte-opraken--2/>.

Geothermal-energie.org. (2018, 23 januari). El Salvador – Electricity Generation. Geraadpleegd op 21 november 2019, van https://www.geothermalenergy.org/geothermal_energy/electricity_generation/el_salvador.html.

New Zealand Ministry of Economic Development. (2014, september). Energy in New Zealand. Geraadpleegd op 21 november 2019, van <https://www.mbie.govt.nz/dmsdocument/136-energy-in-new-zealand-2014-pdf>.

Platform Geothermie. (z.d.-b). Locatie van diverse projecten in Nederland. Geraadpleegd op 22 november 2019, van <https://geothermie.nl/index.php/nl/geothermie-aardwarmte/geothermie-in-nederland>.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-b). Projecten Bodemenergie/Aardwarmte. Geraadpleegd op 21 november 2019, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energieopwekken/warmtepompen-en-geothermie/praktijkvoorbeelden>.

Energie Beheer Nederland. (2018, mei). Masterplan Aardwarmte in Nederland. Geraadpleegd op 21 november 2019, van <https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2018/05/20180529-Masterplan-Aardwarmte-in-Nederland.pdf>.

Economie Leer Kracht. (z.d.). Totale winst. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <http://www.economiehulp.nl/totale-winst>.

Planbureau voor de leefomgeving. (2019-a, 6 mei). Conceptadvies SDE++ 2020 geothermie. Geraadpleegd op 22 november 2019, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-conceptadvies-sde-plus-plus-2020-geothermie_3692.pdf.

Planbureau voor de leefomgeving. (2019-b, 6 mei). Conceptadvies SDE++ 2020 zonne-energie. Geraadpleegd op 6 november 2019, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-conceptadvies-sde-plus-plus-2020-zonne-energie_3690.pdf.

Planbureau voor de leefomgeving. (2019-c, 6 mei). Conceptadvies SDE++ 2020 windenergie op land. Geraadpleegd op 6 november 2019, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-conceptadvies-sde-plus-plus-2020-wind-op-land_3691.pdf.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-c). Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+). Geraadpleegd op 27 januari 2020, van https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/stimulering-duurzame-energieproductie-sde-plus-plus-2020-wind-op-land_3691.pdf.

energieproductie-sde.

Planbureau voor de Leefomgeving. (z.d.). Stimuleringsregeling Duurzame Energietransitie (SDE++). Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <https://www.pbl.nl/sde>.

Planbureau voor de Leefomgeving. (2019-d, 7 mei). Conceptadvies SDE++ 2020 overzicht basisbedragen. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <https://www.pbl.nl/publicaties/conceptadvies-sde-2020-overzicht-basisbedragen>.

Planbureau voor de leefomgeving. (2019-e, 6 mei). OT-model behorende bij het Conceptadvies SDE++ 2020. Geraadpleegd op 6 november 2019, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2019-sde-plus-plus-ot-model-concept-2020_3726.xlsx.

Planbureau voor de Leefomgeving. (2019-f, 15 oktober). Voorlopige correctiebedragen 2020 voor de SDE++. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-voorlopige-correctiebedragen-2020-voor-de-sde-plus-plus_3830.pdf.

Wikipedia-bijdragers. (2020-a, 11 januari). Kilowattuur. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kilowattuur>.

Rijkdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.). Berekening Stimulering Duurzame energieproductie. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/stimulering-duurzame-energieproductie-sde/aanvragen-sde/berekening-sde>.

Economie lokaal. (z.d.-a). Omzet. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <https://www.economielokaal.nl/omzet/>.

Wikipedia-bijdragers. (2020-b, 13 januari). Nederlandse elektriciteitsmarkt. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Nederlandse_electriciteitsmarkt#Producenten.

Economie Lokaal. (z.d.-b). Procentuele verandering. Geraadpleegd op 29 januari 2020, van <https://mavo.economielokaal.nl/procentuele-verandering/>.

Reuver, J. & Hoenink, Q. (2020, 5 februari). Het energetische rekenmodel (ER-model). Geraadpleegd op 5 februari 2020, van <https://www.dropbox.com/s/08foik69jyzitc/Het%20energetische%20rekenmodel%20%28ER-model%29.xlsx?dl=0>.

Wetenschapsschool. (z.d.). Eenheden afleiden. Geraadpleegd op 28 januari 2020, van https://www.wetenschapsschool.nl/chapter/Basis_8_Eenheden+afleiden.html.

Rijksoverheid. (2019, 28 juni). Klimaatakkoord. Geraadpleegd op 28 november 2019, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatakkoord/documenten/rapporten/2019/06/28/klimaatakkoord>.

De Groene Rekenkamer (2009, 12 oktober) Wat levert een windmolen op? Geraadpleegd op 19 september 2019, van <https://groene-rekenkamer.nl/wat-levert-een-windmolenop/>.

Planbureau voor de Leefomgeving. (2018, 7 december). Eindadvies basisbedragen SDE+ 2019. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-eindadvies-basisbedragen-SDE-plus-2019_3342.pdf.

Planbureau voor de Leefomgeving. (2017, 20 november). Eindadvies basisbedragen SDE+ 2018. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/eindadvies_sde_2018.pdf.

Van Kerkhoven, M. (2002, 21 juni). Windenergie nog niet rendabel. Geraadpleegd op 28 december 2019, van <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/windenergie-nog-niet-rendabel/>.

www.nemokennislink.nl/publicaties/windenergie-nog-niet-rendabel/.

Redactie Groene Rekenkamer. (2018, 2 augustus). Aardwarmte als energiebron. Geraadpleegd op 28 december 2019, van <https://groene-rekenkamer.nl/7119/aardwarmte-als-energiebron/>.

Platform Geothermie. (z.d.-c). Wat is geothermie? Geraadpleegd op 28 december 2019, van <https://geothermie.nl/index.php/nl/10-geothermie>.

De Windcentrale. (2017, 3 april). 9 vooroordelen over windmolens ontkracht. Geraadpleegd op 28 december 2019, van <https://www.windcentrale.nl/blog/9-vooroordelen-over-windmolens-ontkracht/>.

Redactie Groene Rekenkamer. (2013, 21 juli). Duitse windparken niet rendabel. Geraadpleegd op 28 december 2019, van <https://groene-rekenkamer.nl/1426/duitse-windparken-niet-rendabel/>.

Zonne-paneel.net. (z.d.). Zonnepanelen zonder subsidies interessant? Geraadpleegd op 28 december 2019, van <https://www.zonne-paneel.net/zonnepanelen/zonnepanelen-installaties-ook-zonder-subsidie-erg-interessant/>.

Milieu Centraal. (z.d.). Prijs en opbrengst zonnepanelen. Geraadpleegd op 28 december 2019, van <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/zonnepanelen-kopen/prijs-en-opbrengst-zonnepanelen/>.

Trouw (2018, 7 februari). De aarde als onuitputtelijke schone energiebron. Geraadpleegd op 29 januari 2020, van <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-natuur/de-aarde-als-onuitputtelijke-schone-energiebron~bad4ee3e/>.

Rechneronline.de (z.d.) Wind turbine power calculator. Geraadpleegd op 5 februari 2020, van <https://rechneronline.de/wind-power/>.

KNMI (2014) Windkaart van Nederland op 100 meter hoogte. Geraadpleegd op 5 februari 2020, van <http://bibliotheek.knmi.nl/knmipubTR/TR351.pdf>

Danish Wind Industry Association (2003, 1 Juli) Guide to the Wind Turbine Power Calculator. Geraadpleegd op 5 februari 2020, van <http://xn--drmsttre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wres/guidep.htm>

Wikipedia-bijdragers. (2020-c, 13 januari). Windturbine. Geraadpleegd op 5 februari 2020, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Windturbine>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2020) Zon SDE+. Geraadpleegd op 5 februari 2020, van <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimulering-duurzame-energieproductie/categorie%C3%ABn/zon-sde>

Ministerie van landbouw, economische zaken en innovatie. (2012) Zonnestroom en de Nederlandse wetgeving. Geraadpleegd op 5 februari 2020, van https://www.rvo.nl/sites/default/files/Zonnestroom%20en%20de%20Nederlandse%20wetgeving_0.pdf.

Technisch herontwerp van het kruispunt Lansinkesweg en Industriestraat in Hengelo met behulp van drie ambities: veiligheid, duidelijkheid en toekomstgerichtheid

Cheng Qi Wang¹, Renske de Vries², Wilma de Groot¹, Cindy Berloth-Telgen², Foekje van Schoot³, Marcel Bijman³

¹Het Stedelijk Lyceum Kottenpark, Enschede

²Lyceum de Grundel, Hengelo

³Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - This paper is about infrastructure and renovating a crossing. A crossing in Hengelo (The Netherlands), the Lansinkesweg and Industriestraat, will be completely updated. To design a crossing various steps are required. Investigating previous studies to gather information is what is needed first. In the investigation three ambitions are what need to be focused on to improve the situation: safety, clarity for all road users and future-looking. Besides literature studies, several interviews were taken by various organizations and a survey has been spread amongst schools, inhabitants. This was done to see how they experience this crossing and what they want to change. The results of this survey were that the participants were mainly unsatisfied with the conditions of the cyclists and the pedestrians. Besides, they pointed out that things needed to be adjusted to make it safer and clearer. So, with minor adjustments to the car lanes and the road markings, the crossing became much clearer for the users. The cyclists now have on each side of the road a bicycle lane. So, the conflicts of obliging traffic do not exist anymore, which results in more safety. Finally, the crossing is more future-looking. The traffic lights all include sensors for cyclists during rain, so in this condition the lights will work in their favour, the area is enriched with trees, which will increase vitality and several more things are added to improve this crossing. This all resulted in an update and a safer crossing, which is now ready for use for a long time.

Introductie

Het verkeer, iedereen heeft er dagelijks mee te maken en iedereen gedraagt zich anders in het verkeer. Mensen hebben haast of zitten op hun telefoon tijdens het rijden, waardoor ongelukken kunnen worden veroorzaakt. Hoe kan dit worden opgelost, zodat verkeersdeelnemers actief bezig zijn met het verkeer, rekening met elkaar houden en ze zich ervan bewust zijn wat ze kunnen aanrichten als ze niet opletten?

In dit onderzoek wordt een nieuw ontwerp gemaakt voor een kruispunt in Hengelo bij de Lansinkesweg en de Industriestraat. Dit kruispunt ligt tussen het centraal station van Hengelo en het ROC de Gieterij en speelt een belangrijke rol om een van de drukste pleinen in Hengelo, het Industrieplein, te bereiken. Het is echter een van de gevaarlijkste verkeerssituaties in Hengelo (Tubantia, 2019). Dit komt doordat hier dagelijks een groot aantal scholieren van het ROC en vele andere weggebruikers langsgaan. Door deze grote aantallen verkeersdeelnemers worden er drukke en soms gevaarlijke situaties gecreëerd. Scholieren steken bijvoorbeeld haastig over om op tijd te komen. Deze situatie kan voorkomen en opgelost worden. Daarom is het doel van dit onderzoek om een nieuw ontwerp te maken voor dit kruispunt. Er zal gefocust worden op het verhogen van de veiligheid, duidelijkheid voor alle weggebruikers en toekomstgerichtheid. Deze drie ambities zijn gekozen, omdat deze ontbreken op dit kruispunt. Het wordt gezien als een onveilig kruispunt. Grote nieuwsmedia, zoals RTV Oost, geven aan dat weggebruikers zich er niet veilig voelen en dat het wachten is tot er een groot ongeluk gebeurt. (RTV Oost, 2013) Ook is de duidelijkheid in beperkte mate aanwezig. Voor fietsers is het onduidelijk wat er van hen verwacht wordt op dit kruispunt. Tot slot wordt de toekomstgerichtheid meegenomen. Dit kruispunt hoort bij het Hart van Zuid, een stadsdeel van Hengelo. Het wordt beschreven als een deel

van Hengelo dat toekomstgerichtheid stimuleert, maar dat is op dit kruispunt niet te merken (Hengelo, sd), dus juist op het gebied van toekomstgerichtheid kan veel winst worden behaald. Deze drie ambities zullen dus bij het herinrichten nagestreefd worden. De hoofdvraag die daaruit gekomen is: Hoe kan, kijkend vanuit drie gestelde ambities - veiligheid, duidelijkheid voor alle weggebruikers en toekomstgerichtheid - een nieuw technisch wegontwerp gemaakt worden voor het kruispunt van de Lansinkesweg en Industriestraat?

Om deze hoofdvraag te beantwoorden moeten een aantal zaken worden onderzocht waar tot nu toe nog geen duidelijkheid over is.

- Daarbij zijn de volgende deelvragen opgesteld:
1. Wat is de perceptie van de verschillende weggebruikers?
 2. Wat zijn de wensen van de gebruikers van het kruispunt?
 3. Hoe kunnen weggebruikers meer betrokken raken in het verkeer?
 4. Wat kan er worden geleerd van de plannen van de omliggende gebieden van het kruispunt?
 5. Zijn er punten gericht op de toekomst die nog extra meegenomen kunnen worden?
 6. Wat kan er worden geleerd van het gedrag van mensen in het verkeer?

Theoretisch kader

In dit theoretisch kader worden eerder verrichte onderzoeken benoemd die relevant zijn om tot een antwoord op de onderzoeksvraag te komen. Hierbij ligt de focus op de drie ambities veiligheid, duidelijkheid en toekomstgerichtheid. Dit wordt onderverdeeld in deelonderwerpen die informatie geven

over wat de ambities inhouden en waarom de informatie van belang is voor dit onderzoek.

1. Veiligheid

1.1. Principes voor veilig wegontwerp

Om een veilig netwerk, veilige routes en een veilig wegontwerp te maken moeten de uiteindelijke ontwerpen aan twaalf functionele eisen voldoen volgens Duurzaam Veilig (tabel 1). Deze zijn gebaseerd op functie, vorm en gebruik en ingedeeld in drie categorieën. Deze eisen moeten ervoor zorgen dat er minder ongelukken voorkomen en zo min mogelijk conflicten ontstaan tussen de verkeersdeelnemers. (SWOV, 2017)

1.2. Fietspaden en conflicten

Er bestaan verschillende soorten fietspaden:

- Fietsuggestiestrook: een strook op de weg die door een afwijkende materiaalkeuze of kleur aangeeft waar de fietsers op moeten fietsen.
- Fietsstrook: een strook op de weg die met markeringen aangeeft wat het fietspad is. Dit kan door zowel onderbroken als ononderbroken strepen aangegeven worden.
- Aanliggend fietspad: een fietspad dat van de weg gescheiden wordt door een tussenstrook smaller dan 100 cm.
- Aanliggend verhoogd fietspad: een aanliggend fietspad dat een hoogteverschil heeft vergeleken met de weg.
- Vrijliggend fietspad: een fietspad dat van de weg gescheiden is met een veiligheidszone van minimaal 100 cm waarbij geen rijdend verkeer kan komen. (K. Van Hout, T. B, 2012)

Uit deze categorieën is het veiligste weggedeelte het vrijliggende fietspad en het onveiligste de fietsstrook (zie tabel 3). Echter, bij begrensde kruisingen geldt het omgekeerde. Hierbij zijn vrijliggende fietspaden het onveiligst. (Welleman en Dijkstra, 2012, geciteerd in Rijkswaterstaat, M. v., 2010)

Daarnaast is de kans op verkeersongevallen bij kruispunten langs een gebiedsontsluitingsweg groter bij een tweerichtingsfietspad dan bij een eenrichtingsfietspad. Dit geldt voornamelijk voor fietsers die tegen de richting van het verkeer in fietsen. Uit onderzoek van Summala et al. (1996) kwam naar voren dat de kijkstrategie van automobilisten naar fietsers zorgt voor het verhoogde risico. (Summala et al, 1996, geciteerd in Rijkswaterstaat, M.v., 2010)

Verder worden de meeste oversteekongevallen in Nederland veroorzaakt bij een voorrangskruispunt, gevolgd door ongevallen bij een kruispunt met verkeerslichten (zie tabel 2).

Er zijn twee soorten oversteekongevallen voor fietsers, namelijk de langsrichting en de dwarsrichting van de voorrangsweg. Bij de langsrichting ontstaan er ongevallen door een voertuig dat een zijweg in- of uitrijdt en bij de dwarsrichting ontstaan er ongevallen doordat een fietser een voorrangsweg moet oversteken.

Uit tabel 3 is af te leiden dat op een tweerichtingsfietspad de meeste ongevallen plaatsvinden. Bij de ongevallen in de langsrichting is er een significant verband aangetoond. Op tweerichtingsfietspaden ontstaan er twee keer zoveel langsongevallen dan op een eenrichtingsfietspad. Met significant wordt bedoeld dat de kans op toeval kleiner is

dan 5%. Volgens een onderzoek van Summala et al. (1996) geldt dit voornamelijk voor fietsers die tegen de richting van het verkeer in fietsen. Dit komt door het kijkgedrag van automobilisten. Als een automobilist linksaf slaat en over een tweerichtingsfietspad heen moet gaan dan zal hij naar beide kanten kijken, maar als hij naar rechts afslaat dan kijkt de autobestuurder alleen naar links en bijna niet naar rechts. Dit zorgt voor het verhoogde risico. (Summala et al, 1996, geciteerd in Rijkswaterstaat, M.v., 2010) Ook zijn er op kruispunten met fietsstroken 20% meer ongevallen dan bij eenrichtingsfietspaden. Dit verschil is echter niet significant. (Kroeze, Sweers & Schepers, 2010)

1.3. Conflicten

Volgens het TNO zullen er minder ernstige conflicten plaatsvinden als het fietspad breder is. Dit komt doordat er hierdoor meer ruimte is om inhaalmanoeuvres te maken, waardoor er relatief minder conflicten ontstaan vanaf de zijkant. Ook is de kans minder groot dat fietsers in aanraking komen met de trottoirband. Toch brengt een breder fietspad nadelen met zich mee. Het zorgt ervoor dat de snelheid hoger wordt en de fietsers fietsen vaker tegen de richting in. Daarnaast ontstaan er veel conflicten bij het kruisend verkeer. Ook hierbij speelt de breedte van het fietspad een rol. Wanneer deze ruimte te klein is zullen er meer conflicten ontstaan doordat het nemen van de bocht meer ruimte inneemt en dit andere fietsers kan hinderen. Bovendien zorgt een kleine ruimte voor de opstelvakken voor auto's voor meer conflicten. Zo is er geconcludeerd dat een fietspad van minimaal 2.25 meter of 2.50 meter met snorfietsen zorgt voor het relatief laagste aantal ongevallen. (De Goede, Obdeijn, & Van der Horst, 2013) Verder is uit onderzoek gebleken dat er tussen conflicten en botsingen een niet lineair verband bestaat bij het verlagen van de snelheid. (El-Basyouny & Sayed, 2013)

Daarnaast bestaan er aparte rijstroken voor rechtse bochten. Dit komt voornamelijk voor in de Verenigde Staten. Deze hebben een hoek van 150 graden, wat zorgt voor meer veiligheid en mobiliteit in het verkeer. Harwood et al. (2002) onderzocht het effect van dit soort rijstroken op kruispunten. Het totale aantal bleek hierdoor met 4% - 27% te dalen. (Harwood et al, 2002 geciteerd in Autey, Sayed & Zaki, 2012) Uit dit onderzoek kwam echter ook naar voren dat de bestuurders moeite hadden om het tegemoetkomend verkeer te zien. (Autey, Sayed & Zaki, 2012) Dit kan veel confrontaties veroorzaken. Hiervoor is er een nieuw ontwerp gemaakt, namelijk “Smart Channels”. In dit nieuwe ontwerp is de hoek verkleind naar 70 graden. Hierdoor hebben de autobestuurders volledig zicht op het tegemoetkomend verkeer. Ook zal de afstand voor voetgangers die oversteken verkleind worden. Zo worden conflicten tussen voetgangers en autobestuurders voorkomen. (Zegeer et al., 2002; The City of Ottawa, 2009 geciteerd in Autey Saved en Zaki, 2012). Het onderzoek van Autey, Sayed en Zaki (2012) laat zien dat “Smart Channels” leidt tot een vermindering van de totale conflicten met ongeveer 51%. Ook was de ernst van de conflicten afgenomen met 41% (Autey, Sayed, & Zaki, 2012).

2. Duidelijkheid

2.1. Infrastructuur ontwerpen

In dit onderzoek worden de volgende afmetingen van de verschillende onderdelen van een weg gehanteerd (Rick

Metternich, 2019) (ASVV (CROW), 2012).

1. Rijstrookbreedte 50 km/uur = 2,90 meter tot 3,50 meter.
2. Rijbaanbreedte 30 km/uur, gemengd verkeer in twee richtingen, zonder vrij liggende fietspaden = 5,50 meter tot 6,00 meter.
3. Vrij liggende fietspaden in één richting = 2,00 meter tot 2,50 meter.
4. Vrij liggende fietspaden voor fietsverkeer in twee richtingen = 2,50 meter tot 4,00 meter
5. Fietsstroken direct naast de rijstrook voor autoverkeer = minimaal 2,00 meter.
6. Voetpaden = minstens 1,50 meter, bij voorkeur minstens 1,80 meter, op drukkere routes nog breder.

2.2. Nudging

In het verkeer hebben vele zaken invloed op het gedrag van mensen, zoals bestuurders die worden afgeleid door hun mobiele telefoon of voetgangers die snel nog door rood licht lopen om hun trein te halen. Dit is onpraktisch in het verkeer en er worden onnodig gevaarlijke situaties gecreëerd. Voor het onderzoek is het nodig dat er wordt gekeken naar het gedrag van mensen en vooral hoe dit gedrag aangepast kan worden.

De vraag is hoe het gedrag van mensen veranderd kan worden. Het antwoord is gelegen in nudging. Nudging houdt in dat heel kleine details en veranderingen in een bepaalde situatie een heel grote invloed kunnen hebben op het gedrag van mensen. Met nudging is het mogelijk de keuzes van mensen zo te beïnvloeden dat ze denken dat ze helemaal hun eigen keuze hebben gemaakt, terwijl er wel degelijk iets is geweest wat hen in een bepaalde richting heeft geduwd. (T.M. Wilkinson, 2012)

2.3. Toepassingen van Nudging

1. Snelheidsmeter: de snelheidsmeters langs de kant van de weg geven aan hoe hard er wordt gereden. Op sommige snelheidsmeters wordt daarna een bepaalde smiley weergegeven. Het geeft een rode bedroefde smiley weer als er te hard gereden wordt en een groene blij smiley als de juiste snelheid of langzamer gereden wordt. Dit beïnvloedt de rijstijl van bestuurders. Ze zullen eerder hun vaart minderen als ze een rode smiley zien. (SOM, 2017) Dit komt doordat de bestuurders feedback krijgen op hun rijgedrag. Feedback heeft twee hoofdfuncties: versterking van bepaald gedrag en het sturen van gedrag. (Ashford, geciteerd in P.B Srikanth & M.G. Jomon, 2013) Doordat mensen hun gedrag evalueren kan het worden aangepast en het gedrag dat men wil zien, worden versterkt. (P.B. Srikanth & M.G. Jomon, 2013)
2. Wachtijdindicatie: een wachtijdvoorspeller is een verkeerslantaarn die de resterende wachtijd aangeeft aan fietsers voordat het groen wordt. Dit wordt weergegeven met 31 LED lichten of met de resterende tijd in getallen. Uit onderzoek is gebleken dat de wachtijdvoorspellers als positief worden ervaren. Het heeft ertoe geleid dat het aantal fietsers die het rode licht negeren, afneemt. (Thijssen, 2008)

2.4. Markeringen

Op wegen staan markeringen. Deze zorgen ervoor dat mensen het gevraagde gedrag gaan vertonen. Zo zorgen lijnen op de weg en afbakeningen ervoor dat mensen op de goede plekken gaan lopen (Reint Jan Renes, sd). Op wegen zorgen markeringen ervoor dat er veiligheid ontstaat

(OECD, geciteerd in Marieke Martens, Samantha Comte & Nico Kaptein, 1997). Markeringen geven namelijk een waarschuwing af, zodat mensen minder snel op andere plekken gaan lopen. Er wordt door de markeringen geïmpliceerd dat het gevaarlijk kan zijn als er anders wordt gereden/gelopen dan dat de markeringen aangeven. Hierdoor is de kans dat er ongelukken gebeuren minder groot. (Noordzij, geciteerd in Marieke Martens, Samantha Comte & Nico Kaptien, 1997). Maar de aanwezigheid van markeringen kan ook zorgen voor verhoging van de snelheid, omdat de weggebruikers weten welke kant de weg op gaat en zo juist eerder de neiging krijgen om harder te gaan rijden. (Van der Horst, geciteerd in Marieke Martens, Samantha Comte & Nico Kaptein, 1997)

2.5. Groepsdruk

Groepsdruk is de druk die ervoor zorgt dat men van gedrag verandert om overeen te komen met de groep (TNO, 2015). Mensen gaan het gedrag van anderen kopiëren, omdat ze niet weten wat ze moeten doen. Ze bedenken dan niet zelf een oplossing, maar kijken naar anderen en wat zij doen om dat probleem op te lossen. Zo kan één iemand een hele groep beïnvloeden, door slechts een kleine handeling uit te voeren, zoals door een rood stoplicht lopen. Door duidelijkheid te creëren en te laten zien wat er wordt verwacht van de weggebruikers kan groepsdruk deels verminderen. De gebruikers zullen weten wat ze moeten doen en zullen het minder snel in hun hoofd halen iets anders te doen dan staat aangegeven. (Vladas Griskevicius, Robert B. Cialdini & Noah J. Goldstein, 2008)

2.6. Vergelijkbaar kruispunt

Om een verbeterd wegontwerp te maken is gekeken naar een vergelijkbaar kruispunt dat al vernieuwd is. Zo kunnen bepaalde aspecten ook in het onderzochte kruispunt toegepast worden. Een vergelijkbare situatie als het kruispunt bij het ROC in Hengelo is de Sloetsweg, bij het Bataafs Lyceum.

Het kruispunt heeft te maken met grote aantallen fietsers die snel oversteken en niet opletten. Vóór het herontwerp was er één fietsstrook direct naast de rijstrook en één vrijliggende fietsstrook. Nu is het kruispunt zo ontworpen dat er een fietsstrook is voor tweerichtingsverkeer, die stopt vlak na het Bataafs Lyceum, gezien vanaf de Meester P.J Troelstrastraat. Er is een deels vrijliggend fietspad aangelegd aan één kant van de weg, die overgaat in een fietsstrook direct naast de rijbaan voor bestuurders. Aan de andere kant is wel een volledig vrijliggend fietspad gekomen. De situatie is hier veel duidelijker geworden vooral voor fietsers, de bebording is aangepast en de markeringen op de weg zijn duidelijker geworden. Verkeersdeelnemers zijn zich veel beter bewust geworden van de situatie, ze steken nu over op de plekken waar dat van hen gevraagd wordt. Van dit kruispunt wordt geleerd dat de gehele verkeerssituatie duidelijker wordt als er borden staan en de lijnen op het wegdek logisch zijn geplaatst. De duidelijkheid door markeringen en de wijze van aanpassingen voor de fietsers is van grote toepassing op dit onderzoek naar de Lansinkesweg en Industriestraat (G. Schemer, 2014).

3. Toekomstgerichtheid

3.1. Verband N2O en agressieve rijgedrag

N2O (lachgas) is een broeikasgas dat voornamelijk wordt geproduceerd door het autoverkeer. Dit gas zorgt voor 6% van

het broeikas effect en heeft een groter aardopwarmingsvermogen dan CO₂, namelijk 298 keer zo groot. (Klimaat, 2013) Uit onderzoek van Graham et al. in 2009 is gebleken dat een agressieve rijstijl invloed heeft op de N₂O-uitstoot. Onder een agressieve rijstijl wordt verstaan: gedrag waardoor fysieke of mentale schade ontstaat of gedrag waarbij een wets- of normovertreding plaatsvindt (SWOV, 2012 geciteerd in Dula & Geller, 2003 en Richer & Bergeron 2012) Met behulp van nudging (zie kopje toepassingen van nudging) kunnen deze agressieve bestuurders onbewust worden aanzet tot het gevraagde gedrag, zodat er minder N₂O uitgestoten wordt en het kruispunt op deze manier duurzamer en op de toekomst gericht is. (Graham et al, 2009)

3.2. Drempels

Drempels zijn verhogingen in de weg waardoor verkeersdeelnemers hun snelheid zouden moeten verminderen om deze te passeren met hun voertuig. Een drempel veroorzaakt echter meer geluid als er voertuigen overheen rijden. Na de drempel verschilt het geluidsniveau met 5 decibel in vergelijking met vóór de drempel. Hierdoor wordt nog meer geluidsoverlast veroorzaakt dan er al is. (Wewalwala S.N., & Sonnadara, D.U.J., 2011) Geluidsoverlast veroorzaakt vooral in de werkomgeving gezondheidsklachten. De mensen die werken in de omgeving hadden vaker last van hoofdpijn, vermoeidheid, irritatie en duizeligheid. (Pathak, V., Tripathi, B.D., & Mishra V., 2007) Het onderzoek is deels in dezelfde omgeving uitgevoerd als die waar dit onderzoek om draait. Het onderzoek is eveneens uitgevoerd in een werkgebied, maar dan op een lange weg met drempels achter elkaar. Op het kruispunt van de Lansinkesweg en de Industriestraat ligt maar een drempel. Doordat de gebieden in beide onderzoeken in een werkgebied liggen, is het vergelijkbaar en is het relevant voor dit onderzoek.

3.3. Groene golf

Een groene golf houdt in dat het verkeer op een verkeersweg met meerdere verkeerslichten kan doorrijden zonder te hoeven stoppen. Een voordeel hiervan is dat er minder CO₂-uitstoot is. Bestuurders gedragen zich verschillend bij stoplichten. Er zijn twee opties als het stoplicht op rood staat:

1. de bestuurder vermindert zijn snelheid en probeert hierdoor om niet voor het stoplicht stil te staan en al rijdend te wachten op groen licht.
2. de bestuurder rijdt op constante snelheid en remt pas voor het stoplicht.

Bij een groen stoplicht zijn er ook twee mogelijkheden:

1. de bestuurder zal versnellen om het groene licht nog te halen.
2. de bestuurder blijft op constante snelheid rijden en hoopt het groene licht te halen, maar stopt als dit niet het geval is.

In beide gevallen is de eerste optie vervuilerder, er komt meer CO₂ vrij. Om dit probleem op te lossen zijn er intelligente stoplichten die op 200 meter afstand van het stoplicht meten hoe hard je rijdt en op dat moment kunnen inschatten hoe de bestuurder zich gaat gedragen. Aan de hand van draadloze communicatie met het stoplicht kan de CO₂-uitstoot worden verminderd. De bestuurder kan in een keer doorrijden zonder te versnellen of te vertragen (Ciprian Dobre, 2011)

3.4. Infraroodstraling

Met behulp van een infraroodstraling kan bij een stoplicht worden bepaald hoeveel mensen er voor een stoplicht staan te wachten. Deze detectors hebben twee delen: pyro-elektrische sensoren en thermische sensoren. De thermische sensoren meten de hoeveelheid infraroodstraling en de pyro-elektrische sensoren detecteren de beweging die langs de sensor komt. Samen zorgen ze voor een goede waarneming van de hoeveelheid mensen die voor een stoplicht staan. Hier kan het stoplicht dan op inspelen, zodat de doorstroming van het verkeer wordt bevorderd. (Darren Robinson, Martin Paul Gilham, 1997)

3.5. Regensensoren

Deze sensoren zorgen ervoor dat de hoeveelheid regen wordt waargenomen. Doordat de sensor wordt verwarmd kan de detector de hoeveelheid regen meten. Mist en dauw in de ochtend worden niet meegenomen in de hoeveelheid, de detector kan ook sneeuw meten. Met het behulp van deze metingen kunnen de fietsers/voetgangers sneller groen licht krijgen. (DeltaOhm, 2019)

3.6. Asfalt

In Nederland zijn de meeste wegen geasfalteerd. Dit heeft namelijk veel voordelen. Ten eerste is asfalt vlak en veroorzaakt weinig lawaai. Hiermee worden ongevallen voorkomen, doordat het reduceren van het lawaai zorgt voor minder stress, waardoor ook de vermoeidheid van de bestuurder verminderd wordt. Daarnaast zorgt asfalt voor een lage weerstand op de weg. Hierdoor is er een afname van 5% op brandstofverbruik waardoor er minder CO₂-uitstoot plaatsvindt. Ook heeft asfalt weinig onderhoud nodig. Het kan namelijk een levensduur van 30 jaar hebben. Verder is asfalt een van de meest gerecyclede bouwproducten. Een weg kan aangelegd worden met bijna 100% gerecyclede asfalt. Dit zorgt ervoor dat er minder nieuwe bitumen en aggregaten nodig zijn. (Eapa, 2019) Het produceren van asfalt kost echter veel aardgas om energie op te wekken, waardoor er CO₂ wordt uitgestoten. Uit onderzoek is gebleken dat het vochtgehalte in de aggregaten een grote invloed heeft op de hoeveelheid aardgas die nodig is. (Nguyen, T, 2017) Het vocht zorgt er namelijk voor dat het bitumen niet goed zullen binden aan de mineralen. Hierdoor krijgt het asfalt een kortere levensduur en kunnen er scheuren ontstaan. (Kakar, Hamzah & Valentin, 2015) Zo zal er meer asfalt geproduceerd moeten worden. Er is echter een manier om het vocht te reduceren. Uit onderzoek is gebleken dat het overkappen van het PR (partiële recycling) de meest effectieve manier is. Hiermee zal er een reductie van CO₂ plaatsvinden van 85,5 ton per jaar. (Nguyen, T, 2017)

3.7. Fietssnelweg F35

Bij dit kruispunt zit de F35 dicht in de buurt. Dit is een fietssnelweg waarmee je snel van de ene plek naar de andere plek kunt reizen per fiets. De aanleg van de F35 is gunstig voor de e-bike. Het is namelijk mogelijk om met een hoge snelheid over dit fietspad te gaan. Dit zorgt voor een comfortabel, veilig en direct fietspad. De F35 brengt nog meer voordelen met zich mee. Het zorgt namelijk voor een vlotte verbinding tussen de Twentse steden. Dat maakt de fiets een goed alternatief voor auto's waardoor er minder files ontstaan. Hierdoor zullen mensen eerder met de fiets reizen en zo helpt het mee aan de vermindering van broeikas en geluid. (Provincie Overijssel,

2015)

3.8. Lantaarnpalen

Bijna elke straat heeft wel lantaarnpalen langs de kant staan. Deze staan de hele nacht aan en verspillen zo veel energie, omdat er vaak niemand langsrijdt. Dit kan slimmer aangepakt worden, er zijn namelijk lantaarnpalen die zich aanpassen aan de dichtheid van de bestuurders op het wegdek. De lantaarnpaal past aan deze dichtheid zijn intensiteit van het licht aan, zodat er zo min mogelijk energie verloren gaat. Ook zit er een automatisch systeem op dat ervoor zorgt dat de lantaarnpaal, als het licht wordt, zijn licht uitschakelt en in slaapstand gaat. Als het donker wordt gaat zijn licht automatisch aan. Zo kan het energieverbruik van lantaarnpalen enorm naar beneden worden gehaald (Jagadeesh Y.M., Akilesh S., Karthik S., & Prasanth, 2015). De kleur van het licht is ook van belang bij een lantaarnpaal. De kleur kan namelijk invloed hebben op de activiteit van het brein. Blauw licht heeft een korte golflengte. Hierdoor reageert het brein sneller en is er meer activiteit te zien in het brein zelf. Na 50 seconden blootstelling aan dit licht gaat de activiteit van het brein omhoog en is iemand dus alerter (Gillis Vandewalle, Pierre Maquet & Derk-Jan Dijk, 2009) In het verkeer is dit van belang.

3.9. Afvalbakken

Zwerfafval is een maatschappelijk probleem dat zorgt voor milieuvervuiling. Veel mensen gooien hun afval niet in een afvalbak doordat dit gewoontegedrag is (Williams, Curnow & Streker, 1997 geciteerd in Broeders, Midden, & Ham, 2010). Door verschillende zaken kan dit gewoontegedrag veranderd worden. Ten eerste is het belangrijk om een schone omgeving te creëren. Hierdoor zullen mensen denken dat dit de norm is en zal er volggedrag plaatsvinden. Dit gedrag kan met het behulp van nudging worden bevorderd. Verder zorgt de geur van citroen ervoor dat mensen afval gooien in de bestemde afvalbak. De geur van citroen zorgt er namelijk voor dat er een onbewust gedrag van schoonmaken naar boven komt (Holland, Hendriks, & Aarts, 2005 geciteerd in Broeders, Midden, & Ham, 2010). Daarnaast wordt het gedrag aangepast als mensen zich bekeken voelen (sociale signalen). Als er bijvoorbeeld een paar ogen als afbeelding op een muur wordt geplaatst, zal dit leiden tot minder zwerfafval. Tot slot zorgt antropomorfisme voor minder zwerfafval. Antropomorfisme houdt in dat objecten menselijke eigenschappen krijgen. Hier is Holle Bolle Gijs uit de Efteling een goed voorbeeld van. Het heeft namelijk een menselijke vormgeving en kan interactief zijn met een mens. Hierdoor zal iemand eerder geneigd zijn om naar deze afvalbak toe te stappen en wordt het interessanter om afval weg te gooien. (SOM, 2016, Broeders, Midden, & Ham, 2010)

3.10. Invloed van groen

De effecten van natuur zijn zeer positief. Ze zorgen ervoor dat uitputting bij een persoon wordt vermeden, dat mensen zich meer met de wereld verbonden voelen en mensen zich levendiger voelen (M. Ryan et al., 2009). Door het planten van bomen in de bebouwde delen van de stad blijft de temperatuur rondom de bomen koeler en gaat de kwaliteit van de lucht omhoog; de lucht wordt namelijk minder vochtig. Door de betere luchtkwaliteit rondom de bomen, zullen mensen iets fitter blijven. Het beste is om de bomen in clusters te plaatsen, zodat de luchtkwaliteit omhoog gaat en de luchtvochtigheid

omlaag (S. Streiling & A. Matzarakis, 2003). Er is een ruime keuze aan bomen die in aanmerking komen om te plaatsen op kruispunten. Alle hebben voor- en nadelen. Coniferen zuiveren het best de lucht, het hele jaar door, omdat ze het hele jaar groen blad hebben. Daardoor kan de fotosynthese constant plaats blijven vinden. Echter hebben ze hebben wel naalden, die prikken waardoor het niet veiliger wordt op het kruispunt. Daarnaast zijn er de loofbomen. Deze zijn niet het hele jaar groen en filteren dus maar een deel van het jaar de lucht. Fotosynthese kan namelijk niet het hele jaar even goed verlopen in verband met het bladverlies. Het bladverlies kan zorgen voor gladheid op de weg. Het voordeel van loofbomen is wel dat ze hun bladeren hoger hebben zitten, waardoor ze minder plek innemen op het kruispunt. (Agentschap voor Natuur en Bos, 2008).

Materiaal en methode

Voor het onderzoek is de volgende methode gekozen:

1. Literatuuronderzoek: vanuit de drie ambities kijken hoe het best de drie aspecten (veiligheid, duidelijkheid voor alle weggebruikers en toekomstgerichtheid) kunnen worden verbeterd. Deze informatie zal terug te zien zijn in het ontwerp zelf. Dit wordt gebruikt bij het ontwerpen van het nieuwe kruispunt. Alle literatuur die in dit onderzoek is gebruikt is wetenschappelijk onderbouwd. De bronnen zijn afkomstig uit artikelen van wetenschappers, uit filmpjes van wetenschappers en van gemeenten die samengewerkt hebben met het CROW/ASVV.
2. Interview/enquête: met behulp van interviews (gemeente en fietsbond) en enquêtes (Lyceum de Grundel, Fietsbond, MPM, bewoners Hengelo) erachter komen wat verschillende partijen/groepen mensen vinden van het kruispunt. Juist deze groepen zijn gekozen, omdat hier verschillende leeftijden en weggebruikers te bereiken zijn. Verder is onderzoek gedaan naar de visie van de gemeente omtrent het kruispunt door middel van een interview met Rick Metternich. Hij is verkeerskundige bij de afdeling Wegen, Groen en Water bij de Gemeente Hengelo en heeft vele kruispunten ontworpen in Hengelo. Daarnaast is hij momenteel bezig met een nieuw ontwerp voor het kruispunt Lansinkesweg en Industriestraat. De Fietsbond is erbij betrokken, omdat ze in de krant had laten weten dat ze niet tevreden is met het kruispunt en vindt dat er wat verandert moest worden. (Ruesink, 2019) (Zie bijlage 1 en 2 voor de interviews) Bij de enquête zijn 128 respondenten geworven, van wie 97 het kruispunt echt kennen. Deze enquête werd digitaal verspreid. Hieruit werd een overzicht gemaakt van wat de respondenten willen met het kruispunt en wat hun belangen zijn (zie bijlage 3 en 4 voor de resultaten van de enquête).
3. Eisenlijst opstellen: alle eisen van de verschillende partijen en van het literatuuronderzoek in één lijst verwerken en kijken wat daarvan haalbaar is om in het ontwerp te verwerken. Deze eisenlijst zal leidend zijn voor het ontwerp, hier wordt het ontwerp op gebaseerd.
4. Ontwerpen: een ontwerp maken met de eisen van de verschillende groepen mensen en de drie ambities uit ons literatuuronderzoek. Het kruispunt wordt een vernieuwing waar iedereen zo tevreden mogelijk mee moet zijn. Dit ontwerp werd uitgevoerd in Google Sketchup.

Resultaten

In afbeelding 4 is het nieuwe ontwerp van het kruispunt te zien. Deze resultaten zijn tot stand gekomen met behulp van de afgenomen enquête, het literatuuronderzoek en de afgenomen interviews.

Bij dit nieuwe ontwerp zal er per gestelde ambitie (veiligheid, duidelijkheid en toekomstgerichtheid) nadere uitleg gegeven worden.

1. Veiligheid

In het nieuwe ontwerp is de veiligheid erg toegenomen. Dit komt doordat er naar alle twaalf eisen van het SWOV is gekeken en deze zo goed mogelijk zijn verwerkt in het ontwerp (zie tabel 1). Er is verder gekozen voor een eenrichtingsfietspad aan beide kanten van de weg, omdat dit veiliger is en hierop minder ongelukken voorkomen dan op een tweerichtingsfietspad. (zie tabel 3). (Kroeze, Sweers & Schepers, 2010)

Er zal een tweerichtingsfietspad blijven aan de kant van het station, de F35. De reden hiervoor is dat de F35 een verbinding legt tussen verschillende steden, namelijk Hengelo en Enschede. Door weinig oponthoud kunnen fietsers snel van de ene naar de andere bestinatie te komen. Zo zullen mensen eerder kiezen voor de fiets dan de auto waardoor er minder broeikasgassen en geluid ontstaat. (Provincie Overijssel, 2015)

Om conflicten te voorkomen is gekozen voor een fietspad van 2,00 meter breed. Dit is net iets minder breed dan het fietspad waarop de minste ongelukken gebeuren. Dit komt omdat er maar een beperkte ruimte beschikbaar is voor de infrastructuur in dat gebied. Om dezelfde redenen zullen we ook geen Smart Channels voor rechts afslaand verkeer plaatsen, ook al zou dit een groot effect op het verminderen van conflicten hebben gehad. In deze situatie zal het juist een negatief effect kunnen opleveren als ze wel worden geplaatst, doordat dan een smalle bocht zou worden gerealiseerd, wat weer meer conflicten zou opleveren. (Autey, Sayed & Zaki,2012; De goede, Obdeijn & Van der Horst, 2013)

1.1 Hoofdlijnen veiligheid

Er wordt een eenrichtingsfietspad van 2,00 meter breed naast de Lansinkesweg gelegd om te zorgen dat de kans op ongelukken en conflicten kleiner wordt. (Kroeze, Sweers & Schepers, 2010) (ASVV (CROW), 2012) Door de F35 blijft het fietspad voor het station een tweerichtingsfietspad, want dit brengt andere voordelen met zich mee. (Provincie Overijssel, 2015)

2. Duidelijkheid

De duidelijkheid van het kruispunt is verbeterd. De maten van alle weggedeelten zijn aangepast. Alle voetpaden zijn 1,50 meter breed. Alleen op de twee punten waar voetgangers de Industriestraat kunnen oversteken wordt het voetpad nog breder, namelijk 2.00 meter. Hiervoor is gekozen, omdat dit een druk punt is en de verbreding de doorstroming zal bevorderen. De fietspaden worden aanliggende eenrichtingsfietspaden van 2.00 meter breed. De rijbanen van de overige bestuurders worden 2.90 meter breed. (zie figuur 5) (ASVV (CROW), 2012)

2.1. Markeringen

Voor dit kruispunt is gekozen om wel markeringen te gebruiken, zoals aangegeven rijbanen en waar de fietsers en voetgangers moeten rijden/lopen. Markeringen geven een waarschuwing af, zodat de kans op ongelukken wordt verminderd. (Noordzij, geciteerd in Marieke Martens, Samantha Comte & Nico Kaptien, 1997) Markeringen kunnen ervoor zorgen dat de snelheid wordt verhoogd, maar op dit kruispunt is daar minder sprake van dankzij de stoplichten. (Van der Horst, geciteerd in Mariek Martens, Samantha Comte & Nico Kaptein, 1997) Bij dit kruispunt was de kans op ongelukken hoog en dat moet verlaagd worden, dus er is wel voor markeringen gekozen.

2.2. Nudging

Met nudging is het mogelijk om mensen bepaald gedrag te laten vertonen (T.M. Wilkinson, 2012). Snelheidsmeters zorgen ervoor dat mensen feedback krijgen op hun gedrag, waardoor het gevraagde gedrag en snelheid wordt versterkt. (P.B. Srikanth & M.G. Jomon, 2013) Wachtijdindicatie is toegevoegd op alle stoplichten van de fietsers en van de voetgangers, want uit onderzoek is gebleken dat mensen hierdoor minder snel door rood lopen. (Thijssen, 2008)

2.3. Groepsdruk

Bij dit kruispunt lopen veel mensen door rood licht. Dit komt door de groepsdruk die voornamelijk bij de studenten heerst. Het kan worden verminderd door meer duidelijkheid te scheppen, zodat niet een iemand door rood loopt en de rest dan volgt. (Vladas Griskevicius, Robert B. Cialdini & Noah J. Goldstein, 2008) Dit kan bereikt worden door tijdwachttindicaties bij de stoplichten te plaatsen. Hierbij wordt de resterende wachttijd visueel zichtbaar en zullen minder mensen door rood lopen en zal de groepsdruk ook verminderd worden. (Thijssen, 2008)

2.4. Hoofdlijnen duidelijkheid

De maten van het ASVV zijn aangehouden om de wegen te ontwerpen (zie figuur 5). Daarnaast worden markeringen gebruikt, zodat weggebruikers worden gestuurd in hun gedrag en ze sneller de keuze maken het gevraagde gedrag te vertonen. (Noordzij; Van der Horst, geciteerd in Marieke Martens, Samantha Comte & Nico Kaptien, 1997) Met nudging krijgen de weggebruikers bij deze kruising meer feedback. Dit kan gerealiseerd worden met snelheidsmeters en wachttijdindicatie (P.B. Srikanth & M.G. Jomon, 2013; Thijssen, 2008) Ook kan met nudging groepsdruk verminderd worden als er meer duidelijkheid is gecreëerd voor de weggebruiker. (Vladas Griskevicius, Robert B. Cialdini & Noah J. Goldstein, 2008)

3. Toekomstgerichtheid

Door het gedrag van mensen te sturen met behulp van nudging kan het gas N2O in de lucht gereduceerd worden. Weggebruikers zullen vaak een minder agressieve rijstijl vertonen en daardoor zal het broeikas effect op den duur verminderen. (Graham et al, 2009) Ook worden afvalbakken met menselijke kenmerken en een geur van citroen geplaatst, hierdoor zullen mensen sneller hun afval in de afvalbak gooien. (Broeders, Midden, & Ham, 2010).

3.1. Drempels

De drempel die lag bij het stoplicht op de Industriestraat is verwijderd, want uiteindelijk zal een drempel meer nadelen hebben dan voordelen bij het kruispunt van de Industriestraat en de Lansinkesweg. Hier functioneert de drempel nu als snelheidsremmer voor de bochten die de bestuurder moeten afleggen, maar uiteindelijk veroorzaakt de drempel geluidsoverlast, meer CO2 en vermoeide mensen. (Wewalwala S.N., & Sonnadara, D.U.J., 2011) Vooral de mensen die in dit gebied werken of naar school gaan kunnen hier last van krijgen. (Pathak, V., Tripathi, B.D., & Mishra V., 2007) Een drempel heeft meer nadelen dan voordelen in deze situatie en daarom worden in het gehele kruispunt ook geen drempels geplaatst.

3.2. Groene golf, infraroodstraling of regensensor?

In het verkeer kan er voor automobilisten gebruik worden gemaakt van de groene golf. De bestuurders kunnen in een keer doorrijden en produceren zo minder CO2. (Ciprian Dobre, 2011) Voor fietsers en voetgangers zou er gebruik kunnen worden gemaakt van infraroodstraling (Darren Robinson, Martin Paul Gilham, 1997) en regensensoren (DeltaOhm, 2019), zodat de doorstroming voor hen beter wordt op drukke momenten of tijdens heftige regen. Bij dit kruispunt is gekozen voor de combinatie infraroodstraling en regensensoren vanwege de vele voetgangers en fietsers die het kruispunt oversteken. Op drukke momenten zullen ze sneller door rood lopen. Het is namelijk een werk- en schoolgebied.

3.3. Asphalt

Daarnaast is het hele kruispunt geasfalteerd. Dit zorgt voor een reductie van de CO2 – uitstoot, een lange levensduur en voor het verminderen van lawaai, zodat mensen in de werk- of schoolomgeving geen last hebben van het verkeer dat langs hun gebouw komt. (Eapa, 2019) Dit zorgt uiteindelijk voor het verminderen van gezondheidsproblemen. Een nadeel van asphalt is dat de productie juist veel CO2 uitstoot, maar door de lange levensduur van asphalt zal juist op den duur de CO2 – uitstoot verminderen. (Nguyen, T, 2017)

3.4. Lantaarnpalen

De lantaarnpalen zullen worden vervangen door nieuwe lantaarnpalen die zich aanpassen aan de hoeveelheid mensen die zich op dat moment op het wegdek of stoep begeeft. Door de automatische aanpassing wordt het energieverbruik minder en zullen de nieuwe lantaarnpalen zuiniger en milieuvriendelijker zijn dan de oude lantaarnpalen. (Jagadeesh Y.M., Akilesh S., Karthik S., & Prasanth, 2015) Daarnaast zullen de lantaarnpalen blauw licht uitstralen. Hierdoor zullen de weggebruikers alerter blijven. (Gillis Vandewalle, Pierre Maquet & Derk-Jan Dijk, 2009)

3.5. Groen

Langs de stoeprand komen op sommige plekken clusters bomen te staan die ervoor zorgen dat de lucht minder vochtiger wordt (S. Streiling & A. Matzarakis, 2003) en de mensen in de stad zich fitter gaan voelen (M. Ryan et al., 2009). In dit ontwerp is er gekozen voor coniferen. De lucht wordt door deze bomen het hele jaar door gefilterd. Daarnaast blijven hun naalden het hele jaar groen en vallen dus weinig naalden op de grond, waardoor gladheid wordt voorkomen. Loofbomen zijn niet geschikt op deze plek in verband met het bladverlies, dat gladheid op de weg kan veroorzaken. (Agentschap Natuur en

Bos, 2008)

3.6. Hoofdlijnen toekomstgerichtheid

N2O wordt verminderd door een minder agressieve rijstijl te vertonen door middel van nudging. (Graham et al, 2009) Door middel van infraroodstraling en regensensoren krijgen fietsers sneller groen licht en wordt de doorstroming bevorderd. (Ciprian Dobre, 2011; Darren Robinson, Martin Paul Gilham, 1997; DeltaOhm, 2019) Alles wordt geasfalteerd en de drempels worden verwijderd, waardoor de CO2-uitstoot verminderd wordt. (Eapa, 2019; Wewalwala S.N., & Sonnadara, D.U.J., 2011) Lantaarnpalen met blauw licht die de dichtheid van de weggebruikers meten worden op het kruispunt geplaatst. (Jagadeesh Y.M., Akilesh S., Karthik S., & Prasanth, 2015: Gillis Vandewalle, Pierre Maquet & Derk-Jan Dijk, 2009) Groene coniferen worden naast de wegen gezet. (Agentschap Natuur en Bos, 2008)

Conclusie

Met dit onderzoek is er een verbeterd kruispunt ontworpen voor de Lansinkesweg en Industriestraat in Hengelo. De hoofdvraag die hierbij is gesteld, luidt: Hoe kan, kijkend vanuit drie gestelde ambities - veiligheid, duidelijkheid voor alle weggebruikers en toekomstgericht - een nieuw technisch wegontwerp gemaakt worden voor het kruispunt van de Lansinkesweg en Industriestraat? Hierop is antwoord gegeven met behulp van de deelvragen en de drie gestelde ambities.

De veiligheid is verbeterd door:

- duidelijker oversteekplaatsen te creëren voor fietsers en voetgangers;
- het tweerichtingsfietspad te vervangen door twee eenrichtingsfietspaden aan beide kanten van de weg;
- geen conflicten meer met andere weggebruikers te hebben. Dit geeft de verkeersdeelnemer meteen meer duidelijkheid.

De duidelijkheid is verbeterd door:

- de markeringen duidelijker te maken;
- opstelvakken te creëren;
- verkeersregeling beter op elkaar af te stemmen;
- met behulp van nudging (tijdwachttindicatie, belijning op de weg en snelheidsmeters) wordt het kruispunt duidelijker, het gedrag dat wordt gevraagd van de weggebruiker wordt duidelijk aangegeven. Met deze verbeteringen in duidelijkheid wordt meteen gezorgd voor een vermindering in volggedrag.

De toekomstgerichtheid van het kruispunt is verbeterd door:

- bomen te planten;
- de CO2 – en N2O – uitstoot te verminderen met behulp van:
 - nudging;
 - infraroodstraling en regensensoren;
- energieverbruik te verminderen met behulp van:
 - lantaarnpalen met blauw licht;
- geluidsoverlast te verminderen met behulp van:
 - de drempel bij de Industriestraat weg te halen;
 - asfalteren.

Alles tezamen zorgt voor een nieuw kruispunt, dat duidelijker is voor de gebruiker en waar iedereen zonder angst gebruik

van kan maken. Het kruispunt is voor lange tijd bruikbaar door de vele aanpassingen en het belangrijkste; het is een kruispunt geworden dat de mensen veiligheid biedt. Zo is er met technische aanpassingen en vanuit de drie ambities een nieuw kruispunt ontworpen. Het is een aanwinst voor de toekomst, maar vooral een aanwinst voor de mensheid. Het kruispunt nu zal een update moeten ondergaan en dit ontwerp biedt daar mogelijkheid toe.

Discussie

Binnen dit onderzoek zijn er verschillende verbeterpunten waar rekening mee gehouden moet worden. Hier wordt ingegaan op de validiteit van het onderzoek, de inhoud van de resultaten, de beperkingen en de aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

1. Validiteit

Binnen dit onderzoek zijn er enkele zaken waar rekening mee gehouden moet worden. Allereerst met de validiteit. De enquête die werd afgenomen, is niet geheel representatief. Om te beginnen was er bij de enquête een verschil tussen de leeftijdsgroepen. Er bleken namelijk 59 respondenten (60,8%) tussen de 10 tot en met 20 jaar en de overige 38 respondenten (39,2%) waren 20+. Hierdoor is er in dit onderzoek meer gekeken naar het perspectief van de jongeren. Dit kan van invloed zijn geweest op vraag 9 (zie bijlage 3) doordat jongeren nauwelijks tot geen ervaring hebben met vervoersmiddelen zoals auto's. Daarnaast bleek uit de enquête dat het merendeel van de respondenten (79,4%) met de fiets over dit kruispunt gaat. Hierdoor kwam uit de enquête naar voren dat de verbeterpunten voornamelijk gegeven werden vanuit het perspectief van de fietsers. Door dit feit kan het onderzoek niet als representatief worden gezien voor de gebruikers van het kruispunt Lansinkesweg en Industriestraat.

Ook zouden er, om de validiteit te verhogen, meerdere interviews kunnen worden afgenomen, zodat uit meer perspectieven gekeken kan worden en er dus een beter beeld ontstaat van alle gebruikers samen. De interviews zouden kwalitatief ook nog beter kunnen door gerichtere en meer inhoudelijke vragen te stellen. Zo kan er meer relevante informatie verkregen worden. Verder zouden er vervolgesprekken met de gemeente gevoerd kunnen worden, zodat nog duidelijker naar voren komt wat er op dit kruispunt gaat gebeuren en wat wel en niet mogelijk is. Zo kan er gericht gezocht worden naar literatuur om zo een beter ontwerp te maken. Daarnaast zou bij de Fietsbond nog meer navraag gedaan kunnen worden naar haar wensen.

Verder is dit onderzoek gebaseerd op literatuur. Theoretisch zou dit ontwerp kunnen leiden tot een veiliger, duidelijker en toekomstgerichter ontwerp. Alleen elke verkeerssituatie is anders. Hierdoor kan het zo zijn dat het in de werkelijkheid anders uit zal pakken. Hiermee is het twijfelachtig of het daadwerkelijk de beste oplossing voor dit kruispunt. Ook zijn er veel verschillende theorieën over kruispunten, waarvan maar een klein deel in dit onderzoek besproken is. Om valide keuzes te kunnen maken voor een definitief ontwerp, zullen ook de andere theorieën moeten worden onderzocht.

Bij dit kruispunt bevindt zich een brandweerkazerne. Dit is in het onderzoek niet meegenomen en daarmee zijn er geen speciale middelen bedacht in het ontwerp om het de brandweer makkelijker te maken te kunnen uitrukken.

2. Resultaten

In dit onderzoek is geen hypothese gesteld, omdat het een ontwerponderzoek is. Wel kan worden gesteld dat het ontwerp naar verwachting is. De drie ambities zijn namelijk nagestreefd. Om het ontwerp te optimaliseren zijn er echter meerdere ambities nodig; er is in dit onderzoek maar op een aantal zaken gefocust. Er zijn dus in het literatuuronderzoek zoveel mogelijk zaken meegenomen om het kruispunt te verbeteren, maar dit kan nog vanuit meer perspectieven gedaan worden.

Er waren tegenstrijdigheden in de resultaten gevonden en er moest een keuze worden gemaakt tussen de opties. Deze is gebaseerd op de enquête, interviews en validiteit van de gebruikte literatuur, maar ook deels op eigen inzicht. De keuze tussen deze opties op de verschillende gebieden in de literatuur zouden meer valide zijn als er nog dieper de literatuur in gedoken zou worden en nog eens met de gemeente zou worden gesproken, om zo te bepalen wat het meest relevant is voor dit kruispunt en wat hun visie is met betrekking tot dit kruispunt in de toekomst.

Daarnaast is er nu vrij breed gezocht in de theorie om een heel kruispunt opnieuw te ontwerpen. Hierbij is er niet gelet op detailniveau. Om er zeker van te zijn dat dit de meest optimale keuzes zijn, moet er dieper onderzoek worden gedaan naar kleinere aspecten. Hier is op dit moment niet voor gekozen, omdat er een heel kruispunt ontworpen werd. Met dit onderwerp is aangetoond dat er een veiliger, maar tegelijkertijd duidelijker en toekomstgerichter kruispunt kan worden neergezet.

Verder zijn de auteurs in dit onderzoek bevooroordeeld. De auteurs gaan namelijk zelf vaak over dit kruispunt heen en beleven het als onprettig. Zo kunnen de auteurs onbewust subjectief gekeken hebben en hun eigen argwanen over dit kruispunt meegenomen hebben. Dit alles kan verwerkt zijn in dit ontwerp, waardoor dit onderzoek niet volledig objectief is.

De resultaten zijn ook niet voor altijd valide. Het is niet duidelijk of dit kruispunt in de toekomst dezelfde functie blijft hebben, als dit niet het geval is dan is dit onderzoek niet meer bruikbaar.

Daarbij komt dat bij het onderzoek naar het gedrag van mensen een algemene situatie is geschetst. De realiteit komt echter niet altijd over een met de literatuur, het is dus de vraag of de oplossingen voor het verminderen van groepsdruk werken in de onderzochte situatie.

3. Beperkingen

Er kon geen gebruik worden gemaakt van ASVV. Dit is een boek dat door CROW is opgesteld en alle informatie bevat over de voorzieningen binnen de bebouwde kom. Denk hierbij aan bebakeningen, ontwerp karakteristieken, beleid etc. Dit wordt vaak gebruikt door verkeerskundige ontwerpers. Het boek zou zeer relevant zijn geweest voor het onderzoek, maar hier kon geen gebruik worden gemaakt doordat er geen budget voor was.

Verder waren de exacte maten van de wegen niet bekend. Wat beschikbaar was, was een luchtfoto van het kruispunt

met daarbij een schaal. Hierbij was het wel mogelijk om een schatting te maken van de maten, maar daardoor is er een kans dat er meetfouten zijn gemaakt en dat het ontwerp dat nu gemaakt is in werkelijkheid misschien niet past.

Daarnaast hebben de auteurs geen kennis van het ontwerpen van kruispunten. Hierdoor zijn de algemene zaken die rondom dit thema belangrijk zijn minder bekend en kunnen daardoor tijdens de literatuuronderzoek belangrijke termen misgelopen zijn. Als deze kennis er wel was, kon er een ander, specifiekere ontwerp op tafel liggen. Deze kennis was er bij de auteurs niet en zullen er dus fouten in het ontwerpproces zitten, waardoor ook het ontwerp niet als geheel valide kan worden beschouwd.

4. Vervolgonderzoek

Als er vervolgonderzoek wordt gedaan naar dit kruispunt, zou er aan een aantal dingen kunnen worden gedacht, zoals nog meer met de gebruiker in gesprek te gaan en vanuit meerdere actoren kijken. Hierbij moeten er nog gerichtere en nuttiger vragen gesteld worden om zo dit gesprek optimaal te benutten. Ook kan de enquête naar meer mensen van verschillende leeftijdsgroepen gestuurd worden om zo een beter beeld te krijgen van hun visie op het kruispunt is. Daarnaast is het raadzaam nog meer de literatuur uit te diepen op bepaalde aspecten van de gemaakte keuzes en kijken of het mogelijk is om de beste opties uit de literatuur toch te realiseren. Er moet een breder beeld worden gevormd zodat op alle vlakken die maar denkbaar zijn een goed geconstrueerd kruispunt ontstaat, met geen enkel zwak punt.

Ook zou er in een vervolgonderzoek, gekeken kunnen worden naar kleurgebruik in het verkeer. In het buitenland zijn hier onderzoeken naar gedaan, maar nooit op wetenschappelijk niveau. In het buitenland experimenteert men met weggedeelten in verschillende kleuren. Het zou een aanwinst zijn voor vervolgonderzoek als dit meegenomen zou kunnen worden in de verbetering van het kruispunt, juist omdat er nog niet veel landen hier mee bezig zijn. Hier kan winst worden behaald voor Nederland zelf in de verkeersindustrie en op schaal van dit kruispunt zelf een nog veiliger, duidelijker en toekomstgerichter kruispunt.

Bovendien wordt het aangeraden om te kijken of er zaken zijn die meegenomen kunnen worden om de brandweer zo min mogelijk te hinderen als ze moeten uitrukken.

Daarnaast wordt eraangeraden om een beter ontwerpprogramma te gebruiken die in detailniveau alles realistisch visualiseren kan, zodat het ontwerp zo goed mogelijk aansluit bij de werkelijkheid. Ook moet de ontwerpcyclus worden gevolgd zodat alle stappen nauwkeurig worden genomen en minder zaken over het hoofd worden gezien in het ontwerpproces.

Tot slot wordt er aangeraden om bij vervolgonderzoek het verbeterde ontwerp te testen in een simulatiemodel om het kijken of er daadwerkelijk verbeteringen opgetreden zijn voordat het wordt gerealiseerd. Dit is nodig, omdat niet duidelijk is of het ook in de werkelijkheid de beste oplossing is. Het kan zijn dat er punten zijn die theoretisch heel sterk lijken, maar in het echt niet helpen om het kruispunt te verbeteren. Daarom is het simuleren van het model nodig.

Conclusie

Dit ontwerp (zie figuur 4) is gemaakt met behulp van drie gestelde ambities: veiligheid, duidelijkheid voor alle weggebruikers en toekomstgerichtheid. Het is een verbetering ten opzichte van het oude kruispunt, doordat er is gefocust op deze drie gestelde ambities en deze zijn verbeterd. Het kruispunt moet gemoderniseerd worden, zodat de weggebruikers er met plezier gebruik van gaan maken. Dit ontwerp (zie figuur 4) biedt de mogelijkheid om verschillende aspecten van het kruispunt naar een hoger niveau te tillen. Onze wereld ontkomt niet aan de toekomst en daarom moet dit kruispunt daarop inspelen en zich daarop voorbereiden. De toekomstgerichtheid wordt teruggevonden door de vermindering van de CO2- en N2O- uitstoot.

Wel moet er rekening worden gehouden met het feit dat over een aantal jaar dit onderzoek niet meer valide is, omdat de omstandigheden van het kruispunt waarschijnlijk zijn veranderd. Ook zijn niet alle mogelijke oplossingen bekeken voor elk aspect van het kruispunt en kan hier meer op detailniveau naar worden gekeken. De auteurs hadden geen ervaring met de ontwerpcyclus en hebben daarom fouten gemaakt in het ontwerpproces, daardoor is het ook niet geheel betrouwbaar. Daarbij komt nog dat er te weinig ambities zijn gesteld om het hele kruispunt op alle gebieden te updaten. Daarom wordt er aangeraden om in vervolgonderzoek hierop te focussen en hierdoor een nog completer en innovatiever kruispunt neer te zetten dan dat het nu al is.

Bibliografie

(2016, Juni 30). Opgehaald van Rijnmond: <https://www.rijnmond.nl/nieuws/143608/Pianotrap-geopend-in-Rotterdam-Centraal>

Asfaltwerken. (2014, maart 20). Asfaltwerken. Opgehaald van Voordelen asfalt erfverharding: <http://asfaltwerken.nl/voordelen-asfalt-erfverharding>

Autey, J., Sayed, T., & Zaki, M. H. (2012, maart). Safety evaluation of right-turn smart channels using automated traffic conflict analysis. Accident Analysis & Prevention, pp. 120-130.

Bos, A. N. (2008). Technisch vademecum bomen. Brussel: Yves Decuyper.

Broeders, R., Midden, C., & Ham, J. (2010, april). Zwerfafval: Met automatisch gemak gooi je het in de afvalbak. Opgehaald van kenniswijzerzwerfafval: https://kenniswijzerzwerfafval.nl/sites/default/files/media/TU%20Eindhoven_Met%20automatisch%20gemak%20gooi%20je%20het%20in%20de%20afvalbak.pdf

CROW. (sd). asfalt in weg en waterbouw. Opgehaald van CROW: <https://www.crow.nl/publicaties/asfalt-in-weg-en-waterbouw>

De Goede, M., Obdeijn, C., & Van der Horst, I. A. (2013, januari). Conflicten op fietspaden - fase 2 . Opgehaald van TNO: [TNO-2012-R10966.pdf](https://www.tno.nl/onderzoek-en-ontwikkeling/publicaties/rapporten/2013/01-01-conflicten-op-fietspaden-fase-2)

DeltaOhm. (2019). Regensensor. Opgehaald van DeltaOhm: <https://www.deltaohm.nl/continuu-meting/hd20132-regensensor-neerslag-detectie-regen-sneeuw-regen-intensiteit-meting>

Dobre, C. (2011). Using intelligent traffic lights to reduce vehicle emissions. International Journal of Innovative Computing, Information and control, 20.

Eapa. (2019). Advantages of Asphalt. Opgehaald van Eapa: <https://eapa.org/advantages-of-asphalt/>

El-Basyouny, K. S. (2013, Januari). Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety Science*, pp. 160-164.

Gilham, D. R. (1997). United States Patentnr. 5,892,226 .

Gilles Vandewalle, P. M.-J. (2009). Light as a modulator of cognitive brain function. Elsevier, 10.

Graham et al. (2009). Nitrous oxide emissions from light duty vehicles. Opgehaald van Sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231009000065#bib3>

Hemme, F. (2019, juli 01). Opgehaald van UT Library: https://essay.utwente.nl/79268/1/Hemme_BA_ET.pdf

Hengelo. (sd). Hart van Zuid. Opgehaald van Hengelo: <https://www.hengelo.nl/Welkom-in-Hengelo/Projecten-en-Plannen/Hart-van-Zuid.html>

Hof, T., & Schultz, S. (2015, februari). TNO inovation for live. Opgehaald van TNO: [tno-2015-R10196.pdf](https://www.tno.nl/2015-R10196.pdf)

Jomon, P. S. (2013). Role ambiguity and role performance effectiveness: moderating the effect of feedback seeking behaviour. *Asian Academy of Management Journal*, 23.

K. Van Hout, T. B. (2012). Fietsinfrastructuur. Opgehaald van <https://uhdspace.uhasselt.be/dspace/bitstream/1942/16322/1/RA-MOW-2011-008.pdf>

Kakar, M. R., Hamzah, M. O., & Valentin, J. (2015). A review on moisture damages of hot and warm mix asphalt and related investigations. Opgehaald van Sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615002450?via%3Dihub>

Klimaat. (2013). De verschillende broeikasgassen. Opgehaald van Klimaat: <https://www.klimaat.be/nl-be/klimaatverandering/het-klimaat/de-verschillende-broeikasgassen>

Kroeze , P., Sweers, W., & Schepers, P. (2010, september 21). Fietsters en oversteekongevallen. Opgehaald van Verkeerskunde: [http://www.verkeerskunde.nl/internetartikelen/vakartikelen/fietsters-en-oversteekongevallen-\(vk-6-2010\).23330.lynkx](http://www.verkeerskunde.nl/internetartikelen/vakartikelen/fietsters-en-oversteekongevallen-(vk-6-2010).23330.lynkx)

Marieke Martens, S. C. (1997). The effect of Road design on speed behaviour: A literature review. Finland.

Matzarakis, S. S. (2003). Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. *Journal of Arboriculture*, 8.

Nederland, C. V. (2014, November 11). CROW. Opgehaald van <https://www.crow.nl/downloads/pdf/verkeer-en-vervoer/verkeersmanagement/verkeersregelininstallaties/cvn-wachttijdvoorspellers?ext=.pdf>

Nguyen, T. (2017, oktober 10). Vochtreductie bij de asfalt productie Westerbroek. Opgehaald van UT Library: <https://essay.utwente.nl/74486/1/Nguyen-Trung.pdf>

Peter Kroeze, W. S. (sd). Fietsters en oversteekongevallen. Opgehaald van verkeerskunde: <http://www.verkeerskunde.nl/fietsongevallen>

Provincie Overijssel. (2015). Waarom een fietssnelweg. Opgehaald van fietssnelwegf35: <http://www.fietssnelwegf35.nl>

Renes, R. J. (sd). Universiteit van Nederland. Opgehaald van <https://universiteitvannederland.nl/college/waarom-gedraag-jij-je-vaak-nogal-dom-in-het-verkeer>

Richard M. Ryan, N. W. (2009). Vitalizing effects of being outdoors and in nature. *Journal of environmental psychology*, 10.

Rijkswaterstaat, M. v. (2010, januari). Opgehaald van fietsersbond.amsterdam: https://fietsersbond.amsterdam/media/2011/100130_oversteekveiligheid_van_fietsers_definitief_opt.pdf

RTV Oost. (2013, september 6). Wachten op ernstig ongeluk kruising Industriestraat Hengelo. Opgehaald van RTV Oost: <https://www.rtvooost.nl/nieuws/170436/Wachten-op-ernstig-ongeluk-kruising-Industriestraat-Hengelo>

Ruesink, M. (2019, juli 31). Meest genegeerde inrijverbod voor fietsers van Hengelo aangepakt, maar het plan kan nog beter. *Tubantia*. Opgehaald van Tubantia: <https://www.tubantia.nl/hengelo/meest-genegeerde-inrijverbod-voor-fietsers-van-hengelo-aangepakt-maar-het-plan-kan-nog-beter-aa9ca1a3/>

Saghai, Y. (2013, Mei 03). Taylor & Francis Online. Opgehaald van UT Library: <https://www.tandfonline-com.ezproxy2.utwente.nl/doi/full/10.1080/15265161.2013.782455>

Schmer, G. (2014, april 04). Opgehaald van researchgate: https://www.researchgate.net/profile/Govert_Schermers/publication/242764225_Herinrichting_Mr_PJ_Troelstrastraat_Dennenbosweg_en_Sloetsweg_te_Hengelo/links/0f317533e4cac2221000000/Herinrichting-Mr-PJ-Troelstrastraat-Dennenbosweg-en-Sloetsweg-te-Hengelo.pdf

Smink, G. (2019, april 11). Dit zijn de 7 gevaarlijkste verkeerspunten in Hengelo. Opgehaald van Tubantia: <https://www.tubantia.nl/hengelo/dit-zijn-de-7-gevaarlijkste-verkeerspunten-in-hengelo-a875d545/>

Sokol, K. (2017, Oktober 09). vrt.nws. Opgehaald van vrt: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2017/10/09/nobelprijs-economie-voor-nudging---een--psychologisch-principe-/>

SOM. (sd). Nudging; SOM. Opgehaald van Smart Online Marketing: <https://smart-online-marketing.nl/nudging/nudge/>

Sonnadara, S. W. (2011). Traffic noise enhancement due to speed bumps. *Sri Lankan Journal of Physics*, 6.

SWOV. (2012, november). SWOV-factsheet. Opgehaald van SWOV: file:///C:/Users/Renske/AppData/Local/Temp/factsheet_emoties_en_verkeer_gearchiveerd.pdf

SWOV. (2017). Feiten-cijfers. Opgehaald van SWOV: <https://www.swov.nl/feiten-cijfers/factsheet/principes-voor-veilig-wegontwerp>

Vinita Pathak, B. T. (2007). Evaluation of traffic noise pollution and attitudes of exposed individuals in working place. *Atmospheric Environment*, 7.

Vladas Griksevicius, R. B. (2008). Applying (and resisting) peer influence. *MITSloan management review*, 7.

Wilkinson, T. (2012, September 07). Wiley Online Library. Opgehaald van UT Library: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy2.utwente.nl/doi/full/10.1111/j.1467-9248.2012.00974.x?sid=worldcat.org>

Wittenhagen, D. (sd). SurveyMonkey. Opgehaald van De Wittenhagen enquête: <https://nl.surveymonkey.com/r/Wittenhagen>

Y.M. Jagadeesh, S. A. (2015). Intelligent Street Lights. *Procedia Technology*, 5.



Figuur 1 Kaart van kruispunt Lansinkesweg en Industriestraat

	Niveau	Eisen
1.	Op het niveau van netwerk	• Maak verblijfsgebieden zo groot mogelijk en zoveel mogelijk aaneengesloten. • Laat een zo klein mogelijk deel van de ritten over relatief onveilige wegen lopen. • Laat ritten zo kort mogelijk duren. • Zorg dat het begrip ‘kortste rit en ‘veiligste rit’ samenvallen.
2.	Op het niveau van routes	• Voorkom zoekgedrag • Maak wegcategorieën zo herkenbaar mogelijk • Beperk en uniformeer het aantal verkeersoplossingen.
3.	Op het niveau van het wegontwerp	• Vermijd conflicten met tegemoetkomend verkeer • Vermijd conflicten met kruisend en overstekend verkeer • Scheid de soorten verkeer • Reduceer de snelheid op potentiële conflictpunten • Vermijd obstakels langs de rijbaan.

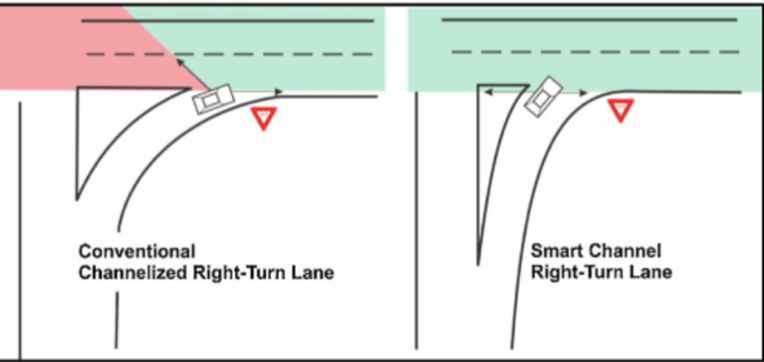
Tabel 1. Eisen veilig wegontwerp volgens Duurzaam Veilig
Noot. Overgenomen van (SWOV, 2017)

Periode 2005-2008	Apeldoorn	Delft	Tilburg
Voorrangskruispunt	63	52	49
Kruispunt met verkeerslichten	15	24	17
Gelijkwaardig kruispunt	6	14	13
Kruispunt met solitair fietspad	6	5	8
Rotonde	8	5	4
Anders	3	1	8
Totaal	100%	100%	100%

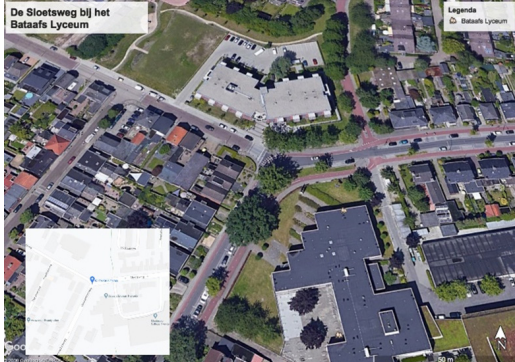
Tabel 2 De geregistreerde voorrangsongevallen met fietsers over verschillende kruispunttypen in Apeldoorn, Delft en Tilburg.
Noot. Overgenomen van (Kroeze, Sweers & Schepers, 2010).

	Aantal kruis-punten	Gem. intensiteit autoverkeer	Gem. intensiteit fietsverkeer	Fietsongevallen verwacht	Fietsongevallen werkelijk	Relatief risico
Fietsstrook	157	7.525	2.964	102	105	1,03
Fietspad, eenrichting	206	10.328	2.451	132	113	0,85
Fietspad, twee richtingen	55	9.972	2.752	43	60	1,41
Anders	86	6.790	1.828	41	40	0,97
Totaal	504	8.812	2.532	318	318	1

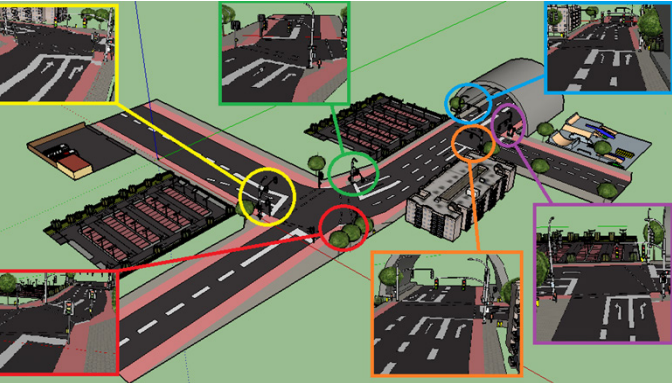
Tabel 3 relatief risico overstekende fietsers naar plaats op de weg.
Noot. Overgenomen van (Kroeze, Sweers & Schepers, 2010).



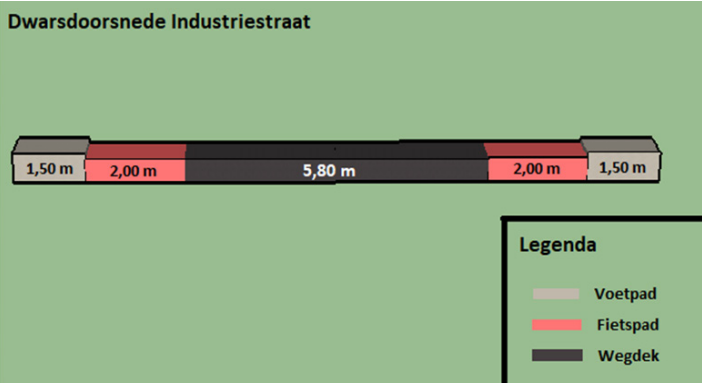
Figuur 2 Verbetering van het zicht met Smart Channels (Autey, Sayed, & Zaki, 2012)



Figuur 3 Kruispunt Sloetweg bij Bataafs Lyceum



Figuur 4 Nieuwe ontwerp kruispunt Lansinkesweg en Industriestraat.



Figuur 5 Dwarsdoorsnede Industriestraat

Het visualiseren van grafieken in de ruimtelijke vierde dimensie

M. Buitenweg¹, M.M.H. Elsjan², G. Campisi², A. Elscho¹, L. Weedage³, E. Meijer³

¹Bonhoeffer College, locatie Bruggertstraat, Enschede
²Bonhoeffer College, locatie van der Waalslaan, Enschede
³Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - The fourth dimension is a much-discussed subject. Multiple organizations are conducting research on the usage of the fourth dimension to provide a better understanding of the universe. Besides that, it is also used for mathematical problems concerning four variables. The goal of this research is to help visualize this extra dimension for future research or different applications in using or for understanding the fourth dimension. To tackle the challenge described above the following central question needs to be answered: *Which visual assisting techniques have a positive influence on the spatial perception of a representation of a 4-dimensional object?* In order to answer this question, research has been done on existing techniques and methods to visualize the fourth dimension. The research was used in combination with the knowledge of the subject to create new models for this issue. The following visualization techniques and methods were examined:

- Munsell's Color theory (use of color)
- Vanishing points
- VR glasses
- Thickness of lines
- The blur effect

The chosen methods were use of color and difference in thickness of lines. These options were permuted and combined with a basic perspective projection technique, which resulted in four different models. The results produced by the conducted experiments did not indicate a significant difference between any of the tested models, thus not providing a conclusive answer to the main question. However, the research itself could be used in further research to find the optimal visualization method for the spatial fourth dimension.

1 Inleiding

Mensen leven in een 3-dimensionale (3D) wereld: hier kunnen we ons goed in oriënteren. Wanneer we op 2D beeld iets ruimtelijks te zien krijgen kunnen we met onze 3D kennis alsnog drie dimensies herkennen. Als er wordt opgehoogd naar vier dimensies, verliezen we ons voordeel. Beseffende dat er uitzonderingen kunnen zijn op dit gebied, kunnen mensen zelf, zonder ondersteunende methodes, deze dimensie niet visualiseren. Grafieken in de 4e dimensie zijn belangrijk op wiskundig en natuurkundig niveau, omdat er op deze manier een voorstelling kan worden gemaakt van een ruimtelijke 4D wereld en bovendien het rekenen met vier variabelen in beeld kan worden gebracht. Om die reden is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Welke visuele hulptechnieken beïnvloeden de ruimtelijke perceptie van een representatie van een 4-dimensionaal object positief?* Voor deze 4D wereld wordt de definitie van Rizzo (2004) van een space like ED (een ruimtelijke extra dimensie) gehanteerd. Deze beschrijving houdt in dat de 4e as als een ruimtelijke plaatsbepaling gezien wordt en er geen extra tijdsaanduiding wordt gebruikt. Zo'n 4D grafiek moet een extra as, vergeleken met een 3D grafiek, in beeld brengen, en dan nog overzichtelijk blijven. Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden, wordt in dit onderzoek eerst naar voorgaande onderzoeken gekeken om meer inzicht te krijgen op het gebied van visualisatie van de 4e dimensie. Vervolgens worden verschillende visualisatiemethoden uitgewerkt. Hieruit wordt een selectie gemaakt om het experiment uit te voeren.

2 Informatie

In dit hoofdstuk wordt eerst toegelicht wat een 4D ruimte

precies inhoudt. Vervolgens worden soortgelijke onderzoeken besproken en in Hoofdstuk 2.2 komen verschillende, mogelijk bruikbare, visualisatiemethoden aan bod.

2.1 Eerder onderzoek

In een 4D ruimte bestaan er naast de gebruikelijke richtingen (links/rechts, voor/achter en boven/beneden) nog een richting waarin iets zich kan bewegen of bevinden. Dit is dan ook de richting die in beeld zal worden gebracht in dit onderzoek. Deze richting zal aangeduid worden met de termen 'warm' en 'koud'. Naar extra dimensies is al meermalen onderzoek gedaan. Onder de onderzoeken gerelateerd tot de 4e dimensie, zijn onderzoeken, waarin werd nagedacht over de manieren, waarop men 4D ruimten of functies kan visualiseren. Hieronder worden de belangrijkste besproken. Aflalo en Graziano deden in 2008 onderzoek naar het 4D ruimtelijke redeneringsvermogen van mensen. Hierbij gebruikten ze een 4D doolhof, die gevisualiseerd werd op een 2D computerscherm. Ze gebruikten de geometrisch correcte projectiemethode die ook al gebruikt was door J. McIntosh in 2002. Die projectie is gebaseerd op het idee dat wanneer een 3D object op een 2D oppervlakte geprojecteerd kan worden, een 4D object als een 3D object geprojecteerd kan worden. Het 3D object wordt vervolgens geprojecteerd op een 2D scherm. Het probleem waar McIntosh toen tegenaan liep, was dat de vlakken in het 3D object het zicht op grote delen van het 3D object belemmerden. Om dit probleem te omzeilen maakte McIntosh gebruik van wireframe graphics (zie Figuur 1), waarbij 3D vormen worden weergegeven als een verzameling lijnen op het scherm. Aflalo en Graziano vonden deze visualisatie niet duidelijk

genoeg voor hun proefpersonen, dus kozen ze ervoor om een extra indicator voor de positie van een lijn ten opzichte van de waarnemer toe te voegen. Ze maakten hun visualisatiemethode zo, dat een lijn steeds roder werd naarmate hij zich verder naar de warme kant van de waarnemer bevond en steeds blauwer naarmate de lijn zich verder naar de koude kant van de waarnemer bevond. Deze manier van kleur toepassen kan gebruikt worden in het onderzoek.

Hollasch

De methode die de eerdergenoemde onderzoeken gebruikten om 4D functies op een 2D vlak te projecteren, werd in 1992 al beschreven door S. R. Hollasch. In zijn stuk Four-Space Visualization of 4D Objects geeft hij onder andere een aantal algoritmes om dit te doen met een computer. Deze methode kan gebruikt worden in dit onderzoek.

Ambinder, Wang, Crowell, Francis en Brinkmann

Bij een ander onderzoek (Ambinder, Wang, Crowell, Francis en Brinkmann, 2009) werd er een andere visualisatiemethode gebruikt. Bij de visualisatiemethode die zij gebruikten, verplaatst men zich over de w-as (dit is naast de x-, y-, en z-as, de vierde as voor een 4D assenstelsel), waardoor je altijd een 3D plakje van de functie ziet; dit is vergelijkbaar met een CT-scan. Hierbij wordt een deel van het lichaam (2D) plakje voor plakje weergegeven om zo een 3D beeld van het lichaam op te bouwen. Als je echter in één oogopslag wilt zien waar iets zit, is deze methode beperkend; er wordt namelijk niet daadwerkelijk gebruik gemaakt van een 4D visualisatie, slechts een serie 3D plaatjes. Aangezien de kern van dit onderzoek is, om juist alle informatie in één plaatje te krijgen, zal niet gebruik gemaakt worden van deze ‘afspeeltijd’.

2.2 Visualisatie methoden

Het grootste probleem bij het model is, dat mensen in een 3D wereld leven, en daardoor amper met 4D ruimtes te maken krijgen. Het brein zorgt ervoor dat mensen diepte kunnen zien door de afstanden tussen de waargenomen objecten en de ogen te schatten Dit gebeurt op verschillende manieren. Het brein doet dat onder andere met behulp van binoculaire dispariteit (het verschil tussen twee ogen in kijkhoek op een voorwerp) (Qian, 1997). Deze functie van het brein kan ook benut worden om de waarnemer de mogelijkheid te geven afstanden tussen punten in een 4D grafiek en zichzelf te kunnen schatten als de visualisatiemethode een binoculair beeld produceert. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden met een VR-bril.

Naast die methode bestaan er ook monoculaire methoden om diepte te zien, methoden die ook werken op vlakke afbeeldingen van 3D objecten. Een mens kan bijvoorbeeld inschatten hoe ver een object is op basis van hoeveel ruimte dat object inneemt in het gezichtsveld. Een manier om dit toe te passen is door de dikte van de omtreklijnen te variëren. Zo lijkt een bepaald deel van een figuur dichterbij of verder weg. Om deze methode succesvol toe te passen moet de persoon echter wel weten hoe groot het object daadwerkelijk is. Een mens kan ook zien of een object dichterbij of verder weg is dan een ander object, als een object zich voor een ander object bevindt. Een mens kan zien wat voor vorm een object heeft door middel van schaduwen op het object zelf, en de slagschaduw naast een object. Dat laatste geeft weer informatie over de plaatsing van het object.

Omdat de mens (over het algemeen) geen ervaring heeft in een 4D wereld, is het veel moeilijker om diezelfde wereld in een lagere dimensie te onderscheiden. De 4D diepte kan men niet zo snel herkennen, maar door het al aanwezige gevoel voor 3D diepte te gebruiken in de 4e dimensie, zou dat overbrugd moeten kunnen worden. Hoe dat precies gedaan zal worden, wordt verder toegelicht bij ‘Modellen’.

Color theory van Munsell

De Color theory van Munsell (Rus, 2007) (zie Figuur 2) is een vrij oud systeem, dat echter nog wel veel gehanteerd wordt. Deze theorie luidt dat aan elke kleur drie waardes te geven zijn: Heu, Value en Chroma. Deze staan voor de tint kleur, helderheid en verzadiging. Door deze drie verschillende waardes kan diepte in de 3e dimensie nagebootst worden (bijvoorbeeld: hoe ‘dichterbij’ iets in de 4e dimensie staat, hoe warmer of lichter de lijn wordt. Daarnaast kunnen meerdere lijnen over elkaar een andere kleur krijgen). Dit kan gebruikt worden bij een of meerdere van de modellen in dit onderzoek. Een lijn is gemakkelijk een kleur te geven en zo komen er geen extra lijnen in het beeld, wat de leesbaarheid van de andere 3 dimensies nadelig kan beïnvloeden.

Lijnperspectieven en verdwijnpunten

In de kunstwereld is al veel geëxperimenteerd met diepte geven aan een 2D vlak. Eén van die manieren is werken met lijnperspectieven en verdwijnpunten (zie Figuur 3) (Peeters, Fleurbaay, 1989). Deze methode kan gebruikt worden om op een 2D vlak de 3e dimensie weer te geven. Dit fenomeen is ver ontwikkeld en makkelijk toe te passen in een model.

Blur effect

Aangezien ogen slechts scherp kunnen stellen op een bepaalde afstand vanaf de kijker, is een deel zo niet scherp. De gedeeltelijke vervaging die zo optreedt is ook een onderdeel van het diepte-zien in een 3D omgeving, genaamd het blur effect (Hillaire, Lecuyer, Cozot en Casiez, 2008). Dit effect kan zo ook gebruikt worden in een model.

3 Werkwijze

Aan de hand van bovenstaande informatie over beeldende aspecten: diepte geven aan de hand van kleur, het blur effect, het gebruik van verdwijnpunten, verschil in dikte van de lijnen, schaduwen en een 3D projectie door middel van een VR-bril, zijn er meerdere manieren om het model te maken. Deze verschillende aspecten kunnen los van elkaar gebruikt worden, maar ook in combinatie. Dit zorgt ervoor dat de uiteindelijke samenstelling van de aspecten op heel veel manieren kan, dat op zijn beurt weer heel veel verschillende mogelijke modellen geeft. Hierin zal een voorselectie gemaakt worden. Door een programma te maken dat 4D figuren kan weergeven, waar de verschillende beeldende aspecten in zijn gezet en wel of niet toegepast kunnen worden, zijn alle mogelijke combinaties van beeldende aspecten voor een model mogelijk. Vervolgens wordt getest welk model het best te interpreteren is aan de hand van proefpersonen. Deze mensen zijn allen leerlingen van het vwo op het Bonhoeffer College v.d. Waalslaan. 4D wiskunde is niet snel van toepassing op de gemiddelde mens, echter bij wiskundig onderlegden is dit al veel sneller het geval. Zo kan het model al gespecificeerd worden voor deze bepaalde doelgroep. Vwo-leerlingen zijn gekozen omdat deze groep, naast algemeen inzicht en in een

deel van de gevallen een zekere aanleg voor wiskunde, niet veel ervaring heeft op het gebied van 4D wiskunde. Zo wordt het gebruik van voorkennis beperkt. Proefpersonen zullen een serie opgaven krijgen die de verschillende modellen met elkaar vergelijkt. De opgaven bevatten vragen over hoeken tussen twee lijnen en afstanden tussen twee punten, die naar schatting worden ingevuld. Deze methode is afgeleid van eerdergenoemd onderzoek van Ambinder, Wang, Crowell, Francis & Brinkmann (2009). Zo kan worden berekend hoe dicht een proefpersoon bij het juiste antwoord zat. Aangezien hoeken tussen de 0 en 360 graden liggen, valt er hier vrij makkelijk een vergelijking te maken. Met de afstand tussen twee punten wordt ook in rekening gehouden met hoe groot de as is getoond. (Stel dat de assen verdeeld zijn in duizend, dan is een afwijking van 10 niet veel.) Om te voorkomen dat gewinning van de proefpersonen aan een 4e dimensie van invloed is op de resultaten, worden de modellen per persoon in een andere volgorde gegeven. Zo wordt de eventuele gewinning geëlimineerd (zo is elk model een keer als eerste en een keer als laatste).

4 Analyse

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe de verkregen resultaten uit het experiment vervolgens verwerkt zullen worden, de gegeven formules zijn overigens zelf vormgegeven. De resultaten worden per model en type taak apart verwerkt. Er zitten kleine verschillen in de methoden waarmee de afstandsschattingen en hoekschattingen verwerkt worden. De eerste formule die wordt toegepast bij het verwerken van de schattingen is als volgt:

$$E = \frac{|A - I|}{M}$$

Waarbij E het foutpercentage van een vraag is, A het goede antwoord op een vraag, I het door de proefpersoon gegeven antwoord, en M de maximale verwachte waarde. De maximale verwachte waarde is het hoogste mogelijke antwoord dat zou kunnen kloppen binnen het figuur. Bij het verwerken van hoeken staat M altijd gelijk aan 180°, en bij het verwerken van afstanden wordt M als volgt gedefinieerd:

$$M = \frac{l_{max}}{l_{ref}}$$

Waarbij lmax de maximale afstand tussen twee hoekpunten in het betreffende figuur is en lref de lengte van het lijnstuk dat de proefpersoon als referentielengte kreeg. Uiteindelijk worden de foutpercentages geplot en is het model met het laagste foutpercentage het beste, mits de verschillen groot genoeg zijn en er genoeg proefpersonen getest zijn.

5 Modellen

Uiteindelijk zijn er vier verschillende modellen gekozen om verder te testen (zie Figuur 4). Dezen berusten allen op een simpele visualisatie van de eerste drie assen, om vervolgens te verschillen in de manier van uitbeelden van de vierde as. De vierde as wordt gevisualiseerd door middel van kleur of lijndikte, omdat de andere visualisatiemethoden minder geschikt bleken voor het experiment. Zo zou het gebruik van

een VR-bril het geresulteerde model minder breed toepasbaar maken: niet iedereen heeft immers toegang tot een VR-bril. Daarnaast zou het model voor de VR-bril op een andere manier geïmplementeerd moeten worden dan de andere modellen. Blur bleek ook lastig te implementeren. Dit kwam doordat de gebruikte software niet goed in staat was om een selectief deel van een figuur te blurren. De verschillende modellen zullen kort worden toegelicht.

Model 1:

Model 1 is het simpelste model. In dit model worden alle hoekpunten van het te visualiseren object van 4D naar 3D geprojecteerd met de perspectiefprojectie methode die beschreven is door Hollash in 1991. Die projectiemethode bestaat uit twee stappen. Bij de eerste stap worden alle hoekpunten getransformeerd naar hun positie ten opzichte van de ‘camera’. Pas bij de tweede stap worden de hoekpunten naar een 3D ruimte geprojecteerd. Op de randen van vlakken worden cilinders aangebracht om ze extra zichtbaar te maken. Het 3D-figuur wordt ook enigszins transparant gemaakt zodat dingen die zich binnen in het figuur bevinden ook zichtbaar zijn. Als laatste worden er ook een aantal lichtbronnen toegevoegd, zodat de proefpersoon beter kan bepalen hoe een vlak georiënteerd is door middel van reflecties.

Model 2:

Model 2 is gebaseerd op model 1, alleen veranderd model 2 de kleur van het figuur op basis van de posities van hoekpunten na stap 1 van de projectie. De kleur wordt bepaald door de volgende formule:

$$C = 1 - \frac{Q_w - W_{min}}{W_{max} - W_{min}}$$

Waarbij Qw het w-coördinaat van een hoekpunt is, Wmin het laagste w-coördinaat van het figuur is, Wmax het hoogste w-coördinaat van het figuur is en C de variabele is die uiteindelijk omgezet wordt in een kleur. C heeft een waarde tussen 0 en 1. Uiteindelijk worden de hoekpunten die verder weg staan in de 4e dimensie blauwer en de hoekpunten die dichterbij staan in de 4e dimensie geler. De kleuren van de vlakken en cilinders worden geïnterpoleerd op basis van de kleuren van de hoekpunten die ze verbinden.

Model 3:

Model 3 is ook gebaseerd op model 1, alleen veranderd in model 3 de straal van de cilinders die zich op de randen van de vlakken bevinden. De straal van een uiteinde van een cilinder wordt bepaald op basis van dezelfde berekening waarmee ook de kleur bepaald wordt. Namelijk:

$$r = C \cdot S + r_{min}$$

Waarbij r de straal van een uiteinde van de cilinder is, C de kleur van het hoekpunt dat aan het uiteinde ligt is, S een schaalfactor is, en rmin de minimale acceptabele straal is. S en rmin moeten de juiste grootte hebben om ervoor te zorgen dat de dikten van de cilinders binnen een bepaald gebied blijven. De cilinders moeten minimaal zo dik zijn dat ze zichtbaar zijn, en maximaal zo dik dat ze het zicht op andere delen van het

figuur te veel belemmeren. Hoeveel te veel is zal voor een deel afhangen van het te visualiseren figuur en voor een deel afhangen van de smaak van degene die bepaald welke waarden S en rmin krijgen.

Model 4:

Model 4 combineert de projectie van model 1 met de kleurdiepte van model 2 en de cilinderstralen van model 3.

6 Resultaten

De resultaten van het onderzoek zijn te vinden in Figuur 5. De rode lijn is de mediaan, en de blauwe rechthoeken geven aan binnen welk gebied 50% van de resultaten zich bevinden. Tussen een blauwe rechthoek en een zwarte lijn bevinden zich 25% van de resultaten. Een outlier wordt weergegeven met een oranje kruisje. Alle afzonderlijke datapunten zijn weergegeven aan de rechterkant van de boxplots.

De absolute fouten (delta) in figuren 5 A en C zijn gebaseerd op de verschillen tussen de gegeven antwoorden en de correcte antwoorden zonder verdere bewerking. De relatieve fouten (E) in figuren 5 B en D zijn tot stand gekomen volgens de methode die eerder beschreven is in hoofdstuk 4: Analyse. De nummers die in Figuur 5 worden gebruikt voor de visualisatiemodellen zijn identiek aan de nummers die eerder in deze paper gebruikt werden om ze te beschrijven. Een lagere E of delta waarde indiceert een beter resultaat.

Bij figuren 5 A en B is een grote spreiding te zien, ook liggen de waarden vrij hoog. Bij figuren 5 C en D valt op dat de blauwe rechthoeken bijna volledig overlappen.

7 Conclusie

Op basis van de bevonden resultaten kan er antwoord gegeven worden op de hoofdvraag:

Welke visuele hulptechnieken beïnvloeden de ruimtelijke perceptie van een representatie van een 4-dimensionaal object positief?

Uit de resultaten is gekomen dat uit model 1 de afstanden het best af te lezen waren en uit model 2 de hoeken. Samengenomen was model 1 dan het best af te lezen. Model 1 was het model zonder extra visualisatie methode en model 2 had als visualisatie methode het gebruik van kleur als vierde as.

Concluderend, geen visualisatie methode of het gebruik van kleur beïnvloeden de perceptie van de 4D objecten het meest positief.

8 Discussie

Voor het experiment zijn steekproefsgewijs een aantal mensen gevraagd deel te nemen aan het onderzoek. Deze groep is gevraagd om hoeken en afstanden in te schatten in de vierde dimensie, op basis van de opgezette modellen. Hier is in de conclusie uitgekomen dat model 1 de afstanden het best af te lezen waren en model 2 de hoeken. Samengenomen was model 1 dan het best af te lezen.

De reden dat de conclusie als niet valide beschouwd zou kunnen worden, is vanwege de grote foutmarges. Dit komt door het lage aantal afgenomen experimenten, slechts vier. Zo zijn de afwijkingen te groot door de te kleine groep. Dit geeft een vertekend beeld van wat uit dit onderzoek naar voren komt als beste model.

Desondanks kan er op dit onderzoek voortgebouwd worden. Het onderzoek biedt wel een goede basis op het gebied van

visualisatiemethodes om de vierde dimensie in beeld te brengen. De verwachting is dan ook dat door een grotere testgroep te gebruiken voor het afnemen van het experiment, de gevonden conclusie wél als valide beschouwd kan worden.

9 Advies

Doordat er tijdens het experiment een te kleine groep gebruikt is, is een sterke aanbeveling dan ook om een vervolgonderzoek te houden. Dit kan gedaan worden door het vervolgonderzoek grootschaliger uit te voeren en begrijpelijker te maken voor de deelnemers. Dit kan bereikt worden door een gestandaardiseerde uitleg van tevoren te geven, waarin verteld wordt wat een ruimtelijke vierde dimensie precies is en wat het experiment verder inhoudt. Zo hebben de proefpersonen precies dezelfde voorkennis en aangezien de afnemer van het experiment niet elke proefpersoon van tevoren uitleg hoeft te geven bespaart dit ook tijd. Vervolgens is het handig om een invulijst voor de vragen te maken. Op die manier kan het mogelijk gemaakt worden om deze test online te maken, waardoor een veel grotere groep proefpersonen aan het experiment kan meedoen, wat het onderzoek weer significanter maakt.

Daarnaast is het maken van een nultest nog een mogelijkheid. Een nultest zou dan kunnen aantonen in welke mate de proefpersonen ruimtelijk inzicht hebben. Dit kan vormgegeven worden door, naast een groep wiskundig onderlegden, ook een groep niet-wiskundig onderlegden de test af te laten nemen. Als deze groep dan aanzienlijk slechter scoort, blijkt dat zij het misschien niet volledig snappen, maar de wiskundig onderlegden wel.

Een andere manier om aan te tonen dat de proefpersonen snappen wat ze aan het doen zijn, kan door eerst een pre-test af te nemen, waarin het hoeken en afstanden schatten in een 3D figuur wordt getest. Als de groep dan met een 4D figuur niet vergelijkbaar antwoordt zoals met een 3D figuur, kan dat indiceren dat ze daadwerkelijk het figuur als 4D zien en niet hun antwoorden beperken tot drie dimensies.

Bibliografie

Aflalo, T. N., & Graziano, M. S. A. (2008). Four-dimensional spatial reasoning in humans. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(5), 1066–1077. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.34.5.1066>

Ambinder, M. S., Wang, R. F., Crowell, J. A., Francis, G. K., & Brinkmann, P. (2009). Human four-dimensional spatial intuition in virtual reality. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(5), 818–823. <https://doi.org/10.3758/pbr.16.5.818>

Hillaire, S., Lecuyer, A., Cozot, R., & Casiez, G. (2008). Depth-of-Field Blur Effects for First-Person Navigation in Virtual Environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 28(6). <https://doi.org/10.1109/mcg.2008.113>

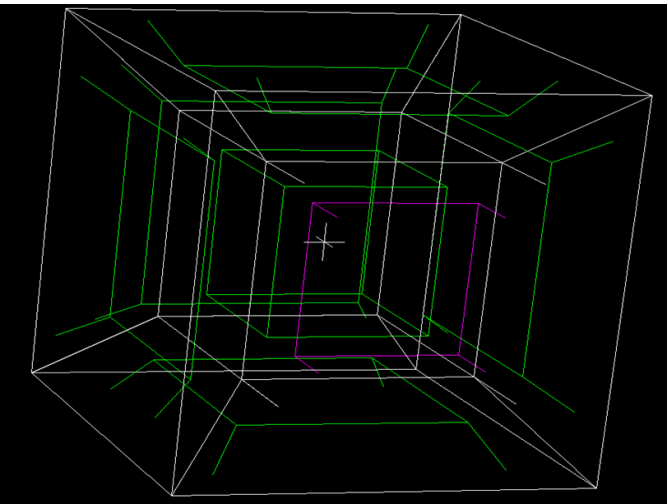
Hollash, S. R. (1991, augustus). Four-Space Visualization of 4D Objects - Index. Geraadpleegd op 25 juni 2019, van https://hollasch.github.io/ray4/Four-Space_Visualization_of_4D_Objects.html

McIntosh, J. (2008, februari). urticator.net - 4D Maze Game. Geraadpleegd op 30 juni 2019, van <http://www.urticator.net/maze/index.html>

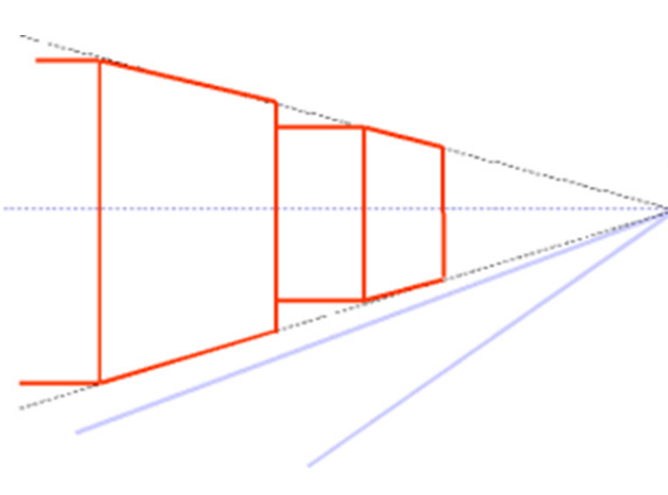
Peeters, J., & Fleurbaey, E. (1989). 16de- en 17de- eeuwse topografische voorstellingen en het standpunt van de kunstenaar. *Bulletin KNOB*. <https://doi.org/10.7480/knob.88.1989.5.574>

Qian, N. (1997, maart). Binocular Disparity and the Perception of Depth. Geraadpleegd op 20 augustus 2019, van <https://www.cell.com/neuron/pdf/S0896-6273>

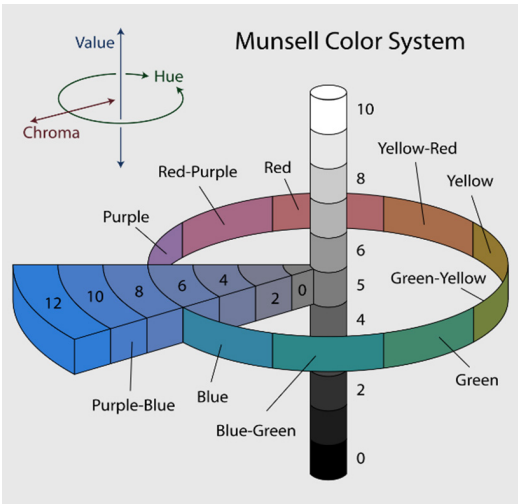
Rizzo, T. G. (2004). Pedagogical Introduction to Extra Dimensions. SLAC-PUB-10753. <https://arxiv.org/pdf/hep-ph/0409309.pdf>



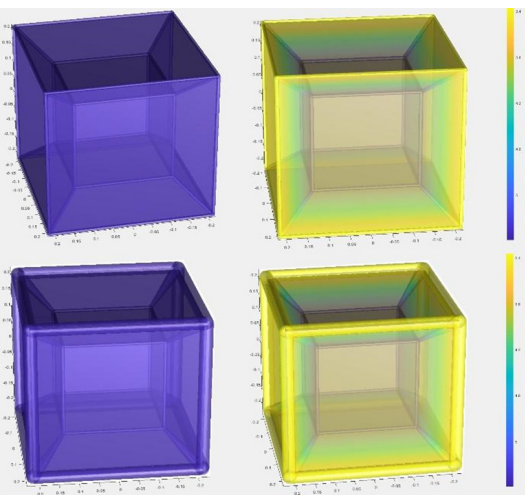
Figuur 1. Deze afbeelding werd gegenereerd door het programma 4D Maze Game van McIntosh (2008). De centrale kubus is een groene muur die voor u staat, de groene vormen aan beide zijden van het beeld zijn groene muren aan uw linker en rechter kant, de groene vormen aan de verre zijde van de het beeld vormen een groene muur in uw warme richting, en de paarse vormen aan de nabije zijde zijne een passage in uw koude richting.



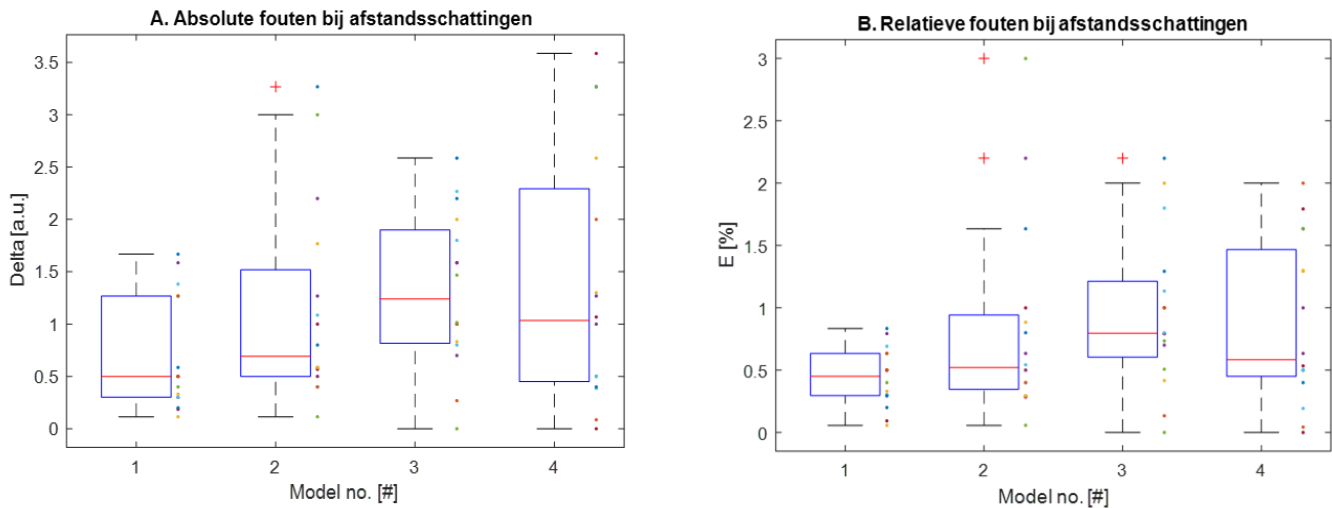
Figuur 3. Lijnperspectief met verdwijnpunt (Ellywa, 2003), geraadpleegd van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijnperspectief#/media/Bestand:Verdwijnpunt.png>



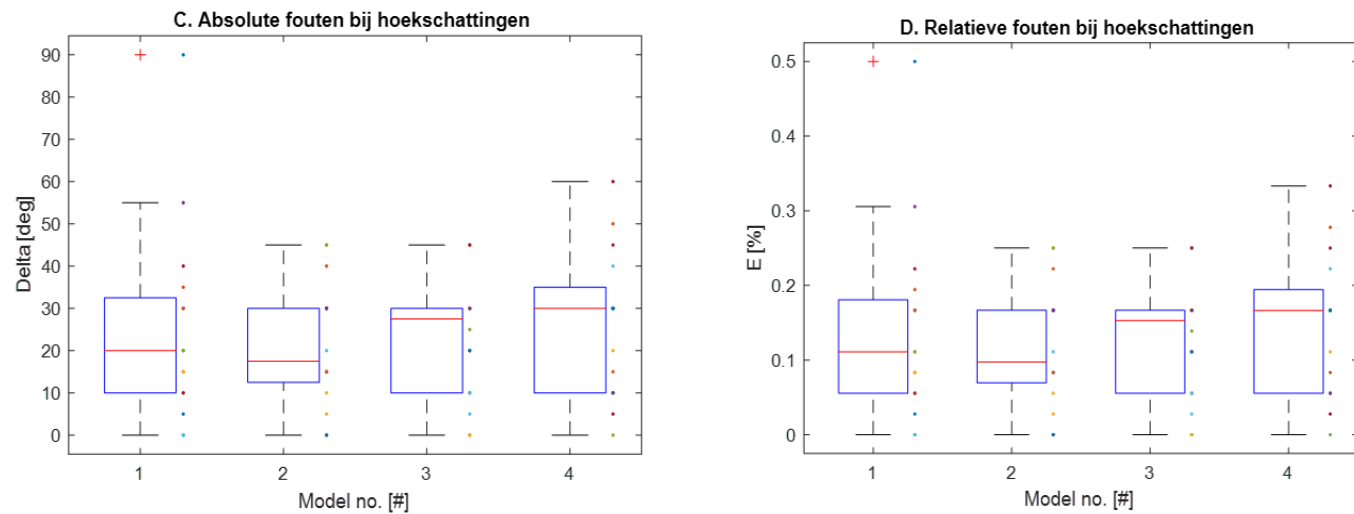
Figuur 2. Color theory Munsell (J. Rus, 2007), geraadpleegd van <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munsell-system.svg>



Figuur 4. de vier modellen. Boven: modellen 1 en 2. Onder modellen 3 en 4.



Figuur 5A en B. Op de horizontale as staan de vier modellen en de foutpercentages staan op de verticale as. A en C zijn voor de bewerking (beschreven in hoofdstuk 4) en B en D na de bewerking. Individuele metingen zijn weergegeven als punten. De verdeling van die punten is weergegeven met boxplots. De rode lijn is de mediaan, de blauwe vierhoek indiceert het gebied waarbinnen 50% van de metingen zit.



Figuur 5C en D

De invloed van HLA-B27 positiviteit op de diagnose van Juvenile Idiopathische Artritis (met enthesitis) volgens het ILAR-systeem

I.E.Y. Bartelds², I.S.M. Olde Dubbelink³, N. Bout², M.P. Voortman³, P.V. Blokzijl¹ M.N.A. Bijman¹

¹ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

² Etty Hillesum Lyceum, locatie Het Vlier, Deventer

³ Twents Carmel College, locatie de Thij, Oldenzaal

Abstract - Juvenile idiopathic arthritis (JIA) is subdivided into seven subtypes, of which the diagnosis is summarized in the ILAR-criteria. In this study, two different subtypes of JIA were compared: JIA with enthesitis (ERA) and undifferentiated JIA (uJIA). Research has shown that the antigen HLA-B27 is associated with several auto-immune diseases, including ERA, and that the presence of HLA-B27 can lead to the development of ERA. The presence of HLA-B27 is solely regarded an inclusion for the diagnosis of ERA. This study aims to determine whether the presence of HLA-B27 is necessary for the diagnosis of ERA. Based on the review of a database, obtained by PharmaChild and provided by UMC Utrecht, it was determined that the presence of HLA-B27 was necessary for the diagnosis of 72,38% of patients with ERA. The results indicate that the presence of HLA-B27 was necessary for the diagnosis of 59,0% of patients with uJIA. The p values were acquired by the two-sided Fisher exact and were found significant ($p < 0,05$). There appears to be a significant difference between the necessity of the antigen HLA-B27 in the diagnosis of ERA compared to uJIA. Further research is needed to study other factors that may influence the diagnosis of ERA.

Introductie

ILAR

In 1994 werd door de Internationale Bond voor Jeugdreuma de ILAR-classificatie opgesteld voor Juvenile Idiopathische Artritis (JIA) (1). De eerdere definities van JIA, namelijk Juvenile Reumatoïde Artritis (JRA) en Juvenile Chronische Artritis (JCA), respectievelijk gebaseerd op de ACR- en de EULAR-criteria, werden hierdoor vervangen. De ACR- en EULAR-criteria waren gebaseerd op het stellen van een diagnose bij JIA. Ze beschreven echter niet dezelfde ziektebeelden, waardoor er verwarring ontstond tussen Noord-Amerikaanse en Europese centra voor reumatoïde ziektes. Hierdoor verliep de samenwerking tussen de centra minder goed. Dit probleem verdween toen de ILAR-classificatie werd opgesteld, een universele classificatie van reumatoïde ziektes. In de ILAR-classificatie zijn zeven verschillende subtypen van JIA opgenomen met zogenaamde “inclusions” (inclusiecriteria) en “exclusions” (exclusiecriteria), op basis waarvan diagnoses gesteld kunnen worden (zie bijlage 1). De zes verschillende subtypen van JIA zijn: systemische artritis, oligoartritis, polyartritis met een negatieve testwaarde voor reumafactoren (RF), polyartritis met een positieve testwaarde voor RF, psoriatische artritis, enthesitis gerelateerde artritis (ERA) en overige vormen van artritis (uJIA). In dit onderzoek wordt gekeken naar de subtypen ERA en uJIA.

ERA en uJIA

Wanneer een patiënt voldoet aan tenminste twee van de inclusiecriteria die geassocieerd worden met ERA, wordt de patiënt gediagnosticeerd met ERA (zie tabel 1). Wanneer een patiënt positief blijkt voor inclusiecriteria uit meerdere JIA-categorieën, dan wordt de patiënt gediagnosticeerd met uJIA (zie tabel 3). Er zijn ook bepaalde exclusiecriteria opgesteld bij de ziekte ERA (zie tabel 2). Wanneer een patiënt slechts voldoet aan exclusiecriteria en er geen inclusiecriteria van de JIA-subtypen aanwezig zijn, wordt de patiënt ook gediagnosticeerd met uJIA.

Het doel van dit onderzoek is om te onderzoeken wat de invloed

is van de HLA-B27 positiviteit bij JIA-patiënten op de diagnose die volgens het ILAR-systeem gesteld wordt. De diagnose ERA kan gesteld worden op basis van de aanwezigheid van het antigeen HLA-B27 (HLA-B27 positiviteit/HLA-B27+) bij een jongen ouder dan 6 jaar (zie tabel 1). HLA-B27 positiviteit kan daarmee een inclusie criterium van ERA zijn. Daarentegen is HLA-B27 positiviteit een exclusie criterium bij de andere subtypen van JIA. Aangezien slechts bij ERA de HLA-B27 positiviteit een inclusie criterium is, is de invloed van deze positiviteit relevant voor dit onderzoek. Daarnaast kunnen patiënten vanwege de aanwezigheid van HLA-B27 ook worden gediagnosticeerd met uJIA. Dit gebeurt wanneer een patiënt HLA-B27 positief blijkt, maar ook voldoet aan inclusiecriteria van andere subtypen van JIA. De invloed van HLA-B27 in de ILAR-classificatie van ERA en uJIA zal worden onderzocht.

HLA-B27

HLA-B27 is een allel dat onderdeel uitmaakt van het HLA-systeem. Er zijn 100 verschillende subtypen van HLA-B27, waarvan B*2705 het meest voorkomende subtype is bij blanke populaties (2). HLA-B27 komt voor op chromosoom 6 en heeft als belangrijkste functie het presenteren van intracellulaire eiwitten aan T-lymfocyten. Hierbij gaat het met name om de T-cel receptoren voor antigenen (TCR) en cytotoxische T-cellen (Tc-cellen).

HLA-B27 is een allel dat invloed heeft op het immuunsysteem. Daarbij werkt het grofweg op twee manieren, die paradoxaal zijn. HLA-B27 zorgt voor een verhoogde bescherming tegen virus gerelateerde infecties. Tegelijkertijd maakt HLA-B27 “messengers”, boodschappercellen, meer vatbaar voor de ontwikkeling van SpA, beter bekend als de ziekte van Bechterew. De bindingsplaats waar peptiden aan HLA-B27 kunnen binden kan namelijk worden ingenomen door een klein molecuul dat voortdurend de vorm van het HLA-B27 molecuul verandert. Dit kan resulteren in een neoimmunreactie of een verhoogde immunreactie. Verder spelen HLA-B27 moleculen een centrale rol bij de selectie van T-cellen in de thymus. De aanwezigheid van HLA-B27 kan mogelijk leiden

tot de ontwikkeling van TCR-cellen die auto-immunreacties kunnen opwekken of “gaten” in het TCR-repertoire. HLA-B27 positiviteit zorgt daarmee mogelijk voor de ontwikkeling van T-cellen die een artritis gerelateerde reactie kunnen opwekken en kan op die manier bijdragen aan het ontwikkelen van SpA. Ook kan de aanwezigheid van HLA-B27 zorgen voor zogenaamde ER-stress. Dit wordt ook wel een UPR-reactie genoemd, een Unfolded Protein Response. Deze reactie kan worden geactiveerd door een ophoping van verkeerd gevormde eiwitten in het endoplasmatisch reticulum (ER) van een cel en kan leiden tot apoptose van de desbetreffende cel. Daarnaast leidt een ER-stress reactie tot een verhoogde productie van IL-23, wat zorgt voor een verhoogd ontstekingsgehalte en daarmee kan leiden tot het ontwikkelen van SpA. De auto-immuunziekte ERA kan zich bij een patiënt op latere leeftijd verder ontwikkelen tot een vorm van SpA, namelijk de ziekte van Bechterew. De aanwezigheid van HLA-B27 speelt een grote rol bij de ontwikkeling van SpA en kan hierdoor ook in verband worden gebracht met het ontwikkelen van ERA (2). Volgens de studie van Busch et al. (3) zijn zelfs de sterkste HLA-B27 associaties vaak niet voldoende om de diagnose ERA te stellen. De meeste mensen met risicoallelen ontwikkelen namelijk nooit de ziektes die in verband worden gebracht met het risicoallel. Deze risicoallelen kunnen echter wel handig zijn om de ziekte, die geassocieerd wordt met HLA-B27 positiviteit, te identificeren. De aanwezigheid van een risicoallel kan dus bijdragen aan het stellen van een diagnose. Bij kinderen met symptomen van enthesitis, de ziekte van Crohn en acute anterior uveïtis kan het nuttig zijn om de HLA-B27 positiviteit te testen, met als doel de diagnose te ondersteunen en het verdere verloop van de ziekte te bepalen (4).

Aangezien een HLA-B27 bepaling erg duur is, wordt de test soms niet uitgevoerd in omgevingen met weinig middelen (5). Daarnaast bepalen genen niet als enige het verloop van de ziekte, omgevingsfactoren spelen hierbij ook een rol (6). Hierdoor beïnvloedt de HLA-B27 positiviteit bij sommige patiënten de classificatie volgens het ILAR-systeem sterk. Deze patiënten worden als gevolg hiervan soms in de uJIA-categorie geplaatst, terwijl zij volgens hun klinische symptomen een ander subtype van JIA hebben. Deze groep patiënten beslaat 11-21% van de JIA-patiënten (1). Het correct indelen van de patiënten volgens het ILAR-systeem is van groot belang voor patiënten. De behandelmethoden van de verschillende subtypes verschillen namelijk sterk. Zo is er het vermoeden dat de darmflora invloed hebben op het ontwikkelen van SpA en ERA (7). Om te zorgen voor een optimale behandeling van de patiënt is het belangrijk dat de patiënt juist gediagnosticeerd wordt.

De volgende onderzoeksvraag is opgesteld:

“Bij welk percentage van de patiënten met JIA met enthesitis was de HLA-B27 positiviteit noodzakelijk voor het stellen van de diagnose JIA met enthesitis?”

Op basis van de geraadpleegde literatuur is als hypothese gesteld dat er een relatief groot aantal patiënten is geclassificeerd met uJIA volgens het ILAR-systeem vanwege de HLA-B27 positiviteit bij mannelijke patiënten ouder dan zes jaar. Volgens de hypothese is dit exclusie criterium onjuist. HLA-B27 kan wel een inclusie criterium zijn voor ERA ter ondersteuning van de diagnose.

Method

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de database van PharmaChild, beschikbaar gesteld door het UMC Utrecht. Deze database behoort toe aan de Pediatric Rheumatology International Trials Organization (PRINTO) en de Pediatric Rheumatology European Society (PRES). De database bevat patiënten uit meer dan 50 verschillende landen en uit meer dan 200 reumacentra wereldwijd. In alle landen hebben de participanten hun toestemming gegeven om deel te nemen aan de database (8).

De database bevat klinische gegevens van de patiënten en gegevens uit het laboratorium (bijvoorbeeld plasma-eiwitten). De patiënten in de database zijn geclassificeerd volgens het ILAR-systeem, eerst met JIA en later met (andere) nevendiagnoses, zoals psoriasis.

Statistische analyse

De data zijn geanalyseerd met IBM SPSS Statistics, versie 25. Door middel van de optie “descriptives” zijn de eigenschappen van patiënten opgesteld voor de groep ERA-patiënten en de groep uJIA-patiënten. Voor de gemiddelde leeftijd van de patiënten bij het stellen van de diagnose zijn de interkwartiel afstanden (IQR’s) gebruikt.

Om de invloed van de HLA-B27 positiviteit te onderzoeken in het ILAR-systeem is er gebruik gemaakt van subgroep analyses. Hierbij zijn de volgende subgroepen per ziekte (uJIA/ERA) opgesteld:

- Subgroep 1: patiënten die HLA-B27 positief zijn.
- Subgroep 2: patiënten die een eerstegraads familielid met ankyloserende spondylitis (AS), ERA, SI-gewrichtsklachten met de ziekte van Crohn, het syndroom van Reiter of acute anterior uveïtis hebben (een familiegeschiedenis van auto-immuunziekten).
- Subgroep 3: patiënten die een eerstegraads familielid hebben met (een van de) bovenstaande ziektes én HLA-B27 positief zijn.

Daarnaast is gekeken naar patiënten die gediagnosticeerd zijn met uJIA door het exclusie criterium HLA-B27 positiviteit en patiënten die gediagnosticeerd zijn met ERA door het inclusie criterium HLA-B27 positiviteit. Deze patiënten zouden zonder deze criteria niet in deze subtypen zijn ingedeeld.

Om de invloed van deze in- en exclusiecriteria te beschrijven is voor de variabelen de Chi kwadraat test gebruikt en is voor de p-waarde het Fisher Extract 2-zijdig gebruikt. Een p-waarde < 0,05 is aangenomen als significant, aangezien een p-waarde < 0,05 stelt dat de nulhypothese vals positief is. De nulhypothese is het feit dat er geen verschil bestaat tussen de twee groepen. De nulhypothese blijkt dus onwaar te zijn bij een p-waarde < 0,05, waardoor het verschil tussen beide groepen significant genoemd kan worden (9). Voor de variabele *leeftijd op moment stellen diagnose* is de Mann-Whitney U test 2-zijdig gebruikt als non-parametrische toets om de waarden te vergelijken tussen de twee groepen. Hier is ook een p-waarde < 0,05 beschouwd als significant. Bij de subgroep analyses van de patiënten, zoals eerder beschreven, zijn dezelfde analyses gebruikt.

Resultaten

De 1507 patiënten die gediagnosticeerd zijn met JIA zijn in dit onderzoek onderverdeeld in twee groepen: enthesitis gerelateerde artritis (ERA) en overige vormen van JIA (uJIA) (zie figuur 1). Er zijn 580 patiënten met uJIA geanalyseerd. Bij

een deel van de patiënten is een HLA-B27 bepaling uitgevoerd (zie figuur 2). Deze bepaling is uitgevoerd bij 365 patiënten van de 580. De bepaling is bij 139 patiënten positief bevonden. Er zijn 927 patiënten met ERA geanalyseerd. Bij een deel van de patiënten is een HLA-B27 bepaling uitgevoerd. Deze bepaling is uitgevoerd bij 865 van de patiënten, waaruit bleek dat 648 patiënten HLA-B27 positief zijn.

Uit de algemene eigenschappen van de patiënten uit de database blijkt dat de gemiddelde leeftijd (IQR) op het moment van het stellen van de diagnose bij ERA (11,4) hoger ligt dan bij uJIA (8,0) (zie tabel 4). Verder verschilt ook het percentage van de patiënten dat positief is voor reumafactoren (RF). Bij ERA ligt dit percentage op 0,5% van de patiënten en bij uJIA ligt het percentage hoger, namelijk op 6,6%. Dit past bij het beeld dat de ILAR-classificatie schetst over de in- en exclusiecriteria van ERA en de inclusiecriteria van uJIA, die genoemd zijn in de inleiding.

Om de invloed van HLA-B27 positiviteit te onderzoeken in het ILAR-systeem is er gebruik gemaakt van subgroep analyses. Het percentage van de patiënten dat in de eerste subgroep valt is bij ERA beduidend hoger dan bij uJIA (zie tabel 5). De p-waarde van deze bepaling is 0,000. Ook bij de tweede subgroep is er een beduidend verschil gevonden tussen ERA en uJIA, wat betreft de hoeveelheid patiënten die in deze subgroep vallen. Uit tabel 5 blijkt dat het percentage van de patiënten met een familiegeschiedenis van auto-immuunziekten niet veel verschilt tussen ERA (9,92%) en uJIA (8,45%). De p-waarde van deze bepaling is 0,007. Het percentage van de patiënten dat in de derde subgroep valt is bij ERA (8,41%) beduidend hoger dan bij uJIA (4,66%). De p-waarde van deze bepaling is 0,000. De gegevens van subgroep 1 zijn gecombineerd met de algemene eigenschappen van de patiënten. In tabel 6 is te zien dat het percentage van de patiënten dat RF positief is bij uJIA beduidend hoger ligt dan bij ERA. De p-waarde voor de bepaling van het percentage van de patiënten dat RF positief is 0,000. Verder valt op dat het percentage van de patiënten met acute anterior uveïtis hoger ligt bij ERA dan bij uJIA. De p-waarde voor de bepaling van het percentage van de patiënten met acute anterior uveïtis is 0,032.

Er is daarnaast gebleken dat 7 patiënten HLA-B27 positief zijn én een eerstegraadsfamilielid met een geschiedenis van psoriasis hebben. Volgens de ILAR-richtlijnen zouden deze patiënten dan gediagnosticeerd moeten worden met uJIA, aangezien een eerstegraadsfamilielid met een geschiedenis van psoriasis één van de exclusiecriteria van ERA is (zie bijlage 1). Zij zijn echter wel gediagnosticeerd met ERA. Daarnaast is er een patiënt die twee keer, met een tijdsperiode van 3 maanden tussen de metingen, positief getest is op RF. Hierdoor zou deze patiënt officieel ook niet in de ERA-categorie geplaatst moeten worden, aangezien de aanwezigheid van RF een exclusie criterium van ERA is. In dit onderzoek zijn deze patiënten geanalyseerd volgens de oorspronkelijke diagnose van de desbetreffende arts.

Conclusie

Het doel van dit onderzoek was om de invloed van het criteria “HLA-B27 positiviteit (bij een man ouder dan zes jaar)” te onderzoeken. Als antwoord op de onderzoeksvraag *“Bij welk percentage van de patiënten met JIA met enthesitis was de HLA-B27 positiviteit noodzakelijk voor het stellen van de diagnose JIA met enthesitis?”* kan de volgende conclusie worden gesteld.

Er is een verschil gevonden tussen het aantal patiënten met een HLA-B27 positiviteit in de uJIA-categorie en de ERA-categorie. De gevonden p-waarde van deze bepaling is 0,000. HLA-B27 positiviteit bij een man ouder dan 6 jaar is een exclusie criterium voor alle subtypen van JIA, behalve voor ERA. Wanneer een patiënt niet voldoet aan de criteria van een van de subtypen van JIA (door de aanwezigheid van exclusiecriteria), wordt de patiënt gediagnosticeerd met uJIA. Patiënten met uJIA kunnen dus gediagnosticeerd zijn met uJIA vanwege het exclusie criterium HLA-B27 positiviteit bij een man ouder dan 6 jaar. Er zijn 139 patiënten gediagnosticeerd met uJIA door hun HLA-B27 positiviteit. Dit komt overeen met 38% van de patiënten met uJIA, waarbij een HLA-B27 bepaling is uitgevoerd. Van deze groep is 59,0% man, wat betekent dat bij 59,0% van de patiënten de HLA-B27 bepaling noodzakelijk was voor het stellen van de diagnose uJIA. Er zijn 648 patiënten met ERA, die HLA-B27 positief zijn. Dit komt overeen met 75% van de patiënten met ERA, waarbij een HLA-B27 bepaling is uitgevoerd. Een deel van deze patiënten heeft een familiegeschiedenis van AS (13,27%) of acute anterior uveïtis (14,35%). Dit zijn inclusiecriteria voor de diagnose ERA. Bij deze patiënten is het dus mogelijk dat de HLA-B27 positiviteit heeft meegespeeld bij het stellen van de diagnose, maar dit is niet noodzakelijk. Op basis van slechts het hebben van een familiegeschiedenis van AS of acute anterior uveïtis kan de diagnose ERA al gesteld worden. Bij de overige 72,38% van de ERA-patiënten die HLA-B27 positief zijn was de HLA-B27 positiviteit noodzakelijk voor het stellen van de diagnose. Bij deze patiënten waren geen andere inclusiecriteria aanwezig op basis waarvan de diagnose gesteld kon worden.

Discussie

De gevonden p-waarde van het verschil tussen het aantal patiënten met een HLA-B27 positiviteit in de uJIA-categorie en de ERA-categorie is < 0,05 (zie tabel 5) en kan dus als significant worden beschouwd (9). De nulhypothese, het feit dat er geen verschil bestaat tussen de twee groepen, kan in dit geval verworpen worden. De gevonden p-waarde van het aantal patiënten met een familiegeschiedenis van AS en HLA-B27 positiviteit is 0,097 (zie tabel 6). Deze p-waarde is > 0,05 en is dus niet significant (9). Het hebben van een familiegeschiedenis van AS kan dus niet worden beschouwd als een variabele die meer invloed heeft op ERA dan op uJIA. Het gevonden resultaat kan daarentegen wel in twijfel worden getrokken. Bij 90% van de patiënten met AS wordt HLA-B27 positiviteit gevonden (10). Bovendien is het HLA-B27 gen erfelijk, wat leidt tot de conclusie dat een familiegeschiedenis van AS geassocieerd kan worden met de aanwezigheid van HLA-B27. HLA-B27 positiviteit wordt binnen de ziekte JIA het meeste geassocieerd met het subtype ERA, zoals ook blijkt uit de resultaten. Hierdoor is het discutabel dat er geen significant verschil is gevonden tussen ERA en uJIA, wat betreft de combinatie van een familiegeschiedenis van AS en HLA-B27 positiviteit. Wanneer echter wordt gekeken naar de overlappende term “een geschiedenis van auto-immuunziekten” (waaronder ook AS valt), is hier wel een significant verschil te vinden tussen ERA en uJIA (zie tabel 5). Verder is de invloed van de HLA-B27 positiviteit als inclusie criterium bij ERA onderzocht. Als er geen rekening zou worden gehouden met dit inclusie criterium bij het bepalen van de diagnose, zou bij 503 patiënten met ERA een andere diagnose gesteld kunnen worden. Dit is echter niet met

zekerheid te zeggen, aangezien er geen gebruik is gemaakt van gegevens met betrekking tot andere in- en exclusiecriteria van ERA. Er is bijvoorbeeld geen gebruik gemaakt van gegevens met betrekking tot de aanwezigheid of een geschiedenis van gevoelige SI-gewrichten en/of ontstekingspijn in de lumbale wervelkolom (een inclusie criterium van ERA, zie tabel 1). Ook is er geen gebruik gemaakt van gegevens met betrekking tot de aanwezigheid van systemische JIA (een exclusie criterium van ERA, zie tabel 2).

Uit de resultaten is gebleken dat 38% van de patiënten met uJIA is gediagnosticeerd met uJIA door de HLA-B27 positiviteit. Als “HLA-B27 positiviteit in een man ouder dan zes jaar” buiten beschouwing zou worden gelaten in de criteria, dan zouden minder patiënten gediagnosticeerd worden met uJIA. Dit is van belang voor de behandeling, want door de juiste diagnose te stellen kan de behandelmethode worden aangepast aan de diagnose. Zonder de HLA-B27 positiviteit zouden deze patiënten worden ingedeeld in de categorie oligoartritis of polyartritis (11). Het gevonden verschil tussen de subgroepen van ERA en uJIA met HLA-B27 positiviteit kan hierdoor verklaard worden ($p < 0,05$). Het percentage van de uJIA-patiënten met een HLA-B27 positiviteit en RF/ANA positiviteit ligt hoger dan bij ERA (zie tabel 6). Onder de inclusiecriteria van oligoartritis of polyartritis valt een RF positiviteit en een ANA positiviteit (12). Patiënten die met uJIA zijn gediagnosticeerd door de HLA-B27 positiviteit zouden zonder aanwezigheid van dit criterium gediagnosticeerd worden met oligoartritis of polyartritis. Het valt dus te verwachten dat de waarden van ANA positiviteit en RF positiviteit hoger zullen uitvallen bij uJIA.

Bij 33 van de ERA-patiënten is de diagnose ERA verkeerd gesteld volgens de ILAR-classificatie. Bij deze patiënten zijn namelijk ook exclusiecriteria aanwezig, zoals de aanwezigheid van ANA of RF positiviteit. Deze patiënten zijn volgens de arts echter wel geassocieerd met ERA en dus zijn zij in dit onderzoek beschouwd als onderdeel van de ERA-patiënten. Deze classificering is tegenstrijdig met de gegevens uit de database, waardoor de gegevens uit de database in twijfel getrokken kunnen worden. Het zou kunnen dat er nog meer patiënten verkeerd gediagnosticeerd zijn (dus niet volgens de ILAR-richtlijnen). Hierdoor kunnen de resultaten van dit onderzoek mogelijk in twijfel worden getrokken.

Volgens Beukelman et al. (11) hebben patiënten die geassocieerd zijn met ERA of systemische JIA een andere behandeling nodig dan patiënten met uJIA. Bij patiënten met uJIA, evenals patiënten met oligoartritis en polyartritis, wordt de behandeling ingesteld afhankelijk van het aantal gewrichten dat is aangedaan door JIA. Uit ander onderzoek (12) blijkt dat het vroegtijdig herkennen en behandelen van JIA schade aan de gewrichten kan voorkomen en voor een verder normale ontwikkeling/groei van de patiënt kan zorgen. Het vroegtijdig herkennen van JIA en het juiste subtype daarvan is van groot belang voor de patiënt. Op die manier kan de behandelmethode worden aangepast aan de patiënt en kan er direct effectief behandeld worden.

Uit onderzoek naar de klinische eigenschappen van kinderen met JIA in Taiwan (13) is gebleken dat 60% van de patiënten met ERA HLA-B27 positief is. Daarentegen is er geen enkele patiënt met uJIA die HLA-B27 positief is in deze patiëntengroep. De verklaring die hiervoor wordt gegeven is dat het HLA-B27 subtype per land verschilt en daarmee ook de prevalentie van HLA-B27. De prevalentie van HLA-B27

bij patiënten met ERA is dus kenmerkend voor een bepaald land. De patiëntengroep die in dit onderzoek is gebruikt bestaat uit patiënten uit Europese landen. De uitkomsten van dit onderzoek kunnen hierdoor niet universeel worden toegepast, maar slechts op patiënten in Europa. Dit komt doordat het meest voorkomende subtype van HLA-B27 in Europa verschilt van het meest voorkomende subtype in andere werelddelen (14). Het is daarnaast ook mogelijk dat er patiënten verkeerd gediagnosticeerd zijn. Het beeld van de uJIA groep uit het onderzoek in Taiwan kan hierdoor vertekend zijn.

Uit de resultaten en discussie van het uitgevoerde onderzoek kan geconcludeerd worden dat de gegevens van de resultaten in twijfel kunnen worden getrokken. Het is niet zeker hoeveel patiënten precies verkeerd gediagnosticeerd zijn en wat hiervoor de reden was. Hierdoor kan het zijn dat de resultaten een vertekend beeld weergeven. Desondanks zijn vrijwel alle bepalingen in het onderzoek significant gebleken. Voor dit beeld van de patiëntengroep, alhoewel dit mogelijk een vertekend beeld is, kunnen de resultaten als betrouwbaar worden beschouwd.

Aanbevelingen

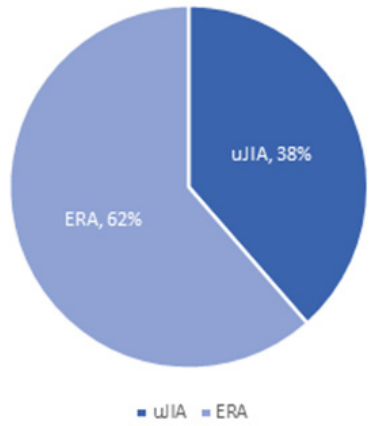
Op basis van de resultaten van dit onderzoek en de daaruit volgende conclusie en discussie zijn er een aantal aanbevelingen opgesteld voor het uitvoeren van verder onderzoek. Het wordt aanbevolen dit onderzoek te herhalen bij patiënten uit een ander werelddeel om te zien of er een significant verschil bestaat tussen de resultaten van een soortgelijk onderzoek in een ander werelddeel en de resultaten van het onderzoek in Europa. Ook wordt aanbevolen om vervolgonderzoek te doen naar de invloed van het gencomplex HLA-B27 op het ontwikkelen van andere auto-immuunziektes door middel van een soortgelijk onderzoek. Tenslotte wordt aanbevolen om ook vervolgonderzoek te doen naar de invloed van de HLA-B27 positiviteit op de behandelmethode van JIA. Vervolgonderzoek hiernaar is van belang, aangezien de patiënt belang heeft bij een zo effectief mogelijke behandelmethode.

Bibliografie

1. Tugal-Tutkun I, Quartier P, Bodaghi B. Disease of the Year: Juvenile Idiopathic Arthritis-associated Uveitis—Classification and Diagnostic Approach. *Ocul Immunol Inflamm.* 1 februari 2014;22(1):56–63.
2. Bowness P. Hla-B27. *Annu Rev Immunol.* 2015;33(1):29–48.
3. Busch R, Kollnberger S, Mellins ED. HLA associations in inflammatory arthritis: emerging mechanisms and clinical implications. *Nat Rev Rheumatol.* juni 2019;15(6):364–81.
4. Berntson L, Damgård M, Andersson-Gäre B, Herlin T, Nielsen S, Nordal E, e.a. HLA-B27 predicts a more extended disease with increasing age at onset in boys with juvenile idiopathic arthritis. *Pediatr Rheumatol.* september 2008;6(S1):P57, 1546-0096-6-S1-P57.
5. Srivastava R, Phatak S, Yadav A, Bajpai P, Aggarwal A. HLA B27 typing in 511 children with juvenile idiopathic arthritis from India. *Rheumatol Int.* 1 oktober 2016;36(10):1407–11.
6. Rauz S, Murray PI, Southwood TR. Juvenile idiopathic arthritis and uveitis: the classification conundrum. *Eye.* november 2000;14(6):817–20.
7. Shukla A, Gaur P, Aggarwal A. Effect of probiotics on clinical and immune parameters in enthesitis-related arthritis

- category of juvenile idiopathic arthritis. *Clin Exp Immunol.* 2016;185(3):301–8.
8. PRINTO - Paediatric Rheumatology INternational Trials Organization [Internet]. [geciteerd 10 november 2019]. Beschikbaar op: <https://www.printo.it/projects/ongoing/15>
 9. Keith McCormick, Jesus Salcedo, Aaron Poh, Diederik Wouterlood. Statistiek met SPSS voor Dummies.
 10. Taurog JD. The Role of HLA-B27 in Spondyloarthritis. *J Rheumatol.* 1 december 2010;37(12):2606–16.
 11. Beukelman T, Patkar NM, Saag KG, Tolleson-Rinehart S, Cron RQ, DeWitt EM, e.a. 2011 American College of Rheumatology recommendations for the treatment of juvenile idiopathic arthritis: Initiation and safety monitoring of therapeutic agents for the treatment of arthritis and systemic features. *Arthritis Care Res.* april 2011;63(4):465–82.
 12. Prince FHM, Otten MH, Suijlekom-Smit LWA v. Diagnosis and management of juvenile idiopathic arthritis.

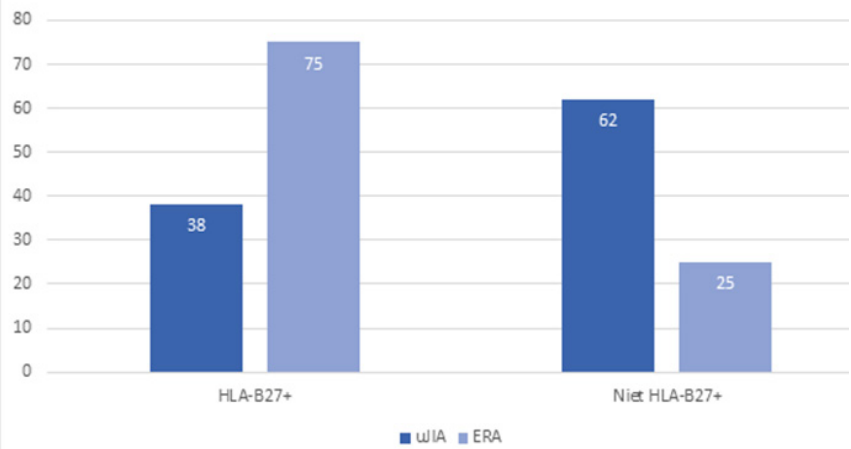
De diagnose van de patiënten, n = 1507



Figuur 1 - De patiënten onderverdeeld in twee groepen: uJIA en ERA

- BMJ. 3 december 2010;341(dec03 2):c6434–c6434.
13. Shen C-C, Yeh K-W, Ou L-S, Yao T-C, Chen L-C, Huang J-L. Clinical features of children with juvenile idiopathic arthritis using the ILAR classification criteria: A community-based cohort study in Taiwan. *J Microbiol Immunol Infect.* 1 augustus 2013;46(4):288–94.
 14. The HLA-B*5703 allele confers susceptibility to the development of spondylarthropathies in Zambian human immunodeficiency virus-infected patients with slow progression to acquired immunodeficiency syndrome - López-Larrea - 2005 - Arthritis & Rheumatism - Wiley Online Library [Internet]. [geciteerd 3 januari 2020]. Beschikbaar op: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy2.utwente.nl/doi/full/10.1002/art.20722?sid=worldcat.org>

Percentage HLA-B27+ bij uJIA en ERA



Figuur 2 – Het percentage van de patiënten dat HLA-B27 positief is getest (HLA-B27+) t.o.v. het aantal patiënten waarbij de HLA-B27 bepaling is uitgevoerd. HLA-B27 is slechts bij 865 (93,3%) van de ERA-patiënten gemeten en bij 365 (62,9%) van de uJIA-patiënten.

Tabel 1 - De inclusiecriteria voor het stellen van de diagnose ERA bij een patiënt.

Inclusiecriteria
Artritis en enthesitis
Artritis of enthesitis met daarbij op zijn minst twee van de volgende voorwaarden:
➤ De aanwezigheid of een geschiedenis van gevoelige SI-gewrichten en/of ontstekingspijn in de lumbale wervelkolom
➤ De aanwezigheid van het antigeen HLA-B27
➤ Beginnende artritis bij een man ouder dan 6 jaar
➤ Acute (symptomatische) uveïtis anterior (UA)
➤ Een geschiedenis van ankyloserende spondylitis (AS), sacroiliïtis met inflammatoire darmziekten, het syndroom van Reiter, acute anterior uveïtis en/of ERA bij een eerstegraads familielid

Tabel 2 - De exclusiecriteria voor het stellen van de diagnose ERA bij een patiënt.

Exclusiecriteria
De aanwezigheid van de reumatoïde factor IgM, gemeten op ten minste twee afspraken met een periode van 3 maanden ertussen
Psoriasis of een geschiedenis van psoriasis bij de patiënt of een eerstegraads familielid
De aanwezigheid van systemische JIA bij de patiënt.

Tabel 3 - De inclusiecriteria voor het stellen van de diagnose uJIA bij een patiënt. Bij dit subtype bestaan geen exclusiecriteria.

Inclusiecriteria
Artritis die aan geen enkele criteria in de andere JIA-categorieën voldoet door de aanwezigheid van uitsluitende factoren.
Artritis die voldoet aan twee of meer criteria in de andere JIA-categorieën (uit verschillende JIA-categorieën).

Tabel 4 - De eigenschappen van de patiënten in de gebruikte database.

	ERA	uJIA	P-waarde
Aantal patiënten	927	580	-
Man (%)	676 (72,9)	216 (37,2)	-
Leeftijd op moment stellen diagnose, =gemiddelde (IQR)	11,4 (7,3-16,1)	8,0 (0-16,4)	
ANA + (%) *	125 (13,5)	223 (38,4)	0,000
RF + (%)**	5 (0,5)	38 (6,6)	0,001
HLA-B27 positiviteit (%; t.o.v. het aantal patiënten) ***	648 (69,9)	139 (24,0)	0,000

*ANA (1 meting) alleen bij 783 (84,5%),

**RF (2x positief) is 1^e keer slechts gemeten bij 858 patiënten (92,6%), waarbij 8 patiënten positief waren, tweede keer gemeten bij 523 patiënten (56,4%), waarbij 5 patiënten positief waren.

*** HLA-B27 is slechts bij 865 (93,3%) van de ERA-patiënten gemeten en bij 365 (62,9%) van de uJIA-patiënten

Tabel 5 – Subgroep analyses bij ERA en uJIA

	ERA	uJIA	P-waarde
Aantal patiënten	927	580	-
Familiegeschiedenis van auto-immuunziektes* (%)	92 (9,92)	49 (8,45)	0,007
Aantal patiënten waarbij HLA-B27 bepaling is uitgevoerd	865	365	-
HLA-B27 positiviteit (%; t.o.v. het aantal patiënten waarbij een HLA-B27 bepaling is uitgevoerd)	648 (75,00)	139 (38,08)	0,000
HLA-B27 positiviteit en familiegeschiedenis van auto-immuunziektes* (%)	78 (8,41)	27 (4,66)	0,000

* een eerstegraads familielid met ankyloserende spondylitis (AS), ERA, SI-gewrichtsklachten met de ziekte van Crohn, het syndroom van Reiter of acute anterior uveitis

Tabel 6 – Subgroep analyses en algemene eigenschappen van de patiënten met een HLA-B27 positiviteit

	ERA en HLA-B27+	uJIA en HLA-B27+	P-waarde
Aantal patiënten	648	139	-
Man (%; t.o.v. aantal patiënten)	516 (79,6)	82 (59,0)	0,000
In combinatie met familiegeschiedenis met ankyloserende spondylitis (AS) (%)	86 (13,27)	14 (10,07)	0,097
ANA + (%)	76 (10,26)	37 (10,91)	0,000
RF + (%)	4 (0,50)	7 (2,31)	0,000
Acute anterior uveitis (%)	93 (14,35)	13 (9,35)	0,032

Het effect van adrenaline op de longfunctie na meerdere achtbaanritten

S.C.M. Pelle², M.T.A. ten Brinke³, B. Bollen³, G.P.J. Broens², S. de Winter¹, M.N.A. Bijman¹

¹ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

² Het Assink Lyceum, Haaksbergen

³ Pius X College, Almelo

Abstract - This study assesses whether there is a connection between the adrenaline content of the blood and the lung function and whether this relationship changes after multiple roller coaster rides. The participants were 30 young people in the age category 13 to 19 years. The adrenaline was generated by the roller coaster rides. The results showed that among women there was a positive relationship between the effect of adrenaline and the improvement of maximum flow. Nothing could be said about the inspiratory ability. Most of the adrenaline was released during the second ride. Nothing could be said about the relationship of adrenaline content and lung content among men.

Based on these results, it is possible that adrenaline actually has an effect on lung function.

Introductie

In Nederland zijn er ongeveer 640.000 mensen die lijden aan de chronische ziekte astma, waaronder 100.000 kinderen (Longfonds, 2017). Er zijn mildere en zwaardere vormen van astma en de verschillende soorten astma worden op verschillende manieren opgewekt. In de luchtwegen wordt er tijdens een astma-aanval een overproductie aan slijm geproduceerd door het slijmvlies en trekken de gladde spierweefsels samen in de trachea en bronchiën, dat zich in de opening van de hoefijzervormige kraakbeenringen bevindt (Mims, 2015). Hierdoor worden de trachea en bronchiën smaller, waardoor er minder lucht de longen in en uit kan stromen en waardoor de lucht in de longen minder goed ververst wordt (Kirchmann & Geskes, 2010). Astma is op dit moment nog niet te genezen, maar er zijn wel medicijnen die de symptomen, zoals dyspneu (benauwdheid), bestrijden. De medicijnen helpen echter niet in alle gevallen en kunnen nare bijwerkingen hebben (Rydström, Englund, & Sandman, 1999).

S. Rietveld heeft in 2007 het effect van positieve en negatieve stress op dyspneu, bij astmapatiënten in een achtbaan, via de psychologische hoek onderzocht bij vrouwen. De conclusie die de psychologen trokken, is dat positieve stress het gevoel van benauwdheid vermindert en dat negatieve stress dit juist verergert (Rietveld & Van Beest, 2007). Met negatieve en positieve stress wordt een situatie bedoeld waarin het lichaam in een ‘high-arousal’ zit en er negatieve en positieve emoties optreden. Een high-arousal houdt in dat zowel het lichaam als het centrale zenuwstelsel zeer alert en actief zijn en er veranderingen in het lichaam kunnen optreden (Rietveld & Van Beest, 2007). Er wordt in de introductie gezegd dat de lichamelijke veranderingen (zoals verhoging van de hartslag en bloeddruk) in dit onderzoek geen grote invloed zouden hebben, omdat ze zowel bij positieve als bij negatieve stress plaatsvinden en dus zouden deze geen verschil moeten maken (Rietveld & Van Beest, 2007). Het enige verschil zou zijn dat het effect van negatieve stress op de hartslag langer zou duren dan die van positieve stress (Brosschot & Thayer, 2003). De psychologen komen in de discussie echter terug op de uitspraak dat er geen verschil zou zijn. Er bleek wel degelijk een verschil in de lichamelijke veranderingen te zitten tussen

voor de achtbaanrit en na de achtbaanrit. Dit kan verklaard worden door de afgifte van adrenaline en noradrenaline, de twee snelwerkende stresshormonen. In een achtbaan ervaart het lichaam gevaar door de snelheden en G-krachten van de achtbaan en daardoor ontstaat een stressreactie. Stress wordt door de amygdala verwerkt en deze geeft een signaal aan de hypothalamus (het commandocentrum van de hersenen). De hypothalamus stuurt vervolgens via het autonome zenuwstelsel een signaal naar de bijnieren om adrenaline en noradrenaline af te geven. Deze hormonen zorgen voor lichamelijke veranderingen. Dit reactiemechanisme staat ook wel bekend als de ‘fight-flight’ reactie (Harvard Health Publishing, 2018). Aangezien in het onderzoek van de psychologen vooral wordt gekeken naar de invloed van emoties en associaties met deze emoties op dyspneu, maar er toch bleek dat er wel een verschil in lichamelijke reactie zat tussen negatieve en positieve stress, zal in dit onderzoek het effect van adrenaline op de longfunctie worden onderzocht.

Adrenaline en noradrenaline zijn twee hormonen die behoorlijk op elkaar lijken en grotendeels dezelfde functie hebben. Ook hebben ze allebei functies van een neurotransmitter (Mikoshiha & Lajtha, 2009). Omdat beide hormonen catecholamine hormonen zijn, kunnen ze niet zelf door een celmembraan heen, maar maken ze gebruik van een receptor (Kirchmann & Geskes, 2010). Adrenaline en noradrenaline zijn allebei agonisten, dus stimuleren ze een reactie op het moment dat ze aan een receptor binden. Adrenaline kan zich aan alle alfa-receptoren en aan alle bèta-receptoren binden (Nederland, Z., 2019). Noradrenaline kan dit niet, want deze heeft geen mogelijkheid om met de bèta-2-receptor te binden. Noradrenaline kan zich wel binden aan de alfa-receptoren en de bèta-1-receptor (Nederland, Z., 2019b). Hierdoor heeft noradrenaline niet geheel dezelfde werking als adrenaline. De lichamelijke effecten van adrenaline en gedeeltelijk van noradrenaline, die in dit onderzoek worden gebruikt zijn de verhoogde hartslag, verhoogde bloeddruk en de ontspanning van het gladde spierweefsel in de bronchiën (Kirchmann & Geskes, 2010). Andere effecten van adrenaline en noradrenaline zijn een versnelde verdiepte ademhaling, pupilvergroting, vergroting alertheid, verbetering van het geheugen, handpalmen

gaan zweten, temperatuurstoename, verhoogde spierspanning en verbetering van het uithoudingsvermogen (Kirchmann & Geskes, 2010), (Noble, Souza, & McIntyre, 2018), (Rizvi, Abdul Azeem, & Savanur, 2019), (Holmberg et al., 2019).

Op het hart zitten vooral bèta-1-receptoren, en als die worden geactiveerd door adrenaline wordt de samentrekking van het hart gestimuleerd. Hierdoor neemt de hartslag toe (Perez et al., 2003), (Kirchmann & Geskes, 2010). Het lichaam maakt zich klaar voor actie. Er is dan een grotere energietoevoer nodig, met onder andere zuurstof en glucose, om aan de energiebehoefte van het lichaam te voldoen. Het bloed vervoert deze zuurstof en glucose en om het bloed sneller door het lichaam te laten stromen, zal de hartslag omhoog gaan (Castro-Sepúlveda et al., 2015). Noradrenaline heeft ook een werking op bèta-1-receptoren, maar die is heel minimaal waardoor het weinig effect heeft op de hartslag (Nguyen, Roth, Shanewise, & Kaplan, 2019), (Kirchmann & Geskes, 2010). Naast de hartslag verhoogt ook de bloeddruk. De systolische en diastolische druk nemen beide toe (Lee, Kim, & Moon, 2003). Alle bloedvaten hebben alfa- en bèta-receptoren. De werking van de alfa-receptoren, en in het bijzonder van de alfa-1-receptoren, is het vernauwen van de vaten en de werking van de bèta-receptoren, in het bijzonder van de bèta-2-receptoren, is het verwijden van de vaten. Wat de vaten doen is afhankelijk van de dominantie van de receptoren. In de huid zitten alleen alfa-receptoren op de bloedvaten, dus zullen deze, ongeacht of er adrenaline of noradrenaline op gaat zitten, bloedvaten vernauwen. De kransslagaders zullen door noradrenaline vernauwen, maar door adrenaline juist verwijden door de aanwezigheid van bèta-2-receptoren. Omdat in de bloedvaten dus zowel alfa-receptoren als bèta-receptoren zitten, zullen adrenaline en noradrenaline allebei een bloeddrukverhogende werking hebben op het lichaam, maar doordat noradrenaline geen bloedvaten kan verwijden zal deze een grotere bloeddrukverhogende functie hebben dan adrenaline (Boron & Boulpaep, 2017).

Verder zitten op het gladde spierweefsel in de luchtwegen bèta-2-receptoren en op het moment dat deze door adrenaline worden geactiveerd, vindt er een cascade aan reacties plaats waarbij cAMP wordt aangemaakt en het gladde spierweefsel in de bronchiën ontspant (Proskocil & Fryer, 2005). Dit betekent dat er meer ruimte is voor lucht om via de trachea en bronchiën de longen in te stromen. Een veelgebruikt medicijn van astma, salbutamol, maakt ook van dit principe gebruik. Het verwijdt de bronchiën waardoor de patiënt minder benauwd is en meer lucht binnenkrijgt (Nederland, Z., 2019c).

Uit de literatuur blijkt dus dat adrenaline een duidelijke werking heeft op het lichaam en in het specifiek op de bronchiën. Of dit effect van adrenaline in de achtbaan ook plaatsvindt en of de hoeveelheid adrenaline, die voor dit effect zorgt, na meerdere ritten in de achtbaan nog steeds zo groot zal zijn als bij de eerste rit, is niet bekend. Deze dingen samen maken de hoofdvraag: “Wat is het effect van adrenaline op de longfunctie bij mannen en vrouwen tussen de 13 en 19 jaar na meerdere achtbaanritten?”

Materiaal en Methode

Tijdens dit onderzoek is het adrenalinepeil na een achtbaanrit bepaald door de hartslag en bloeddruk te meten. De toename van hartslag en bloeddruk zijn indicatoren die aangeven of het adrenalinepeil is gestegen of gelijk is gebleven (Lee, Kim, & Moon, 2003), (Perez et al., 2003). Ook is er gekeken naar de

ademhalingsfuncties inspiratoir vermogen en maximale flow. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de achtbanen Tornado en Rioolrat in attractiepark Hellendoorn, zodat op een snelle, veilige manier adrenaline werd opgewekt. Er zijn 13 mannen en 17 vrouwen in de leeftijd van 13 t/m 19 jaar gebruikt.

Van deze mensen hadden 2 personen inspanningsastma en één van hen had ongeveer twee maanden daarvoor milde bronchitis gehad. Verder hadden de proefpersonen geen chronische ziektes. Alle proefpersonen zijn al eerder in een achtbaan geweest. Ook al in de achtbanen die voor het onderzoek zijn gebruikt.

Op de dag zelf is er eerst bij alle proefpersonen een nulmeting uitgevoerd, die bestond uit een enquête (zie bijlage 1) en het meten van de hartslag en bloeddruk door middel van een polsbloeddrukmeter, het meten van de maximale flow met een peak flow meter en het meten van het inspiratoir vermogen met een respiflo. Door deze dingen op de dag zelf te meten zijn afwijkende waardes door ziekte uitgesloten. De maximale flow en het inspiratoir vermogen zijn per meting, drie keer gemeten. Op het moment dat de hartslag of bloeddruk abnormaal hoog of laag was, is er door een medisch expert (verloskundige) opnieuw gemeten om te kijken of de waarde klopte.

De proefpersonen mochten pas in attracties nadat de nulmeting was uitgevoerd en ze mochten, totdat de proef klaar was, niet in de achtbaan die in de proef werd gebruikt. Na de nulmetingen begon de proef met de achtbaan. Iedere proefpersoon ging één keer in de achtbaan. Daarna werd de eerste meting uitgevoerd, waarbij de hartslag, bloeddruk, maximale flow en inspiratoir vermogen werden gemeten. Na ruim vijftien minuten ging de proefpersoon opnieuw in dezelfde achtbaan en direct daarna is meting twee uitgevoerd, waarbij weer de hartslag, bloeddruk, maximale flow en inspiratoir vermogen is gemeten. Weer ruim vijftien minuten later ging de proefpersoon voor de derde keer in dezelfde achtbaan en direct daarna werd meting drie uitgevoerd, waarbij dezelfde dingen werden gemeten als bij meting één en twee.

Er is gekozen voor een tijd van ruim vijftien minuten tussen de metingen, zodat de adrenaline (halfwaardetijd van 2 minuten) (Santman, 2017) grotendeels uit het bloed was verdwenen. Op die manier kon de adrenaline uit de vorige rit geen invloed hebben op de rit erna. Tussen het uit de achtbaan komen en het meten zat 3 à 5 minuten (afhankelijk van hoe gemakkelijk werd gemeten). Dit betekent dat er al wel adrenaline uit het bloed was verdwenen, maar dat er nog wel een aanzienlijke hoeveelheid adrenaline in het bloed zat.

De proefpersonen is verzocht om niet te snel naar de plek van de meting te lopen, zodat de lichamelijke inspanning zo laag mogelijk was en dus zo min mogelijk invloed had op de hartslag.

Resultaten

Er zijn drie metingen ongeldig verklaard, omdat de proefpersonen regelmatig rookten. Dit is gedaan omdat deze personen veel minder inspiratoir vermogen en maximale flow hadden. Dat kon verklaard worden doordat hun longen door het roken beschadigd waren (Mackenback, Damhuis, & Been, 2017). Ze zijn dus eigenlijk geen goede afspiegeling van een gezonde samenleving en zijn weggelaten. Verder zijn twee inspiratoir metingen ongeldig verklaard, vanwege het bereiken van de maximale waarde van de respiflo.

Zoals al aangegeven is het inspiratoir vermogen en de maximale flow per meting drie keer gemeten, hier is het gemiddelde van genomen. Verder zijn de resultaten verwerkt door de resultaten te normaliseren waardoor iedereen bijvoorbeeld begon met een nulmeting van 80 hartslagen per minuut. Het gemiddelde van alle personen samen is per categorie (hartslag, etc.) berekend en van deze gemiddelden zijn de standaarddeviaties en p-waardes berekend.

Zoals in figuur 1 is te zien, neemt de hartslag bij vrouwen in meting 1, meting 2 en meting 3 significant toe ten opzichte van de nulmeting. Bij mannen neemt de hartslag wel toe, en ook met dezelfde curve als bij vrouwen, maar de verschillen zijn niet significant genoeg. Tijdens meting 2 is bij beide groepen de hartslag hoger dan bij meting 1. Bij meting 3 daalt het weer.

In figuur 2a en 2b is te zien dat zowel de bovendruk als de onderdruk geen significante verschillen hebben tussen meting 1, meting 2 en meting 3 t.o.v. de nulmeting. Dit geldt voor mannen en vrouwen. De curve van de bovendruk en onderdruk lopen bij mannen en vrouwen niet hetzelfde. Meting 2 van de bovendruk is bij vrouwen lager en bij mannen hoger dan bij de meting ervoor. De curve van de onderdruk loopt bij mannen en vrouwen wel gelijk.

Zoals te zien is in figuur 3, neemt de maximale flow bij zowel mannen als vrouwen toe met een redelijk gelijke curve. Het enige verschil in de curve is dat meting 2 en meting 3 bij mannen even hoog zijn en bij vrouwen niet. De verschillen zijn bij meting 1 en meting 2 van de vrouwen significant anders dan bij de nulmeting door een toename van ongeveer 20 L/min en een kleine standaarddeviatie.

In figuur 4 is te zien dat bij mannen en vrouwen het inspiratoir vermogen toeneemt bij alle metingen t.o.v. de nulmeting. De curve bij mannen en vrouwen is niet hetzelfde. De verschillen bij vrouwen zijn allemaal significant anders t.o.v. van de nulmeting, maar bij de mannen is dit alleen bij meting 3 het geval.

Conclusie

Het antwoord op de vraag: “Wat is het effect van adrenaline op de longfunctie bij mannen en vrouwen tussen de 13 en 19 jaar na meerdere achtbaanritten?” is als volgt. Bij vrouwen komt er adrenaline vrij in een achtbaanrit, want ten opzichte van de nulmeting is er een significante stijging van de hartslag die een indicator is voor adrenaline. Ook de bloeddruk neemt toe, maar niet genoeg om significant te zijn. Wel wijst ook dit op de aanwezigheid van adrenaline. In de tweede rit komt de meeste adrenaline vrij. Bij mannen is het niet duidelijk of er adrenaline vrijkomt in de achtbaan en hierdoor is het effect van adrenaline bij mannen op de ademhaling niet te bepalen. Er is een positief verband tussen het effect van adrenaline en het verbeteren van de maximale flow ten opzichte van de nulmeting bij vrouwen. Er is op basis van deze resultaten geen verband te zien tussen adrenaline en het inspiratoir vermogen.

Discussie

De hartslag en de bloeddruk zijn indicaties voor de adrenaline die vrijkomt in het lichaam op het moment dat iemand in een achtbaan zit (Perez et al., 2003), (Lee, Kim, & Moon, 2003). De directe manier van het adrenalinegehalte meten door bloed

te prikken, is niet mogelijk. Door de hartslag, bovendruk en onderdruk tussen de ritten en met de nulmeting te vergelijken, kan wel een goede inschatting worden gemaakt of er meer of minder adrenaline vrijkomt tijdens de verschillende ritten. Hier kan geen concreet getal aan worden gekoppeld, dus is het minder betrouwbaar dan bloedprikken.

Een opvallend punt is dat de hartslag en bloeddruk niet beide significant toenemen. De hartslag neemt bij vrouwen wel significant toe, maar de boven- en onderdruk nemen niet significant toe. De grafieken van de boven- en onderdruk volgen wel een redelijk gelijke curve als die van de hartslag, waardoor er verwacht wordt dat er wel adrenaline aanwezig was bij de metingen, maar dat deze niet voldoende was om de bloeddruk significant te laten stijgen. Uit de theorie blijkt dat noradrenaline voor een grotere stijging van de bloeddruk zorgt dan adrenaline in een stresssituatie, door de alfa- en bèta-receptoren op de bloedvaten (Boron & Boulpaep, 2017). Noradrenaline heeft een halfwaardetijd van 1 à 2 minuten en was daardoor tijdens de metingen dus al grotendeels verdwenen (Nederland, Z., 2019b). Er is een reële kans dat de bloeddruk hierdoor al weer was teruggezakt richting de normale bloeddruk en dat hierdoor geen significante verschillen gemeten werden. Het is niet aannemelijk dat de G-krachten van invloed zijn geweest op de bloeddruk, want jonge mensen kunnen goed tegen de G-krachten die in een achtbaan worden ervaren (Blue, Riccitello, Tizard, Hamilton, & Vanderploeg, 2012). Dit betekent dat de bloeddruk zich redelijk snel herstelt en bij deze G-krachten niet extreem toeneemt.

Ook bij de meting van hartslag is de toename niet zo groot als bij bijvoorbeeld het onderzoek van Rietveld (Rietveld & Van Beest, 2007), maar bij vrouwen is hij wel significant genoeg gestegen om mee te nemen in de conclusie dat er waarschijnlijk wel adrenaline aanwezig was. De kans dat de verhoogde hartslag door noradrenaline is veroorzaakt is heel klein, omdat noradrenaline maar een minimale werking op het hart heeft (Nguyen, Roth, Shanewise, & Kaplan, 2019), (Kirchmann & Geskes, 2010) en dus al grotendeels was uitgewerkt. Een verklaring voor de kleinere stijging is dat de proefpersonen de achtbanen al kenden, doordat ze al voor de testdag een keer in de achtbaan hebben gezeten en het lichaam hierdoor minder gevaar ervoer en daardoor minder adrenaline aanmaakte.

Wat betreft de validiteit van de peak flow meter en de respiflo, zijn deze methodes redelijk betrouwbaar om de maximale flow en het inspiratoir vermogen te bepalen. Om die reden worden ze ook gebruikt om aan patiënten mee te geven, zodat zij hun eigen toestand kunnen monitoren. De peak flow meter geeft informatie over de maximale snelheid waarmee de lucht door de trachea en bronchiën stroomt. Dit staat in verband met de breedte van de trachea en bronchiën, want nauwere trachea en bronchiën zorgen voor een grotere weerstand in de luchtwegen. Dit maakt het lastiger om adem te halen en de snelheid zal afnemen. Hiermee zal ook de longfunctie iets verminderen. Hierdoor is een peak flow meter een goede meter voor astma patiënten om thuis hun longfunctie te bepalen (Thorat, Salvi, & Kodgule, 2017). Het inspiratoir vermogen geeft weer hoeveel lucht er ingeademd kan worden en is dus een maatstaaf voor de longinhoud (Kirchmann & Geskes, 2010).

De verwachting was dat zowel de maximale flow als het inspiratoir vermogen zouden toenemen door adrenaline, omdat het lichaam zich klaarmaakt voor actie en hier meer

longinhoud en snellere ademhaling voor nodig zijn, zodat de stofwisseling sneller kan plaatsvinden. Dit is bij de maximale flow wel te zien, maar niet bij het inspiratoir vermogen. Bij het inspiratoir vermogen is meting 3 bij zowel mannen als vrouwen het hoogst, terwijl dit bij het adrenalinegehalte niet zo is. Er is dus waarschijnlijk geen verband tussen adrenaline en het inspiratoir vermogen. De G-krachten hebben waarschijnlijk geen grote invloed op het inspiratoir vermogen. G-krachten hebben namelijk vooral invloed op de bloeddruk en niet zozeer op andere aspecten (Jedick, 2013). Daarnaast worden G-krachten veroorzaakt door versnelling en waren de versnellingen in de twee achtbanen erg verschillend (Lyndon, z.d.). Daardoor zijn de G-krachten ook erg verschillend, maar toch is er geen significant verschil te zien tussen resultaten uit de twee achtbanen, waardoor verwacht wordt dat G-krachten geen grote invloed hebben.

Verder is er in de resultaten een verschil te zien in de grootte van de maximale flow tussen mannen en vrouwen. Mannen blazen veel krachtiger dan vrouwen. Voor de bepaling van de maximale flow zijn geslacht en lengte bepalend. Mannen zijn over het algemeen langer dan vrouwen, waardoor ze krachtiger kunnen uitblazen. Voor het gebruik van een peak flow meter zijn normwaarden opgesteld van mannen en vrouwen bij verschillende lengtes die door artsen zijn aanvaard en worden gebruikt. Ze geven weer dat mannen harder moeten blazen bij een bepaalde lengte dan vrouwen met diezelfde lengte (Smeenk, 2008), (Clement Clark International, 2004). Mannen kunnen dus krachtiger blazen dan vrouwen en daar komt het verschil in de resultaten tussen mannen en vrouwen vandaan. Waarom ze harder kunnen blazen, zou kunnen komen doordat mannen meer ademhalingsspierkracht hebben dan vrouwen. Hierdoor hebben zij meer kracht voor het uitvoeren van het ademhalingsmechanisme, want de spieren van de ribben en het middenrif zijn krachtiger. Naast de maximale flow kan hierdoor ook het inspiratoir vermogen bij mannen veel hoger zijn dan bij vrouwen (Aslan, McKay, Singh, & Ovechkin 2019).

Een opvallend punt is het grote verschil in stijging van hartslag en bloeddruk tussen mannen en vrouwen tijdens de achtbaanritten. Bij mannen steeg namelijk zowel de hartslag als de bloeddruk niet significant, terwijl bij vrouwen de hartslag wel significant veranderde. Hierdoor is er op basis van de resultaten niet te zeggen of er adrenaline vrijkomt bij mannen in de achtbaan. Dit wijst erop dat mannen ofwel lichamelijk minder heftig reageren op adrenaline, of er komt minder adrenaline vrij bij mannen bij stressvolle situaties dan bij vrouwen. Uit het onderzoek van Taylor blijkt dat er inderdaad een verschil kan zijn in reactie op zo’n stressvolle situatie. Mannen hebben eerder de neiging tot de fight-flight reactie en vrouwen tot de tend-and-befriend reactie (Taylor et al., 2000). De tend-and-befriend reactie wordt gestimuleerd door oxytocine, dopamine en opioïden. Deze hormonen zorgen er samen voor dat mensen in een stressvolle situatie minder heftig reageren op het moment dat hier bekende en positieve sociale dingen bij betrokken zijn. Aan de andere kant zorgen ze ook voor nog heftigere stressreacties als er geen bekende, maar wel vijandige dingen bij betrokken zijn (Taylor, 2006). Het verschil in reactie tussen mannen en vrouwen is echter zo klein dat zeker niet gesteld kan worden dat mannen altijd heftiger reageren dan vrouwen. Zo kan het ook voorkomen dat mannen de tend-and-befriend reactie toepassen en vrouwen juist niet, waardoor mannen dus ook minder heftig kunnen reageren dan

vrouwen in deze situaties (Contrada & Baum, 2010). Dit lijkt in dit onderzoek het geval te zijn. Toch is het minder aannemelijk omdat vrouwen over het algemeen dus net iets vaker de tend-and-befriend reactie krijgen dan mannen. Als het niet aan het verschil in de reactie op adrenaline ligt, kan het ook liggen aan het verschil in de hoeveelheid adrenaline die het lichaam nodig heeft om te reageren. Hier zou het lichaamsgewicht een rol bij kunnen spelen, want de meeste mannen waren zwaarder dan de vrouwen. Bij de dosering van adrenaline als medicijn is gewicht belangrijk, omdat er bij te weinig adrenaline per kg lichaamsgewicht niets gebeurt. Dit betekent dus dat jongens vaak meer adrenaline nodig hebben (Nederland, Z. 2019).

Wat verder opvallend is, is het verschil in hartslag, bloeddruk, maximale flow en inspiratoir vermogen tussen de ritten. Wat te zien is, is dat rit twee de hoogste waarde heeft voor de hartslag en onderdruk bij mannen en vrouwen en bij mannen ook van de bovendruk. Hierdoor wordt verwacht dat bij rit twee de meeste adrenaline vrij kwam. Dit is tegen de verwachting in, omdat verwacht werd dat er een proces van gewenning zou ontstaan en dat de hoeveelheid adrenaline juist zou afnemen. Deze afname is wel te zien als rit twee met rit drie wordt vergeleken. Daardoor lijkt het alsof het lichaam pas na twee rondes meer gewend is aan de snelheden en G-krachten van de achtbaan en dat dan pas de afgifte van adrenaline verlaagt. Er zijn over dit onderwerp geen recente wetenschappelijke bronnen te vinden om te verklaren waar dit verschil door komt. Om dit verschijnsel te verklaren en de betrouwbaarheid van dit onderzoek te bevorderen, zal er eerst nog vervolgonderzoek gedaan moeten worden.

Er zijn een aantal beperkingen in dit onderzoek die van invloed kunnen zijn geweest op de verkregen resultaten. De halfwaardetijd van adrenaline is ongeveer 2 minuten en is klinisch na ongeveer 10 minuten uitgewerkt (Santman, 2017). Bij de proefpersonen uit dit onderzoek zat steeds ongeveer 15 minuten tussen de achtbaanritten wat betekent dat er ruim voldoende tijd tussen de achtbaanritjes zat om de adrenaline in hun bloed voldoende te laten afnemen en dus had de adrenaline uit de vorige rit geen invloed op de volgende rit. Bij groep 2 is het niet gelukt om de tijd tussen de ritten op 15 minuten te houden en bij vervolgonderzoek wordt dit wel aangeraden. Een andere beperking is dat pas na ongeveer 3 minuten, nadat de proefpersonen uit de achtbaan kwamen, bepaalde waardes zijn gemeten. Om een betrouwbaarder beeld te krijgen van het adrenalinegehalte in het bloed, zal er bij vervolgonderzoek nog sneller na een rit gemeten moeten worden, aangezien de halfwaardetijd van adrenaline 2 minuten is.

Om de betrouwbaarheid te bevorderen is met de volgende dingen rekening gehouden. De metingen zijn bij iedereen op dezelfde wijze, door dezelfde mensen uitgevoerd. Ook zijn sommige metingen vaker uitgevoerd en opnieuw gedaan door een medisch professional als de waarde opvallend hoog of laag was, zodat er met zekerheid gezegd kon worden dat de waarde klopte. Verder is er rekening gehouden met het weer. Het was de hele dag bewolkt en ‘s middags begon het te regenen. Omdat kou en regen invloed kunnen hebben op de uitademing, vanwege krampachtige bewegingen en ademhalingen, is er voor gekozen om droog te gaan staan, zodat dit niet van invloed kon zijn (Veen & Chavannes 2007). Bij extreme warmte en kou, neemt de hartslag toe. Toen het begon te regenen, daalde

de temperatuur en werd het natter t.o.v. de temperatuur tijdens de nulmeting. Dit kan dus invloed hebben gehad op de hartslag en ademhaling, maar is niet terug te zien in de resultaten.

Rietveld heeft in zijn onderzoek gezegd dat vooral de positieve gevoelens zorgden voor een verbetering van dyspneu. Uit dit onderzoek blijkt echter dat ook de adrenaline, die tijdens de achtbaanrit vrijkomt een invloed zou kunnen hebben op de maximale flow en daarmee op dyspneu.

Nu geconcludeerd is dat adrenaline wel degelijk positieve invloed zou kunnen hebben op de longfunctie van mensen, zou het zo kunnen zijn dat adrenaline gebruikt gaat worden als medicijn tegen bijvoorbeeld astma. Voor het zover is zal er eerst nog meer onderzoek moeten worden gedaan. In een vervolgonderzoek zal het goed zijn om op een directe manier de adrenaline te meten, door middel van bloedprikken. Op deze manier wordt het duidelijk welke doses adrenaline er nodig zijn om een duidelijk effect te hebben op de longfunctie. Deze doses adrenaline zullen waarschijnlijk in het bloed geïnjecteerd moeten worden, daar zitten ook nadelen aan. Zoals het feit dat de patiënten zichzelf dan moeten prikken, of geprikt moeten worden door verpleegkundigen of ander medisch personeel. Ook zit er het gevaar in dat er te veel adrenaline zou kunnen worden gegeven, dit zou ertoe kunnen leiden dat het lichaam in shock komt (Liew & Craven, 2017). Er zal dus ook onderzocht moeten worden wat de beste en veiligste manier is om adrenaline toe te dienen. Verder is er in dit onderzoek alleen gekeken naar jongeren van 13 t/m 19 jaar. In een vervolgonderzoek zal er ook naar andere leeftijdsgroepen moeten worden gekeken. Ook zal het goed zijn om specifiek te kijken naar de reactie op adrenaline bij patiënten met een longziekte. Verder is het in een vervolgonderzoek belangrijk dat er zo snel mogelijk wordt gemeten, zodat het grootste deel van de adrenaline nog in het bloed aanwezig is. Deze dingen moeten dus nog goed worden onderzocht en wie weet staat adrenaline dan wel op het lijstje van medicijnen voor patiënten met een longziekte.

Bibliografie

Aslan, S. C., McKay, W. B., Singh, G., & Ovechkin, A. V. (2019). Respiratory muscle activation patterns during maximum airway pressure efforts are different in women and men. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 259, 143–148. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2018.09.004>

Blue, R. S., Riccitello, J. M., Tizard, J., Hamilton, R. J., & Vanderploeg, J. M. (2012). Commercial Spaceflight Participant G-Force Tolerance During Centrifuge-Simulated Suborbital Flight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 83(10), 929–934. <https://doi.org/10.3357/ase.3351.2012>

Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2017). *Medical Physiology* (3de editie). Geraadpleegd van <https://www.elsevier.com/books/medical-physiology/boron/978-1-4557-4377-3>

Brosschot, J. F., & Thayer, J. F. (2003). Heart rate response is longer after negative emotions than after positive emotions. *International Journal of Psychophysiology*, 50(3), 181–187. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(03\)00146-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(03)00146-6)

Castro-Sepúlveda, M., Cerda-Kohler, H., Pérez-Luco, C., Monsalves, M., Andrade, D. C., Zbinden-Foncea, H., ... Ramírez-Campillo, R. (2015). Hydration status after exercise affect resting metabolic rate and heart rate variability.

Nutricion Hospital , 1273–1277(3), 1273–1277. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.3.8523>

Clement Clark International. (2004). Peak Flow - Normal Values. Geraadpleegd op 2 februari 2020, van http://www.peakflow.com/top_nav/normal_values/index.html

Contrada, R., & Baum, A. (2010). *The Handbook of Stress Science: Biology, Psychology, and Health* (1ste editie). Geraadpleegd van https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=EXVlk8pnEKIC&oi=fnd&pg=PA101&dq=tend+and+befriend&ots=nTLyDzAdSw&sig=KP_2P8J-NwhP5C708LNyVI6tYIc#v=onepage&q=tend%20and%20befriend&f=false

Dalen, van B., & van Dongen, J. (2019). *Systematische natuurkunde / Vwo 5 / deel Basisboek* (9de editie). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff bv.

Harvard Health Publishing. (2018, 1 mei). Understanding the stress response - Harvard Health. Geraadpleegd op 27 november 2019, van <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/understanding-the-stress-response>

Holmberg, A., Ho, A. V., Fernand, D., Toska, K., Wester, T., Klaastad, Ø., ... Sauter, A. R. (2019). Microcirculation and haemodynamics after infraclavicular brachial plexus block using adrenaline as an adjuvant to lidocaine: a randomised, double-blind, crossover study in healthy volunteers. *Anaesthesia*, 74(11), 1389–1396. <https://doi.org/10.1111/anae.14795>

Jedick, R. (2013, 5 april). Pulling G's – The Effects of G-Forces on the Human Body. Geraadpleegd op 5 januari 2020, van <https://goflightmedicine.com/pulling-gs/>

Kirchmann, L. L., & Geskes, G. G. (2010). *Anatomie en fysiologie van de mens* (15de editie). Amsterdam: Reed Business.

Lee, M.S., Kim H.J., Moon, S.-R. (2003). QIGONG REDUCED BLOOD PRESSURE AND CATECHOLAMINE LEVELS OF PATIENTS WITH ESSENTIAL HYPERTENSION. *International Journal of Neuroscience*, 113(12), 1691–1701. <https://doi.org/10.1080/00207450390245306>

Liew, P. Y. L., & Craven, J. A. (2017). Adrenaline overdose in pediatric anaphylaxis: a case report. *Journal of Medical Case Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13256-017-1290-7>

Longfonds. (2019, 7 mei). Wat is astma? Geraadpleegd op 6 september 2019, van <https://www.longfonds.nl/astma/alles-over-astma/wat-is-astma>

Loo, van der H., & Daanen, H. (2010). Snellere hartslag in de warmte , wetenschappelijke achtergronden en praktische implicaties. Geraadpleegd op 29 november 2019, van http://ww.sport-gericht.nl/site/assets/files/1162/sg3_vdloo-1.pdf

Lyndon, B. (z.d.). *BIOMEDICAL RESULTS OF APOLLO - ENVIRONMENTAL FACTORS* (Sec.2,Ch.5). Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <https://web.archive.org/web/20081122024243/http://lsda.jsc.nasa.gov/books/apollo/s2ch5.htm>

Mackenback, J. P., Damhuis, R. A. M., & Been, J. V. (2017). De gezondheidseffecten van roken. *Nederlands Tijdschrift Geneeskunde*, 2017(2). Geraadpleegd van <https://www.ntvg.nl/artikelen/de-gezondheidseffecten-van-roken/artikelinfo>

Mikoshiha, K., & Lajtha, A. (2009). *Handbook*

of Neurochemistry and Molecular Neurobiology: Neural Signaling Mechanisms. Geraadpleegd van <https://link-springer-com.ezproxy2.utwente.nl/referencework/10.1007/978-0-387-30370-3>

Mims, J. W. (2015). Asthma: definitions and pathophysiology. *International Forum of Allergy & Rhinology*, 5(S1), S2–S6. <https://doi.org/10.1002/alf.21609>

Nederland, Z. (2019, 31 oktober). FarmacotherapeutischKompas. Geraadpleegd op 10 oktober 2019, van <https://www.farmacotherapeutischkompas.nl/bladeren/preparaatteksten/a/adrenaline>

Nederland, Z. (2019b, 31 oktober). FarmacotherapeutischKompas. Geraadpleegd op 10 oktober 2019, van <https://www.farmacotherapeutischkompas.nl/bladeren/preparaatteksten/n/noradrenaline>

Nederland, Z. (2019c, 31 oktober). FarmacotherapeutischKompas. Geraadpleegd op 10 oktober 2019, van https://www.farmacotherapeutischkompas.nl/bladeren/preparaatteksten/s/salbutamol_inhalatie

Nguyen, L., Roth, D. M., Shanewise, J. S., & Kaplan, J. A. (2018). Discontinuing Cardiopulmonary Bypass. *Kaplan's Essentials of Cardiac Anesthesia*, 715–740. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-49798-5.00028-0>

Noble, L. J., Souza, R. R., & McIntyre, C. K. (2018). Vagus nerve stimulation as a tool for enhancing extinction in exposure-based therapies. *Psychopharmacology*, 236(1), 355–367. <https://doi.org/10.1007/s00213-018-4994-5>

Perez, J. M., Rathz, D. A., Petrashevskaya, N. N., Hahn, H. S., Wagoner, L. E., Schwartz, A., ... Liggett, S. B. (2003). B1-adrenergic receptor polymorphisms confer differential function and predisposition to heart failure. *Nature Medicine*, 9(10), 1300–1305. <https://doi.org/10.1038/nm930>

Proskocil, B. J., & Fryer, A. D. (2005). β 2-Agonist and Anticholinergic Drugs in the Treatment of Lung Disease. *ATS Journals*. Geraadpleegd van <https://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1513/pats.200504-038SR>

Rietveld, S., & van Beest, I. (2007). Rollercoaster asthma: When positive emotional stress interferes with dyspnea perception. *Behaviour Research and Therapy*, 45(5), 977–987. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2006.07.009>

Rizvi, M. H., AbdulAzeem, M., & Savanur, A. (2019). Effects of adrenaline on contractility and endurance of isolated mammalian soleus with different calcium concentrations. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 40(3–4), 373–378. <https://doi.org/10.1007/s10974-019-09551-9>

Rydström, I., Englund, A. C., & Sandman, P. O. (1999). Being a child with asthma. *Pediatric nursing*, 25(6), 589–593.

Santman, F. W. (2017). Veelgebruikte geneesmiddelen. *Intensieve geneeskunde*, 565–590. https://doi.org/10.1007/10.1007/978-90-368-1469-0_40

Smeenck, F. W. J. M. (2008). Welke normaalwaarden voor de peakflow moeten bij volwassenen met een kleine lichaamslengte worden gehanteerd? De meest gestelde vragen over: astma, 77–80. https://doi.org/10.1007/978-90-313-6591-3_19

Taylor, S. E., Klein, L. C., Lewis, B. P., Gruenewald, T. L., Gurung, R. A. R., & Updegraff, J. A. (2000). Biobehavioral responses to stress in females: Tend-and-befriend, not fight-or-flight. *Psychological Review*, 107(3), 411–429. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.107.3.411>

Taylor, S. E. (2006). Tend and Befriend. *Current*

Directions in Psychological Science, 15(6), 273–277. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2006.00451.x>

Thorat, Y. T., Salvi, S. S., & Kodgule, R. R. (2017). Peak flow meter with a questionnaire and mini-spirometer to help detect asthma and COPD in real-life clinical practice: a cross-sectional study. *npj Primary Care Respiratory Medicine*, 27(1). <https://doi.org/10.1038/s41533-017-0036-8>

Veen, J. C. C. M., & Chavannes, N. H. (2007). Pathofysiologie en etiologie. Het astma formularium, 11–22. https://doi.org/10.1007/978-90-368-1058-6_1

Het verband tussen de conditie en het allocentrische ruimtelijk visueel geheugen bij adolescenten

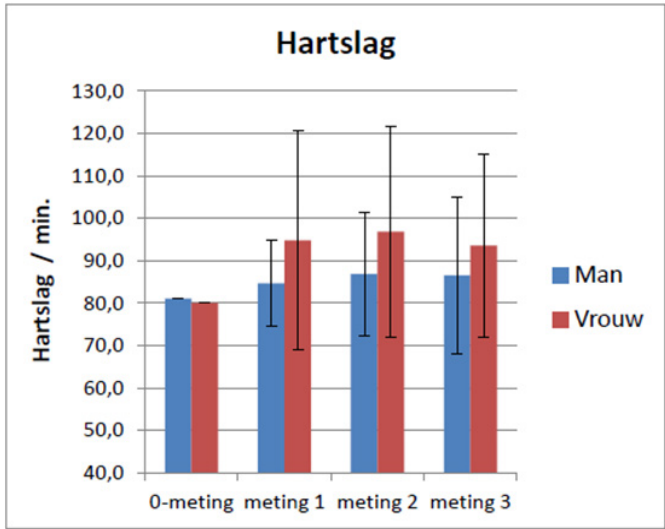
S. Varsovia³ , S.J.A. Jansen⁴ , R. Kamperman² , E. Bouman³ , A. Balt¹ , A.A. ten Cate¹

¹ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

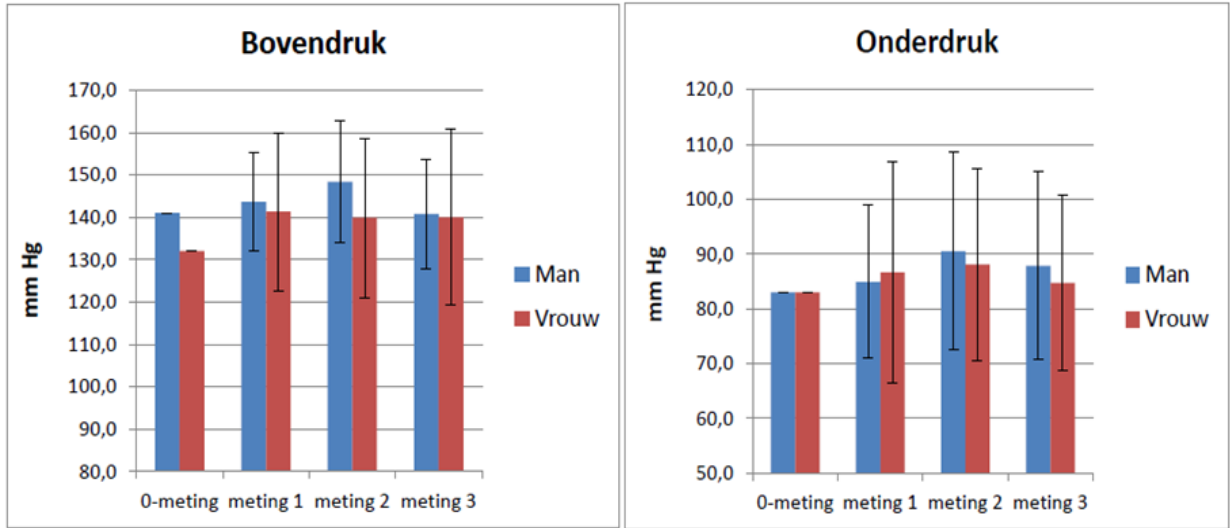
² Sg. Canisius Scholengemeenschap, Almelo

³ Staring College, Lochem

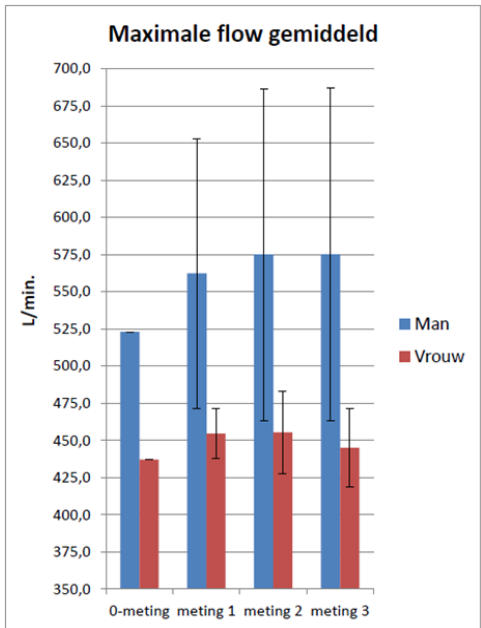
⁴ Stedelijk Lyceum Kottenpark, Enschede



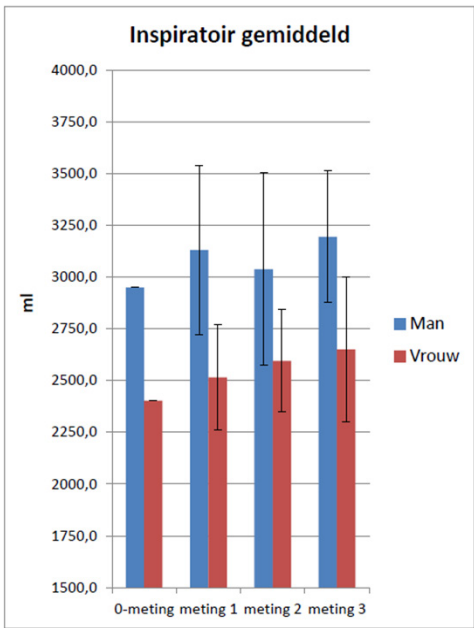
Figuur 1: De hartslag (hartslag/min.) bij mannen (blauw) en vrouwen (rood) gemeten tijdens de nulmeting en na iedere achtbaanrit. $p_{mannen} > 0,05$ bij alle metingen t.o.v. nulmeting. $p_{vrouwen} < 0,05$ bij alle metingen t.o.v. nulmeting



Figuur 2a en 2b: De boven- en onderdruk (mm Hg) bij mannen (blauw) en vrouwen (rood) gemeten tijdens de nulmeting en na iedere achtbaanrit. Bij zowel mannen als vrouwen $p > 0,05$ bij bovendruk en bij onderdruk t.o.v. nulmeting.



Figuur 3: Maximale flow (L/min.) bij mannen (blauw) en vrouwen (rood) gemeten tijdens de nulmeting en na iedere achtbaanrit. $p_{mannen} > 0,05$ bij alle metingen t.o.v. nulmeting. $p_{vrouwen} < 0,05$ bij meting 1 en meting 2 t.o.v. nulmeting



Figuur 4: Inspiratoir vermogen (ml) bij mannen (blauw) en bij vrouwen (rood) gemeten tijdens de nulmeting en na iedere achtbaanrit. $p_{mannen} < 0,05$ bij meting 3 t.o.v. nulmeting, $p_{vrouwen} < 0,05$ bij alle metingen t.o.v. nulmeting.

Abstract - The goal of this study is to show if the correlation between spatial memory and fitness can be seen with adolescents (ages 13 to 21) and if this correlation is dependent on physical effort or congenital fitness. This study will focus on the allocentric spatial memory, which is responsible for an internal display of reality and the location of objects in relation to one another. In this study, 22 healthy participants were divided into two categories: athletes (performed physical effort at least 2 times a week) and non-athletes (have never been professional athletes before and are at least 6 months in a state of total rest, excluding everyday cycling and PE). The Sub-maximal Åstrand (cycling) Test was used to measure the sub-maximal oxygen intake (VO2max), which is a measurement of fitness. The allocentric spatial memory was measured with a matrix test: The Visual Pattern Test (VPT). The results indicated that the linear correlation between the allocentric spatial memory and the congenital fitness was insignificant and strong ($p = 0,051$, $r = 0,81$) in girls aged 15 to 18 years. Furthermore, there was a weak insignificant linear correlation ($p = 0,21$, $r = 0,22$) found between the score on the VPT and the VO2max in non-athlete girls aged 15 to 18 years and there was a significant correlation ($p = 0,022218228$) between the allocentric spatial memory and the nominal values (good, bad) of fitness in girls who were non-athletes. Boys and athletes showed no trend. These results might point out that the correlation between physical fitness and spatial memory is dependent on physical effort and the type of sport that is exercised. A lot of cycling seemed to improve the physical fitness as well as the allocentric spatial memory.

Introductie

Geheugenverlies is een onderdeel van het verouderingsproces. Wetenschappers proberen erachter te komen hoe deze achteruitgang voorkomen kan worden door mensen met weinig geheugenverlies te vergelijken met mensen met veel geheugenverlies. Eén van de vondsten is dat ouderen (55-82 jaar) met een betere conditie, een beter ruimtelijk geheugen hebben dan volwassenen met een slechtere conditie (Voss et al., 2013; Szabo et al., 2011; Hayes, 2016). Het verband tussen de conditie en het ruimtelijk geheugen (Capritto, 2019) is onduidelijk en eist nader onderzoek.

VO2max is de maximale zuurstofopname in het bloed in milliliters per kilogram per minuut. Het is een mate voor de conditie, waaraan nominale waarden toegediend kunnen worden (tabel 1, 2) om de conditie te beoordelen. Iemand met een hoge VO2max heeft een betere interactie met het respiratoir, cardiovasculair en neuromusculaire systeem (Capritto, 2019), waardoor iemand bij een hoge intensiteit een redelijke lage hartslag heeft. Met andere woorden is de VO2max een aanduiding van het uithoudingsvermogen. Conditie is een verzameling van factoren met betrekking tot de gezondheid en vaardigheden die een persoon bezit (Caspersen et al. 1985). De conditie is afhankelijk van fysieke inspanning en is gedeeltelijk erfelijk bepaald. Het erfelijke deel vormt de basisconditie van een persoon, ook wel de aangeboren conditie genoemd. Mensen met een goede aangeboren conditie hebben met weinige fysieke inspanning een hogere VO2max dan anderen die evenveel sporten. Vanaf de puberteit kan iemand beginnen met het opbouwen van zijn of haar conditie. De conditie op dat moment is dan de opgebouwde conditie. De VO2max kan stijgen van 5 tot 25% boven de aangeboren conditie (Thaens, 2015). Deze opgebouwde conditie moet echter worden onderhouden met regelmatige inspanning (Geukens, 2015; Mujika & Padilla, 2001). Deze kan namelijk helemaal verloren gaan tot de basisconditie door middel van

een periode totale rust (met de verhouding 2 maand intensief sporten: 1 maanden totale rust). Er wordt van totale rust gesproken, wanneer er geen lichamelijke oefeningen of sport gedaan wordt (Geukens, 2015; Mujika & Padilla, 2001). Dit sluit ook fietsen en gymmen in. Bij topsporters is het echter onmogelijk om de opgebouwde conditie compleet te verliezen (Mujika & Padilla, 2001).

Volgens de onderzoeken van Erickson (2011) en Duman (2005) zorgt fysieke inspanning ervoor dat behalve de conditie ook het ruimtelijk geheugen verbeterd wordt bij volwassenen en ouderen. Fysieke inspanningen stimuleren namelijk de aanmaak van een zenuwstimulerende factor, genaamd Brain-derived neurogenic factor (BDNF). BDNF stimuleert op zijn beurt de neurogenese in het ruimtelijk geheugen, waardoor het geheugen zich verbetert. Het ruimtelijk geheugen wordt door de hippocampus en deels door naburige weefsels in het limbisch systeem geregeld (Shrager, 2007). De hippocampus is verantwoordelijk voor het aanmaken van nieuwe herinneringen en dient als een overgangspunt tussen het korte en het lange termijn geheugen (Yassa, 2018; Dresden, 2017; Cherry, 2019). Het ruimtelijk geheugen slaat informatie op over de locatie van een object of persoon (Spatial Memory). Deze informatie kan vanuit twee referentiekaders worden opgeslagen: het egocentrisch of het allocentrisch referentiesysteem (Voss et al., 2013). Met het egocentrisch referentiesysteem wordt de informatie opgeslagen als de locatie van een object ten opzichte van jezelf. Zo weet iemand hoe hij moet lopen om op een specifieke plek te komen. Met het allocentrisch referentiesysteem wordt de informatie opgeslagen als de locatie van een object ten opzichte van een ander object. De informatie wordt dan in de vorm van een 'mentale kaart' onthouden (Voss et al., 2013) als een soort interne representatie van de buitenwereld (Okada, 2017). Het vormen van een 'mentale kaart' komt door de 'Place cells' die zich in en rondom de hippocampus bevinden (Okada et al., 2017). Elke 'Place cell'

codeert een specifieke ruimtelijke locatie, waardoor iemand precies weet waar een object zich bevindt in een bepaalde omgeving (O’Keef, 1971; Okada et al., 2017).

De informatie van het ruimtelijk geheugen wordt deels opgeslagen in het ‘visuospatial sketchpad’, een onderdeel van het werkgeheugen dat visuele en ruimtelijk informatie opslaat (Jansen, 2018). Hierdoor wordt het gedeelte waarbij zowel ruimtelijke als visuele informatie opgeslagen wordt ‘het ruimtelijk visueel geheugen’ genoemd (Jansen, 2018). Het visuospatial sketchpad heeft een sterke correlatie met de intelligentie (Vos, 2012; De Kogel et. al 2017) en kan slechts een beperkte hoeveelheid aan korte termijn informatie opslaan (Mathijssse, 2019). Daarnaast heeft alcohol een schadelijk effect op het geheugen en werkt cafeïne als een versterkend middel op het geheugen (Jellinek, 2017; Heerema, 2019). Naast het visueel geheugen spelen verbale codes ook een rol op de manier waarop ruimtelijke informatie onthouden wordt. Daarom is het belangrijk om bij het maken van visuele matrix testen slecht te verwoorden patronen te gebruiken (Brown, Forbes, & McConnell, 2006).

Het positieve verband tussen het ruimtelijk geheugen en de conditie bij ouderen is volgens het samenvattend onderzoek van Rigdon & Loprinzi (2019) slechts door 4 studies bestudeerd (Voss et al., 2010; Szabo et al., 2011; Weinstein et al., 2011; Oberlin et al., 2015) en slechts één studie heeft hetzelfde effect bij jonge volwassenen onderzocht (Hayes, 2016). Uit de studie van Hayes (2016) is gebleken dat er een positief verband is tussen de conditie en het ruimtelijk geheugen bij ouderen, maar niet bij jongere volwassenen tussen de 18 en 31 jaar oud. Het is bij deze studie niet duidelijk of het verband afhankelijk is van fysieke inspanning of dat het verband bij de aangeboren conditie ligt (Rigdon & Loprinzi, 2019). In het artikel van Huertas et. al (2019) blijkt wel dat een verbetering in het geheugen samenhangt met lichamelijke beweging en niet met de level van conditie. Het doel van dit onderzoek is daarom om erachter te komen of het aangetoonde verband inderdaad afhankelijk is van fysieke inspanning of van de aangeboren conditie. Er was daarnaast in deze onderzoeken niet gekeken of het verband ook bij adolescenten aanwezig is. Adolescentie is een cruciale periode in de ontwikkeling van de hersenen. De aanmaak van nieuwe hersencellen (= neurogenese) tijdens de adolescentie zal ervoor zorgen dat het geheugenverlies op later leeftijd beter wordt voorkomen dan wanneer de neurogenese op latere leeftijd plaatsvindt (Middleton LE et al., 2005; Jeon YK et al., 2017). Deze studie zal dus ook kijken of dit verband bij adolescenten aanwezig is.

De centrale vraag van dit onderzoek luidt als volgt: Is het verband tussen de conditie en het ruimtelijk visueel geheugen afhankelijk van de aangeboren of de opgebouwde conditie bij mensen van 13 tot en met 21 jaar van het niveau VWO, Gymnasium of WO?

Volgens het onderzoek van Huertas (2019) en Ferris (2006) zal het verband tussen de conditie en het ruimtelijk visueel geheugen afhankelijk zijn van de opgebouwde conditie, niet van de conditie van nature. Daarnaast is de verwachting dat er geen verband zal zijn tussen het ruimtelijk geheugen en de conditie bij adolescenten, omdat bij jonge volwassenen ook niet het geval is (Hayes, 2016).

Materiaal en Methode

Dit onderzoek telde in totaal 22 participanten tussen de 13 en 21 jaar oud. De VO2max van mannen en vrouwen kon

niet vergeleken worden. Daarom zijn de meisjes en jongens gescheiden en verdeeld onder sporters en niet-sporters. De groep van de sporters representeerde de opgebouwde conditie en de groep van de niet-sporters de aangeboren conditie. Groep 1 bestond uit 6 sporters meisjes, groep 2 uit 6 niet-sporters meisjes, groep 3 uit 6 sporters jongens en groep 4 uit 4 niet-sporters jongens. De groep van de sporters sportte minimaal 2 keer per week boven de aerobe drempel (60% van de maximale hartslag), sommigen waren topsporters. De niet-sporters bevinden zich minimaal 6 maanden in totale rust, maar fietsten wel dagelijks naar school en gymden één keer per week. Bovendien zijn de proefpersonen uit de niet-sportersgroep geen topsporters, omdat hun conditie anders niet gelijk is aan de aangeboren conditie. Aan de hand van een vragenlijst is er bepaald of de participanten zich in totale rust bevonden en of ze minimaal 2 keer per week sporten. Na de tests werden de niet-sporters meisjes gevraagd hoe lang ze dagelijks naar school fietsen en of ze voor een bijbaan veel lichamelijke inspanningen moeten verrichten.

Alle participanten waren van het niveau VWO, Gymnasium of WO om intelligentieverschil te verkleinen (Vos, 2012; De Kogel et. al 2017). De participanten zijn gevraagd om door te geven wanneer ze minimaal 2 uur van tevoren een taak hebben uitgevoerd die veel geheugen vergde (Mathijssse, 2019). Dit werd meegenomen om concentratieproblemen te verklaren. Om een afwijkende hartslag te vermijden en om eventuele beïnvloeding van het geheugen te minimaliseren kregen de proefpersonen de instructie om minimaal 24 uur van tevoren geen cafeïnehoudende producten of alcohol in te nemen (Jellinek, 2017; Heerema, 2019). Als laatste is de instructie gegeven om vlak voor de conditietest geen grote maaltijd te eten, aangezien de spieren en het verteringsstelsel tegelijkertijd zuurstofrijk bloed nodig hebben als er gegeten wordt net voor het sporten. Het bloed gaat dan eerder naar de spieren, waardoor maagklachten kunnen ontstaan.

In dit onderzoek was de Visual Patterns Test (VPT) gebruikt. Een VPT is een valide meting voor het allocentrisch ruimtelijk geheugen. De VPT meet namelijk het vermogen waarbij een persoon objecten ten opzichte van elkaar kan onthouden. Dit vermogen was weer te testen door het patroon te laten reproduceren. De test was zelf met C# ontworpen aan de hand van een bestaande klinisch bewezen VPT (Jansen, 2018). De test is gecontroleerd op validiteit aan de hand van het COTAN beoordelingssysteem (Nederlands Instituut van Psychologen, 2010). De test begon met een lege matrix van 2x2 hokjes, waarna de helft van de hokjes rood werd gekleurd in een bepaald patroon gedurende 2 seconden. Vervolgens verscheen gedurende twee seconden dezelfde matrix, maar leeg. Daarna konden de proefpersonen het patroon namaken (zie figuur 6). Bij een correct matrix werd de matrix met 1 hokje vergroot, tot een maximum van 5x5. Bij een fout antwoord kreeg de participant een tweede kans met een matrix van dezelfde grootte. De test was afgelopen als een matrix 2 keer fout werd nagemaakt. De grootte van de laatste correcte matrix is de score op de VPT. De patronen bestonden slechts uit slecht te verwoorden patronen, om de invloed van verbale code op de manier waarop onthouden werd uit te sluiten (Brown, Forbes, & McConnell, 2006).

Voor het meten van de VO2max is de Submaximale Åstrand Test (SAT) gebruikt. Het was niet mogelijk om een maximale test uit te voeren, omdat we daartoe niet bevoegd waren. SAT is een middelmatig betrouwbare test voor de benadering van de

daadwerkelijke VO2max. De maximale VO2 wijkt tweederde deel van de metingen ongeveer 5.6ml/kg/min af van de VO2max gemeten door de SAT (Cink & Thomas, 1981). Voor de SAT is een Polar Pacer Tester (voor de hartslag) en een fietsergometer gebruikt. Voor de test is de standaarduitvoering gehanteerd van de meetinstrumentenzorg. Voor het berekenen van de VO2max (L/min) is de Astrand-Rhyming Nomogram (figuur 7) gebruikt en de formule: $VO2max \text{ (ml/kg/min)} = ((VO2max \text{ (L/min)} * \text{Correctiefactor leeftijd (tabel 3)}) / \text{gewicht (kg)}) * 1000$. Bij het bepalen van de VO2max (L/min) is het gewicht, het wattage (de belasting voor de participant) en de gemiddelde hartslag van de 5de en 6de minuut van de test gemeten. Op de Astrand-Rhyming Nomogram (figuur 7) worden deze waardes aangestipt en vervolgens een lijn doorheen getrokken om de VO2max (L/min) af te lezen. Daarnaast zijn tabellen 1, 2 en 3 gebruikt om de conditie te beoordelen aan de hand van de uitgerekende VO2max.

Voorafgaand werd een enquête afgenomen over de sportgeschiedenis, gezondheidstoestand en over de huidige stand van zaken m.b.t. het sporten. De proefpersonen werden afgewezen wanneer ze een hersenaandoening hadden of wanneer ze vroeger topsporters waren en momenteel inactief zijn. Ook werden de proefpersonen afgewezen wanneer ze het protocol niet hadden gevolgd. De testen werden afgenomen op 5 verschillende dagen, verdeeld over 4 weken. Eerst kregen de proefpersonen de gelegenheid om tot rust te komen en om te wennen aan de omgeving. Vervolgens werd de VPT op een laptop in een gesloten ruimte afgenomen. Een maximum van 2 proefpersonen werden tegelijkertijd getest, omdat er steeds 1 observator aanwezig moest zijn (er waren 2 observatoren). De proefpersonen kregen eerst instructie en uitleg over de test, daarna kon de proefpersoon zelf beginnen met een test. De observator noteerde de duur van de test, aantal pogingen en de VPT-score. Wanneer een proefpersoon onverwachts afgeleid werd (bijvoorbeeld door een plotseling hard klinkend geluid), werd de VPT na 10 minuten opnieuw afgenomen. Daarna werd de SAT afgenomen. Er werd eerst instructie gegeven, daarna werd de hartslagband net onder het borstbeen omgedaan. Vervolgens werd er nagegaan of de hartslagmeter contact had met de fietsergometer. Indien de proefpersoon een droge huid had, werden de elektrodes nat gemaakt, anders werd een nieuwe hartslagmeter omgezet of de hartslagmeter werd hoger of lager gezet op de borst. Vervolgens werd het zadel zo versteld dat de knie ongeveer 170° gebogen was. Hierna deed de proefpersoon een opwarming door 2 minuten te fietsen. Daarna werd stap voor stap gedurende 4 minuten het wattage opgevoerd tot de hartslag rond de 130 sl/min lag. Om de minuut werd de hartslag genoteerd. In de 5de en 6de minuut werd het wattage niet meer opgevoerd, zodat de proefpersoon de ‘steady state’ van ± 5 sl/min verschil zou bereiken. Hierbij werd om de 15 seconden de hartslag genoteerd. Indien de ‘steady state’ niet werd bereikt, werd de test verlengd in stappen van 15 seconden. Om de test betrouwbaar te houden werd erop gelet dat de proefpersoon constant op 60 omwentelingen per minuut fietste. Daarnaast mocht de proefpersoon niet veel praten tijdens de test om onregelmatigheden in de hartslag te voorkomen.

Resultaten

In figuur 1 zijn de waarden van de VO2max uitgezet tegenover de scores op de VPT. Met behulp van dit figuur is de vraag of er een correlatie is tussen de VO2max en de VPT bij adolescenten te beantwoorden. De trendlijn bij de meisjes gaf

een correlatiecoëfficiënt van 0,39. Significantie berekeningen hierbij gaven $F = 1,805801898$ en $p = 0,208707485$.

In figuur 1 is echter geen trend te zien bij de correlatie tussen de score op de VPT en de VO2max bij de jongens. Hierbij was de correlatiecoëfficiënt 0,22.

In figuur 2 kon een trendlijn getrokken worden tussen de VO2max en de score op de VPT bij de groep van vrouwelijke niet-sporters. De significantie berekeningen hierbij gaven $F = 7,6$; $p = 0,051$ en $r=0,81$ als resultaat. Bij de vrouwelijke sportersgroep gaven significantie berekeningen bij de correlatie tussen de VO2max en de VPT score $F = 1,319525$ en $p = 0,314697$.

In figuur 3 was er bij de mannelijke niet-sporters geen trend te zien voor de correlatie tussen de VPT score en de VO2max. Significantie berekeningen gaven hier $F = 2,3$ en $p = 0,42$. De significantie berekeningen bij de correlatie tussen de VO2max en de VPT score bij mannelijke sporters gaven $F = 0,214451$ en $p = 0,667375$.

In de figuur 4 zijn de categorieën van conditie uitgezet tegenover het gemiddelde aantal hokjes gescoord op de VPT. Bij een ‘redelijke’ conditie scoorden sporters gemiddeld 2,5 hokje meer dan niet-sporters. Bij een beoordeling van een ‘gemiddelde’ conditie scoorden beide groepen gemiddeld even hoog op de VPT. Bij de niet-sporters was hierbij de standaarddeviatie afgerond 1,7 en bij de sporters 0. Bij een categorisering van ‘goede’ conditie scoorden sporters gemiddeld 6,7 hokje meer dan niet-sporters. Bij een ‘zeer goede’ conditie scoorden niet-sporters gemiddeld 2,75 hokjes meer dan sporters. Bij een ‘uitstekende’ conditie scoorden niet-sporters gemiddeld 5,3 hokjes meer dan sporters. Significantie berekeningen bij de gemiddelde score op de VPT en de conditie bij sporters gaven $F = 0,115733533$ en $p = 0,74011644$. Significantie berekeningen bij de gemiddelde VPT score en de conditie bij niet-sporters gaven $F = 7,997630332$ en $p = 0,022218228$. Verder scoorden de sporters gemiddeld 19.5 hokjes en de niet-sporters 18.5 hokjes. De T.Test gaf een waarde van $p=0,199991$. Bovendien scoorden de vrouwelijke sporters 1,5 hokje meer op de VPT dan de mannelijke sporters. De meisjes hadden gemiddeld 20,3 hokjes en de jongens 18.8 hokjes.

Conclusie

Over het verband tussen het ruimtelijk visueel geheugen en de aangeboren conditie kan geen conclusie worden getrokken, omdat 83,3% van de niet-sporters zich niet in totale rust bevonden.

Er is tussen het ruimtelijk geheugen en de conditie een zwak lineair verband te zien bij meisjes tussen de 15 en 18 jaar. Dit verband is echter niet significant, want als $p > 0,05$ dan is er statistisch een te grote kans op toeval. Bij de jongens tussen de 13 en 21 jaar is geen trend te zien.

Wel is gebleken dat hoe langer niet-sporters naar school moesten fietsen, hoe beter het ruimtelijk geheugen was (Figuur 5). De hypothese kan dus deels bevestigd worden, aangezien dit resultaat een indicatie is dat het sporten zowel het ruimtelijk geheugen als de conditie heeft verbeterd (Erickson, 2015; Huertas 2019; Lee T. Ferris, 2006).

De hypothese wordt ook deels bevestigd door het feit dat de sporters, onafhankelijk van hun conditie, gemiddeld één hokje hoger scoren op de VPT dan de niet-sporters. Dit is niet significant. Verder is er bij de correlatie tussen de score op de VPT en de nominale waarden van de conditie wel een significante correlatie gevonden bij de niet-sporters. Dit kan

een aanduiding zijn dat het ruimtelijk geheugen verbetert als er regelmatig wordt gesport. Dezelfde trend was bij de sporters niet te zien en het effect was niet significant. Verder is er geen verband bij de vrouwelijke sporters en ook niet bij de jongens, zowel de sporters als niet sporters. Deze effecten zijn niet significant.

Discussie

Het belangrijkste discussiepunt van dit onderzoek is dat de conditie van de niet-sporters niet gelijk is aan de aangeboren conditie. De niet-sporters fietsten namelijk dagelijks naar school. Ook gymden de participanten maximaal één keer per week op school. Dit beïnvloedt de conditie van de niet-sporters, waardoor de conditie niet meer gelijkgesteld kan worden aan de aangeboren conditie. Er kunnen dus geen conclusies worden getrokken over de invloed van de aangeboren conditie op het verband tussen de conditie en het ruimtelijk geheugen. Dit maakt het onderzoek minder valide.

Ook wordt de validiteit lager door het feit dat de SAT een eenzijdige conditietest is; alleen de fietsconditie wordt gemeten. Hierdoor zijn proefpersonen die dagelijks naar school fietsen in het voordeel. Ook wordt maar één van de vijf onderdelen van de werkelijke conditie gemeten, namelijk het uithoudingsvermogen. Om de conditie beter te kunnen bepalen zouden de andere vier onderdelen, namelijk de flexibiliteit, spierkracht, snelheid en coördinatie, ook gemeten moeten worden.

De betrouwbaarheid van dit onderzoek is ook lager. De VO2max, gemeten door de SAT, is namelijk een betrouwbare mate voor de conditie (Cink & Thomas, 1981), maar de SAT is een middelmatig betrouwbare test voor de benadering van de daadwerkelijke VO2max. De maximale VO2 wijkt namelijk bij tweederde deel van de gevallen 5,6 ml/kg/min af van de gemeten VO2max (Cink & Thomas, 1981). In deze studie is deze afwijking nog hoger, omdat een aantal participanten langer dan de voorgeschreven 6 minuten moesten fietsen om ‘steady state’ te bereiken (Cink & Thomas, 1981).

De zelfgemaakt VPT, waarmee het allocentrisch ruimtelijk geheugen is getest, is echter wel betrouwbaar en valide. Deze versie van de VPT is namelijk nauw gebaseerd op de officiële versie en is beoordeeld op validiteit aan de hand van het COTAN beoordelingssysteem. Zo voldoet de VPT aan de eisen waaraan een betrouwbare en valide VPT moet voldoen. Er was één geval waarbij tijdens het afnemen van de VPT een plotseling hard geluid te horen was, waardoor de concentratie van de participant werd verbroken. De participant mocht na 10 minuten de test opnieuw doen. De participant had echter bij beide pogingen dezelfde score. Dit heeft de resultaten en dus de betrouwbaarheid niet beïnvloed.

Ook is het testen van het intelligentieniveau minder betrouwbaar. Deze is namelijk ingesloten door alleen participanten van het VWO of WO te nemen, maar is niet getest.

Verder is het feit dat er geen trend te zien was bij de jongens niet-sporters niet in overeenstemming met de verwachting dat er een trend te zien zou zijn, net als bij de meisjes, omdat er geen verschil zou moeten zijn tussen het ruimtelijk geheugen van de jongens en de meisjes (Fernandez-Baizana, 2018).

Dit kan verklaard worden door het feit dat de jongensgroep te weinig participanten bevatte. Ook kan het komen doordat er twee van de jongens in de groep van niet-sporters wél in totale rust waren, maar niemand van de meiden in de groep van niet-sporters in totale rust was. Hierom zou de trend bij de

niet-sporters meisjes aan fysieke inspanningen kunnen liggen, maar bij de jongens niet, waardoor er geen trend te zien is. Bovendien kan het zijn dat het verschil in intelligentie een rol speelt.

De hogere VPT score bij een hogere conditie komt overeen met onze verwachtingen. De hogere VPT score is namelijk een indicatie dat als er meer gesport wordt, het ruimtelijk geheugen verbeterd wordt. Het feit dat als er verder wordt gefietst er een hogere score wordt behaald op de VPT is hiervan een weergave. Een mogelijke verklaring hiervoor bieden de onderzoeken van Shrager (2007) en Erickson (2011) die concluderen dat door het verrichten van lichamelijk inspanningen neurotransmitters (BDNF), stoffen die gemaakt worden in een neuron en die impulsen overbrengen tussen synapsen, geactiveerd worden in de hersenen. De neurotransmitters verbeteren het geheugen. Een mogelijke verklaring voor het feit dat er geen trend te zien is tussen het ruimtelijk geheugen en de conditie bij de sporters is dat verschillende soorten sport een ander effect hebben op de hersenen (Lee T. Ferris, 2006). De participanten beoefenden allemaal verschillende soorten sporten. Om deze reden werd hun conditie verbeterd, maar het ruimtelijk geheugen niet per sé. Ook kan het verschil in intelligentie van de participanten een rol spelen.

De meeste van de keuzes die de betrouwbaarheid hebben beperkt zijn gemaakt vanwege het tijdgebrek. Het onderzoek moest in twee maanden uitgevoerd worden, waardoor alleen het uithoudingsvermogen kon worden getest en niet de volledige conditie. Ook kon de intelligentie niet nauwkeuriger worden bepaald. Verder konden er minder proefpersonen gezocht worden, wat veel invloed had op de significantie.

Het feit dat er weinig proefpersonen waren in totale rust kan verholpen worden met een budget. Er kunnen dan namelijk proefpersonen worden gezocht over heel Nederland, die nu niet konden meedoen aan het onderzoek in verband met de reiskosten. Ook kan er een beloning worden uitgetrokken voor participanten, waardoor het meedoen aan het onderzoek aantrekkelijker wordt en er meer participanten kunnen worden gevonden. Ook kan er met een budget de officiële versie van de VPT worden aangeschaft en kan er een dokter worden ingehuurd die wel bevoegd is een maximale conditietest af te nemen, waardoor het onderzoek betrouwbaarder wordt. Verder kan er een IQ-test worden aangeschaft, waardoor het intelligentieniveau nauwkeuriger te meten is.

Het feit dat een budget en een grotere steekproef de betrouwbaarheid en de validiteit kan verbeteren kan meegenomen worden in een vervolgonderzoek. Een onderzoek over de invloed van de aangeboren conditie op het ruimtelijk geheugen zou nauwkeuriger en uitvoeriger bestudeerd moeten worden, om een beter inzicht te krijgen over de invloed van de aangeboren conditie op het verband tussen het ruimtelijk geheugen en de conditie. Bij het meten en bepalen van de aangeboren conditie zou een langdurig onderzoek uitgevoerd kunnen worden, waarbij een enkele tweelingen tijdens de puberteit gevolgd worden. Ook moet er vervolgonderzoek gedaan worden naar het verband tussen de conditie en het ruimtelijk geheugen bij adolescente jongens. Het kan bovendien interessant zijn om het effect van BDNF op het ruimtelijk geheugen in adolescenten te onderzoeken. Ook is het aanbevolen om het effect van verschillende sporten op het ruimtelijk geheugen en de correlatie tussen conditie en het ruimtelijk geheugen in adolescenten verder te onderzoeken.

Bibliografie

Brown, L., Forbes, D., & McConnell, J. (2006, July). Limiting the use of verbal coding in the Visual Patterns Test. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*.

Capritto, A. (2019, Juli 27). VO2 max: Everything you need to know. Opgeroepen op 21 September 2019, van Cnet.com: <https://www.cnet.com/news/your-vo2-max-explained/>

Cherry, K. (2019, Juni 12). Hippocampus Role in the Limbic System. Opgeroepen op 12 September 2019, van Verywellmind.com: <https://www.verywellmind.com/what-is-the-hippocampus-2795231>

Dresden, D. (2017, December 7). What is the hippocampus? Opgeroepen op September 12, 2019, van medicalnewstoday.com: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/313295.php>

Erickson, K. I. (2011, February 15). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. Opgehaald van <https://www.pnas.org/content/pnas/108/7/3017.full.pdf>

Fernandez-Baizana, C., Arias, J. L., & Mendez, M. (2018, September 28). Spatial memory in young adults: Gender differences in egocentric and allocentric performance. Elsevier.

Heerema, E. (2019, Juli 26). Does Caffeine Improve Your Memory? Opgeroepen op September 14, 2019, van Verywellhealth.com: <https://www.verywellhealth.com/does-caffeine-improve-your-memory-98416>

Jansen, J. (2018, Januari 18). Ruimtelijk geheugen. Opgeroepen op Augustus 15, 2019, van Maxizorger.com: <http://maxizorger.com/article/ruimtelijk-geheugen>

Jellinek. (2017, februari). Hoe schadelijk is alcohol voor de ontwikkeling van je hersenen? Opgeroepen op September 12, 2019, van Jellinek.nl: <https://www.jellinek.nl/vraag-antwoord/hoe-schadelijk-is-alcohol-ontwikkeling-hersenen/Neuropsychologia> 2010, 48, 1394–1406.

John’O’Keefe. (1976). Place units in the hippocampus of the freely moving rat. *Experimental Neurology*, pp. 76-109.

Kazuya Suwabe, I. K. (2017, January 31). Acute Moderate Exercise improves mnemonic discrimination in Young adults. Retrieved from PMC: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5927776/>

Lee T. Ferris, J. S.-L. (2006, October). The effect of acute exercise on Serum BDNF levels and cognitive function. *Psychobiology and behavioral Strategies*, pp. 728-734.

Manja Mathijssse. (2019). 6. Werkgeheugen. Retrieved from Breincentrum: <https://www.breincentrum.com/6-werkgeheugen/>

Meetinstrumentenzorg: uitvoeringsstandaard Astrand Fietstest, Opgehaald van: <https://meetinstrumentenzorg.blob.core.windows.net/testdocuments/Instrument101/N.pdf>

Menno Bouwman, H. v. (2014). Zenuwstelsel. In M. Bouwman, Nectar 3de editie biologie (pp.173-175). Groningen: Noordhoff Uitgevers bv.

Michael A. Yassa, C. E. (2011). Pattern Separation in the hippocampus. *Trends in Neurosciences*, 515-525.

Nederlands Instituut van Psychologen. (2010). COTAN Beoordelingssysteem voor de kwaliteit van test. <https://www.psypip.nl/wp-content/uploads/2016/07/COTAN-Beoordelingssysteem-2010.pdf>

Oberlin, L.E.; Verstynen, T.D.; Burzynska, A.Z.; Voss, W.M.; Prakash, S.R.; Heyman, C.L.; Wong, C.; Fanning,

J.; Awick, E.; Gothe, N.; et al. White matter microstructure mediates the relationship between cardiorespiratory fitness and spatial working memory in older adults. *NeuroImage* 2016, 131, 91–101

Platje, E., Cornet, L., & de Kogel, C. (2017). Intelligentie, executieve functies en licht verstandelijke beperking in justitiecontext. Den Haag: Boom Uitgevers .

Rigdon, B., & Loprinzi, P. D. (2019, Mei 9). The Association of Cardiorespiratory Fitness on Memory Function: Systematic Review. *Medicina*, 55.

Sakura Okada, H. I. (2017, December 11). Spatial Representation of Hippocampal Place Cells in a T-Maze with an Aversive Stimulation. Retrieved from *Frontiers in Neural Circuits*: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncir.2017.00101/full>

Scott M. Hayes, D. E. (2014). Cardiorespiratory Fitness IS Associated With Cognitive Performance in Older but Not Younger Adults. *The Journals of Gerontology*, 474-482.

Spatial Memory. Spatial Memory (sd). Opgehaald van Encyclopedia.com: <https://www.encyclopedia.com/psychology/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/spatial-memory>

Szabo, A.N.; McAuley, E.; Erickson, K.I.; Voss, M.; Prakash, R.S.; Mailey, E.L.; Kramer, A.F. Cardiorespiratory fitness, hippocampal volume, and frequency of forgetting in older adults. *Neuropsychology* 2011, 25, 545–553.

THAENS, R. (2015). De VO2 max (deel 1). Brussel: running.be.

R.E.Cink, & Thomas, T. (1981). Validity of the Astrand-Rhyming Nomogram.. *Brit. J. Sports Med*, 182-185.

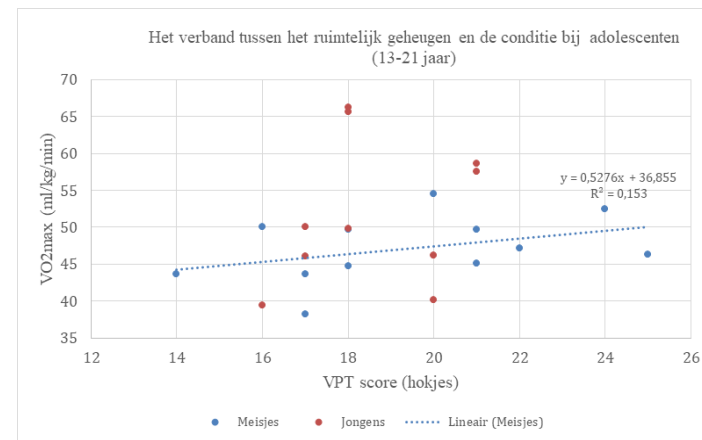
Visual Pattern Test. (n.d.). Retrieved from Neurobs: https://www.neurobs.com/manager/content/docs/psychlab101_experiments/Visual%20Patt

Voss, M.W.; Erickson, K.I.; Prakash, R.S.; Chaddock, L.; Malkowski, E.; Alves, H.; Kim, J.S.; Morris, K.S.; White, M.S.; Wjicki, T.R.; et al. Functional connectivity: A source of variance in the association between cardiorespiratory fitness and cognition?

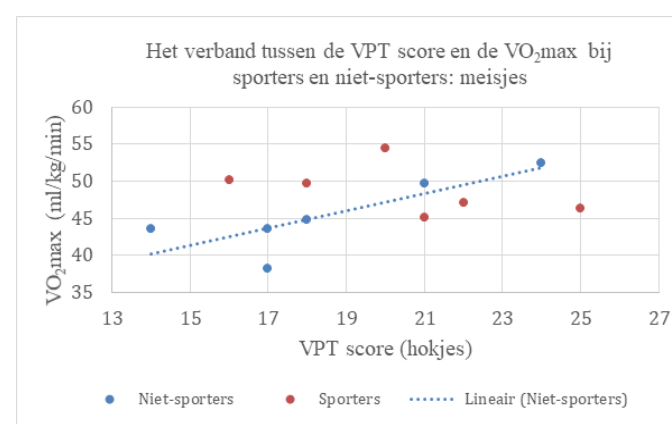
Weinstein, A.M.; Voss, M.W.; Prakash, R.S.; Chaddock, L.; Szabo, A.; White, S.M.; Wojcicki, T.R.; Mailey, E.; McAuley, E.; Kramer, A.F.; et al. The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume. *Brain Behav. Immun.* 2012, 26, 811–819.

Yael Shrager, P. J. (2007). Spatial Memory and the human Hippocampus. *PNAS*, 2961–2966.

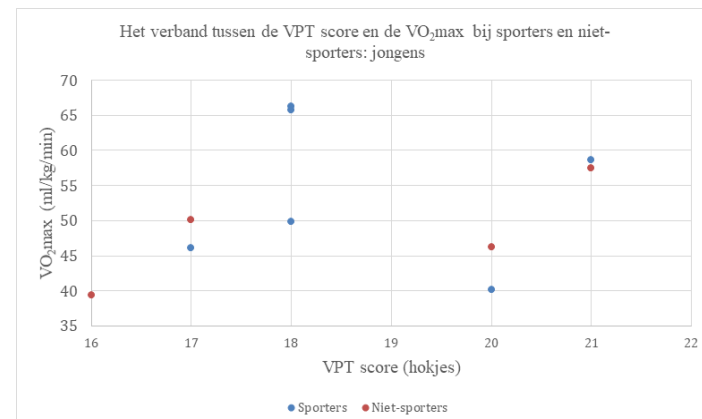
Willkins, L. W. (1995). ACSM Guidelines for Exercise Testing & Prescription, Edition 5. Wolter Kluwers



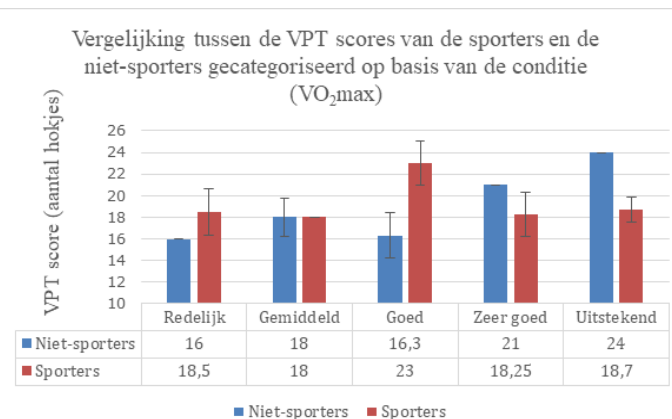
Figuur 1: Het verband tussen het ruimtelijk geheugen en de conditie bij adolescenten (13-21 jaar).



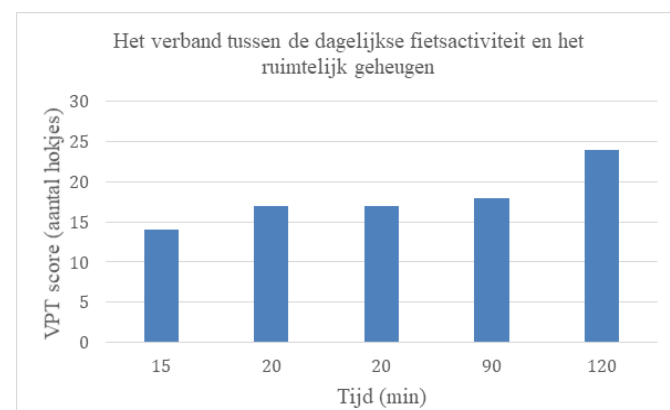
Figuur 2: Het verband tussen de VPT score en de VO2max bij sportende en niet-sportende meisjes



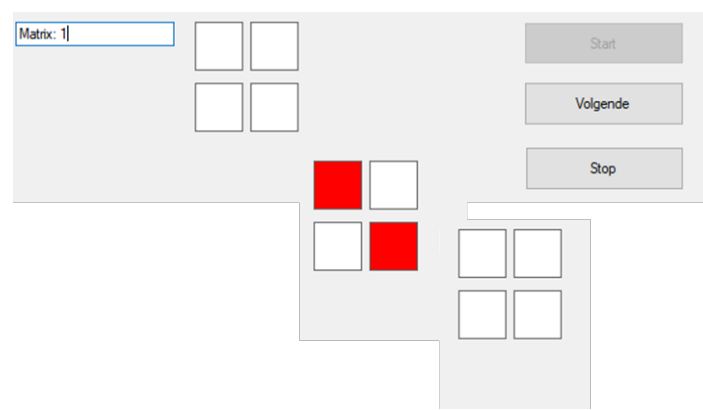
Figuur 3: Het verband tussen de VPT score en de VO2max bij sportende en niet-sportende jongens



Figuur 4: Vergelijking tussen de VPT scores van de sporters en niet-sporters gecategoriseerd op basis van de conditie (VO2max) + tabel met de gemiddelde VPT scores per groep. In deze grafiek zijn de meisjes en jongens gemixt, omdat bij de categorisering van de VO2max al rekening is gehouden met het verschil tussen mannen en vrouwen.



Figuur 5: Het verband tussen de dagelijkse fietsactiviteit en het ruimtelijk geheugen bij adolescenten meisjes tussen de 15 en 18 jaar oud die niet op een sport zitten.



Figuur 6: Voorbeeldweergave van de Visual Patterns Test die afgenomen werd tijdens deze studie.

Leeftijd	Zeet slecht	Slecht	Redelijk	Gemiddeld	Goed	Zeet goed	Uitstekend
13	<35,5	35,5-41,1	42,1-47,7	48,8-52,9	56,6-62,2	63,3-68,8	>68,8
15	<33,9	33,9-39,2	40,3-45,6	46,6-53	54,1-59,4	60,4-65,7	>65,7
16	>33	33-38,1	39,1-44,3	45,3-51,5	52,5-57,7	58,7-63,9	>63,9
17-21	<32	32-37	38-43	44-50	51-56	57-62	>62

Tabel 1: Normgegevens van de submaximale Åstrand Test Mannen (VO2max waarden in ml/kg/min) (gepubliceerd in Physical Therapy van Oxford academic).

Leeftijd	Zeet slecht	Slecht	Redelijk	Gemiddeld	Goed	Zeet goed	Uitstekend
13	<30	30-34,4	35,5-40	41,1-51,1	46,6-51,1	52,2-56,6	>56,6
15	<28,7	28,7-32,9	33,92-38,2	39,2-43,5	44,5-48,8	49,8-54,1	>54,1
16	>27,8	27,8-31,9	33-37,1	38,1-42,2	43,3-47,4	48,4-52,5	>52,5
17-21	<27	27-31	32-36	37-41	42-46	47-51	>51

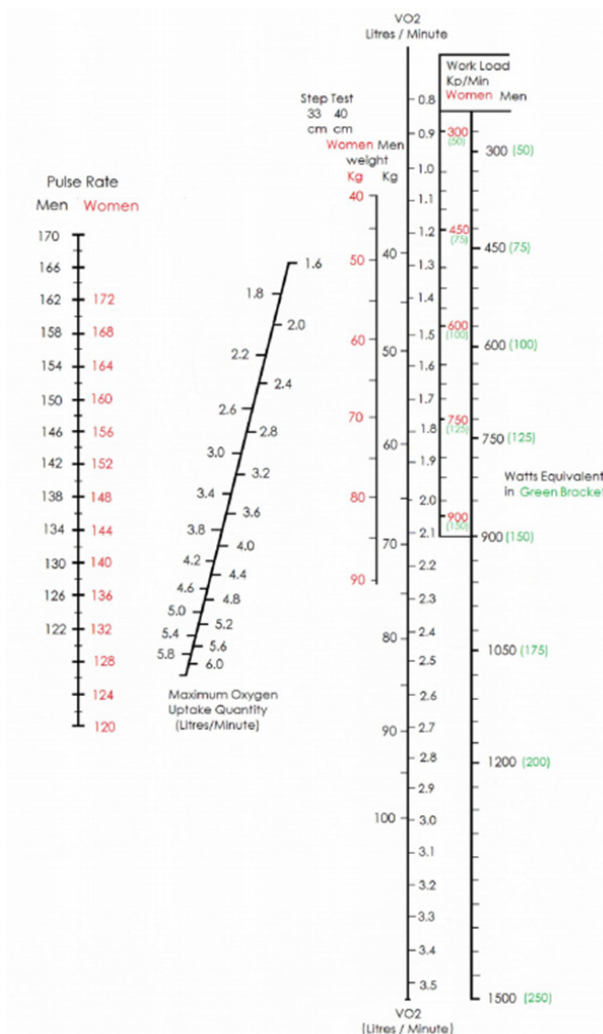
Tabel 2: Normgegevens van de submaximale Åstrand Test Vrouwen (VO2max waarden in ml/kg/min) (gepubliceerd in Physical Therapy van Oxford academic)

Leeftijd (jaren)	Correctiefactor ¹	Correctiefactor ²
13	1,12	1,11
15	1,10	1,06
16	1,09	1,03
17	1,08	1,00
18	1,07	0,993
19	1,06	0,986
21	1,05	1,00
25	1,00	1,00

Tabel 3: Leeftijdsfactoren 13-21 jaar VO2max (Noonan, 2000) Door lineaire te interpoleren zijn de correctiefactoren tussen 15 en 25 jaar berekend. Door lineaire te extrapoleren is de correctiefactor voor 13 jaar uitgerekend.

¹ Correctiefactor leeftijd voor de VO2max (L/min) bij de bepaling van de VO2max bij de Åstrand Test.

² Correctiefactor leeftijd voor de VO2max (ml/kg/min) voor de categorisering (tabel 2).



Figuur 7: Åstrand-Rhyming Monogram (Willkins, 1995)

Een onderzoek naar de geschiktheid van een zelfontworpen lesbrief deeltjesfysica voor 5 vwo

S. de Graaf¹, Y. Vos², M. Stegeman¹, H. van der Stam², E. Krolis³, E.M. Meijer³

¹ Staring College, Lochem

² Assink Lyceum, Haaksbergen

³ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - According to a survey among Dutch applied physics students from the University of Twente there is a demand for more prior knowledge about particle physics from physics at Dutch high-schools. Comparing the existing teaching materials about the subject found that none of the existing teaching materials could be worked though in a week and none of the existing teaching materials treated every subject the students wanted prior knowledge about. The purpose of this study is therefore to develop a hand-out about particle physics for 5 vwo students, which can be worked through within a week. The hand-out must contain the subjects which the applied physics students wanted prior knowledge about and must be able to be worked through in a week. The suitability of the hand-out for use in a 5 vwo class is tested by having a group of 5 vwo students work through the hand-out and by conducting a test and a survey about the hand-out among them. The suitability of the hand-out is also evaluated by five physics teachers. The test results from the students have been compared with their physics grades from the past year by means of a t-test. The test results show the hand-out to either have an above-average difficulty or to be ineffective in transferring knowledge. Interesting is however, that the survey among physics teachers shows that the teachers thought the hand-out to be of an adequate difficulty and would use the hand-out in a 5 vwo class. It appears that, in current condition, the hand-out is not suitable for 5 vwo students. Further research can investigate if an improved version of the hand-out can be suitable for 5 vwo students.

I. INTRODUCTIE

Deeltjesfysica is een tak in de fysica die ernaar streeft om de natuur en haar wetten in haar meest fundamentele bouwstenen te omschrijven. Van atomen, tot protonen en neutronen, tot quarks en wellicht later tot nog wel kleinere bouwstenen. [1,2] Op het voortgezet onderwijs is deeltjesfysica een keuzeonderwerp en niet vereist voor het examen.[3,4] Deeltjesfysica staat echter aan de basis van elk natuurkundig verschijnsel en is dan ook een apart vak in het curriculum van verschillende natuurkundige studies.[5,6] Om te bepalen of er een reden is om het keuzeonderwerp te behandelen is er een enquête onder twaalf Technische Natuurkunde studenten van de Universiteit Twente verspreid. Hierin geven ze aan dat ze vanuit het voortgezet onderwijs meer voorkennis over deeltjesfysica hadden willen hebben. Ook is uit onderzoek gebleken dat voorkennis positieve effecten heeft op zelfstandig leren.[7] Hieruit is vastgesteld dat leerlingen baat hebben bij het behandelen van het onderwerp op het voortgezet onderwijs. Hierna zijn de reeds bestaande lesmethoden, die het keuzeonderwerp behandelen, onderzocht. Daaruit blijkt dat in geen van de lesmethoden alle onderwerpen waarover studenten meer voorkennis willen hebben behandeld zijn.[8, 9, 10] Ook blijkt er geen enkele lesmethode die binnen een week behandeld kan worden.[8, 9, 10] Hierbij wordt uitgegaan van een schoolweek met 3 lesuren natuurkunde. Om deze reden is ervoor gekozen om een lesmethode te ontwikkelen die wel aan deze eisen voldoet.

Omdat een lesbrief structureel hetzelfde opgesteld kan worden als de meeste natuurkundeboeken, namelijk tekstueel, verdeeld in paragrafen en met opgaven om de theorie te oefenen,[11] en er weinig begeleiding bij nodig is, is vastgesteld dat een lesbrief een geschikte lesmethode voor dit onderzoek is. De doelgroep voor de lesbrief is 5 vwo leerlingen omdat er in 5 vwo ruimte is voor een keuzeonderwerp, in tegenstelling tot 6 vwo, en er geen mogelijkheid is voor een valide meting in 4

vwo.

Het doel van dit onderzoek is om een lesbrief voor 5 vwo leerlingen over deeltjesfysica te ontwikkelen die binnen een week behandeld kan worden en alle onderwerpen behandeld waarover de ondervraagde studenten voorkennis hadden willen hebben. De lesbrief (zie appendix E) wordt getest op de geschiktheid om in een 5 vwo klas te behandelen.

II. MATERIAAL EN METHODE

De onderwerpen waarover Technische Natuurkunde studenten meer voorkennis hadden willen hebben waren ‘spin’, ‘het standaardmodel’, ‘discretisatie van energie’, ‘fundamentele krachten’, ‘CERN’ en ‘dualiteit’. Verder bleek het nodig om het onderwerp ‘antimaterie’ te behandelen om een volledige weergave van het standaardmodel te kunnen geven en verschillende reactievergelijkingen toe te lichten. Naar eigen inzicht waren de onderwerpen ‘Higgs-boson’, ‘Majorana-fermion’ en ‘kwantumcomputer’ toegevoegd om verdieping te bieden en om de stof te koppelen aan verschijnselen waar veel leerlingen waarschijnlijk al van hebben gehoord.

A. Schrijven van de lesbrief

Voor dit onderzoek werd het SLO (Stichting leerplanontwikkeling) benaderd om informatie te verzamelen over het schrijven en evalueren van een lesbrief. Volgens het SLO is het creëren van samenhang met voortgaand lesmateriaal cruciaal bij het ontwikkelen van nieuw lesmateriaal.[12] In de lesbrief werd getracht een doorlopende leerlijn te creëren met de voorkennis van de leerlingen. Dit werd gedaan door onder andere de fundamentele krachten te behandelen waarvan leerlingen de formules al kenden en mee gerekend hadden, met als doel om het verband te leggen tussen een formule en natuurkundige verschijnselen. Informatie in de lesbrief werd gehaald uit secundaire en tertiaire bronnen. De theorie in de lesbrief moest begrijpelijk zijn voor 5 vwo leerlingen.

Om dit niveau te handhaven werd de lesbrief, gedurende het schrijfproces, beoordeeld door de natuurkundedocenten M. Stegeman 1, E. van der Avoird 1, J. Thijssen 1, H. van der Stam 2 en D. de Winter 2.

B. Het behandelen van de lesbrief

Drieëntwintig 5 vwo leerlingen van het Staring College te Lochem kregen de lesbrief en een uitwerkbijlage van de docent. De bedoeling was dat leerlingen elke les één van de drie paragrafen zouden behandelen. Leerlingen konden bij de docent terecht voor vragen over de lesstof. Daarnaast zou het leerlingen naar schatting een extra uur per paragraaf aan zelfstudie kosten. De uitwerkingen van de lesbrief werden digitaal beschikbaar gemaakt voor de leerlingen.

C. Het evalueren van de lesbrief

In november 2019 hadden de leerlingen de lesbrief en de opgaven doorgewerkt en kregen ze een toets (zie appendix F). Gezien dat deze periode een week na een toetsweek was, hadden de leerlingen geen andere toetsen,[13] hierdoor hadden de leerlingen de mogelijkheid om zoveel tijd in de lesbrief te steken als ze wilden. De toets werd samengesteld in samenwerking met M. Stegeman 1, die gewoonlijk ook de natuurkunde toetsen van 5 vwo samenstelt, zo werd de kwaliteit en het niveau van de toets gehandhaafd. De leerlingen werden getoetst op begrip van de theorie en het gebruik/omschrijven van formules gegeven in de lesbrief. De opdrachten in de toets waren gebaseerd op de opdrachten in de lesbrief om hetzelfde niveau te handhaven. De toets duurde vijftig minuten en werd in toetsopstelling afgenomen. De leerlingen maakten de toets tegelijkertijd om doorgeven van de vragen te voorkomen. Het gebruik van een Binas 6e editie en een (niet grafische) rekenmachine waren toegestaan, de Binas werd verstrekt door het Staring College te Lochem. Om een serieuze inzet van de leerlingen te bevorderen, kregen ze bij een voldoende op de toets een beloning. Bij de volgende toets zou voor deze leerlingen de opdracht die ze het slechtst gemaakt hadden niet meetellen bij de berekening van hun cijfer. De opgave telt dan niet meer mee voor het totaal aantal punten. Na de toets kregen de leerlingen een enquête. In de enquête gaven de leerlingen anoniem aan hoe moeilijk ze de toets vonden in vergelijking met de lesbrief. Ook konden de leerlingen aangeven hoeveel uren ze buiten de lessen besteed hebben aan de lesbrief en of ze onderwerpen uit de lesbrief niet begrepen hadden. Daarnaast konden leerlingen nog overige opmerkingen over de lesbrief, toets en enquête achterlaten. Naast het afnemen van de toets en de enquête werd de lesbrief onder vijf natuurkundedocenten verspreid: M. Stegeman 1, J. Thijssen 1, E. van der Avoird 1, H. van der Stam 2 en D. de Winter 2. Aan deze docenten werd gevraagd of de lesbrief op voldoende niveau was om in een vwo klas te behandelen en in welk leerjaar de lesbrief behandeld kon worden.

D. Analyseren van de resultaten

Het gemiddelde natuurkunde eindcijfer van de leerlingen van het vorige schooljaar werd vergeleken met de cijfers van de toets over de lesbrief. Om te beoordelen of er een significant verschil tussen de toetsresultaten en de eindcijfers waren, werd een ongepaarde t-toets uitgevoerd.[14, 15, 16] Het toepassen van deze statistische toets was mogelijk omdat de twee groepen onafhankelijk van elkaar zijn en ze beide normaal verdeeld zijn.[17, 18] Er werd gekozen voor een

alfa percentage van 1%.[19] Wanneer de t-toets uitwees dat de toetsresultaten significant afwijken van de eindcijfers kon dat een aantal dingen betekenen. De meest waarschijnlijke redenen voor de afwijking zijn dat de moeilijkheidsgraad van de lesbrief boven- of ondergemiddeld was, of dat de lesbrief meer of minder effectief was in het overbrengen van kennis dan de lesmethode waar de leerlingen normaal mee werkten. Het gemiddelde natuurkunde eindcijfer van de drieëntwintig 5 vwo leerlingen van het vorige jaar was een 6,7 met een standaarddeviatie van 1,0. Om de cijfers te berekenen werd een normering toegepast van (behaalde punten / totaal aantal punten) * 9 + 1. Volgens M. Stegeman 1, natuurkundedocent op het Staring College is dit de standaard normering die op het Staring College op natuurkunde toetsen wordt toegepast. Door het gemiddelde te nemen van het aantal uur dat buiten de les aan de lesbrief was besteed, kon bepaald worden of het aantal lesuren die de leerlingen kregen voldoende waren om de lesbrief te behandelen. Verder werd bepaald of de meerderheid van de leerlingen de toets te makkelijk of te moeilijk vond in vergelijking met de lesbrief. De overige resultaten uit de enquête werden gebruikt om kwalitatieve verbeterpunten over de lesbrief op te stellen.

De geschiktheid van de lesbrief om in de les te behandelen werd ook op een andere manier geëvalueerd. Vijf natuurkundedocenten beantwoordden de vragen of het niveau van de lesbrief voldoende is om in een vwo klas behandeld te worden en in welk leerjaar deze het best behandeld kan worden. Wanneer de meerderheid van de docenten het niveau van de lesbrief geschikt vonden en de resultaten van de toets niet significant afweken volgens de t-toets, was de lesbrief geschikt om in de les te behandelen.

III. RESULTATEN

A. Resultaten van de toets

De 5 vwo leerlingen hadden een gemiddeld cijfer van 5,4 voor de toets met een standaardafwijking van 1,8. Cijfers van 5 vwo varieerden van een 2,1 tot een 8,4. Alle vragen in de toets zijn ten minste één keer opgelost door een leerling. Zie appendix A voor een histogram met de resultaten van 5 vwo.

B. Resultaten van de enquête

81% van de ondervraagde leerlingen gaf aan dat de toets op hetzelfde niveau was als de lesbrief. 14% van de leerlingen gaf aan dat de toets moeilijker was en 5% van de leerlingen gaf aan dat de toets makkelijker was dan de lesbrief. In de 21 enquêtes werd van acht onderwerpen aangegeven dat ze niet begrepen zijn en werd vier keer aangegeven dat alle onderwerpen begrepen zijn. Vier leerlingen gaven aan niet serieus geleerd te hebben voor de toets. In appendix B zijn deze resultaten in een cirkeldiagram weergegeven en in appendix C is in een cirkeldiagram weergegeven met welke frequentie de onderwerpen genoemd waren. Van het onderwerp annihilatie werd het vaakst aangegeven dat het niet goed begrepen was. Leerlingen hadden gemiddeld één uur en dertig minuten buiten schooltijd aan de lesbrief gewerkt. In totaal hadden vijf leerlingen leerlingen zes overige opmerkingen achtergelaten. Daarin gaf één leerling aan dat hij/zij te weinig tijd had gekregen voor het maken van de lesbrief. Een leerling zei graag leerdoelen bij de lesbrief te hebben gehad en een leerling zei te weinig oefenmateriaal te hebben gehad in de lesbrief. Ook een leerling zei te weinig tijd voor de toets te hebben gehad. Naast deze feedback waren er drie leerlingen die positief waren over

de kwaliteit van de lesbrief en/of toets.

C. Feedback docenten

Van de vijf docenten gaf 100% aan dat het niveau van de lesbrief geschikt is om in een vwo klas te behandelen. Daarnaast vond 20% van de docenten dat de lesbrief voor 4 vwo leerlingen geschikt is, 100% dat de lesbrief voor 5 vwo leerlingen geschikt is en 80% dat de lesbrief voor 6 vwo leerlingen geschikt is. Wel gaven de docenten aan dat door het drukke examenprogramma de lesbrief niet in 6 vwo behandeld kan worden.

Naast deze vragen kwamen er enkele opmerkingen vanuit de docenten over de lesbrief, nadat deze behandeld was. Een docent gaf aan dat er kennishiaten in de lesbrief voorkomen. Ook gaven twee docenten aan dat de lesbrief in huidige staat saai is om te lezen en te behandelen. Om de lesbrief aantrekkelijker te maken werd geadviseerd om de lesbrief in een historisch perspectief te schrijven en de tekst leesbaarder te maken.

IV. VERWERKING RESULTATEN

A. Reflectie lesbrief/toets

De leerlingen hadden gemiddeld 1,5 uur minder buiten de les aan de lesbrief besteed dan verwacht. Toch gaven verschillende leerlingen aan dat ze meer lessen hadden willen hebben. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de leerlingen te weinig gemotiveerd zijn om voldoende tijd buiten de les aan de lesbrief te besteden. Zo zaten er geen negatieve consequenties aan het krijgen van een onvoldoende op de toets, waardoor leerlingen thuis wellicht te weinig tijd aan de lesbrief besteedden. Dit gebrek aan motivatie was terug te zien aan de vier leerlingen die zelf aan hadden gegeven niet serieus aan de lesbrief gewerkt te hebben. Ook een verklaring kan zijn dat de leerlingen meer lessen nodig hadden om de stof te begrijpen, zodat ze er buiten de les mee aan de slag konden. In de les hadden leerlingen de mogelijkheid om vragen te stellen aan de docent, thuis was dat niet het geval. De lesbrief zou dus een te hoog niveau kunnen hebben gehad om zelfstandig aan te werken. Deze mogelijkheid wordt ondersteund doordat er leerlingen waren die in de enquête aangaven verschillende onderwerpen niet begrepen te hebben. 81% van de leerlingen gaf aan dat de toets hetzelfde niveau had als de lesbrief. Dit laat zien dat de toets een correcte afspiegeling gaf van de moeilijkheidsgraad van de lesbrief, waardoor de resultaten van de toets een goede afspiegeling zijn van het begrip van de leerlingen van de lesbrief. Uit de enquête werd verder gehaald dat het onderwerp waarvan het vaakst werd aangegeven dat het niet goed begrepen was, annihilatie, door 81% van de leerlingen wel goed begrepen was. Hoewel er nog ruimte voor verbetering is, geef het grootste deel van de leerlingen aan dat ze het wel begrepen hadden. Dit komt overeen met de resultaten van de enquête aan docenten, die allen aangaven dat het niveau van de lesbrief geschikt is om in 5 vwo te behandelen. Hoewel er positieve reacties over de opzet van de lesbrief waren, zijn er ook mogelijke verbeterpunten. Er kunnen bijvoorbeeld leerdoelen worden toegevoegd om te verduidelijken wat er van de leerling verwacht wordt in de toets. Ook kunnen er extra opdrachten in de vorm van een oefentoets worden toegevoegd. Dit schept naast de mogelijkheid om meer te oefenen ook meer duidelijkheid over wat er van de leerling verwacht wordt op de toets. De lesbrief kan onderzocht worden op kennishiaten en deze, mits aanwezig, oplossen. Ook kunnen verschillende

mogelijkheden onderzocht worden om de lesbrief minder saai en aantrekkelijker te maken. Zo zouden leerlingen meer motivatie kunnen krijgen om de lesbrief te behandelen.

B. Toetsresultaten

De t-toets wees uit dat de toetsresultaten van de 5 vwo leerlingen lager zijn dan de natuurkunde eindcijfers van hun vorige schooljaar met een zekerheid van 99% (zie appendix D voor de uitwerking van de t-toets). Dit betekent hoogstwaarschijnlijk dat de lesbrief en de toets van een hoger niveau waren dan de leerlingen gewend zijn, of dat de lesbrief niet effectief was in het overbrengen van de kennis die nodig was om de toets te maken.

V. CONCLUSIE

De lesbrief voldoet aan alle eisen opgesteld in het doel. De lesbrief is in een 3 lesuren behandeld door de 5 vwo leerlingen, daarnaast worden alle onderwerpen behandeld waarvan de Technische Natuurkunde studenten aangaven meer voorkennis te willen hebben.

Het is waarschijnlijk dat de lesbrief een bovengemiddelde moeilijkheidsgraad heeft, of dat de lesbrief niet effectief is in het overbrengen van kennis. Docenten geven aan dat het niveau van de lesbrief geschikt is voor 5 vwo, dit lijkt erop te wijzen dat de lesbrief niet effectief is in het overbrengen van de inhoud. De lesbrief is daarom in huidige staat ongeschikt om in een 5 vwo klas te behandelen. Vervolgonderzoek kan uitwijzen in hoeverre de lesbrief een te hoog niveau heeft en in hoeverre de lesbrief ineffectief is in het overbrengen van kennis. Daaruit kan bepaald worden hoe de lesbrief verbeterd kan worden.

VI. DISCUSSIE

A. Validiteit

A1. Aanleiding onderzoek

De aanleiding van dit onderzoek komt voort vanuit een interesse in deeltjesfysica. Vanuit deze interesse zijn enquêtes verstuurd naar twaalf Technische Natuurkunde studenten van de Universiteit Twente om erachter te komen over welke onderwerpen van de deeltjesfysica de studenten voorkennis hadden willen hebben voor ze aan de studie begonnen. Technische Natuurkunde studenten van de Universiteit Twente hebben geen apart vak deeltjesfysica in hun bachelor, hoewel het wel in verschillende vakken voorkomt.[20, 21] Om de resultaten van de enquête meer valide te maken hadden studenten met een studie zoals Theoretische Natuurkunde op de Universiteit Utrecht beter ondervraagd kunnen worden, aangezien deze een apart vak deeltjesfysica in het curriculum hebben.[5]

A2. Schrijven van de lesbrief

Voor het schrijven van de lesbrief is er contact opgenomen met het SLO. Het SLO heeft een aantal praktische tips gegeven. Zo is er bij het schrijven van de lesbrief op gelet om samenhang met voortgaand lesmateriaal te creëren, zoals beschreven in de methode. Ook is er rekening gehouden met de voorkennis en het niveau van leerlingen. door de lesbrief te laten controleren door vijf natuurkundedocenten. Deze docenten hebben echter zelf weinig ervaring met schrijven van lesmateriaal. Er is daarom weinig tot geen controle geweest op de didactiek van de lesbrief. Dit kan verklaren waarom de lesbrief mogelijk niet effectief is in het overbrengen van kennis, zoals geconstateerd

is in de conclusie. Dit had voorkomen kunnen worden door tijdens het schrijven in gesprek te blijven met het SLO over didactiek en de ontwerpkeuzes meer te valideren met onderwijskundige bronnen.

A3. De meting

Naast 5 vwo is de lesbrief ook verspreid onder vijf 4 vwo leerlingen om te onderzoeken of de lesbrief ook geschikt kan zijn om als keuzeonderwerp in 4 vwo te behandelen. De meting is echter invalide om verschillende redenen waardoor deze is weggelaten uit het onderzoek. De belangrijkste reden dat de meting invalide is, is dat de 4 vwo leerlingen zes lesuren kregen om de lesbrief te behandelen in plaats van de beoogde drie uur. Hier is door de natuurkundedocent van de leerlingen, M. Stegeman 1, voor gekozen om de leerlingen nog een kans te geven de beloning te halen na deze bij hem aangaven te weinig tijd te hebben om de lesbrief te behandelen. Daarnaast is de groep waaronder gemeten is te klein om valide uitspraken over te doen. Ook hebben de leerlingen zich vrijwillig aangemeld om de lesbrief te behandelen in tegenstelling tot de 5 vwo leerlingen. Er kan daarom aangenomen worden dat de 4 vwo leerlingen gemiddeld meer gemotiveerd waren om de lesbrief te maken dan de gemiddelde leerling die de lesbrief als keuzeonderwerp zou behandelen. Al deze factoren hebben tot invalide resultaten geleid waardoor deze niet in het onderzoek zijn meegenomen. De meting onder 4 vwo heeft geen invloed gehad op de meting onder 5 vwo.

De toetsresultaten van 5 vwo zijn vergeleken met de natuurkunde eindcijfers van hun vorige leerjaar in plaats van met de toetsresultaten van een controlegroep. Het voordeel hiervan is dat beide cijfers van dezelfde groep leerlingen afkomt, zo is er geen kans dat er één groep gemiddeld betere cijfers haalt voor natuurkunde dan de andere. Aangezien het onderzoek maar een beperkt aantal leerlingen had, is er reële kans dat de twee groepen hierin zouden verschillen. Het nadeel van deze manier van meting, zonder controlegroep, is dat het onduidelijk is hoeveel leerlingen van de lesbrief geleerd hebben en hoeveel voorkennis ze hadden. Een controlegroep kan een duidelijke weergave bieden van de effectiviteit van de lesbrief. De groep geteste 5 vwo leerlingen had ook zelf als controlegroep kunnen dienen door de toets te maken voor het behandelen van de lesbrief. Hierbij wordt de meting echter ook minder valide, aangezien er een tweede toets zou moeten worden ontwikkeld die in moeilijkheid kan afwijken van de eerste toets. Als de toets die de leerlingen maken voor het behandelen van de lesbrief moeilijker is dan de toets na het behandelen van de lesbrief, zou ten onrechte gedacht kunnen worden dat de leerlingen iets geleerd hebben van de lesbrief en vice versa.

Ondanks het samenwerken met M. Stegeman 1 bij het maken van de toets om het niveau van de lesbrief te handhaven, blijft de toets een variabele. De moeilijkheidsgraad van de toets kan namelijk bovengemiddeld of ondergemiddeld zijn, waardoor de behaalde cijfers geen correcte afspiegeling geven van het begrip van de leerlingen van de getoetste theorie. De opdrachten in de toets zijn daarom gebaseerd op vragen uit de lesbrief, daarnaast blijkt uit de enquête onder leerlingen dat ze vinden dat het niveau van de toets op hetzelfde niveau is als de lesbrief. De toets is daarom een valide manier om te testen of de inhoud van de lesbrief is begrepen.

Om te testen of de lesbrief als keuzeonderwerp kan dienen moet de motivatie voor het maken van de lesbrief hetzelfde

zijn als die voor het behandelen van een keuzeonderwerp: een cijfer dat meetelt voor de overgang van het schooljaar. Dit was echter niet mogelijk aangezien het Staring College de stimulans bepaalde. De stimulans voor het maken van de lesbrief werd daarom dat wanneer leerlingen een 5,5 of hoger voor de toets halen, ze op hun volgende toets de vraag die ze het slechtst gemaakt hebben, weg mogen strepen uit het puntentotaal. Omdat er geen negatieve consequenties zitten aan het behalen van slechte resultaten op de toets en er geen prikkel is om hoger dan een 5,5 te halen, is er een kans dat leerlingen onvoldoende gemotiveerd waren om de lesbrief serieus te behandelen. Vier leerlingen geven dan ook aan niet serieus geleerd te hebben voor de toets, zoals naar voren kwam in de resultaten van de enquête. Het directe gevolg hiervan zou kunnen zijn dat het gemiddelde cijfer voor de toets lager is uitgevallen.

De groep docenten die de enquête over de lesbrief heeft ingevuld, is dezelfde groep docenten die de lesbrief gecontroleerd heeft tijdens de ontwikkeling van de lesbrief. Deze groep kan hierdoor bevooroordeeld zijn over de kwaliteit van de lesbrief, aangezien ze zelf feedback hebben gegeven tijdens de ontwikkelingsfase en dus het niveau hebben aangestuurd. Dit had opgelost kunnen worden door een andere groep natuurkundedocenten te ondervragen. Het werd echter als onrealistisch gezien dat natuurkundedocenten buiten het Staring College en het Assink Lyceum binnen het tijdsbestek van het onderzoek bereid waren om zonder compensatie de volledige lesbrief door te nemen om de enquête in te kunnen vullen.

B. Betrouwbaarheid

Het doel was om een lesbrief over deeltjesfysica te ontwikkelen die in een week te behandelen is. Er is niet getest of de andere lesmethoden[8, 9, 10,] die deeltjesfysica behandelden, in drie lesuren te behandelen is. Dit is een aanname gebaseerd op de lengte van de tekst en de hoeveelheid opgaven van het lesmateriaal en eigen ervaring in het behandelen van lesmateriaal over natuurkunde.

De enquête onder de Technische Natuurkunde studenten en die onder natuurkundedocenten zijn beiden afgenomen onder een te kleine groep om betrouwbare representatieve conclusies te trekken. De enquête aan de twaalf Technische Natuurkunde studenten, waarin gevraagd werd over welk onderwerp in de deeltjesfysica ze voorkennis hadden willen hebben, had onder een grotere groep Nederlandse studenten met deeltjesfysica in het curriculum verspreid moeten worden om de betrouwbaarheid te verbeteren. Ook de groep natuurkundedocenten, die de enquête over de lesbrief hebben ingevuld, had groter en verspreid over Nederland moeten zijn om representatieve resultaten te krijgen. De toetsresultaten van de 5 vwo leerlingen voldoen ten gevolge van de kleine groep niet aan de normale verdeling. Dit komt waarschijnlijk door steekproeftoeval en had voorkomen kunnen worden door onder een grotere groep leerlingen te testen. Na het maken van de toets hebben de leerlingen een enquête ingevuld. Van twee leerlingen zijn geen enquêtes ingevuld of zijn de enquêtes niet ingeleverd. Daarom zijn er 21 enquêteresultaten in plaats van 23. Omdat de enquête anoniem was, is het niet mogelijk om erachter te komen van wie de enquête miste. Alle leerlingen geven aan de enquête ingevuld te hebben. Tussen het invullen van de enquêtes en de ontvangst van de ingevulde enquêtes van M. Stegeman 1 moeten er dus twee enquêtes verloren zijn.

C. Interpretatie van de resultaten

De toetsresultaten laten zien dat de lesbrief in huidige staat ongeschikt is voor 5 vwo leerlingen van het Staring College om voorkennis te bieden over de onderwerpen waarvan Technische Natuurkunde studenten van de Universiteit Twente dat hadden gewild. Dit geeft ook een goede indicatie dat de lesbrief nog niet klaar is om in andere natuurkunde klassen ingezet te worden. Opvallend is dat de vijf natuurkundedocenten die ondervraagd zijn over het niveau van de lesbrief allemaal aangaven dat ze de lesbrief in een vwo klas zouden gebruiken. Dit duidt erop dat natuurkundedocenten wellicht niet altijd goed in kunnen schatten of lesmethoden geschikt zijn om in de klas gebruikt te worden. Sinds 2007 hebben scholen meer ruimte gekregen voor eigen invulling van de tweede fase. [22] Basis voor deze vernieuwingen is de ministeriële nota ‘Ruimte laten en keuzes bieden in de tweede fase havo en vwo’ (2003) van het Ministerie van Onderwijs.[23, 24] Doordat er geen vaste invulling meer is, moeten docenten zelf op zoek naar lesmateriaal. Daarbij kunnen ze lesmateriaal gebruiken dat niet uitvoerig getest is op geschiktheid om in de klas te gebruiken. Zo blijkt uit de enquête onder natuurkundedocenten dat de lesbrief in huidige staat gebruikt zou worden, maar is deze volgens de toetsresultaten ongeschikt om in de les te behandelen. Of dit ook in de praktijk gebeurd kan in een vervolgonderzoek onderzocht worden.

D. Beperkingen van dit onderzoek

In overleg met M. Stegeman 1 kreeg dit onderzoek één klas van drieëntwintig 5 vwo leerlingen van het Staring College toegewezen om de lesbrief te behandelen. Testen op het Assink Lyceum bleek niet mogelijk te zijn. Vanwege afhankelijkheid van de scholen was er dus geen grotere testgroep beschikbaar. Zoals genoemd bij de validiteit is ook de beloning voor het behalen van een voldoende op de toets door het Staring College bepaald. Hierdoor was het niet mogelijk een cijfer aan de toets te binden dat mee zou tellen voor de overgang. Daarom moet in vervolgonderzoek ook rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat het toewijzen van een controlegroep niet wordt toegestaan door de desbetreffende school, aangezien deze door het niet behandelen van de lesbrief een ongelijke kans heeft om de beloning te halen. Omdat het jaarprogramma van de 5 vwo leerlingen vast staat in de PTA van het Staring College was er slechts een korte tijd beschikbaar voor het ontwerpproces. In een tijdsbestek van ongeveer 3 weken is de lesbrief ontwikkelt, hierdoor is er onvoldoende tijd besteed aan de didactiek achter het schrijven van lesmateriaal. Er had meer vooronderzoek moeten worden verricht in de vorm van het lezen van onderwijskundige en didactische bronnen naast de theoretische bronnen waar vooral op gefocust is. Ook aan het ontwikkelen van de toets had meer tijd moeten worden besteed. Deze is ontwikkelt in de week dat de lesbrief behandelt werd, waardoor er vrijwel geen tijd beschikbaar was om vooronderzoek te doen over het ontwikkelen van toetsen.

E. Vervolgonderzoek

Er zijn veel fouten gemaakt in de uitvoering en planning van het onderzoek, daardoor zijn de betrouwbaarheid en validiteit van het onderzoek discutabel. Wel zijn er handvatten gecreëerd om een valide vervolgonderzoek te doen. Een vervolgonderzoek zou de grote lijnen van dit onderzoek over kunnen nemen, maar kunnen focussen op het verbeteren

van de lesbrief en op de validiteit van de resultaten. Zo kan een nieuwe lesbrief op worden gesteld over deeltjesfysica, waarbij het ontwerpproces ondersteund wordt met onderwijskundige en didactische bronnen. Er zou daarom meer tijd voor het vooronderzoek moeten worden genomen om bronnen te verzamelen die betrekking hebben op het ontwikkelen van lesmateriaal en het toetsen van lesmateriaal. Zo kan onderzocht worden of het ontwerpproces het zogeheten curriculaire spinnenweb kan volgen. Dit model, ontwikkeld door Van den Akker en onderschreven door het SLO, kan hulp bieden bij het ontwikkelen van lesmateriaal waarbij in alle onderdelen van het curriculum rekening wordt gehouden met de 3 curriculumniveaus.[26] De ontwikkeling van de lesbrief vindt vooral plaats op microniveau (lesmateriaal en leerplannen), maar er moet ook rekening worden gehouden met meso- (schoolbeleid) en macroniveau (nationaal onderwijsbeleid). Ook kan er gekeken worden of er in de lesbrief meer nadruk kan komen op wetenschapsoriëntatie. Volgens het SLO is de aansluiting tussen het vwo en het wetenschappelijk onderwijs nog steeds voor verbetering vatbaar.[27, 28] Academische vorming en wetenschapsfilosofie zijn daarbij van groot belang.[28] Hoe komt wetenschappelijke kennis tot stand en hoe bepaal je de betrouwbaarheid van wetenschappelijke bronnen? In de lesbrief kan dat bijvoorbeeld tot uiting komen door te laten zien hoe het proces dat leidt tot consensus in de wetenschappelijke wereld in zijn werk gaat bij de ontdekking van een nieuw deeltje. Daarnaast kan er gecontroleerd worden of de lesbrief geschikt is om onafhankelijk van de docent gemaakt te worden, daarvoor heeft het SLO een checklist opgesteld.[29] Naast een beter vooronderzoek te doen, kunnen er ook verbeteringen die uit het onderzoek zijn gekomen, worden toegevoegd aan de lesbrief. Zo zou een inventaris van de voorkennis van de doelgroep kunnen worden opgesteld om kennishiaten te voorkomen. Verder kan de lesbrief duidelijker aangeven wat er van de leerling verwacht wordt door leerdoelen te geven. Ook kan een oefentoets bij de lesbrief worden aangeboden om meer oefenmateriaal voor de leerling te bieden en te verduidelijken wat er op de toets verwacht wordt. Door middel van een enquête aan 5 vwo leerlingen kan onderzocht worden hoe de lesbrief aantrekkelijker kan worden gemaakt.

In het onderzoek zelf zou een grotere groep leerlingen verspreid over Nederland kunnen worden getest. De helft van deze leerlingen zou als controlegroep dienen, zij zouden zonder de lesbrief behandeld te hebben de toets moeten maken. Na het behandelen van de lesbrief zou de andere helft dezelfde toets maken, wanneer deze de lesbrief behandeld heeft. De stimulans voor het behandelen van de lesbrief zou een cijfer zijn dat meetelt voor de overgang. Er zou een t-toets op de toetsresultaten kunnen worden verricht om te onderzoeken of er een significant verschil tussen de groepen is. Daaruit kan een valide conclusie getrokken worden over de effectiviteit van de lesbrief om kennis over te brengen. Ook kunnen de toetsresultaten vergeleken worden met de toetsresultaten van andere lesmethoden over deeltjesfysica. Hierbij moet echter wel rekening houden dat de verschillende lesmethoden niet exact dezelfde onderwerpen behandelen en het benodigde tijdsbestek varieert.

Een ander vervolgonderzoek zou de invloed van verschillende motiveringen op de toetsresultaten kunnen onderzoeken. Een grote groep Nederlandse 5 vwo leerlingen verspreid over Nederland zou worden getest. Deze groep zou worden

opgedeeld in groepen met verschillende motiveringen. Zo zou een groep geen enkele motivatie voor het maken van de lesbrief kunnen krijgen, een andere groep dezelfde motivering als in dit onderzoek en zou weer een andere groep een cijfer kunnen krijgen dat meetelt voor de overgang. De groepen zouden de lesbrief doorwerken waarna een toets wordt afgenomen. Aan de hand van de toetsresultaten zou de invloed van de verschillende motiveringen kunnen worden bepaald. In de interpretatie van de resultaten kwam een opvallend resultaat naar voren. De docenten geven aan dat de lesbrief behandeld kan worden, terwijl uit de toetsresultaten blijkt dat de lesbrief niet geschikt is om te behandelen. Dit lijkt te betekenen dat natuurkundedocenten niet altijd goed in kunnen schatten of lesmateriaal geschikt is om in de klas te gebruiken. Dit zou onderzocht kunnen worden door een enquête onder een grote groep Nederlandse natuurkundedocenten te sturen met de vraag welke lesmethode ze gebruiken in de klas. Dan moet onderzocht worden of deze lesmethodes geschikt zijn om in de klas te behandelen. De resultaten zullen een beeld schetsen van de hoeveelheid discutabel lesmateriaal dat in de klas gebruikt wordt. Aan de hand hiervan kan een advies worden opgesteld voor het Ministerie van Onderwijs om natuurkundedocenten meer of minder eigen invulling te geven in het behandelen van de onderwerpen in het curriculum.

F. Eindconclusie

Het onderzoek mist op veel punten validiteit en betrouwbaarheid. Toch geven de resultaten een duidelijke indicatie dat de lesbrief in huidige staat niet geschikt is om in 5 vwo te behandelen. Valide vervolgonderzoek kan uitwijzen of een verbeterde versie van de lesbrief wel geschikt is om in een week behandeld te worden in de klas.

VII. BIBLIOGRAFIE

[1]Close, F. E. Particle Physics. Illustrated edition, Oxford University Press, 2004.
[2]Dunlap, Richard. Particle Physics. EPub ed., Morgan & Claypool Publishers, 2018. [3]“Centraal Examen En Schoolexamen Natuurkunde.” Natuurkundeuitgelegd, natuurkundeuitgelegd.nl/examenstof.php. Accessed 8 Nov. 2019.
[4] “Examenprogramma Natuurkunde Vwo 2015 2016.” Examenblad.Nl, www.examenblad.nl/examenstof/natuurkunde-vwo-2/2019/f=/examenprogramma_natuurkunde_vwo_2015_2016.pdf. Accessed 9 Nov. 2019.
[5] “Curriculum.” Utrecht University, 29 July 2019, students.uu.nl/en/science/theoretical-physics/academics/study-programme/curriculum.
[6] “Natuurkunde.” Rijksuniversiteit Groningen, 9 Nov. 2019, www.rug.nl/bachelors/physics.
[7] Clapper, John P. “Prior Knowledge and Correlational Structure in Unsupervised Learning.” Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie
[8] Liempt, Frans van. Deeltjes En Hun Interacties. Stichting natuurkunde.nl, 2010. Natuurkunde.nl, media.natuurkunde.nl/content_files/files/5194/original/supportBinaryFiles_referenceId_21_supportId_942470?1410265606.
[9] Biezeveld, Hubert, et al. Kern, Quark En GUT. Stevin, 2016. Stevin.info, www.stevin.info/aa-blader/vwo-e3/index.html#.
[10] Blok, Bas, et al. Newton 5v Keuzekatern Kern- En

Deeltjesprocessen. 4th ed., ThiemeMeulenhoff bv, 2015.
[11] Flokstra, Jan, et al. Newton 6 Vwo Basisboek. 4th ed., ThiemeMeulenhoff bv, 2015.
Expérimentale, vol. 61, no. 2, 2007, pp. 109–27. Crossref, doi:10.1037/cjep20070012.
[12] “Samenhang En Afstemming N&T-Vakken.” SLO, 12 Dec. 2019, slo.nl/thema/vakspecifieke-thema/natuur-techniek/samenhang-afstemming.
[13] Het Staring College. “PTA Staringcollege 5 Vwo 2019-2020.” Staring, intranet.staring.nl/LinkClick.aspx?fileticket=LSX0fvsKfwM%3d&tabid=91. Accessed 26 Jan. 2020. 1
[14]Amsterdam UMC. “T-Toets - WikiStatistiek.” Wikistatistiek, wikistatistiek.amc.nl/index.php/T-toets. Accessed 26 Jan. 2020.
[15] Marilyn. “T-Toets 2 - Gemiddelden Onafhankelijke Steekproeven.” InfoNu, 10 Mar. 2014, wetenschap.infonu.nl/wiskunde/122058-t-toets-2-gemiddelden-onafhankelijke-steekproeven.html.
[16] Wikipedia-bijdragers. “T-Toets.” Wikipedia, 13 May 2019, nl.wikipedia.org/wiki/T-toets#Voorwaarden.
[17] “De Normale Verdeling.” Wiskundenet, 1 Jan. 2020, www.wiskunde.net/de-normale-verdeling#.Xi3dGmj0nIV.
[18] Minn, Michael. “Curving Scores With a Normal Distribution.” Michael Minn, michaelminn.net/tutorials/normal-curve-grading. Accessed 2 Feb. 2020.
[19] Marilyn. “Sifnificant: Toeval of Niet?” HBO Statistiek.Nl, www.hbostatistiek.nl/basis-statistische-formules/significant-toeval-niet. Accessed 26 Jan. 2020.
[20]“Studieprogramma|Eerste Jaar|Technische Natuurkunde.” Universiteit Twente, www.utwente.nl/onderwijs/bachelor/opleidingen/technische-natuurkunde/studieprogramma/eerste-jaar/#module-4-kwantum-geometrische-optica. Accessed 30 Jan. 2020.
[21] “Studieprogramma | Tweede Jaar | Technische Natuurkunde.” Universiteit Twente, www.utwente.nl/onderwijs/bachelor/opleidingen/technische-natuurkunde/studieprogramma/tweede-jaar/#module-6-golven-interferentie-enwaarschijnlijkheden. Accessed 30 Jan. 2020.
[22] “Havo/Vwo.” SLO, slo.nl/sectoren/havo-vwo. Accessed 2 Feb. 2020.
[23]Goris,Mannus.“Handreiking-Schoolexamen-Kcv-v-2007. Pdf - Leerplan in Beeld.” SLO, Mar. 2007, leerplaninbeeld.slo.nl/handreikingen/handreiking-schoolexamen-kcv-v-2007.pdf.
[24] “Ruimte Laten En Keuzes Bieden in de Tweede Fase Havo En Vwo.” Kennisbank Sport En Bewegen, www.kennisbanksportenbewegen.nl/?file=2924&m=1422883265&action=file.download. Accessed 2 Feb. 2020.
[25] “Het Curriculaire Spinnenweb: Het Leerplan.” SLO, 28 Jan. 2020, slo.nl/thema/vakspecifieke-thema/kunst-cultuur/leerplankader-kunstzinnige-orientatie/handreiking-schoolleiders/curriculaire-spinnenweb.
[26]“Spinnenweb.” SLO, 29 Aug. 2019, slo.nl/thema/meer/curriculumontwikkeling/instrumenten/spinnenweb/inleiding.
[27] “Wetenschapsoriëntatie Bij Natuurkunde in de Tweede Fase Vwo.” SLO, 20 Mar. 2019, slo.nl/publicaties/@4423/natuurkunde-tweede.
[28] Paus, Jos, and Maarten Pieters. “Wetenschapsoriëntatie Bij Natuurkunde in de Tweede Fase Vwo.” SLO, July 2015, slo.nl/publish/pages/3012/wetenschapsorientatie-bij-natuurkunde.pdf.

[29] “Checklist Docentonafhankelijk Lesmateriaal.” SLO, 18 July 2019, slo.nl/@11572/checklist-0.

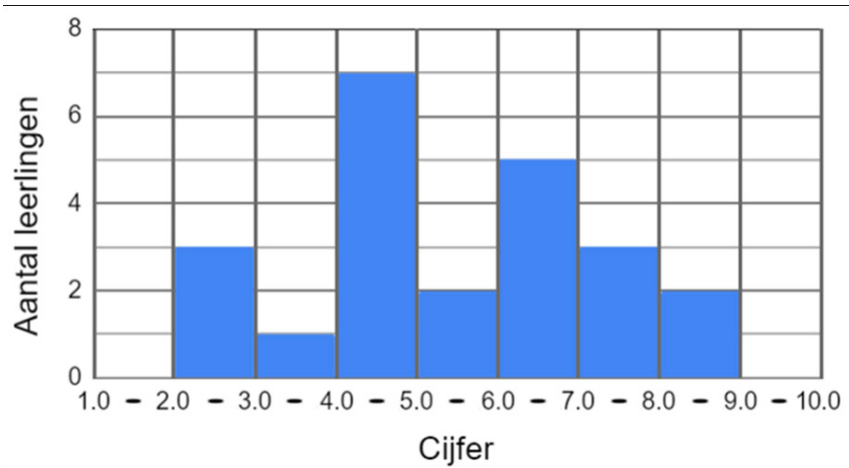


Diagram 1 - Een histogram van de toetsresultaten van 5 vwo.

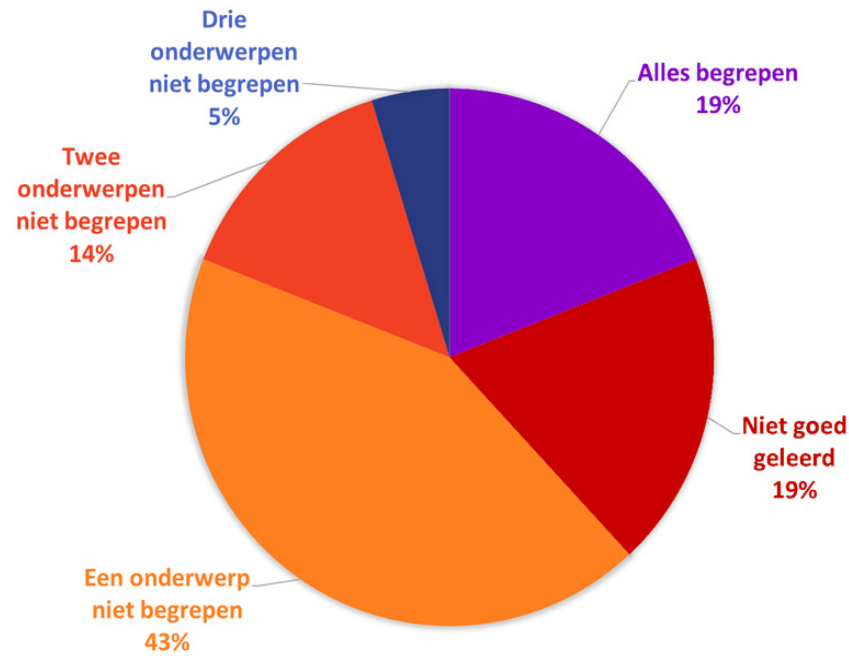


Diagram 2 - Enquête: begrip lesbrief door leerlingen (21 leerlingen)

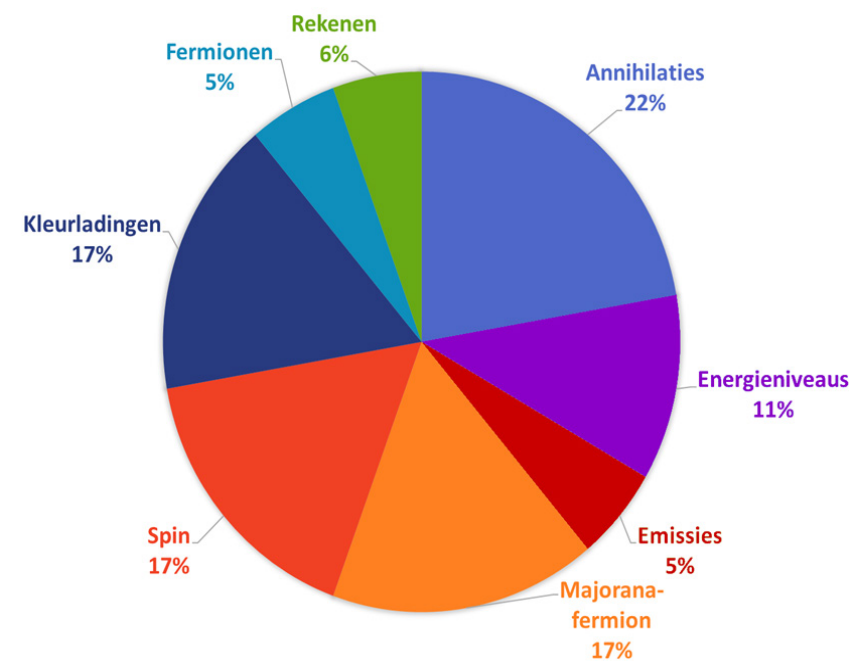


Diagram 3 - Frequentie onbegrip onderwerpen (13 leerlingen/18 antwoorden)

Correlatie tussen IQ en EQ bij kinderen van 10-11 jaar

M. van Veen², S. Nijhof³, G. Broens³, H. Huijskens², P. Blokzijl¹, M.N.A. Bijman¹

¹ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede
² CSG Het Noordik, Almelo

Abstract - IQ tests measure the intelligence of people. The scores that come from these tests are determined by genetic, not social, components. There are two types of IQ: verbal IQ and performance IQ. By comparing and merging these two you get the total IQ score. Models for emotional intelligence are especially applicable in psychology. Consider, for example, expressing, analyzing and controlling feelings. Previous studies have found a minimal relationship between the total IQ and EQ concerning adults. This connection has also been found in children with mental help. This paper examines whether this connection is also present in children that are in fifth grade without mental help. To investigate this connection, a total of 50 children in fifth grade were tested. These children have all taken an IQ test and an EQ test. By comparing the final scores of the IQ test and EQ test of an individual child, conclusions could be drawn. The study showed that there is no relationship between IQ and EQ of children in fifth grade ($F(1,48) = 0,065235$, $p = ,799497$) and ($R = ,03684$, $R^2 = ,001357$). The discrepancy between the hypothesis and the results could be explained by a fault in this study or by the differences between adults and children and by the differences between children in a mental hygiene clinic and average children.

Introductie / theoretisch kader

In dit onderzoek wordt gekeken of er een correlatie bestaat tussen de intelligentie quotiënt en emotionele intelligentie, bij kinderen van 10-11 jaar oud. In eerdere onderzoeken naar IQ en EQ is niet gekeken naar het verband bij kinderen zonder mentale hulp. In dit onderzoek wordt allereerst gekeken naar emoties, emotionele intelligentie en de intelligentie quotiënt en betekenis en neurologische afkomst hiervan.

Neurologische achtergrond

Psychologen zoeken nog steeds naar de juiste interpretatie van de emotionele intelligentie. Er zijn verschillende opvattingen over de afkomst van emotioneel gedrag, sommige onderzoekers zeggen dat emoties door hormonen beïnvloed worden en anderen zijn van mening dat ze beïnvloed worden door neuropsychologische aspecten. De secretie van hormonen wordt veroorzaakt door de externe stimulatie van de amygdala. Emotioneel gedrag wordt dus gedeeltelijk veroorzaakt door de amygdala (Chakraborty & Konar, 2009).

Literatuur uit de medische psychologie wijst uit dat bij extreme emotie, logische redenering slechter wordt. Met behulp van fMRI en PET scans is gezocht naar de locatie waar emotioneel gedrag ontstaat, hieruit is echter geen duidelijke uitkomst gekomen, wel is het aannemelijk dat de amygdala een grote rol speelt in emotioneel gedrag en emoties. Wanneer er schade is aan delen van het brein die geassocieerd worden met emotie, blijkt dat het cognitieve vermogen om keuzes te maken ook verslechterd. Wat impliceert dat emoties cruciaal zijn voor cognitieve functies (Chakraborty & Konar, 2009).

Wanneer het cerebellum (de kleine hersenen) beschadigd raakt gaan hogere cognitieve functies achteruit, zo wordt de verbale intelligentie verstoord en kunnen er leerstoornissen optreden. Voor bewustzijn zijn de hersenschors en de thalamus erg belangrijk, ook is onderlinge communicatie cruciaal voor zelfbewustzijn en bewustzijn van onze omgeving. De temporaalkwab is belangrijk voor de overgang van het kortetermijngeheugen naar het langetermijngeheugen. De prefrontale cortex is cruciaal bij het kortetermijngeheugen, dat

ook wel het werkgeheugen genoemd wordt. Dit geheugen is bij cognitieve functies als het leren van taal noodzakelijk, net als bij het uitvoeren van complexe taken.

De partiële cortex is verantwoordelijk voor hoofdrekken en redeneren (Dick Swaab, 2010).

Verschillende delen van het brein hebben een rol bij cognitieve functies. Over de exacte locatie waaruit emotie ontstaat, valt nog weinig te zeggen. Omdat emotionele intelligentie en de intelligentie quotiënt dus lastig te meten zijn, door middel van neurologische aspecten, worden de factoren gemeten met schriftelijke en mondelinge toetsen.

Intelligentiequotiënt:

IQ-testen hebben als functie om ‘intelligentie’ van mensen te meten. Deze intelligentie is echter nooit exact gedefinieerd in wetenschappelijke termen en er is geen bewijs in de neurologische wetenschap dat dit in de nabije toekomst gaat gebeuren. Net als de woorden ‘behulpzaam’ en ‘dapper’ is intelligentie een woord dat verschillen tussen mensen kan uitleggen, maar toch niet tot fysiologische processen kan worden teruggevoerd. Aan het begin van de 20e eeuw kwam het idee op dat er een unitair eigendom van menselijke intelligentie is, er werd dan ook meteen bij gedacht dat dit gemeten kon worden. Het idee dat er iets bestond als ‘IQ’ ofwel ‘intelligentie’ kwam niet door wetenschappelijk onderzoek, maar door pogingen om menselijke verschillen te verklaren, om zo een bruikbare test te maken die meet of kinderen klaar zijn voor school (White, 2000).

Voor de 20e eeuw hadden de woorden ‘behulpzaam’, ‘dapper’ en ‘intelligentie’ speculatieve evolutionaire betekenissen. Toen Alfred Binet en Theophile Simon aan het begin van de 20e eeuw met een manier kwamen om deze speculaties te meten aan de hand van een ‘Measuring Scale of Intelligence’, voegden zij deze samen met wat voorheen al werd aangenomen. Deze test vroeg onder andere wat mensen vinden verschillen in abstracte termen als vermoeidheid en verdriet en liet mensen een stuk papier vouwen. Het was vooral een test om laag-functionerende mensen te classificeren. Opvallend genoeg kwamen de testresultaten van laagfunctionerende kinderen overeen met jongere kinderen die wel normaal functioneerden.

Om de test te specificeren hebben Binet en Simon groepen van testen en vragen gemaakt die met een specifieke leeftijdsgroep corresponderen. De testgegevens van IQ-testen hebben in de loop van de 20e eeuw sociale interpretaties gekregen, die meer op speculatie dan op de feiten berusten. Wetenschappers hechtten voordat de test was uitgevonden al betekenis aan IQ-testen en wat ze konden betekenen door hedendaagse woorden te koppelen aan wetenschappelijke bevindingen. Dit geeft woorden met een dubbele betekenis. Vandaag de dag hebben onderzoekers de vaardigheden om het betekenisvolle deel uit IQ-testen te halen en de speculatieve kant die erbij komt aan de kant te zetten (White, 2000).

Er zijn verschillende opvattingen over wat het woord intelligentie nou werkelijk betekent. Herbert Spencer (1897) stelde dat evolutie ervoor zorgt dat complexe systemen als het ware ‘jagen’ naar intelligentie en dus dat intelligentie een teken is van meer ontwikkelde mensen. Taine (1871) dacht juist dat met intelligentie het vermogen om te weten wordt bedoeld. Romanes (1883) zei dat de toename van intelligentie gebaseerd is op het vermogen om informatie te verwerken. Wetenschappers vandaag de dag identificeren intelligentie als vermogen om omgeving te ervaren, of als informatieverwerkingscapaciteit, of als het vermogen om verbindingen te leggen tussen tijd en plaats, of als het vermogen om sociale problemen op te lossen (Weiskrantz, 1985). (White, 2000).

IQ-scores worden bepaald door genetische en niet door sociale componenten. Individuele mensen krijgen hun IQ, volgens vele wetenschappers, van hun ouders mee en niet van de omgeving waar ze in opgroeien (Scarr-Salapatek, 1971). Veel mensen hebben een eigen beeld van dat woord, dit woord weerspiegelt vaak alleen een dominante maatschappelijke visie van wat intelligentie inhoudt en laat een paar belangrijke kwaliteiten ter zijde. De voornaamste belangrijke kwaliteit die mensen ter zijde laten is kennis. Verder ook nog: snelheid van het opdoen van kennis, het overkoepelende vermogen van mentale vermogens en neurale efficiëntie. Recent zijn er ook theorieën bedacht over intelligentie die meer focussen op slim gedrag in plaats van vaardigheden (Ritchhart, 2010). De schaalverdeling van IQ-scores die uit de testen kan je zien in tabel 1.

Er zijn twee soorten IQ: verbaal IQ en prestatie IQ. Verbaal IQ wordt afgeleid uit IQ-testen die worden afgenomen door professionals, er is dus sprake van communicatie tussen professional en kandidaat. Prestatie IQ wordt afgeleid uit IQ-testen op papier, waarbij niet van begeleiding sprake is. Uit onderzoek komt dat verbaal IQ vaak ‘stabiel’ is dan prestatie IQ; als bij een persoon uit groep 7 een IQ-test wordt afgenomen die zich richt op verbaal IQ en in klas 5 ook, zitten beide IQ-scores dicht bij elkaar in de buurt dan wanneer een IQ-test die zich richt op prestatie IQ zou zijn afgenomen. Door de twee soorten IQ met elkaar te vergelijken en samen te voegen komt er een score uit van het totale IQ (D. Hopkins, H. Bracht, 1975).

Emotionele intelligentie:

Modellen voor emotionele intelligentie geven een houvast aan zaken in de psychologie, waarbij voornamelijk gekeken wordt naar het uitdrukken, controleren en analyseren van gevoelens van zichzelf en anderen. Ondanks dat de term emotionele intelligentie eerder is genoemd door wetenschappers worden

Salovey en Mayer (1990) als de grondleggers gezien, zij hebben veel onderzoek gedaan naar het begrip en definieerden het als volgt: “The ability to monitor one’s own and others’ feelings, to discriminate among them, and to use this information to guide one’s thinking and action.” Zij verdeelden deze definitie in drie zuilen en andere wetenschappers hebben later nog een vierde zuil toegevoegd. (Salovey & Grewal, 2005)

De eerste zuil is de vaardigheid om emoties te kunnen waarnemen en herkennen. Hierbij wordt niet alleen naar het ontcijferen van eigen emoties gekeken, maar ook naar de herkenning van emoties in foto’s, gezichten, stemmen en kunstwerken. Het beheersen van deze vaardigheid is de basis voor alle andere vaardigheden binnen de emotionele intelligentie. De andere drie zuilen uit de modellen zijn complexere vaardigheden. De tweede zuil omvat het gebruiken van je emoties om verschillende taken zo goed mogelijk uit te voeren. Men bezit deze vaardigheid wanneer hij of zij volledig kan profiteren van veranderende gemoedstoestanden. Creatief en innovatief denken wordt bijvoorbeeld meer bevorderd wanneer een persoon blij en gelukkig is, dan wanneer hij of zij ongelukkig of verdrietig is. En een lichtelijk verdrietige toestand is juist gunstig bij het vervullen van voorzichtig en methodisch werk.

De derde zuil is gebaseerd op het begrijpen van emoties, in de bredere zin van het woord. Zo begrijpt een emotioneel intelligent persoon de relaties tussen verschillende emoties en kan hij deze herkennen en beschrijven. Emoties kunnen bijvoorbeeld met de tijd veranderen, zo kan woede zich vervormen in verdriet en enthousiasme in stress. Daarnaast is het ook belangrijk om emoties van elkaar te kunnen onderscheiden, hoe klein het verschil tussen deze ook is. De laatste en meest ingewikkelde zuil van de emotionele intelligentie is het gebruiken van emoties, van zowel onszelf als een ander. Hieronder valt bijvoorbeeld het onder controle houden van heftige emoties, maar ook het gebruiken van zowel positieve als negatieve emoties om doelen te bereiken. Het gebruiken van emoties om emoties in anderen op te wekken valt ook onder dit gedeelte. Zo kan een krachtige speech bijvoorbeeld woede oproepen bij de luisteraars. (Salovey & Grewal, 2005)

Volgens onderzoek uit november 2017 waren er op dat moment 4611 papers geschreven waarbij emotionele intelligentie benoemd was in de titel, het abstract of de trefwoorden. Salovey en Mayer introduceerden het begrip in 1990. Emotionele intelligentie wordt in verschillende vakgebieden gebruikt. Naast de psychologie ook in de economie, onderwijs, neurologie en ingenieurswetenschappen. (Keefer & Parker & Saklofske, 2018)

Door de jaren heen is er veel kritiek gekomen op de wetenschap achter emotionele intelligentie. Zo zeggen critici dat het enkel een nieuwe naam is voor verschillende gerelateerde studies die al jaren gedaan worden. Dat het slecht gedefinieerd en slecht te meten is en dat de impact die emotionele intelligentie op succes in het leven heeft erg wordt overschat. (Kateryna & Parker & Saklofske, 2018)

Verband IQ en EQ bij volwassenen:

Volgens Salovey en Mayer (1990) kan emotionele intelligentie wel een verband hebben of geen verband hebben met andere vormen van intelligentie, zoals het cognitieve vermogen. (Schutte & Malouff & Hall & Haggerty & Cooper & Golden & Dornheim, 1998).

Eerdere onderzoeken tonen aan dat er bij volwassenen een zwak verband is tussen emotionele intelligentie en verbaal IQ, tussen prestatie IQ en EQ zit geen verband. Wanneer je deze twee IQ componenten samen neemt, blijkt er een minimale, maar significante relatie te zijn tussen het totale IQ en de emotionele intelligentie. (Hemmati, Toni, et al., 2004).

Verband IQ en EQ bij kinderen met mentale hulp:

Uit onderzoek naar 715 kinderen in een kliniek voor mentale hulp, blijkt dat laagbegaafde mensen en mensen met een iets lager dan gemiddeld IQ een positieve correlatie hebben met EQ, mensen met een iets hoger dan gemiddeld IQ hebben een lichte correlatie met EQ en mensen met een gemiddeld en hoog IQ hebben een substantiële correlatie met EQ, zie tabel 2. IQ en EQ kunnen niet door elkaar vervangen worden, maar bij kinderen met mentale hulp, blijkt er wel een correlatie te zijn (Feinberg, 1941).

Vraagstelling

In vorige onderzoeken is gebleken dat er bij volwassenen sprake is van een lichte correlatie tussen IQ en EQ. Ook bij kinderen met mentale hulp was dit het geval. Onderzoek naar de relatie tussen de quotiënten bij kinderen zonder mentale hulp ontbreekt. Op basis van deze gegevens is de volgende onderzoeksvraag ontstaan: “Wat is het verband tussen het IQ en EQ van kinderen van 10-11 jaar?” Verwacht wordt dat er bij kinderen van 10-11 jaar oud ook een correlatie zit tussen IQ en EQ, zoals deze bij volwassenen en kinderen met mentale ondersteuning ook zichtbaar is. Dit is gebaseerd op de eerder genoemde, voorgaande onderzoeken naar deze correlatie en de neurologische achtergrond van cognitieve functies, emoties en emotionele intelligentie.

Methode

De proefpersonen waren 50 kinderen uit groep 7, die 10-11 jaar oud zijn, van twee verschillende basisscholen uit Vroomshoop, in Overijssel. De proefpersonen hebben allen twee testen gemaakt in het klaslokaal van hun eigen school, tussen half 10 en 11. Na een korte uitleg startten ze met een EQ test (Schutte & Malouff & Hall & Haggerty & Cooper & Golden & Dornheim, 1998), zie bijlage 1, de vragen van de test worden voorgelezen en de leerlingen krijgen ze op papier. In de uitleg kregen ze te horen dat het onderzoek ging om een relatie tussen IQ en EQ, met een korte toelichting over de quotiënten. De manier van beoordelen was bij de leerlingen niet bekend. De test bestaat uit 33 vragen, allemaal gebaseerd op het model van Salovey en Mayer. Dertien vragen zijn afgeleid uit het deel over het beoordelen en uiten van emoties, tien over het reguleren van emoties en tien vragen zijn afgeleid uit het deel van het model over het effectieve gebruik van emoties. De antwoorden worden ingevuld op een schaalverdeling (helemaal mee oneens- mee oneens- neutraal- mee eens- helemaal mee eens), waarbij de puntenverdeling van 0 tot 4 loopt en bij vraag 5, 28 en 33 van 4 tot 0. Na deze activiteit kregen de proefpersonen een pauze van 15 tot 30

minuten. Vervolgens werd er verder gegaan met een IQ-test die af is geleid van de IQ-test van Wechsler (PB International), zie bijlage 2. Hierbij hadden de proefpersonen 18 minuten de tijd om 50 meerkeuze vragen te beantwoorden. Elk goed gemaakt antwoord leverde 1 punt op. Deze test kijkt naar vijf verschillende aspecten van intelligentie: de visuele ruimtelijke index, vervormbare redenerings index, werkgeheugens index, verwerkingssnelheid index en verbale bevattings index. Door samenvoeging van de uitkomsten van deze verschillende aspecten ontstaat een uiteindelijke IQ-score.

Resultaten

In totaal waren er 50 proefpersonen en dus ook 50 combinaties van een IQ- en een EQ-test. Het aantal behaalde punten bij de EQ-test en het aantal goed beantwoorde vragen bij de IQ-test zijn weergegeven in tabel 4. Evenals het aantal goede antwoorden in procenten en of de uitkomst van de EQ-test hoog, hoger dan gemiddeld, gemiddeld, lager dan gemiddeld en laag. Omdat er voor EQ-testen geen vaste schaalverdelingen zijn, is er een schaalverdeling gebruikt die gebaseerd is op het gemiddelde aantal punten van de EQ-test die behaald zijn door de kinderen in dit onderzoek, zie tabel 3.

Met behulp van de resultaten (zie tabel 4 in bijlage 3) zijn de volgende gemiddelden berekend:

- 1) Het gemiddelde aantal procenten van ‘lager dan gemiddeld’ is 29%
- 2) Het gemiddelde aantal procenten van ‘gemiddeld’ is 28%
- 3) Het gemiddelde aantal procenten van ‘hoger dan gemiddeld’ is 27%.

De IQ-scores en EQ-scores van de individuele kinderen zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 1. Enkelwaardige regressie met EQ als onafhankelijke en IQ als afhankelijke variabele is niet significant, ($F(1,48) = 0,065235$, $p = ,799497$). Ook geldt ($R = ,03684$, $R^2 = ,001357$). De R-waarde is de correlatiecoëfficiënt, de R²-waarde is de determinatiecoëfficiënt die op een schaal van 0-1 aangeeft in hoeverre de waarden met elkaar correleren, de F-waarde, ofwel de toetsingsgrootheid, geeft aan in hoeverre de correlatie toevallig is en de p-waarde is de significantie van F. Als de p-waarde groter is dan .05, dan is F niet significant (Universiteit Utrecht, z.d.).

Conclusie

De onderzoeksvraag was: “Wat is het verband tussen het IQ en EQ van kinderen groep 7?” en zoals te zien is in tabel 4 (zie bijlage 3) en figuur 1 is er geen verband te leggen tussen het IQ en EQ van kinderen uit Twente in groep 7, ($R = 0,03684$, $R^2 = 0,001357$). De gemiddelden van het IQ bij verschillende groepen -die ingedeeld zijn naar de resultaten van de EQ-test- liggen erg dicht bij elkaar. Wel kan er geconcludeerd worden dat de meeste proefpersonen 20 tot 35% van de vragen van de IQ-test goed beantwoord hebben. Het aantal behaalde punten bij de EQ-test lag voornamelijk tussen de 60 en 100 punten (van de 132).

Discussie

De hypothese en de conclusie komen niet met elkaar overeen. Er is dus mogelijk een verschil tussen de correlatie tussen de intelligentie quotiënt en de emotionele intelligentie quotiënt bij volwassenen en kinderen met mentale hulp, waarbij in vorige onderzoeken wel een correlatie tussen EQ en IQ is gevonden, en kinderen zonder mentale hulp. Een andere

mogelijke verklaring is dat het onderzoek niet betrouwbaar is. Voor beide verklaringen zijn argumenten voor en tegen, deze worden hieronder besproken. Als naar alle argumenten gekeken wordt, is het meest aannemelijk dat het onderzoek niet betrouwbaar is en er meer onderzoek gedaan moet worden om tot een betrouwbare conclusie te komen.

Mogelijke verklaringen voor het verschil

Het brein maakt bij kinderen nog veel ontwikkeling door. Het volume van de witte stof neemt toe tot ongeveer het 20e levensjaar. De grijze stof van de frontale en pariëtale kwab heeft gemiddeld het grootste volume bij kinderen van 12 jaar, de temporale kwab bij 16 jarigen. (Giedd, Jay N., et al.) Het brein van de mens verandert continu en aannemelijk is, dat deze bij kinderen veel minder ontwikkeld is. Zij hebben ook te weinig levenservaring om hoog op de emotionele intelligentie quotiënt te kunnen scoren.

Niet alleen wanneer de resultaten van dit onderzoek vergeleken worden met die van volwassenen komt het niet overeen. Ook wanneer de resultaten vergeleken worden met de resultaten van eerder onderzoek naar kinderen met mentale hulp, blijkt het niet overeen te komen. Het is niet bekend waar de proefpersonen, die aan het onderzoek van H. Feinberg deel namen, mentale hulp voor kregen. Kinderen die mentale hulp nodig hebben in sociale vaardigheden zouden mogelijk lager scoren op de EQ-test, zonder dat dit invloed heeft op hun intelligentie. Daarnaast kan het ook zo zijn dat de kinderen in de kliniek meer gestimuleerd worden tot het verbeteren van bijvoorbeeld hun sociale vaardigheden. Het is aannemelijk dat het grootste gedeelte van de proefpersonen, deelnemend in dit onderzoek, geen mentale hulp (op frequente basis) krijgt. Dit zou mogelijk het verschil in uitkomsten kunnen verklaren.

Ook blijkt er in het brein nog geen duidelijk verband gevonden te zijn tussen emotie, sociale vaardigheden en cognitieve functies, in de toekomst kan hier nog meer onderzoek naar gedaan worden. (Dick Swaab, 2010)

Betrouwbaarheid proefpersonen

De proefpersonen voor dit onderzoek zijn 10 tot 11 jarige kinderen uit Vroomshoop. Dit kan, vooral bij de EQ-test, invloed hebben gehad op de resultaten. Ze kunnen de EQ-test bijvoorbeeld naar hun eigen ideaalbeeld hebben ingevuld. Ondanks dat ze geen cijfers voor de testen kregen, waren ze wellicht bang om ongewenste antwoorden in te vullen. Bij de IQ-test hebben twee van de vijftig proefpersonen alle vragen afgekregen. In de laatste 30-35 vragen hadden deze kinderen aanzienlijk meer fouten dat bij de eerste 15-20 en er kan dus verondersteld worden dat ze de laatste vragen hebben gegokt. Ze hebben dus punten gekregen voor vragen die ze niet hebben gelezen, wat ten opzichte van de andere kinderen een hogere test score opleverde.

Er is in dit onderzoek niet gekeken naar geslacht, afkomst, culturele achtergrond en dergelijke factoren, wel is er rekening gehouden met woonplaats, leeftijd en opleidingsniveau. Voor een betrouwbaarder onderzoek zou ook het aantal proefpersonen vergroot moeten worden.

Zowel IQ- als EQ-testen zijn geen exacte afspiegelingen van

de werkelijkheid, wel geven ze een beeld van de werkelijkheid.

Betrouwbaarheid EQ-test

“Additional studies showed the 33-item measure to have good internal consistency and test-retest reliability. Validation studies showed that scores on the 33-item measure (a) correlated with eight of nine theoretically related constructs, including alexithymia, attention to feelings, clarity of feelings, mood repair, optimism and impulse control; (b) predicted first-year college grades; (c) were significantly higher for therapists than for therapy clients or for prisoners; (d) were significantly higher for females than males, consistent with prior findings in studies of emotional skills; (e) were not related to cognitive ability and (f) were associated with the openness to experience trait of the big five personality dimensions.” (Schutte & Malouff & Hall & Haggerty & Cooper & Golden & Dornheim, 1998)

De gebruikte 33 stellingen (de EQ-test) is door de makers op zes verschillende manieren getest en bestudeerd. Daarnaast was het (Engelse) taalgebruik op het leesniveau van 10-11 jarigen en ook bij de vertaling is er rekening gehouden met het tekstbegrip van deze leeftijdsgroep en zijn hier en daar dingen toegelicht (bij elke groep proefpersonen hetzelfde). (Schutte & Malouff & Hall & Haggerty & Cooper & Golden & Dornheim, 1998)

Daarentegen is deze test wel voornamelijk op het Salovey en Mayer model gebaseerd, naast dit (veel gebruikte) model bestaan er ook nog andere modellen (Schutte & Malouff & Hall & Haggerty & Cooper & Golden & Dornheim, 1998). Ook is deze test enkel een weergave van wat de proefpersonen zelf over zichzelf vinden, er zijn hiernaast ook andere manieren om het EQ van kinderen te meten, zoals de ‘child behavior checklist’, dit is een lijst met stellingen die door een verzorger van het kind ingevuld wordt, waardoor het EQ van het kind vastgesteld kan worden (Novik, 1999).

Emotionele intelligentie metingen hebben geen vaste schaalverdeling, hierom is gekozen om de scores te beoordelen op basis van de gemiddelde score die de kinderen in dit onderzoek behaalden. (Keefer & Parker & Saklofske, 2018)

Verder is emotionele intelligentie volgens sommige wetenschappers slecht gedefinieerd en slecht meetbaar. Zo wordt er op twee verschillende manieren naar gekeken: 1) naar gedrag: gedragen de proefpersonen zich zoals een emotioneel intelligent persoon zich zou gedragen? Hierbij staat ter discussie of je het gedrag wel als goed of fout bestempelen kan; zo wordt er weinig tot geen rekening gehouden met culturele verschillen en heeft goed gedrag wellicht meer te maken met het volgen van de sociale norm dan met intelligentie. 2) door middel van zelfrapportage: de proefpersonen beoordelen zichzelf. Men kan zichzelf over- of onderschatten, waardoor resultaten minder betrouwbaar worden. (Keefer & Parker & Saklofske, 2018)

Betrouwbaarheid IQ-test

De IQ-test die voor dit onderzoek is gebruikt is afgeleid van de Wechsler IQ-test. Deze test heeft meerdere testen die allemaal zijn aangepast aan leeftijd, om zo een betrouwbaardere uitslag te krijgen. Ook wordt er gekeken naar vijf aspecten die allemaal

individueel invloed hebben op de uiteindelijke IQ-score die uit de test komt.

“The contributions to the science of intellectual assessment made by David Wechsler through his intelligence scales are landmark. Quinn McNemar (1942), a statistician, was instrumental in establishing the guidelines for IQ test interpretation—that is to say, StanfordBinet interpretation—strictly in terms of psychometrics.” (Kaufman & Flanagan & Alfonso & Mascolo, 2006)

De IQ-test van Wechsler wordt gezien als één van de meest betrouwbare IQ-testen.

De afzonderlijke scores van de vijf aspecten worden tegen elkaar afgewogen en zo komt er uiteindelijk een IQ-score uit. De test die voor de doelgroep, kinderen van 10 tot 11 jaar, van dit onderzoek is bestemd heet de WISC. De officiële Wechsler IQ-test was echter niet beschikbaar, omdat de kosten hiervan het budget van dit onderzoek zouden overschrijden en daarnaast was de tijd die nodig was geweest om elk individueel kind te testen niet haalbaar, het proces duurt namelijk meerdere uren per test.

Hierdoor is een standaard test gebruikt die niet gespecificeerd op leeftijdsgroepen is. Dit kan invloed hebben gehad op de uiteindelijke resultaten, omdat de vragen met betrekking tot de vijf aspecten die een rol spelen bij uiteindelijke IQ-score niet afgestemd zijn op de kennis en vaardigheden die een 10 of 11 jaar oud kind bezit.

Op basis van dit feit is bij dit onderzoek een andere tijdslimiet gebruikt dan bij de originele IQ-test. Daarom is gekozen om de scores in procenten weer te geven, in plaats van de normale manier van beoordelen (PB International).

Omdat dit onderzoek geen budget had en er sprake was van een tijdslimiet, is in dit onderzoek voornamelijk getest op prestatie IQ. Dit heeft negatief invloed op de betrouwbaarheid van de scores die uit de testen zijn gekomen. Ideaal gezien zouden zowel prestatie- als verbaal IQ moeten worden gemeten en vervolgens met elkaar worden vergeleken om zo een volledig beeld te krijgen van het totale IQ (D. Hopkins, H. Bracht, 1975).

Voor toekomstige onderzoeken moeten IQ- en EQ-testen verbeterd worden voor een betrouwbaarder onderzoek. Om met meer zekerheid iets te zeggen over de relatie tussen intelligentie en emotionele intelligentie is het van belang om hier ook de neurologische achtergrond van te weten.

Bibliografie

PB International. “Wechsler Intelligence Scale for Children-IV (WISC-IV).” SpringerReference, https://doi:10.1007/springerreference_70197

White, S. H. (2000). Conceptual foundations of IQ testing. Psychology, Public Policy, and Law, 6(1), 33–43. <https://doi.org/10.1037/1076-8971.6.1.33>

Scarr-Salapatek, S. (1971). Unknowns in the IQ Equation. Science, 174(4015), 1223-1228. Retrieved from <http://www.jstor.org.ezproxy2.utwente.nl/stable/1732893>

Ritchhart, R. (2001). From IQ to IC: A dispositional view of intelligence. Roeper Review, 23(3), 143–150. <https://doi.org/10.1080/02783190109554086>

Feinberg, H. (1941). IQ correlated with EQ. Journal of Educational Psychology, 32(8), 617–623. <https://doi.org/10.1037/h0057239>

Kaufman, A. S., Flanagan, D. P., Alfonso, V. C., & Mascolo, J. T. (2006). Test Review: Wechsler Intelligence Scale for Children, Fourth Edition (WISC-IV). Journal of Psychoeducational Assessment, 24(3), 278–295. <https://doi.org/10.1177/0734282906288389>

Salovey, P., & Grewal, D. (2005). The Science of Emotional Intelligence. Current Directions in Psychological Science, 14(6), 281–285. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00381.x>

Nøvik, T. S. (2000). Child Behavior Checklist item scores in Norwegian children. European Child & Adolescent Psychiatry, 9(1), 54–60. <https://doi.org/10.1007/s007870050116>

Emotional Intelligence in Education. (2018) (1ste editie). Cham, Zwitserland: Springer International Publishing Ag.

Schutte, N. S., Malouff, J. M., Hall, L. E., Haggerty, D. J., Cooper, J. T., Golden, C. J., & Dornheim, L. (1998). Development and validation of a measure of emotional intelligence. Personality and Individual Differences, 25(2), 167–177. [https://doi.org/10.1016/s0191-8869\(98\)00001-4](https://doi.org/10.1016/s0191-8869(98)00001-4)

Binet, A., & Simon, T. (1973). New methods for the diagnosis of the intellectual level of subnormals. In H. H. Goddard (Ed.), The development of intelligence in children (The Binet–Simon Scale)(pp. 37-90.) (E.S. Kite, Trans.). New York: Arno Press. (Original work published 1916)

Giedd, Jay N., et al. “Brain Development during Childhood and Adolescence: a Longitudinal MRI Study.” Nature Neuroscience, vol. 2, no. 10, 1999, pp. 861–863., doi:10.1038/13158.

Hemmati, Toni, et al. “The Validity of the Bar-On Emotional Intelligence Quotient in an Offender Population.” Personality and Individual Differences, vol. 37, no. 4, 2004, pp. 695–706., doi:10.1016/j.paid.2003.10.003.

D. Hopkins, K., & H. Bracht, G. (1975). Ten-Year Stability of Verbal and Nonverbal IQ scores. American Educational Research Journal, 12(4), 469–477.

Universiteit Utrecht. (z.d.). Er is onderzoek gedaan naar rouw na het overlijden van een huisdier. Geraadpleegd van https://www.uu.nl/sites/default/files/fsw_ms_spss_enkelvoudige_anova.pdf

Chakraborty, Aruna, and Amit Konar. Emotional Intelligence. Springer, 2009. <https://link-springer-com.ezproxy2.utwente.nl/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-68609-5.pdf>

Swaab, Dick. (2010) Wij Zijn Ons Brein. Cheers Publishing.

IQ-score	Interpretatie
>130	Hoogbegaafd
120-129	Begaafd
110-119	Bovengemiddeld intelligent
90-109	Gemiddeld intelligent
80-89	Beneden gemiddeld intelligent
1-79	Zwakbegaafd

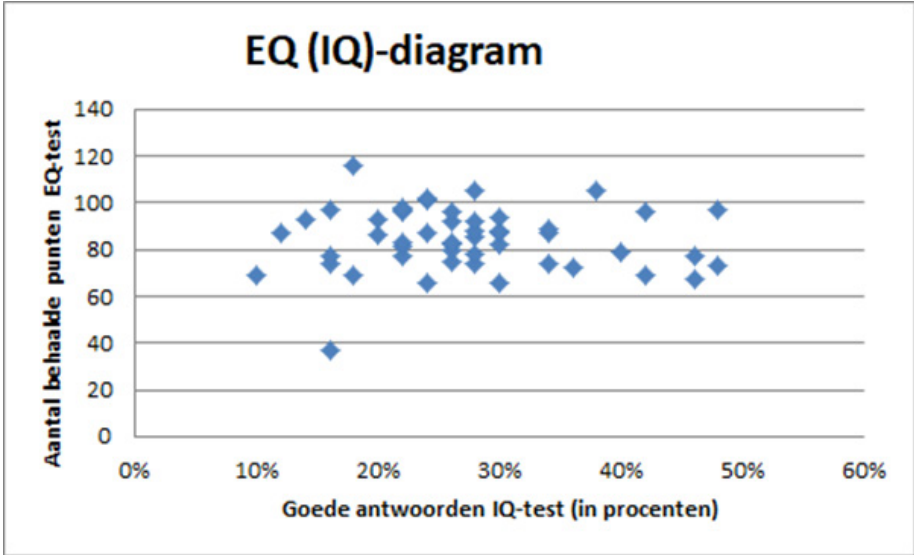
Tabel 1: schaalverdeling IQ-scores

Laag IQ	Laag EQ
Lager dan gemiddeld IQ	Lager dan gemiddeld EQ
Gemiddeld IQ	Hoog EQ
Hoger dan gemiddeld IQ	Hoger dan gemiddeld EQ
Hoog IQ	Hoog EQ

Tabel 2: correlatie tussen IQ en EQ bij kinderen met een mentale beperking

	Aantal goede antwoorden in procenten	Aantal goede antwoorden
Laag	0-40	0-52
Lager dan gemiddeld	40-55	53-72
Gemiddeld	55-70	73-92
Hoger dan gemiddeld	70-85	93-112
Hoog	85-100	113-132

Tabel 3: verdeling uitkomsten EQ-test



Figuur 1: resultaten in grafiekvorm

Het effect van kleuren op het leervermogen van kinderen met dyslexie

L.M. Beens¹, K. Shoaie Bargh¹, S. de Winter², M. Gilissen¹, M.N.A. Bijman²

¹ Bonhoeffer College Bruggertstraat, Enschede

² Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - Pupils with dyslexia are usually in need of support when revising vocabulary, because their word recognition is hindered by their condition. This causes the time it takes to study the words to be longer, without it being more efficient. To find out in what way pupils with dyslexia can be aided during studying vocabulary, research has been conducted on the effect of different color combinations between words and background on the learning capability of children with dyslexia. Every test subject revised four different lists of words. Each list was made with the following color combinations of words on background: red on green, orange on blue, yellow on purple or black on white. It appeared that children with dyslexia were able to remember more words with the color combinations orange/blue and yellow/purple than the commonly used black/white. After the examination, the test subjects were inquired about their preferences in terms of which color combinations were most pleasant to read. Red/green was least favoured, but other combinations were equally liked. In response to this research, it is to be considered to provide pupils with dyslexia with vocabulary lists that are printed with orange letters on blue paper or yellow letters on purple paper. This results in higher learning efficiency for these pupils, so that less effort is needed for a passing grade. This also prevents being held back by language courses in school, when the pupil in fact has at-level learning capacity for the other subjects.

Introductie

In Nederland heeft ongeveer 8% van de kinderen tussen de 7 en 12 jaar dyslexie (CBS, 2016). *‘Dyslexie is een stoornis die gekenmerkt wordt door een hardnekkig probleem met het aanleren en het accuraat en/of vlot toepassen van het lezen en/of spellen op woordniveau.’* (Stichting Dyslexie Nederland 2004, p. 6) Om te bepalen of iemand dyslexie heeft, wordt er tegenwoordig vooral gekeken naar de achterstand op het gebied van lezen en schrijven die iemand heeft en hoe hardnekkig deze achterstand is (Ghesquière, Boets, Gadeyne, & Vandewalle, 2011).

Vanwege het probleem met lezen en spellen kunnen leerlingen met dyslexie op de middelbare school problemen krijgen. Omdat ze moeite hebben met lezen, duurt het langer om bijvoorbeeld een woordenlijst te onthouden. Naast het proberen te onthouden moeten zij namelijk ook energie steken in het correct lezen van de woorden. Dit zorgt ervoor dat ze meer tijd besteden aan het leerwerk en daardoor sneller een leerachterstand krijgen ten opzichte van hun leeftijdsgenoten. Deze leerachterstand kan ervoor zorgen dat ze zich minder kunnen ontwikkelen en beneden niveau presteren. Uiteindelijk heeft dit mogelijk als gevolg dat die leerlingen weinig zelfvertrouwen hebben en zelfs depressief kunnen worden (Alexander-Passe, 2006). Daarom moet er gekeken worden naar oplossingen die mensen met dyslexie kunnen helpen.

Dyslexie heeft te maken met een storing in de hersenen. De volgende hersengebieden zijn dan namelijk minder actief: de inferior frontale gyrus, de superior temporaal, de parieto temporaal, de midden temporaal en de occipitale kwab. De inferior frontale gyrus is betrokken bij de spraak en is ook actief bij het lezen. De temporale kwabben zijn betrokken bij het gehoor, het verbale geheugen, de taalfuncties en ook bij visuele herkenning. De occipitale kwab is het visuele gebied in de hersenen (B. A. Shaywitz et al., 2002). Deze hersengebieden staan afgebeeld in Figuur 1.

De oorzaak van deze inactieve hersendelen volgt uit het

genotype van de persoon. De zogenaamde ‘dyslexiegenen’ (DYX1C1, DCDC2 en KIAA0319) hebben allelen die van invloed zijn op de witte massa die de temporale gyrus met de pariëtale kwab verbindt (Kere, 2014). Het allel dat bij mensen met dyslexie voorkomt, zorgt ervoor dat deze verbinding minder goed ontwikkeld wordt in de foetale periode (Faust, 2012). Daarnaast is uit andere onderzoeken gebleken dat het DCDC2-gen veranderingen veroorzaakt in de hersenschors, in de grijze massa en in de gebieden die betrokken zijn bij lezen en taal (Kere, 2014). Ook een afwijking in de kleine hersenen wordt als mogelijke oorzaak genoemd. Er wordt beweerd dat een afwijking in de kleine hersenen kan leiden tot asymmetrische hersenen (Brandler & Paracchini, 2014). Hierdoor worden bij dyslecten de hersengebieden voor de leesvaardigheid minder goed ontwikkeld. Omdat deze gebieden minder goed werken, hebben leerlingen met dyslexie moeite met het herkennen en het analyseren van woorden.

Dyslexie is een conditie die niet weggaat met de tijd. Het is echter wel zo dat mensen er na verloop van tijd makkelijker mee om kunnen gaan. Het herkennen van woorden gaat nauwkeuriger, maar lang niet zo vloeiend als bij mensen zonder dyslexie. Dankzij vele hulpmiddelen is het mogelijk om mensen met dyslexie te helpen om het lezen minder een belemmering te laten zijn. Zo is er bijvoorbeeld een bril ontwikkeld met gekleurde lenzen om mensen met dyslexie te helpen. De lenzen zijn gekleurd op de plek waar men doorheen kijkt tijdens het lezen, de rest van de lens is kleurloos. Uit onderzoek blijkt dat de bril het beste werkt wanneer de lenzen geel, oranje-geel of oranje zijn gekleurd (Giraudet, 2010). Kleuren worden dus al gebruikt om mensen met dyslexie te helpen lezen. Het is ook al bekend dat kleuren invloed hebben op hoe mensen zich voelen en op hun gedrag (Yoto, Katsuura, Iwanaga, & Shimomura, 2007). Ook hebben kleuren de eigenschap om de aandacht te trekken, wat ervoor zorgt dat woorden makkelijker te onthouden zijn (Dutta & Barua, 2018). Het Von Restorff effect houdt namelijk in dat men alles wat

afwijkt van het andere beter onthoudt (Kamp et al., 2016). Dit geldt bijvoorbeeld wanneer een kleurrijk kunstwerk wordt tentoongesteld in een ruimte met grijze muren. Men onthoudt het kunstwerk omdat het zo afwijkend is. Spence, Wong, Rusan, & Rastegar hebben in 2006 een onderzoek gedaan om erachter te komen welke kleuren de beste invloed hebben op geheugenprestaties. Het resultaat hiervan was dat een omgeving met warme kleuren (zoals rood en geel) optimaal is voor geheugenprestaties.

Het leervermogen bestaat uit twee onderdelen, namelijk het leren en het toepassen van kennis. In dit onderzoek staat vooral het aspect van het leervermogen waarbij gebruik wordt gemaakt van leren door te onthouden centraal. Er zijn namelijk twee manieren om te leren: impliciet en expliciet. Impliciet leren gebeurt door middel van praktische oefening en herhaling, bijvoorbeeld wanneer iemand leert fietsen. Expliciet leren is gebaseerd op het vergaren van kennis en het onthouden ervan (Hulstijn, 2004): mensen zijn zich ervan bewust dat ze iets geleerd hebben (Ellis, 2009). In dit onderzoek wordt dus gekeken naar expliciet leren, namelijk het onthouden van woorden. Een manier om woorden sneller te onthouden is om ze te groeperen in categorieën wat betreft woordbetekenis. Woorden worden namelijk sneller onthouden wanneer ze qua betekenis in dezelfde categorie vallen, omdat het brein deze woorden aan elkaar koppelt (Aitchison, 2012).

Om woordjes te kunnen onthouden moeten de woorden eerst herkend worden. Dat wil zeggen dat de persoon ziet welk woord er staat. Bij kinderen met dyslexie duurt het langer voordat ze de letters van een woord herkennen en dus ook voordat ze het hele woord herkennen (Plakas et al., 2013). Wanneer de persoon een woord herkend heeft, en dus weet welk woord er staat, kan hij het woord onthouden. Wanneer een woord onthouden is, zit het in het geheugen van die persoon. Diegene heeft het woord dan op expliciete wijze geleerd.

Het geheugen van mensen zit niet op één plek, maar heeft te maken met de verbindingen tussen de cellen in het brein. Deze verbindingen ontstaan doordat de synapsen in hersencellen neurotransmitters vrijgeven waardoor er signalen van de ene naar de andere cel gestuurd kunnen worden. Wanneer mensen woorden proberen te onthouden, en er dus signalen worden gestuurd, ontstaan deze verbindingen tussen de hersencellen. Hoe vaker deze verbindingen gebruikt worden, des te langer ze bestaan (Eichenbaum & Cohen, 2001). Dit verklaart waarom herhalen helpt bij het onthouden van woorden.

Om leerlingen met dyslexie te helpen, moeten ze beter worden in het herkennen van woorden. Voor dit doel is gekozen voor het gebruik van kleuren. Kleuren worden namelijk al gebruikt om leerlingen met dyslexie te helpen (Giraudet, 2010) en kleuren kunnen ook een positief effect hebben op het geheugen. Het doel van dit onderzoek is om erachter te komen welk(e) kleurcontrast(en) tussen woord en achtergrond er voor zorgen dat leerlingen met dyslexie meer woorden kunnen onthouden. Met dit onderzoek kan men erachter komen welke kleuren de woorden en de achtergrond moeten hebben om ervoor te zorgen dat leerlingen met dyslexie de woorden zo goed mogelijk kunnen onthouden.

Hieruit volgt de onderzoeksvraag: *Welke kleurcontrasten tussen tekst en achtergrond bevorderen het leervermogen bij leerlingen van 12 t/m 14 jaar met dyslexie het meest?*

De verwachting is dat oranje letters op een blauwe achtergrond het beste werken, omdat uit eerdere onderzoeken is gebleken dat bijvoorbeeld oranje lenzen kunnen helpen voor mensen

met dyslexie (Giraudet, 2010). Ook helpen warmere kleuren (zoals oranje) om dingen te onthouden (Spence, Wong, Rusan, & Rastegar, 2006). Blauw is een rustgevende kleur en vormt een perfect contrast met oranje, waardoor de tekst er beter kan uitspringen en de tekst beter in het geheugen kan blijven zitten.

Methode

Voor dit experiment zijn leerlingen van 12 t/m 14 jaar onderzocht omdat ze op deze leeftijd veel moeten leren op school. Dit gebeurde in twee aparte groepen: leerlingen met dyslexie (n = 15) en leerlingen zonder dyslexie (n = 21). Het experiment is uitgevoerd in een klaslokaal met de tafels in toetsofstelling. Op de tafels lagen vier verschillend gekleurde papiertjes (genummerd 1 t/m 4) met woordenlijsten, bestaande uit 14 woorden, op de kop. De kleurencombinatie van de woorden en de achtergrond was bij ieder papiertje verschillend. De combinaties worden weergegeven in Tabel 1.

Er is bewust gekozen voor warme kleuren voor de woorden en een koude kleur als achtergrond, omdat uit onderzoek is gebleken dat de warme kleuren beter onthouden worden (Spence, Wong, Rusan, & Rastegar, 2006). Na een korte uitleg over het experiment mochten de leerlingen de eerste woordenlijst omdraaien. Ze kregen 30 seconden om de woorden die erop staan te bekijken en proberen te onthouden. Nadat ze de woorden gezien hadden, werden ze 60 tot 90 seconden ‘afgeleid’ om te voorkomen dat de woorden nog in het kortetermijngeheugen zaten of dat ze er nog de hele tijd aan dachten. Dit gebeurde door ze naar een filmpje met raadsels te laten kijken. Daarna mochten de leerlingen de woorden opschrijven die ze hadden onthouden. De proef werd herhaald met de overige drie combinaties, waarbij ze weer een andere woordenlijst te zien kregen. Ten slotte werd aan de leerlingen gevraagd welke kleurencombinatie het prettigst was om te lezen. De leerlingen schreven hun antwoord op hun blaadje.

Na het verzamelen van de antwoordbladen van de leerlingen zijn de woorden nagekeken. Bij het nakijken van de woorden zijn alle woorden met spellingsfouten erin fout gerekend. Hier is voor gekozen omdat dit op school bij toetsen ook fout gerekend wordt. Ook is het niet te achterhalen of de woorden die fout geschreven zijn verkeerd zijn onthouden of dat er alleen een spellingsfout is gemaakt. Sommige woorden worden na het veranderen van één letter namelijk andere woorden.

Elke proefpersoon kreeg alle kleurencombinaties één voor één te zien, waarbij elke persoon de kleurencombinaties in een andere volgorde te zien kreeg. Zo kreeg leerling 1 bijvoorbeeld als eerste de woorden zwart op wit te zien en leerling 2 oranje op blauw. Dit heeft te maken met de mogelijkheid dat leerlingen in de loop van het onderzoek verveeld raken en daardoor minder woorden onthouden. Als de leerlingen wel alle kleurencombinaties in dezelfde volgorde zouden zien, kan het zo zijn dat de resultaten bij de laatst getoonde combinatie slechter zijn. Op dat moment onthouden de leerlingen een kleiner aantal woorden, niet met de reden dat de kleuren niet effectief zijn, maar met de reden dat ze verveeld zijn.

Alle leerlingen kregen een lijst met woorden te zien (zie Bijlage 1). Het niveau van de woorden wordt gelijk gehouden doordat ieder woord bestaat uit één lettergreep. Verder is ervoor gekozen om elke klinkerklank niet vaker dan één keer in elke kolom te plaatsen (bijvoorbeeld [ee] in beest - teen - veer - eend). Wat betreft de betekenis van de woorden is ervoor gezorgd om niet meer dan twee woorden van één categorie (zoals ‘dieren’) in één kolom te plaatsen. Dit is gedaan om te

voorkomen dat de ene lijst makkelijker te onthouden zou zijn dan een andere (Aitchison, 2012).

Nadat alle gegevens verzameld zijn, zijn de gemiddelde scores van zowel de leerlingen met dyslexie als zonder dyslexie in een staafdiagram gezet. Om te weten of er een significant verschil is tussen de verschillen in de gegevens, is gebruik gemaakt van een gepaarde t-toets. Er is gekozen voor de gepaarde t-toets omdat met deze test gemiddelden met elkaar vergeleken kunnen worden en er in dit onderzoek gebruik wordt gemaakt van gemiddelden. Bij elke kleurencombinatie heeft dezelfde testgroep deelgenomen, daarom kan er gebruik gemaakt worden van de gepaarde t-toets (Aarts & Wouters, 2018).

Resultaten

De leerlingen met dyslexie onthielden gemiddeld de meeste woorden bij de kleurencombinatie oranje-blauw; gemiddeld onthielden ze 4,87 woorden (zie Figuur 2). Wat ook opvalt is dat de leerlingen met dyslexie gemiddeld de minste woorden hebben onthouden bij de kleurencombinatie zwart-wit, namelijk gemiddeld 3,87 woorden. Verder is te zien dat de leerlingen zonder dyslexie gemiddeld de meeste woorden hebben onthouden bij de kleurencombinaties rood-groen (gemiddeld 6,76 woorden) en zwart-wit (gemiddeld 6,14 woorden). In Figuur 2 is ook te zien dat de kinderen met dyslexie bij elke kleurencombinatie gemiddeld minder woorden onthielden dan de kinderen zonder dyslexie. Bij de kleurencombinatie geel-paars was dit verschil het kleinst (het verschil tussen de gemiddelden was 0,57 woord) en bij zwart-wit het grootst (het verschil tussen de gemiddelden was 2,27 woorden). Uit de t-toets voor afhankelijke steekproeven bleek dat tussen zwart-wit en oranje-blauw bij leerlingen met dyslexie, met een alfa van 5,0 %, het verschil significant is ($p = 0,036629$). Ook tussen geel-paars en zwart-wit bij leerlingen met dyslexie is het verschil significant, met een alfa van 5,0 %, ($p = 0,034679$)

In Figuur 3 is te zien dat de leerlingen met dyslexie geen significante voorkeur hadden voor een bepaalde kleurencombinatie. De combinaties zwart-wit, oranje-blauw en geel-paars scoren even hoog: elk van deze kleuren vond 28% van de leerlingen het prettigst. Alleen de kleurencombinatie rood-groen scoorde lager. Slechts 16% van de kinderen gaf aan dit het prettigst te vinden lezen.

Zoals in Figuur 4 te zien is, hadden de leerlingen zonder dyslexie wel een duidelijke voorkeur voor een kleurencombinatie, namelijk zwart-wit. 39% van de leerlingen gaf aan dit het prettigst te vinden lezen. Verder gaf 26% van de leerlingen aan geel-paars het prettigst te vinden om te lezen. Rood-groen en oranje-blauw werden door het kleinste aantal leerlingen het prettigst gevonden, namelijk door 19% en 18% van de leerlingen.

De leerlingen hebben elke ronde gemiddeld minder woorden onthouden. Dit is te zien in Tabel 2. Het grootste verschil zit tussen ronde 3 en 4. Gemiddeld worden er in ronde 4 ongeveer 2 woorden minder onthouden dan in ronde 1.

Conclusie

Uit de resultaten is gebleken dat de kleurencombinaties geel-paars en oranje-blauw het beste effect hebben op het onthouden van woorden bij leerlingen met dyslexie, aangezien ze bij die kleuren significant het meest onthouden. Uit de vragenlijst blijkt dat deze leerlingen de kleurencombinaties net zo prettig vonden lezen als zwarte letters op een witte

achtergrond. De leerlingen zonder dyslexie onthielden bij alle kleurencombinaties meer dan de leerlingen met dyslexie. Bij de leerlingen zonder dyslexie werkten de kleurencombinaties zwart-wit en rood-groen het beste. Er kan dus geconcludeerd worden dat leerlingen met dyslexie het beste woorden kunnen onthouden wanneer deze met gele tekst gedrukt staan op paars papier of met oranje tekst op blauw papier. Dit bevestigt de hypothese.

Discussie

Uit de resultaten bleek dat bij de kleurencombinaties geel-paars en oranje-blauw de meeste woorden werden onthouden door de kinderen met dyslexie. Dit komt overeen met het feit dat de bril die voor mensen met dyslexie ontwikkeld is oranje en geel gekleurde lenzen heeft (Giraudet, 2010), dus ook uit eerder onderzoek is gebleken dat deze kleuren het meest effectief werken.

Een opvallend resultaat was dat alle kleurencombinaties hoger gescoord hebben dan het gebruikelijke zwart-wit. Dit kan er mee te maken hebben dat de leerlingen met dyslexie van tevoren uitleg over het onderzoek hebben gehad. In de uitleg is verteld dat het doel van het onderzoek is om erachter te komen of verschillende kleurencombinaties een positief effect hebben op het onthouden van woorden voor mensen met dyslexie. Het is mogelijk dat de leerlingen hierdoor meer woorden onthielden bij de kleurencombinaties, ten opzichte van zwart-wit, omdat ze ervan uitgingen dat deze kleuren hen zouden helpen met het onthouden. In dit geval treedt er een placebo-effect op. In een onderzoek van Goodenough et al., (1997) is bewezen dat er een placebo-effect kan optreden wanneer van tevoren het doel van een onderzoek bekend is, dit kan ook in dit onderzoek een rol hebben gespeeld. Het placebo-effect kan er ook voor gezorgd hebben dat de kinderen met dyslexie de kleurencombinaties prettiger vonden lezen dan de combinatie zwart-wit. Er was ze namelijk verteld dat het een positief effect kon hebben. Dit zou een verklaring zijn voor het feit dat de meeste kinderen zonder dyslexie zwart-wit het prettigst vinden om te lezen terwijl de kinderen met dyslexie vaker hebben aangegeven de overige kleurencombinaties het prettigst te vinden om te lezen. Om te vermijden dat er een placebo-effect optreedt, zal er in een vervolgonderzoek niet aan de leerlingen verteld moeten worden wat precies het doel van het onderzoek is. Mogelijk komen er dan andere resultaten uit het onderzoek. Wat ook opviel in de resultaten was dat de leerlingen elke ronde gemiddeld minder woorden konden onthouden dan de ronde ervoor (zie Tabel 2). Dit kan erop duiden dat de kinderen zich tijdens het onderzoek zijn gaan vervelen. De concentratie, motivatie en inspanning die de kinderen leveren tijdens het onderzoek hebben namelijk invloed op hoeveel ze kunnen onthouden (Krueger, 2018). Om de invloed van de verveling tijdens het onderzoek te verminderen, is ervoor gekozen om de kleuren in verschillende volgorde te laten zien. Op deze manier wordt elke kleur even vaak als laatst gezien. Daardoor zijn de resultaten van de kleurencombinaties in gelijke mate beïnvloed door de verveling van de proefpersonen. De uitkomst zal hierdoor relatief weinig worden beïnvloed door verveling. Niet alleen de kleurencombinaties werden in verschillende volgorde gezien, maar ook de woordenlijsten. Daarnaast werd niet steeds dezelfde woordenlijst gebruikt voor een bepaalde kleurencombinatie. Het niveau van de verschillende woordenlijsten is gelijk gehouden: in elke woordenlijst zitten dezelfde klanken en de woorden hebben allemaal één

lettergreep. Dit is gedaan zodat voorkomen wordt dat de ene woordenlijst moeilijker te onthouden is dan de andere en dat daardoor de uitslag wordt beïnvloed. Het is wel mogelijk dat een individu de ene woordenlijst makkelijker vond om te onthouden dan een andere. Elke proefpersoon heeft dus alles in een andere volgorde uitgevoerd, met als gevolg dat de resultaten betrouwbaarder zijn.

Sommige leerlingen kunnen beter zijn in het onthouden van woordjes dan anderen. Dit heeft invloed op de gemiddelde resultaten omdat de leerlingen in dit onderzoek niet alleen gevraagd worden de woorden te lezen, maar deze ook te onthouden. De invloed hiervan wordt verminderd doordat elke leerling alle kleurencombinaties te zien krijgt. Wanneer iemand heel goed is in het onthouden van woorden, en zo de gemiddelden beïnvloedt, heeft dit op elke kleurencombinatie een even groot effect.

De kleuren kunnen in dit onderzoek op twee manieren helpen: ze kunnen ervoor zorgen dat de woorden beter te onthouden zijn of dat de leerlingen met dyslexie de woorden makkelijker kunnen herkennen. Er is gekozen om het onthouden van de woorden mee te nemen in het onderzoek om er zeker van te zijn dat de leerlingen de woorden goed gelezen hebben en omdat het in het dagelijks leven vaak voorkomt dat dingen die gelezen worden ook onthouden moeten worden. Omdat leerlingen met dyslexie een verminderd werkgeheugen hebben op het gebied van taal (Menghini, Finzi, Carlesimo, & Vicari, 2011), is het niet zeker of de kleuren helpen om de woorden te onthouden of om ze te herkennen. Om zeker te weten welk effect de kleuren hebben moet er een test worden afgenomen waar het geheugen geen rol in speelt. Een voorbeeld van een dergelijke test is om de leerlingen een tekst te laten lezen en bij te houden hoe lang ze erover doen om de tekst te lezen en hoeveel fouten ze maken tijdens het lezen. De kleurencombinatie van tekst en achtergrond zal telkens moeten variëren en bij alle leerlingen moet dan dezelfde tekst gebruikt worden. Aan de hand van de leesnelheid en het aantal fouten kan bepaald worden of de kleurencombinaties helpen om de woorden makkelijker te herkennen. Dit is echter een tijdrovende aanpak, aangezien elke leerling individueel getest moet worden in plaats van in een groepssetting. Bovendien wordt met deze methode slechts de leesnelheid gemeten. Er wordt dan geen informatie gegeven over de mate waarin de woordjes onthouden worden. Daarom is de beste manier om beide methodes uit te voeren en daaruit een conclusie te trekken over zowel het lezen als het onthouden van de woorden.

Het onderzoek is op drie verschillende momenten uitgevoerd. Een keer met een groep dyslecten, daarna met een groep niet-dyslecten en dan nog een keer met een andere groep dyslecten. Tussen de drie verschillende keren zaten echter kleine verschillen in de uitvoering. Tijdens het tweede moment werkte het filmpje met raadsels namelijk niet. Er is toen gebruik gemaakt van andere raadsels die mondeling werden overgebracht. Het is mogelijk dat de ene groep meer afgeleid raakte dan de andere groep, wat betekent dat de concentratie van de ene groep hoger kan zijn geweest dan die van een andere groep, waardoor ze de woorden beter hebben kunnen onthouden (Krueger, 2018). Dit is niet terug te zien in de resultaten. Om uit te sluiten dat de verschillende momenten invloed hebben op de resultaten, kan er in een volgend onderzoek voor gekozen worden om het onderzoek op één moment uit te voeren.

In een vervolgonderzoek zou ook beter gebruik kunnen worden gemaakt van leerlingen die allemaal even oud zijn

of twee groepen waar de gemiddelde leeftijd even hoog is. Hoewel elke testpersoon binnen de gekozen leeftijdscategorie viel, waren de kinderen zonder dyslexie gemiddeld ouder dan de leerlingen met dyslexie. Dit kan invloed hebben gehad op het gemiddeld aantal onthouden woorden, aangezien de oudere leerlingen meer kunnen onthouden dan jongere (Henry, Moran, & Messer, 2020). Het is belangrijk dat het onderzoek herhaald wordt waarbij de beide testgroepen gemiddeld evenveel leerervaring hebben. Op die manier is het beter te onderscheiden welk verschil er wordt gemaakt door de dyslexie zonder dat de leeftijd daar ook een rol in speelt. Naar aanleiding van dit onderzoek zijn dus nog verschillende vervolgonderzoeken mogelijk. Er kan een onderzoek worden uitgevoerd waarin het placebo-effect vermeden wordt en waarin de leerlingen niet weten met welk doel ze de proef uitvoeren om erachter te komen op wat voor manier de kleuren invloed hebben. Het is ook interessant om de resultaten van gekleurd papier te vergelijken met bijvoorbeeld een dyslexiebril. Als ze even goed werken kan er gekeken worden wat de meest haalbare oplossing is voor scholen; gekleurd papier aanschaffen of voor ieder kind met dyslexie een bril aanschaffen.

In afwachting van vervolgonderzoek is het voor leraren te overwegen om leerlingen met dyslexie de mogelijkheid te geven om woordenlijsten die geleerd moeten worden in geel-paars of oranje-blauw te krijgen.

Bibliografie

- Aarts, S., & Wouters, E. (2018). De t-toets en de analysis of variance, ANOVA. *Podosophia*, 26(1), 28–3 https://doi.org/10.1007/s12481-018-0187-8
- Aitchison, J. (2012). *Words in the Mind: An Introduction to the Mental Lexicon* (4e editie). West Sussex, UK : Wiley-Blackwell.
- Alexander-Passe, N. (2006). How dyslexic teenagers cope: an investigation of self-esteem, coping and depression. *Dyslexia*, 12(4), 256–275. https://doi.org/10.1002/dys.318
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. https://doi.org/10.1038/nrn1201
- Brandler, W., & Paracchini, S. (2014). The genetic relationship between handedness and neurodevelopmental disorders. *Trends in Molecular Medicine*, 20(2), 83–90. https://doi.org/10.1016/j.molmed.2013.10.008
- Dutta, A., & Barua, J. (2018). A study on colours facilitating attention and memory of young children. ProQuest. Geraadpleegd op 23-05-2019 van https://search.proquest.com/openview/295e5925a7d982dbd5c43abcd90fb9f1/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2032133
- Eichenbaum, H., & Cohen, P. P. N. J. (2001). *From Conditioning to Conscious Recollection: Memory Systems of the Brain*. New York: Oxford University Press.
- Ellis, R. (2009). chapter 1. In *Implicit and Explicit Learning, Knowledge and Instruction* (p. 3). Geraadpleegd op 12-10-2019 https://pdfs.semanticscholar.org/5ec0/633509ac14ba2474bf1930a970e79ad2bf32.pdf
- Faust, M. (2012). *The Handbook of the Neuropsychology of Language*, 2 Volume Set. Wiley.
- Ghesquiere, P., Boets, B., & Gadeyne, E. (2011). Jongvolwassenen met dyslexie: diagnostiek en begeleiding in wetenschap en praktijk. Geraadpleegd op 20-09-2019 van https://limo.libis.be/primo-explore/

ulldisplay?docid=LIRIAS1767776&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&tab=default_tab&lang=en_US&fromSitemap=1

Giraudet, G. (2010). Coloured ophthalmic lenses for people with dyslexia. Geraadpleegd van patent: US20100060850A1

Goodenough, B., Kappel, L., Champion, D. G., Laubreaux, L., Nicholas, K. M., Ziegler, B. J., & McInerney, M. (1997). An investigation of the placebo-effect and age-related factors in the report of needle pain from venipuncture in children. *Pain*, 72(3), 383–391. [https://doi.org/10.1016/s0304-3959\(97\)00062-6](https://doi.org/10.1016/s0304-3959(97)00062-6)

Kamp, S., Lehman, M., J. Malmberg, K., & Donchin, E. (2016). A Buffer Model Account of Behavioral and ERP Patterns in the Von Restorff Paradigm. *AIMS Neuroscience*, 3(2), 181–202. <https://doi.org/10.3934/neuroscience.2016.2.181>

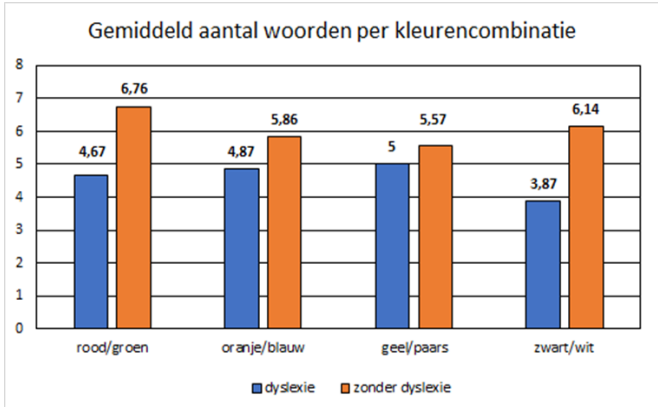
Krueger, G. P. (2018). *Performance Under Stress* (1ste editie). hoofdstuk 4 concentration, stress and performance. <https://doi.org/10.1201/9781315599946>

Henry, L. A., Moran, A., & Messer, D. J. (2020). Working Memory Development. *The Encyclopedia of Child and Adolescent Development*, 1–12. <https://doi.org/10.1002/9781119171492.wecad116>

Hulstijn, J. H. (2004). Oefenen in woord-voor-woord verstaan als vorm van impliciet leren. Geraadpleegd op 12-10-2019 van <https://dare.uva.nl/search?identificatie=e8e4b0cc-f1dc-458e-8650-8d1874cf1e38>

Kere, J. (2014). The molecular genetics and neurobiology of developmental dyslexia as model of a complex phenotype. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 452(2), 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2014.07.102>

Lichte toename kinderen met dyslexie. (2016, October



6). [Dataset]. Geraadpleegd op 13-06-2019 van <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/40/lichte-toename-kinderen-met-dyslexie>

Menghini, D., Finzi, A., Carlesimo, G., & Vicari, S. (2011). Working Memory Impairment in Children With Developmental Dyslexia: Is it Just a Phonological Deficity? *Developmental Neuropsychology*, 36(2), 199–213. <https://doi.org/10.1080/87565641.2010.549868>

Plakas, A., van Zuijlen, T., van Leeuwen, T., Thomson, J. M., & van der Leij, A. (2013). Impaired non-speech auditory processing at a pre-reading age is a risk-factor for dyslexia but not a predictor: An ERP study. *Cortex*, 49(4), 1034–1045. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.02.013>

Spence, I., Wong, P., Rusan, M., & Rastegar, N. (2006). How Color Enhances Visual Memory for Natural Scenes. *Psychological Science*, 17(1). <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01656.x>

Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52(2). [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(02\)01365-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(02)01365-3)

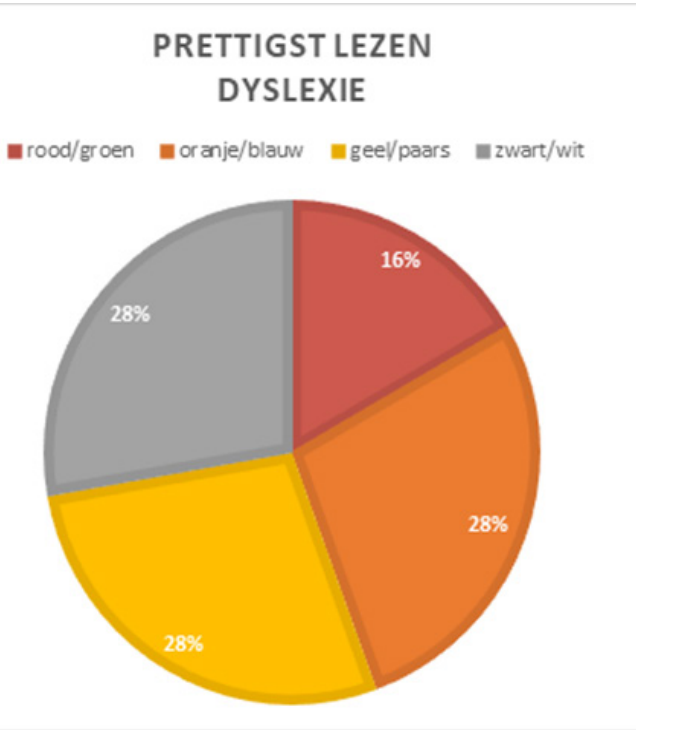
Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry*, 57(11). <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.043>

Stichting Dyslexie Nederland (2004). *Diagnose dyslexie*. Brochure van de Stichting Dyslexie Nederland, derde, herziene versie. Bilthoven: Stichting Dyslexie Nederland.

Yoto, A., Katsuura, T., Iwanaga, K., & Shimomura, Y. (2007). Effects of Object Color Stimuli on Human Brain Activities in Perception and Attention Referred to EEG Alpha Band Response. *Journal of Physiological Anthropology*, 26(3). <https://doi.org/10.2114/jpa2.26.373>

Figuur 1: De hersengebieden die actief zijn tijdens het lezen. Bron: hersenstichting.nl

Figuur 2: Het aantal woorden dat gemiddeld is onthouden per kleurencombinatie van kinderen met dyslexie (blauw) en kinderen zonder dyslexie (oranje).



Figuur 3: De voorkeuren van kinderen met dyslexie wat betreft de kleurencombinatie die ze het prettigst vinden lezen.

Combinatie	Kleur van woord	Kleur van achtergrond
1	Oranje	Blauw
2	Rood	Groen
3	Geel	Paars
4	Zwart	Wit

Tabel 1: De kleurencombinaties van de woordenlijsten die tijdens het onderzoek zijn gebruikt.

Aantal woorden per ronde	
Ronde	Gemiddeld aantal woorden
1	5.8
2	5.48
3	5.41
4	4.67

Tabel 2: Het aantal woorden dat gemiddeld per ronde is onthouden door kinderen met dyslexie en kinderen zonder dyslexie.stichting.nl

Effects of Music Therapy on Depressive Symptoms in Young Adults

M. van Heezik¹, M. Askari¹, M. Koers², M.N.A. Bijman²

¹Het Stedelijk Lyceum College Zuid
²Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - Deze paper is bedoeld om antwoorden te geven op de vraag: wat is het effect van muziektherapie op depressieve klachten bij jonge volwassenen en tieners in de leeftijdscategorie van 15 tot 23 jaar?

Onderzoek voor dit project werd gedaan met behulp van schriftelijke bronnen, zoals boeken geschreven door experts op het gebied van muziektherapie, evenals eerder uitgevoerd onderzoek en artikelen. Bovendien werd een interview met mevrouw Anita Heuven gehouden. Ze is een orthopedagoog. Dit interview gaf een basisindruk van psychotherapie, zodat vergelijkingen konden worden gemaakt tussen muziektherapie en psychotherapie.

Er werd geconcludeerd dat muziektherapie een positief effect heeft, en krachtig genoeg is om zelfs depressie volledig te genezen. Dit is cruciale informatie, omdat een goede gezondheid in het algemeen essentieel is voor het functioneren van de samenleving, aangezien geestelijk welzijn net zo belangrijk is als fysiek welzijn. Mensen zijn geen monoliet, maar een divers ras, dus er is geen enkele oplossing voor de vele complexe ziekten die het menselijk brein kan oplopen. Elke remedie die kan worden gevonden, is zeer welkom. Het feit dat muziektherapie een extra ondersteuningssysteem biedt voor diegenen die worstelen met een slechte mentale gezondheid, moet maximaal worden benut. De focus van deze paper ligt op de jongere generatie, die de toekomst van de wereld zal vormgeven zoals deze vandaag bekend staat. Hen in staat stellen veilige en gezonde pioniers te zijn, is de sleutel tot een veilige en gezonde toekomst.

Introduction

What Is This Paper About?

This paper uses the following definition of music therapy: Music therapy is a form of music intervention therapy conducted by licenced professionals. It is often specifically applied to help accomplish the goals of an individual (American Music Therapy Association, n.d.). Music therapy is a highly useful addition to the field of therapy and mental health. However, the qualities of music are often overlooked as a tool.

The main goal of this paper is showing the potential of music as a tool to help people in a scientific context. Another goal is to showcase the use of music therapy as a viable option in improving mental health. In the field of mental health, depression is a prevalent issue among young adults. This paper will focus specifically on what the effects of music therapy are on young adults with depression. The age restrictions that have been put to the term ‘young adults’ in this paper are between 15 and 23. This has been chosen because after consulting an orthopedagogue, a psychologist that specialises in therapy for children and young adults. The age restrictions used in the their working facilities were 15 to 23 so it was found appropriate to use the same age limits for the sake of consistency.

Why This Topic?

Music has captured the hearts of young and old for centuries now. It has been appreciated for its magnificent ability to influence one’s mood, whether it be lifting one’s spirits or creating a sad atmosphere. The way music is able to influence one so easily was fascinating hence why this paper used music as a core field.

In more recent years, music has also captured the hearts of psychologists. This has led to music therapy being born: a relatively new field with an enormous amount of research left to be done. One of the areas that remains largely unexplored is the way music therapy interacts with depressed patients of a young age. According to the World Health Organisation

more than 264 million people around the globe suffer from depression. As well as that suicide is the second leading cause of death among people between the ages of 15 and 29 (The World Health Organisation, 2020). Depression is a global issue and it is even more important to the writers of this paper because both fall between the ages of 15 and 29. It is so prevalent yet it feels like this issue is not discussed very openly. Therefore it was found important that the topic should be discussed and possible solutions for it to be found.

Main Concepts

This paper uses the following definition of depression: According to the book, Depressie (Dr. F.A Albersnagel, prof. Dr. P.M.G. Emmelkamp, & prof Dr R.H. Hoofdakker, 1989, p. 19), the core symptoms of depression are gloom, despair, hopelessness, loss of interest in satisfactory events or activity, and a listless feeling.

Music therapy is a relatively new concept, and thus also a relatively new practice and field of study. The potential of music therapy is huge, but currently, only a few niches have been researched. Some examples of these niches are old people struggling with alzheimer’s (Guétin, S et al, 2009), newborn children (M. Nöcker-Ribaupierre, 2019), and people with autism (Wigram, T., & Elefant, C, 2006). A pattern that can be seen here is that most groups that are researched consist either of elderly people, or of very young children, even unborn babies. The targeted group for this research, adolescents, have not enjoyed much focus from researchers yet, leaving a gap in the knowledge there. Additionally, mental illnesses besides PTSD have not been concentrated on much either, specifically depression, leaving another gap in the knowledge there. This research will focus on young adults who are depressed, effectively combining two sparsely discussed groups of people. This paper aims at filling the gaps that were found in the available knowledge of music therapy. This is done by reading

a variety of articles, papers, books, and other written sources written by experts in the fields of psychology, and specifically music therapy. An interview with a professional actively practising traditional therapy is also part of the means used to fill up the gap in the knowledge. This is crucial, because traditional psychotherapy is a more established field with a richer history and a greater number of available sources. Knowledge of this topic is needed to be able to compare music therapy to the traditional type of therapy, which in turn is essential to properly assessing music therapy and gaining a perspective of its advantages, disadvantages, and potential for improvement.

The main research question of this paper is:

What is the effect of music therapy on symptoms of depression among young adults and teens between the ages of 15 and 23?

- What is music therapy and how does it work?

To explain music therapy in short poses quite a challenge, seeing as entire books have been dedicated to explaining this concept (Defining Music Therapy, Bruscia, 1998). At its core, music therapy is a form of therapy that combines music and language, with the primary focus being music, to best meet the client’s needs (A Comprehensive Guide To Music Therapy, Tony Wigram, Inge Nygaard Pedersen, Lars Ole Bonde, 2002). It provides access to therapy for people struggling with mental health who find themselves unable to benefit from other types of therapy, such as psychotherapy. This is crucial, because there is a demographic of clients for whom words alone do not suffice, and fail to provide a pleasant and successful type of therapy (H. Odell-Miller, 2001). Ways in which music therapy is utilized are: music improvisation, receptive music listening, songwriting, lyric discussion, music and imagery, singing, music performance, learning through music, music combined with other arts, music-assisted relaxation, music-based patient education, electronic music therapy, adapted music intervention, and movement to music (American Music Therapy Association, 2019).

According to the World Federation of Music Therapy, music therapy is the professional use of music and its elements as an intervention in medical, educational, and everyday environments with individuals, groups, families, or communities who seek to optimize their quality of life and improve their physical, social, communicative, emotional, intellectual, and spiritual health and wellbeing. Research, practice, education, and clinical training in music therapy are based on professional standards according to cultural, social, and political contexts (WFMT, 2017)

Music therapy is applied in many forms. However, to be classified as music therapy, music must be the primary medium used. Music therapy can be used in different ways, such as songwriting, music improvisation, receptive music listening, instrument playing and more (Davis, W. B. 2008). Each method of treatment is used for a specific role and it is up to the therapist to find the method they find most fitting for their patient.

- What are some effects of music on depression in the brain?

First, it should be established that the influence of music on the brain has been proven, and that this influence is in fact a positive one. Music triggers activity in parts of the brain, like the orbitofrontal cortex, nucleus accumbens, and the anterior cingulate cortex (Särkämö et al., 2013). These parts of the brain are significantly less active in people with depression. The stimulating effect of music on these areas can function as a tool to help create balance in the depressed brain. When professional music therapy is conducted, brain scans reveal increased activity in the anterior cingulate cortex and patients show clear signs of recovery (Fachner et al., 2013).

In general, actively being engaged in something will lead to positive effects (Maratos et al., 2011). The way depressed individuals experience music is different from how neurotypical individuals do, because their orbitofrontal cortex is significantly less active (Sachs et al., 2015). According to The Pleasures of Sad Music: a Systematic Review (E., M., Damasio, Antonio, Habibi, Assal, & Sachs.,2015), it is harder for those with depressive disorders to experience pleasure. However, on a “pleasure scale,” people with depression score the same as people without depression, enhancing the powerful effect of music (Osuch et al., 2009).

- How does music therapy compare to traditional methods of therapy and treatment when it comes to depression? A common method that is used for depression is psychotherapy (appendix 1).

As explained earlier under the subquestion “What is music therapy and how does it work?,” music therapy is set apart by the fact that it does not rely entirely or even remotely on the patient using speech. Teenagers and young adults who struggle with depression often show similar problems to those with anxiety; they develop avoidant behaviors and fears, including social fears (appendix 1). For these clients, social situations (such as outings with friends) become intimidating challenges that seem to tower over them. It is difficult for them to rationalize these fears, and move on from them. A psychotherapist who relies on verbal conversations with the patient to help them, risks coming across as such an intimidating challenge to patients with a reluctant approach to socializing. Because music therapy does not rely entirely or at all on verbal conversations between patient and therapist, sessions with the therapist will seem less intimidating to the patient. This allows the patient to have a more comfortable experience with their therapist and therapy as a whole, enabling them to open up more and successfully work through their problems.

The hypothesis of this research would be that music therapy will have a positive influence on patients of mental illness, lessening the occurrence of symptoms and making symptoms that do occur easier to cope with.

Method

The methods used to conduct this research have been interviews, research papers and books written by professionals of the field. Sources that were used were taken mainly from the ArtEZ library. The selection process of these sources was greatly aided by the librarian, who delivered a list of relevant and appropriate source material specifically tailored to this paper. Her efforts

helped better ensure that the sources used in this paper are valid and reliable. Also, there was an interview conducted with Ms Anita Heuven (appendix 1), who is an orthopedagogue at Mediant Enschede. She had given permission for her name to be used in this paper. Ms Heuven helped create a baseline on how the most common form of therapy, psychotherapy, is used and how the improvement of patients in the required age group is measured in that field. This established the effects of psychotherapy on the targeted age group, so a comparison to the effects of music therapy could be made.

The choice to use sources instead of conducting experiments was made because it was clear that the sources would provide more reliable information, as a larger sample group could be used and more in-depth experimentation could be done when using sources.

All sources were picked because of their relevance to the topic of music therapy, for their information on the psychology of young adults, or their relevant information on the topic of depression. Sources written by the likes of H. Odell-Miller, American Music Therapy Association, and WFMT were used because of their well established names in the world of music therapy and are experts in said field. Prof. dr. e.j.a. Scherder who wrote the book *Singing in the brain: over de unieke samenwerking tussen muziek en de hersenen* is a Professor and Head of the Department of Clinical Neuropsychology at the VU university Amsterdam. These are just some of the sources used of course.

Results

The sources focused on depression in adults with no defined age groups. Due to this, no correlation could be made between the age group of this paper and music therapy. However, it was found that music therapy does have effects on depressive symptoms in adults. No negative results were found after using music therapy. Every source that was used stated or a neutral or a positive result. The findings of those papers have been documented below.

It has been shown that music therapy has positive short term effects on depressive symptoms in combination with TAU therapy (Aalbers, S et. al, 2016). TAU consists of specific therapy forms that can include psychotherapy and medication. In TAU, music therapy proved to alleviate symptoms of depression. o obtain this information.

J. Edwards (2014) conducted a research and came to the same conclusion that music therapy is effective as support therapy. music therapy was used as a method to treat multiple mental illnesses in this case, depression being one of them. It was shown that music therapy helps express feelings and manage symptoms. The research method used was reviewing different studies that were based around music therapy, similar to the approach in this paper. The criterias for the used for selecting his sources were: “a) were published in English in an indexed, peer-reviewed journal, and b) were conducted as a randomised controlled trial (RCT) or a controlled trial (CT), or c) provided a meta-analysis of existing studies.”

More recently, Individual music therapy for depression: randomised controlled trial: The British Journal of Psychiatry by Erkkilä, J. et al. 2018 corroborates that music therapy is effective in combination with “standard care”, which refers to psychotherapy and medication. To establish this, a clinical

trial was conducted which included participants participating in music therapy for 3 months in combination with standard care. At the end of the 3 months, it was shown that those who participated in music therapy besides “standard care” showed greater signs of improvement than those who only received “standard care”.

Conclusion

In conclusion, music therapy was confirmed to have a positive effect on patients with depression by multiple experts using both sources and trials. However, in most cases music therapy is applied in combination with psychotherapy. Symptoms of depression can, under treatment of a professional music therapist, become easier to cope with, occur less or less intensely, or even fade away entirely, leaving the patient cured. However, there was no correlation found between the effectiveness of the treatment and the age group we had picked out being between the ages 15 and 23. The previously conducted researches focus on music therapy for depression in adults, but do not define age groups specifically. This means that it can be assumed that the positive effects of music therapy also apply to teenagers and young adults, but no special advantages, disadvantages, or other types of diversions could be identified in the age group focused on in this paper.

Discussion

Prior to working on this paper, little to no knowledge of music therapy was had by its writers. For this reason, there was no choice but to approach this paper in a strictly objective manner, since there was simply no prior knowledge of the topic to base any opinions on. There was only the hope to not only research a relevant topic, but to also discover something beneficial to society. Letting this hope get in the way of objectivity, though, would have done the opposite; it would have endangered the reliability of this paper and it might have rendered the entire paper and its results useless. So the paper was approached strictly objectively, for the sake of producing a credible paper. Music therapy is effective as a support method to therapy. This was the main conclusion we got from the results. Seeing as music therapy does have positive effects on the symptoms of depression, the hypothesis was mainly correct. Because no source could made correlation between the age group for this paper and music therapy, the hypothesis was not fully correct.

Societal implications

The implication of this research to society are good. Knowing that music therapy is effective against depression, a prevalent issue among the youth, gives society a new tool to combat it. Having more methods to combat depression creates a possibility for more people with depression to receive effective treatment and to better cope with or even fully recover from their illness. There are several ways in which music therapy can be applied to society as it is. First of all, existing facilities that aid those with mental health problems (such as Mediant, the facility visited for this paper) could start hiring music therapists and offering music therapy as a new treatment at their facility. Besides this, another possibility is for non-music therapists to at least inform their patients of the positive effects music has on mental health, and encourage them to pursue music therapy or music in general. This will allow patients to better consider all their options, thus giving them a better chance at finding the treatment that will be most helpful to

them. A second option is for schools to create a space within the premises where students can interact with music and musical instruments during breaks or free periods. With the inherently positive effects music has, this has the potential of improving the mental and emotional wellbeing of the students. This initiative can be applied from primary schools to colleges, but such a space to enjoy music in could also be installed in places like offices and hospitals, where stress and emotions can run high and people would benefit from the opportunity to channel their emotions into sounds in order to improve their state of mind. A third possibility is to make music more accessible in general. The previous example suggests to make music more accessible in high-stress environments. This could be taken one step further by making music more accessible in general, even in situations where there may be little to no emotional distress. A way this already happens is some train stations having a piano for travelers to play. Not everybody has the privilege of having instruments at home or being able to afford music lessons. People should not be limited to their high school music classes and what they can listen to on the radio. Putting musical instruments in public spaces like train stations allows people to form a bond with music with much more freedom. This way, if they do have or develop a mental illness, the bond with music will already exist, and they may be more likely to seek out music again, which will be helpful to their wellbeing. These examples, and many other ways to equip music therapy that were not mentioned but surely do exist, have already proven to be valuable to human health, and will benefit from further research that may reveal even more positive qualities.

Potential for further research

Because little is known about the effects of music therapy specifically on the youth and their mental health, there is great unknown potential. More research might even show that music therapy is the ideal method of therapy for some patients, like the age group this paper failed to establish a connection to. The results of used sources were already promising, so further research may well reveal more positive effects.

This research, having been based entirely on previously conducted researches, did not reveal any newly discovered information. For breakthroughs like that to occur, experiments would need to be conducted. If such experiments were to be conducted by other researchers, and with teenagers and young adults, then the main research question of this paper may be answered. However, these experiments would of course need to be ethical.

Challenges encountered during research

Topic selection

The topic for this paper was chosen in a rather late stage of the writing process. Initially, the intended topic for this paper was completely different. This meant that during the writing process, it was necessary to catch up on several things in a relatively hurried manner. It is possible that this has compromised the quality of the paper. This would not have been necessary, had the topic for this paper been definitely chosen earlier on.

Source material

A limited variety of available sources was a problem that frequently occurred. Attempts at finding a certified music

therapist willing or able to participate in an interview were unsuccessful. An interview with an orthopedagogue was conducted to establish and better understand the inner workings of more traditional therapy as opposed to music therapy, but no music therapist was interviewed, so no direct comparisons were drawn. Other (written) sources were widely available, but not many publications addressed the particular subject this paper explores. Irrelevant issues like dementia have frequently been written about, but depression, especially in young adults, has enjoyed less attention. The library at Artez is where most written sources were eventually found, meaning only one library and its selection make up the larger part of the sources for this paper.

When it comes to further research, there are ways this could be improved upon. This research was limited to resources in the proximity of the city of Enschede. For this reason, it was not possible to contact a music therapist, because none were available to be interviewed, or they did not work with the targeted group for this research. If researchers located elsewhere were able to land interviews with actual music therapists, this could contribute a lot more useful information to this research which may lead to new breakthroughs. Similarly, a more diverse selection of sources could have been used, from different libraries or universities for example.

Lack of diversity in source material

This was a research that relied entirely on previously written sources. Because the amount of research done about music therapy in relation to teenagers and young adults is limited, it was not possible to optimally research the question this paper poses. Experiments would have to be conducted to actually trigger new breakthroughs in this field of research.

Source processing

In addition to or perhaps because of the aforementioned other problems with the sources used for this paper, the processing of the sources into this paper was executed in a faulty manner on occasion. Some source citations were not added until a later stage.

Main research question left partially unanswered

The main research question, “What is the effect of music therapy on symptoms of depression among young adults and teens between the ages of 15 and 23?,” was partially left unanswered. The general effect of music therapy was proved, but no information on this particular age group was found. It is possible that there are different effects on the aforementioned age group that this research failed to take into account, or even different effects that have not been discovered by anyone at all yet.

Bibliography

Depression. The World Health Organisation. Retrieved February 4, 2020, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/depression>

Wigram, T., & Elefant, C. (2006, April 19). Music therapy for autistic spectrum disorder - Gold, C - 2006: Cochrane Library. Retrieved November 30, 2019, from <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD004381.pub2/abstract>.

American Music Therapy Association. (n.d.).

Definition and Quotes about Music Therapy. Retrieved October 10, 2019, from <https://www.musictherapy.org/about/quotes/>.

Wigram, T., Nygaard Pedersen, I., & Ole Bonde, L. (2002). A Comprehensive Guide To Music Therapy. Fairfield: Jessica Kingsley Publishers.

Dr. F.A Albersnagel, prof. Dr. P.M.G. Emmelkamp, & prof Dr R.H. Hoofdakker (Eds.). (1989). Depressie: theorie, diagnostiek en behandeling. Deventer: Van Loghum Slauters.

Nöcker-Ribaupierre Monika. (2019). Music therapy for premature and newborn infants (2nd ed.). New Braunfels: Barcelona Publishers.

Scherder, E. J. A. (2017). Singing in the brain: over de unieke samenwerking tussen muziek en de hersenen. Amsterdam: Athenaeum-Polak & van Gennep.

E., M., Damasio, Antonio, Habibi, Assal, & Sachs. (2015, June 29). The pleasures of sad music: a systematic review. Retrieved November 21, 2019, from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2015.00404/full#h5>.

Aalbers, S., Spreen, M., Haandel, L. B.-V., & Bogaerts, S. (2016). Evaluation of client progress in music therapy: an illustration of an N-of-1 design in individual short-term improvisational music therapy with clients with depression. Nordic Journal of Music Therapy, 26(3), 256–271. doi: 10.1080/08098131.2016.1205649

Guétin, S., Portet, F., Picot, M., Pommié, C., Messaoudi, M., Djabelkir, L., . . . Touchon, J. (2009, July 23). Effect of Music Therapy on Anxiety and Depression in Patients with Alzheimer’s Type Dementia: Randomised, Controlled Study. Retrieved from <https://www.karger.com/Article/Abstract/229024>

Davis, W. B., Gfeller, K. E., & Thaut, M. (2008). An introduction to music therapy: theory and practice. Silver Spring, MD: American Music Therapy Association.

About WFMT. (2017, August 11). Retrieved November 30, 2019, from <https://www.wfmt.info/wfmt-new-home/about-wfmt/>.

Edwards, J. (2014, June 13). Music therapy in the treatment and management of mental disorders: Irish Journal of Psychological Medicine. Retrieved November 30, 2019, from <https://www.cambridge.org/core/journals/irish-journal-of-psychological-medicine/article/music-therapy-in-the-treatment-and-management-of-mental-disorders/F297E0C84822C503F0A5A9354C62457C>.

Odell-Miller, H. (1995). Why Provide Music Therapy in the Community for Adults with Mental Health Problems? British Journal of Music Therapy, 9(1), 4–10. doi: 10.1177/135945759500900102

Erkkilä, J., Punkanen, M., Fachner, J., Ala-Ruona, E., Pöntti, I., Tervaniemi, M., ... Gold, C. (2018, January 2). Individual music therapy for depression: randomised controlled trial: The British Journal of Psychiatry. Retrieved November 30, 2019, from <https://www.cambridge.org/core/journals/the-british-journal-of-psychiatry/article/individual-music-therapy-for-depression-randomised-controlled-trial/A1CD72904929CECCB956F4F3B09605AF>.

Beïnvloeding van de publieke opinie door middel van kunst door het Naziregime

E. Peters², M. Eggink³, R. Oom³, D. Okkema², M. Koers¹, M. Niemeijer¹

¹ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

² De Heemgaard, Apeldoorn

³ Locatie Het Vlier, Etty Hillesum Lyceum, Deventer

Abstract - In Nazi-Germany some art was ridiculed and some was shown in a rather positive way. At the time the party stated that the ridiculed art was made by Jews and communists, however research has shown that this was not the case, leaving much unclear about the art policy of the NSDAP. Therefore this paper will look into the way art was used to influence the opinion of the public in Nazi-Germany. Specifically by conducting a visual analysis of the works shown in the Entartete Kunst exhibition and the Große Deutsche Kunstausstellung and linking this to the ideology of the NSDAP. In the visual analysis it was found that the entartete art was less realistic, used more saturated colours and made less use of the illusion of space compared to the promoted art. The NSDAP presumably linked this way of portraying reality to mental illness. The entartete art was presented in a very chaotic way in the Entarte Kunst exhibition and was in this way ridiculed while the promoted art was presented in a very neat and aesthetically pleasing way. By ridiculing the entartete art and at the same time linking it to people with mental illness and declaring that the artists were Jews and communists, the Nazi regime was able to influence public opinion to form a negative image of these three groups within society. Which remains an ever relevant subject with nations such as North-Korea indoctrinating their citizens in this present day.

Introductie

Aanleiding/Verwondering:

Tijdens kunstgeschiedenis werd duidelijk dat Stalin het constructivisme in de Sovjet-Unie had verbannen en dicteerde dat kunstenaars alleen nog maar kunst mochten maken in de sociaal realistische stijl (Groenendijk, J., Heijnen, E., Keuning, S. & Maas, M., 2016). Later bleek dat Stalin niet de enige dictator was die grip probeerde te houden op het doen en laten van de kunstenaars in zijn land. Er was een tentoonstelling in het Brücke Museum in Berlijn die onder andere inging op de ‘Entartete Kunst’ (Brücke Museum, 2019). Dat is kunst die door de Nazi’s in een gelijknamige tentoonstelling werd geridiculiseerd tijdens de Tweede Wereldoorlog. In het Brücke Museum werden vooral de schilderijen van de Brücke, een groep expressionisten, getoond. Dit leidde tot de vraag of er meer kunststromingen waren die ze slecht vonden en wat bepalend was voor of iets zou worden geridiculiseerd of juist bevorderd. Dit onderzoek gaat over een thema uit het verleden, maar het is nog steeds van maatschappelijk belang. Vandaag de dag worden mensen nog steeds gemanipuleerd door onder andere de regulering van kunst (Hoddinott, 2017). Het Naziregime is een extreem voorbeeld van wat dit kan aanrichten. Door het te onderzoeken, kan voorkomen worden dat dit weer gebeurt.

Relevante informatie:

Anders dan democratische leiders leggen dictators de bevolking van hun land vaker aan banden. Zo ook bij creatieve uitingen (Putte van de, 1987). Een dictatuur is altijd een totalitaire staat en heel collectief. Het individu is slechts een tandwiel in de machine. Daarom moet iedereen zich aanpassen aan elkaar en dan vooral aan de visie van de dictator. Bij een totalitaire staat hoort namelijk altijd een ideologie, en als iemand daar niet aan meedoet komt die in de problemen (Historiek, n.b.). Een ander kenmerk van een dictatuur is dat er veel gebruik wordt gemaakt van propaganda. Dictators maken hierbij niet alleen gebruik van propagandaposters, maar ook van het reguleren

van volkskunst. Hier is echter niet veel over bekend. Voor een onderzoek hiernaar zouden verschillende voorbeelden kunnen worden onderzocht maar in verband met de duur van het onderzoek is ervoor gekozen het te beperken tot het bewind van Hitler.

Ideeën worden onder andere overgebracht door kunst. Ook ideeën over politiek en ideologieën (Wierda, 2012). Daarom wilde Hitler waarschijnlijk bepaalde kunst niet aan zijn volk laten zien. Sommige kunst was namelijk tegen zijn ideologie, en oppositie is gevaarlijk in een dictatuur. Het kan mensen oproepen tot een opstand. Neoclassicistische architectuur en realistische kunst zoals bijvoorbeeld die van de oude meesters, de romantische schilderkunst en de klassieke beeldhouwkunst noemde hij Arische kunst. Dat is dus de bevorderde kunst. De moderne stromingen zoals het dadaïsme, expressionisme, fauvisme, impressionisme, kubisme en surrealisme vond Hitler slecht. Hij verdacht de joden ervan dat ze door middel van kunst het raciale bewustzijn, de politieke macht, de militaire weerbaarheid, en vooral de morele kracht van het Duitse volk probeerden te ondermijnen, en dat terwijl er eigenlijk maar heel weinig joodse kunstenaars die kunststijlen gebruikten. Die kunst werd dus vernietigd, of tentoongesteld als een slecht voorbeeld voor andere kunstenaars. Die tentoonstelling noemde Hitler Entartete Kunst (Brücke-Museum, 2019).

Om dit onderzoek goed te laten verlopen is het noodzakelijk om te kijken naar wat de ideologie van Hitler precies inhoudt. Deze ideologie wordt ook wel nationaal-socialisme genoemd en bestaat vooral uit anticommunisme en racisme. Volgens Hitler was het Arische ras superieur in vergelijking met alle andere rassen. Hij beriep zich daarbij op ‘het recht van de sterksten’ (Bril, 1993). Dit betekende ook dat lichamelijk en geestelijk gehandicapten geen plaats hadden in zijn rijk. Daarnaast vond hij dat hij Slavische landen mocht veroveren, zodat het Arische ras meer levensruimte kreeg en dat alle Duitstalige landen zich bij zijn rijk moesten voegen. De Duitse begrippen hiervoor zijn

lebensraum en heims in Reich. Daarnaast was zijn ideologie ook nog extreem-rechts te noemen. Die term werd in de tijd van Hitler gebruikt voor mensen die conservatief waren. Zij vonden bijvoorbeeld dat de man hoort te werken en de vrouw kinderen hoort te krijgen en voor het gezin en het huishouden moet zorgen (KLU, 2015).

Afkadering:

Kunst beïnvloedt mensen. Het zorgt er zelfs voor dat mensen een mening vormen over iets (Wierda, 2012). Vandaar dus dat Hitler als politieke machthebber een specifieke selectie had voor wat hij wilde laten zien aan zijn volk en wat niet. In dit onderzoek wordt bekeken wat precies onderscheid maakte tussen bevorderde en entartete kunst. Hierbij wordt er gekeken naar beeldende verschillen.

Om onduidelijkheid over in dit onderzoek gebruikte begrippen te voorkomen zullen deze deels hier en deels in de begrippenlijst in de bijlage worden toegelicht. Zo wordt er met kunst gekeken naar de beeldende kunst en daarbij specifiek illustratie, grafiek, collage, tekenkunst en schilderkunst, oftewel tweedimensionaal beeldend werk met als uitzondering dat er niet wordt gekeken naar fotografie. De reden dat fotografie buiten beschouwing wordt gelaten is dat er indertijd enkel zwart-wit fotografie was en er in dit onderzoek uitgebreid naar kleur wordt gekeken. Met de eerder genoemde entartete kunst wordt de kunst bedoeld die het Naziregime censureerde en/of ridiculiseerde, zoals in de tentoonstelling Entartete Kunst. Met bevorderde kunst wordt de kunst bedoeld die in de ogen van de Nazi's juist wel goed was en die zij daarom bijvoorbeeld toepasten in hun propaganda of op een positieve manier tentoonstelde in bijvoorbeeld de Große Deutsche Kunstausstellung. Het Naziregime wat hier genoemd wordt is de overheid in Duitsland van 1933 tot 1945 waarin Duitsland een totalitaire dictatuur was onder leiding van Adolf Hitler en zijn Nationaal Socialistische Duitse Arbeiderspartij. Met de ideologie wordt dan ook het ideaalbeeld van Hitler van de Duitse samenleving bedoeld, die hij probeerde te bewerkstelligen in de tijd dat hij regeerde, dit is naar verwachting terug te vinden in het door Hitler zelf geschreven boek Mein Kampf. Met de publieke opinie wordt de algemene mening over de politiek van het Duitse volk bedoeld.

Gat in de kennis/Status questionis:

Er is al veel onderzoek gedaan naar hoe kunst werd gecensureerd, verzameld of juist bevorderd in Nazi-Duitsland. Hierbij gaat het vaak over het systeem dat hierbij gebruikt werd, hoe alles geregeld werd en de verschillende betrokken instanties (Steinweis, 1996) (Petropoulos, 1999). Ook de politieke kant van het kunstbeleid in het Derde Rijk is al veel onderzocht. Hierbij wordt er onder andere gekeken naar hoe belangrijk de kunst was in de politiek zoals in het boek Art as Politics in the Third Reich (Petropoulos, 1999).

Het gat in de kennis is hierbij dus niet het systeem met de verschillende instanties of hoe belangrijk het kunstbeleid was, maar wat het regime wilde dat de mensen wel of niet te zien kregen. Hoe probeerde het Naziregime de publieke opinie te beïnvloeden met het kunstbeleid?

Uit onderzoeken blijkt dat kunst van Joodse en Communistische kunstenaars werd gecensureerd, dit werd bijvoorbeeld in beslag genomen of hen werd verboden te schilderen. Maar

dit was niet de enige kunst die werd gecensureerd en wanneer de overheid de (geloofs)overtuiging van de maker als reden aandroeg klopte dit ook niet altijd. Wat de overheid Joodse kunst noemde had daarbij weinig met de geloofsovertuiging te maken.

Klaarblijkelijk werd er meer gekeken naar de artistieke stijl of de boodschap die in het werk was verwerkt en werd het werk naar aanleiding van deze kenmerken eventueel als Joods bestempeld of zonder verdere expliciete reden gecensureerd (Segal, 2015). De kunst die Hitler censureerde was vooral kunst van de Modernen. Bijvoorbeeld het werk van de groepering de Brücke zoals naar voren kwam in de tentoonstelling Escape into art? The Brücke Painters in the Nazi Period (Brücke-Museum, 2019).

De German Art Society was een groepering van kunstenaars, auteurs en extreem-rechtse activisten die al in 1920 hun ideeën over de Duitse culturele traditie, en vooral het feit dat ze tegen moderne kunst waren, overbrachten. Zij werden hierin later gesteund door de NSDAP. De groepering was zeer antisemitisch en antidemocratisch ingesteld en had ook een zeer sterk idee over de schoonheidsleer van wat 'goede' Duitse kunst zou zijn (Clinefelter, 2005).

Hierbij wordt beter duidelijk wat wel en niet gewenst is op het gebied van de artistieke stijl en ook de link met de ideologie, waarin zij het eens waren met de NSDAP, komt naar voren. De strenge schoonheidsleer van de German Art Society en het onderzoek van Joes Segal suggereren dat de artistieke stijl een belangrijke factor was in het ofwel goedkeuren ofwel afkeuren van artistiek werk door de overheid in het Derde Rijk (Clinefelter, 2005)(Segal, 2015). Dit is zeer interessant en sluit goed aan bij het onderzoek aangezien in dit onderzoek de beeldende verschillen en daarmee dus de artistieke stijl uitgebreid worden onderzocht als mogelijke bepalende factor tussen wat bevorderde kunst was en wat entartete kunst was volgens de nationaalsocialisten.

Een onderdeel van de ideologie van Hitler, wat misschien ook samenhangt met welke kunst wel of niet goed werd gevonden op basis van artistieke stijl, is het streven naar een superieur Arisch ras. Naast de massale deportatie van Joden blijken namelijk ook mensen met geestelijke aandoeningen te zijn gedeporteerd. Van hen zijn meer dan 300.000 overleden in de gaskamers (Gittelman, 2006). Waarschijnlijk om het Arische ras zo superieur mogelijk te maken door de beste genen te laten overerven en mogelijk erfelijke ziektes te elimineren. Geestelijke aandoeningen hoorden volgens Hitler dus blijkbaar niet in het Arische ras voor te komen (Krüger, 2007). Het vermoeden is hierbij dat een deel van de afkeer jegens het modernisme is vanwege de artistieke stijl die het chaotische en verwarde denken dat kan voortkomen uit sommige geestelijke aandoeningen zou suggereren.

Bovengenoemde studies zijn nuttig om op verder te bouwen maar geven nog geen antwoord op de hoofdvraag: Hoe gebruikte het Naziregime kunst, en de regulering daarvan, om de publieke opinie te beïnvloeden? Om hier wel antwoord op te geven wordt er uitgebreid gekeken naar de beeldende verschillen tussen de bevorderde en entartete kunst en wordt deze kennis vervolgens gecombineerd met de ideologie van

Hitler. Dit om op die manier hopelijk uit te kunnen zoeken wat er bepalend was voor of een kunstwerk wel of niet goed gevonden werd door de nationaalsocialisten en waar dit vandaan kwam.

Vraagstelling

Hoofdvraag:

Hoe gebruikte het Naziregime kunst, en de regulering daarvan, om de publieke opinie te beïnvloeden?

Deelvragen:

1. Wat zijn de voornaamste beeldende verschillen tussen de bevorderde en entartete kunst?
2. Hoe sluit het verschil in artistieke stijl aan bij de ideologie van Hitler?

Hypothese:

Werk van modernistische kunstenaars werd gecensureerd, omdat modernisten andere politieke ideeën hadden. Zij waren tegen het militarisme, dus tegen invloed van het leger buiten de politiek en parlementaire controle op de burgerlijke samenleving, en voor de vrede. Daarnaast werden mensen met een geestelijke aandoening als niet-Arisch gezien in verband met de modernistische kunst, want omdat modernistische kunst zo abstract is, zou je het kunnen zien als iets wat een persoon met een geestelijke aandoening zou maken. Bevorderd werk voldeed aan de schoonheidsleer en bracht enkel ideeën over die strookte met de ideologie van het regime, want op die manier kon Hitler de opinie van het volk naar zijn voordeel beïnvloeden.

Verklaring:

Veel modernistische kunstenaars waren anti-oorlogs, en Hitler was juist van plan om een oorlog te ontketenen (Geschiedeniswerkplaats Tweede Fase vwo Handboek historisch overzicht, 2012). Blootstelling aan kunst die oorlog afwijst zou de moraal van zijn volk negatief kunnen beïnvloeden. Niet alle modernistische kunstenaars waren echter specifiek tegen oorlog, dus er moeten meerdere redenen zijn als Hitler alle modernistische kunststijlen censureerde. Hitler vond niet alleen dat Joden en communisten niet in de Duitse samenleving hoorden, lichamelijk en geestelijk gehandicapte mensen hadden ook geen plaats in zijn ideale samenleving. Aangezien modernistische kunst verre van realistisch was, is het een aannemelijke redenering dat de abstractie van die stijl daar een verband mee hield. Hitler dacht misschien dat dit niet doelbewust gedaan werd, maar een teken van incompetentie was door een handicap of verwarring van de kunstenaar. In de status questionis staat dat er een schoonheidsleer bestond voor Duitse kunst. Dit was waarschijnlijk een belangrijke maatstaf die bepaalde of het werk bevorderd werd of juist gecensureerd. Deze leer werd zeer strikt doorgevoerd. Vandaar de aanname dat een kunstwerk pas bevorderd werd als het aan alle eisen van de leer voldeed.

Aanpak

Allereerst wordt er een selectie gemaakt van kunstwerken om te analyseren. De bevorderde kunst wordt hierbij opgezocht in het archief van de Große Deutsche Kunstausstellung (Fuhrmeister, C., Klingen, S., Lauterbach, I. & Peters, R., 2011) en de ontaarde kunst in het archief van de tentoonstelling van de Entartete Kunst (Hoffmann, M. & Krüger, K., 2020). Beide

tentoonstellingen zijn meerdere jaren opnieuw tentoongesteld, maar in dit onderzoek wordt gekeken naar de tentoonstellingen uit 1937. Hierbij wordt erop gelet dat de gekozen kunstwerken divers zijn. Uit twee schilderijen die ongeveer hetzelfde onderwerp of precies dezelfde stijl hebben wordt er dus maar een geanalyseerd. In totaal omvat deze steekproef 50 werken, 25 entartete werken en 25 bevorderde werken. Er is voor dit aantal gekozen zodat het onderzoek haalbaar zou blijven.

Daarna worden deze geanalyseerd. Met het verwerkingsprogramma Excel wordt een analysetabel gemaakt. Hierin worden de volgende eigenschappen van de kunstwerken verwerkt: materiaal, compositiesoort, symmetrie van de compositie, realisme van het kleurgebruik, zuiverheid van de kleuren, mate van abstractie, ruimtewerking en voorstelling.

Vervolgens worden de resultaten van beide categorieën vergeleken. Hiervoor worden de eigenschappen van de kunstwerken voor beide categorieën individueel in een grafiek of een cirkeldiagram verwerkt. Bij de verschillende eigenschappen worden de grafieken van de bevorderde kunst en de entartete kunst naast elkaar gezet zodat het makkelijker te vergelijken is. Zo wordt de eerste deelvraag (Wat zijn de voornaamste beeldende verschillen tussen de bevorderde en entartete kunst?) beantwoord.

De uiteindelijke resultaten worden daarna met behulp van bronnen over de ideologie van Hitler geduid. Er wordt hierbij gekeken hoe deze ideologie wordt teruggezien in de resultaten. Hiermee wordt de tweede deelvraag (Hoe sluit het verschil in artistieke stijl aan bij de ideologie van Hitler?) beantwoord.

Ook de inrichting van beide tentoonstellingen wordt onderzocht. Dit wordt gedaan met behulp van foto's van de tentoonstellingen waarmee de eventuele verschillen in de inrichting kunnen worden vastgesteld. Vervolgens wordt de hoofdvraag (Hoe gebruikte het Naziregime kunst, en de regulering daarvan, om de publieke opinie te beïnvloeden?) beantwoord door alle informatie en resultaten te combineren, hierbij wordt geput uit de bevindingen over de inrichting, de resultaten van deelvraag 1 (Wat zijn de voornaamste beeldende verschillen tussen de bevorderde en entartete kunst?), de resultaten van deelvraag 2 (Hoe sluit het verschil in artistieke stijl aan bij de ideologie van Hitler?) en de theorie uit de introductie.

Resultaten

Deelvraag 1: Wat zijn de voornaamste beeldende verschillen tussen de bevorderde en entartete kunst?

Wat opvalt wat betreft het verschil in de mate van abstractie tussen de twee tentoonstellingen, is dat er binnen de Entartete Kunst veel meer verschillende stijlen voorkomen, en dat deze categorie voor het merendeel geabstraheerd werk bevat. De bevorderde kunst bevat daarentegen veel meer realistische werken. Dit is te zien in figuur 1. Daarnaast is het zo dat een bevorderd schilderij dichter bij het realisme staat als het gestileerd is dan wanneer een kunstwerk uit de categorie Entartete Kunst gestileerd is.

In figuur 2 valt op dat de entartete kunst diverser is wat betreft het realisme van de kleuren en dat bevorderde kunst bijna

uitsluitend gebruikmaakt van realistische kleuren.

Zoals te zien is in figuur 3 is er wat betreft de symmetrie van de compositie weinig verschil tussen de entartete en de bevorderde kunst.

Zoals te zien in figuur 4 is er tevens weinig verschil in compositie tussen de bevorderde en de entartete kunst wat betreft de vorm van de compositie.

Zoals in figuur 5 te zien, is er bij alle onderzochte gevallen van de bevorderde kunst sprake van veel ruimtewerking. Terwijl bij de entartete kunst in maar 56% van de gevallen sprake was van veel ruimtewerking en er zelfs in 2 van de 25 gevallen helemaal geen ruimtewerking was.

In figuur 6 wordt duidelijk dat alle onderzochte gevallen van bevorderde kunst voornamelijk gebruikmaakten van onzuivere kleuren. In tegenstelling tot de bevorderde kunst maakte de entartete kunst in 9 van de 25 gevallen voornamelijk gebruik van zuivere kleuren.

Deelvraag 2: Hoe sluit het verschil in artistieke stijl aan bij de ideologie van Hitler?

In deelvraag 1 kwam naar voren dat de entartete kunst abstracter is met meer diversiteit in het realisme van de kleuren en dat de bevorderde kunst realistischer is in zowel de stijl als het kleurgebruik. Dit sluit aan bij Hitlers haat jegens de modernistische kunst (NCR, 2016) welke vaak geabstraheerd is (Groenendijk, Heijnen, Keuning, Maas, 2016), en zijn liefde voor het classicisme (NCR, 2016), wat heel realistisch is en nauwkeurig in de weergave zowel algemeen als met kleurgebruik.

Ten tweede bleek in deelvraag 1 dat de bevorderde kunst veel gebruikmaakt van onzuivere kleuren vergeleken met de entartete kunst. In de werkelijkheid bestaan er bijna geen zuivere kleuren, hierdoor koppelde Hitler waarschijnlijk het gebruik van zuivere kleuren aan geestelijke aandoeningen (Bril, K.A.,1993). Dit omdat er verscheidene geestelijke aandoeningen bestaan waarbij men het contact met de werkelijkheid kwijtraakt zoals psychoses. Hierbij kan er bijvoorbeeld sprake zijn van denkbeelden die niet overeenkomen met de realiteit (GGZWNB, 2019). Voor mensen met een geestelijke aandoening was geen plek in Hitlers rijk (Gittelman, M, 2006). Niet alleen zuivere kleuren werden gelinkt aan geestelijke aandoeningen, ook een grote mate van abstractie en onrealistisch kleurgebruik. Dit komt beide veel voor bij de entartete kunst.

Ten derde viel in deelvraag 1 op dat er bij de entartete kunst sprake is van een geringe hoeveelheid ruimtewerking. Ook dit kan gekoppeld worden aan dat er in de ogen van Hitler geen plek was voor mensen met een geestelijke aandoening in de samenleving (Gittelman, M, 2006). Een geringe hoeveelheid ruimtewerking zorgt er namelijk voor dat een afbeelding minder overeenkomt met de werkelijkheid zoals wij die ruimtelijk waarnemen, hierdoor kan dit worden gekoppeld aan psychische aandoeningen waarbij sprake is van verlies van het contact met de werkelijkheid zoals bijvoorbeeld het geval is bij psychoses zoals al eerder genoemd (GGZWNB, 2019). Daarnaast is het toepassen van ruimtewerking vrij

gecompliceerd, dit geldt zeker voor technieken als lijnperspectief en atmosferisch perspectief. Hierdoor kan het niet toepassen van deze technieken verkeerd begrepen worden als onvermogen om ze toe te passen. Dit geldt ook voor vaardigheden als realistisch tekenen en bijvoorbeeld de kennis van kleurentheorie welke in staat stelt om realistische kleuren te mengen. Het gebrek aan ruimtewerking, de abstractie en de onrealistische kleuren werden dus gezien als een onvermogen van de kunstenaar (Bril, K.A.,1993). Dit onvermogen werd in verband gebracht met zwakbegaafdheid en de psychische aandoeningen die hier in veel gevallen mee gepaard gaan (ZoBegaafd, 2019) (Bril, K.A.,1993).

Hoofdvraag: Hoe gebruikte het Naziregime kunst, en de regulering daarvan, om de publieke opinie te beïnvloeden?
Afgezien van de verschillen tussen de kunstwerken zelf viel ook op dat er grote verschillen waren tussen de inrichtingen van de twee tentoonstellingen.

De schilderijen zijn bij de Entartete Kunst (afbeelding 7) heel slordig opgehangen, in tegenstelling tot die bij de Große Deutsche Kunstausstellung (afbeelding 8). Het is duidelijk dat de ene tentoonstelling er was om geridiculiseerd te worden en de andere heel serieus werd genomen (Brücke-Museum, 2019).

Aan de inrichting was te zien dat de kunst die in de entartete kunst tentoonstelling te zien was tegenover het publiek belachelijk werd gemaakt. Nu is de vraag wat het publiek als resultaat hiervan belachelijk moest vinden aangezien dit waarschijnlijk verder ging dan alleen de kunst.

Hierover zijn naar aanleiding van dit onderzoek twee theorieën. Allereerst zou het in deelvraag twee genoemde verband met psychische aandoeningen direct te maken kunnen hebben met de boodschap. Zoals eerder genoemd was er voor mensen met een lichamelijke of geestelijke aandoening geen plaats in het rijk dat Hitler voor ogen had, hij streefde namelijk naar een superieur Arisch ras met enkel de sterksten (Bril, 1993). Door de kunst die met psychische aandoeningen in verband werd gebracht belachelijk te maken en het zo op te hangen dat veel bezoekers het ook belachelijk zouden vinden, kon Hitler mensen met een psychische aandoening in een slecht daglicht zetten.

Daarnaast was de verklaring voor het entartete verklaren van bepaalde kunst, die herhaaldelijk werd gegeven, dat dit communistisch en Joodse kunst was. Terwijl maar enkele van de makers van de tentoongestelde werken ook daadwerkelijk Joods en/of communistisch was (Segal, 2015). Door de werken als Joods en communistisch te bestempelen konden zo niet alleen mensen met een psychische aandoening maar ook Joden en communisten als belachelijk worden weggezet. Dit alles om te zorgen dat het volk het eens zou zijn met Hitlers streven naar een samenleving zonder deze drie bevolkingsgroepen.

Conclusie

Door bepaalde kunst, de entartete kunst, te ridiculiseren en tegelijk in verband te brengen met mensen met een psychische aandoening en te verklaren dat de makers Joods en communistisch waren, kon het Naziregime de publieke opinie tegen deze bevolkingsgroepen opzetten. Zo werd de draagkracht

vergroot voor Hitlers streven naar een superieur Arisch ras met enkel de sterksten en zonder deze bevolkingsgroepen.

Discussie

Validiteit en vervolgonderzoek:

Naar aanleiding van de resultaten werd duidelijk dat er heel specifieke verschillen zijn tussen entartete kunst en bevorderde kunst. Dit wijst erop dat de categorisering van kunst heel doelgericht was ten opzichte van wat Hitler van Duitsland wilde maken: een groot rijk dat alleen uit gezonde Ariërs bestond. De uitkomsten van de analyse konden namelijk vooral teruggebracht worden op Hitlers haat jegens mensen met psychische aandoeningen, Joden en communisten. Deze gerichtheid op bepaalde bevolkingsgroepen is tegelijkertijd ook het opvallendste aan de resultaten.

Ondanks dat er zoveel mogelijk gebruik is gemaakt van betrouwbare bronnen om een beeld te vormen van het onderscheid tussen de entartete en bevorderde kunst en de gedachte die hier achter lag is de uiteindelijke koppeling van de resultaten aan de ideologie van Hitler voornamelijk op deductie gebaseerd. Dit vanwege een gebrek aan geschikt bronmateriaal over dit verband. Het is dus mogelijk dat er hierbij een verkeerde redenering is gemaakt. Daarbij is er geen betrouwbare steekproef genomen. Er waren 1663 analyseerbare kunstwerken. Daarvan zijn er maar vijftig meegenomen in het onderzoek. Aangezien dit onderzoek is uitgevoerd door twee personen was het niet haalbaar om meer kunstwerken te analyseren zonder dat dit ten koste zou gaan van de kwaliteit van de analyse. Voor een vervolgonderzoek zouden meerdere mensen kunnen samenwerken, zodat meer kunstwerken kritisch geanalyseerd zouden kunnen worden.

In de analyse zijn de meeste beeldende aspecten, zoals bijvoorbeeld ruimtewerking, beschouwt. Dynamiek is echter buiten beschouwing gelaten omdat dit aspect niet bruikbaar was voor het onderzoek. De keuze om dynamiek in een kunstwerk toe te passen heeft namelijk geen invloed op het realisme van een werk. Licht/donkercontrasten hebben daar echter wel invloed op, en dat beeldende aspect is ook buiten beschouwing gelaten. De selectie van de beeldende aspecten is daardoor van invloed geweest op de validiteit van het onderzoek. Daarom is aan te raden om bij een vervolgonderzoek naast een grotere steekproef ook een bredere selectie van beeldende aspecten te gebruiken.

Voor het merendeel voldoen de resultaten aan de verwachtingen. De hypothese komt namelijk vrijwel helemaal overeen met de conclusie. Het is alleen opmerkelijk dat er geen groot verschil is bij de vorm van de compositie. Bepaalde compositievormen zouden namelijk ook in verband gebracht kunnen worden met psychische aandoeningen. Een over-allcompositie wordt bijvoorbeeld veel meer gebruikt bij abstracte kunst dan bij gestileerde of realistische kunst. Dat is dan meestal een patroon die over het hele doek is geschilderd. Aangezien abstractie in verband kan worden gebracht met geestelijke aandoeningen en bepaalde compositievormen bij abstractie horen, zou het logisch zijn dat er ook bij de vorm van de compositie een groot verschil zou zijn.

Om de validiteit van het onderzoek te bewaken werden de categorieën eerst apart bekeken zonder dat ze vergeleken

werden met elkaar. Ook werd er pas een gedetailleerd beeld van de ideologie van Hitler gevormd nadat de analyse voltooid was. Hierdoor is er niet veel ruimte geweest om een bias te vormen die invloed kan hebben gehad op de resultaten.

Er is eigenlijk nog niet echt onderzoek gedaan naar de regulering van kunst als propagandamiddel, maar wel naar propagandamiddelen zelf. In Mein Kampf schreef Hitler: *‘Propaganda moet volks zijn en moet zijn geestelijk niveau aanpassen aan het bevattingsvermogen van de beperktsten van degenen op wie hij zich richt.*’ (Historianet, n.b.) Dit is een interessante uitspraak, aangezien het gebruik van kunst als propagandamiddel zowel wordt verdedigd als weerlegd. Kunst is zeker volks, maar wordt ook in verband gebracht met intellectualiteit. Het geestelijk niveau is dus niet universeel.

Wat naar aanleiding van dit onderzoek wellicht nog interessant is, zijn de verschillen op het gebied van de voorstelling, de boodschap en de kunstenaar. Er zijn onder de entartete kunst namelijk ook kunstwerken die wat betreft de vormgeving wel aan Hitlers wensen voldeden. Dit wijst erop dat er een andere reden is geweest om deze werken in te delen bij de entartete kunst. Het zou kunnen dat dit te maken heeft gehad met de voorstelling of de persoonlijke ideeën van de kunstenaar. De voorstelling zou in een vervolgonderzoek nog betrouwbaar kunnen worden onderzocht. De boodschap van de meeste kunstwerken helaas niet meer, aangezien de meeste kunstenaars die bij deze tentoonstellingen betrokken waren nu overleden zijn. Zij kunnen het ons dus niet vertellen, en iedereen heeft een andere interpretatie van de boodschap, dus deze kan niet meer met zekerheid vastgesteld worden.

Maatschappelijke implicaties:

De beïnvloeding van de publieke opinie, zoals dit plaatsvond onder het Naziregime, is nog altijd zeer relevant. Verspreid over de wereld regeren nog altijd totalitaire dictators die vergelijkbare tactieken gebruiken om het volk naar hun hand te zetten.

Zo verteld Song Byeok, ex-propagandaschilder en vluchteling uit Noord-Korea, dat hij nog tot zijn tienerjaren heilig bleef geloven in de over Noord-Korea regerende Kim-familie ondanks het feit dat er veel honger werd geleden (Hoddinott, 2017)

Het feit dat Song Byeok in dit totalitaire regime bleef geloven, ondanks de honger, heeft waarschijnlijk alles te maken met het beleid dat wordt gevoerd wat betreft het beïnvloeden van de publieke opinie.

Kinderen worden vanaf jonge leeftijd geïndoctrineerd, ze krijgen anti-Amerikaanse boodschappen te horen en krijgen speelgoedgeweren om op kartonnen soldaten te schieten (afbeelding 9). Op Internationale Kinderdag is er een parade waarbij kinderen zijn verkleed als leden van het Noord-Koreaanse leger. Dit in combinatie met dat het regime activiteiten aanbiedt als vermaak voor de kinderen waarin de ideologie wordt verwerkt, kan worden vergeleken met de Hitlerjugend uit het Naziregime (Butler, 2016) (Weller, 2019). Daarnaast wordt er veel gebruik gemaakt van posters zoals in afbeelding 10. Deze moeten aan strenge eisen voldoen verklaart Song Byeok (Hoddinott, 2017). Hier kan natuurlijk een vergelijking worden gemaakt met de propagandaposters uit het Naziregime. Maar ook met de realistische stijl die werd bevorderd, ook dit kende namelijk veel regels en eisen net als

de Noord-Koreaanse propagandaposters. Door deze vergelijkingen te maken kan de beïnvloeding van de publieke opinie door hedendaagse totalitaire regimes beter begrepen worden. Er kan dan zelfs een tegenoffensief worden geïnitieerd zoals de media campagne van de Verenigde Staten waarmee zij een Noord-Koreaanse versie van de Arabische lente hopen te bereiken (Frank, 2016). Dit is hard nodig want doordat regimes als de Kim-familie hun volk zo goed onder de duim hebben kunnen ze hun gang blijven gaan.

Bibliografie

Alamy (2009). “Springendes Pferd” Heinrich Campendonk (1889-1957). Geraadpleegd op 24 november 2019 van <https://www.alamy.com/stock-photo-fine-arts-campendonk-heinrich-1889-1957-painting-springendes-pferd-110581402.html?pv=1&stamp=2&imageid=1545E7AB-F398-4F8E-9241->

Bril, K.A. (1993). De opkomst en de ontwikkeling van het evolutionisme en de probleemhistorische methode van Vollenhoven. Leiden: Brill.

Brücke-Museum (2019). Escape into art? The Brücke Painters in the Nazi Period. Berlijn.

Butler, R. (2016). SS-Hitlerjugend. Londen: Amber Books Ltd.

Catawiki (n.b.). Frits Kaiser - Entartete Kunst - 1937. Geraadpleegd op 30 juni 2019 van <https://veiling.catawiki.nl/kavels/21198185-fritz-kaiser-entartete-kunst-1937>

Clinefelter, J.L. (2005). Artists for the Reich: Culture and Race. Londen: Bloomsbury.

Frank, R. (2016). Between wishful thinking and realism: Hopes for a Pyongyang Spring. Geraadpleegd op 21 december 2019 van https://www.38north.org/2016/09/rfrank092916/?utm_source=Copy%20of%2038%20North%20Bulletin%20092216&utm_campaign=38%20North&utm_medium=email

Fuhrmeister, C., Klingen, S., Lauterbach, I. & Peters, R. (2011). GDK Research. Geraadpleegd op 2 februari 2020 van <http://www.gdk-research.de/db/apsisa.dll/ete>

GGZWNB (2019). Hulp bij psychische problemen: Psychose. Geraadpleegd op 2 december 2019 van <https://www.ggzwnb.nl/volwassenen-hulp-bij-psychische-problemen.html>

Gittelman, M. (2006). The Holocaust, Racism, Mental Illness. Geraadpleegd op 30 juni 2019 van <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2753/IMH0020-7411350301?journalCode=mimh20>

Groenendijk, J., Heijnen, E., Keuning, S. & Maas, M. (2016). Bespiegeling Kunsten in Samenhang. Haren: Staal & Roeland BV.

Hertog den, P., Angel, E. & Martin, J. (2012). Kunst op Niveau (3 ed.). Arnhem: Uitgeverij LAMBO bv.

Historianet (n.b.) <https://historianet.nl/oorlog/tweede-wereldoorlog/propaganda-veranderde-het-duitsse-volk-in-nazi-s>

Historiek (n.b.). Totalitarisme - betekenis en kenmerken. Geraadpleegd op 27 juni 2019 van <https://historiek.net/totalitarisme-betekenis-en-kenmerken/89482/>

Hoddinott, H. (2017). Former North Korea propaganda artist reveals harrowing reality of life under world’s most secretive regime. Geraadpleegd op 21 december 2019 van <https://www.independent.co.uk/news/world/asia/north-korea-life-kim-jong-un-defector-reveal-song-byeok-propaganda-artist-dictatorship-a7726906.html>

Hoffmann, M. & Krüger, K. (2020). 2.1 München, Hofgarten-Arkaden 1937 uit Beschlagnahmeverzeichnis ‘Entartete Kunst’. Geraadpleegd op 4 februari 2020 van <http://emuseum.campus.fu-berlin.de/s?service=RedirectService&sp=Scollection&sp=SfieldValue&sp=0&sp=0&sp=3&sp=Sdetail&sp=0&sp=Sdetail&sp=0&sp=F>

KLU, (2015). Het vrouwelijk ideaal in de Nazi-propaganda. Geraadpleegd op 29 januari 2020 van <https://www.klu.nl/artikel/52/het-vrouwelijk-ideaal-in-de-nazi-propaganda.html>

Krause, R. / Reuters (n.b.). Geraadpleegd op 21 december 2019 van <https://nvcnews.org/content/north-korea-us-undertakes-media-campaign-hopes-%E2%80%98pyongyang-spring%E2%80%99>

Krüger, A. (2007). Breeding, rearing and preparing the Aryan body: creating supermen the Nazi way. Geraadpleegd op 30 juni 2019 van <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09523369908714070?journalCode=fhsp20>

NCR. (2016). De smaak van Hitler. Geraadpleegd op 29 Januari 2020 van <https://www.nrc.nl/nieuws/2016/12/02/de-smaak-van-hitler-5601059-a1534778>

Petropoulos, J. (1999). Art as Politics in the Third Reich. Chapel Hill: The University Of North Carolina Press.

Plenzdorf.nl (2011) <http://www.plenzdorf.nl/2011/11/groe-deutsche-kunstaussstellung-1937.html>

Putte van de, A. (1987). Macht en maatschappij: Cl. Lefort over democratie en totalitarisme. Leuven: Peeters Publishers.

Riessen van, M., Verkuil van, D. & Straaten, I.D. (2002). Historisch overzicht in Geschiedeniswerkplaats Tweede Fase handboek (2 ed.). Groningen: Noordhoff Uitgevers.

Sagolj, D. / Reuters (n.b.). Zo is het om als kind in Noord-Korea te leven. Geraadpleegd op 21 december 2019 van <https://www.businessinsider.nl/zo-is-het-om-als-kind-in-noord-korea-te-leven/>

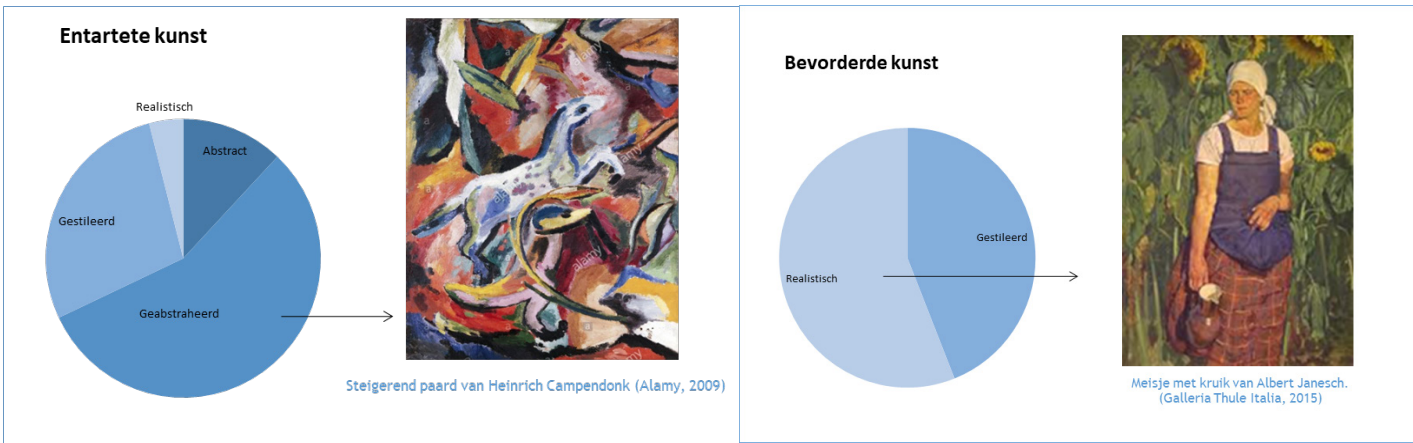
Steinweis, A.E. (1996). Art, Ideology, and Economics in Nazi Germany. Chapel Hill: The University Of North Carolina Press.

Segal, S. (2015). Kunst en politiek: tussen zuiverheid en propaganda. Amsterdam: Amsterdam University Press.

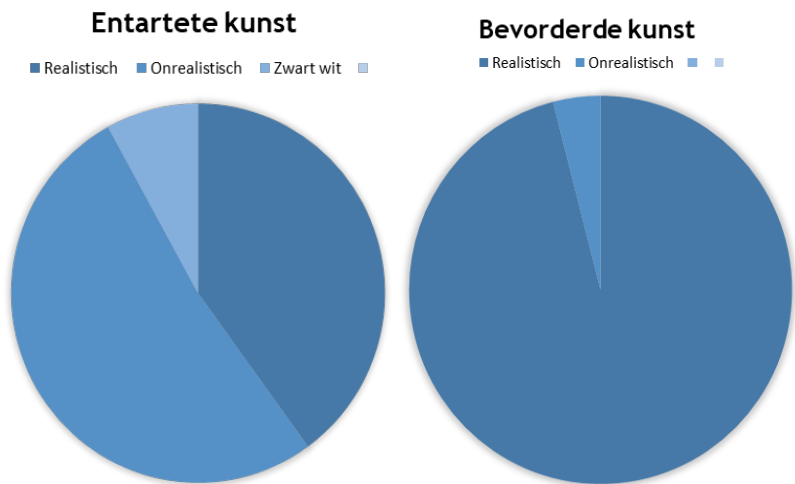
Wierda S. (2012). Het morele effect van beeldende kunst. Utrecht: Utrecht University Repository (Faculty of Humanities Theses).

ZoBegaafd (2019). Zwakbegaafdheid. Geraadpleegd op 2 december 2019 van <https://www.zobegaafd.nl/zwakbegaafdheid/>

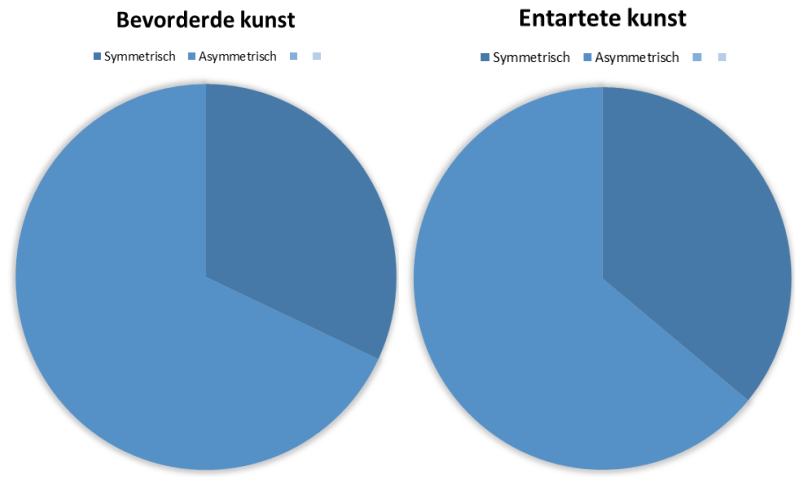
Zwitscher-Maschine (2017) <https://www.zwitscher-maschine.org/archive/2017/10/24/paul-klee-und-die-entartete-kunst>



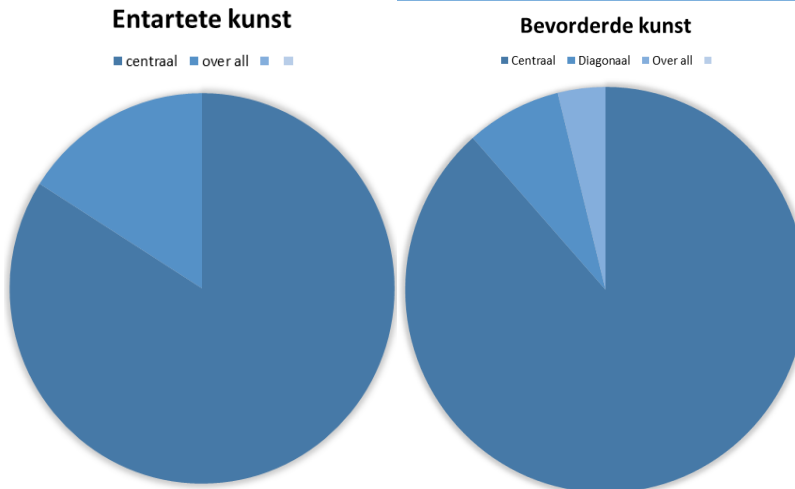
Figuur 1



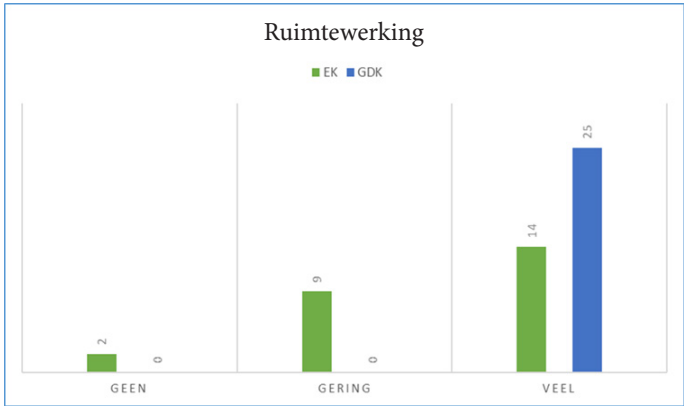
Figuur 2



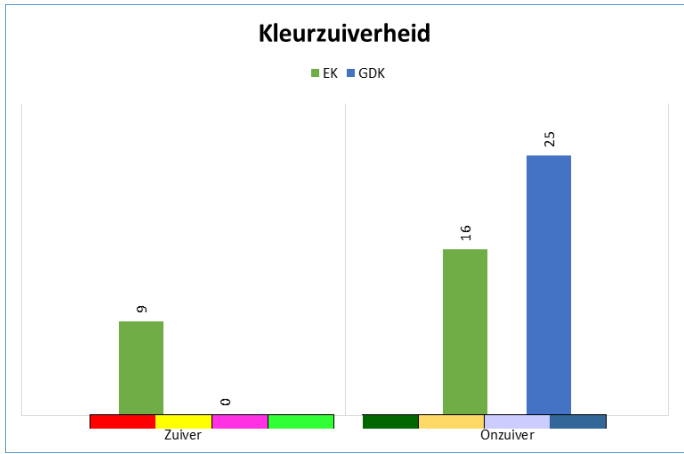
Figuur 3



Figuur 4



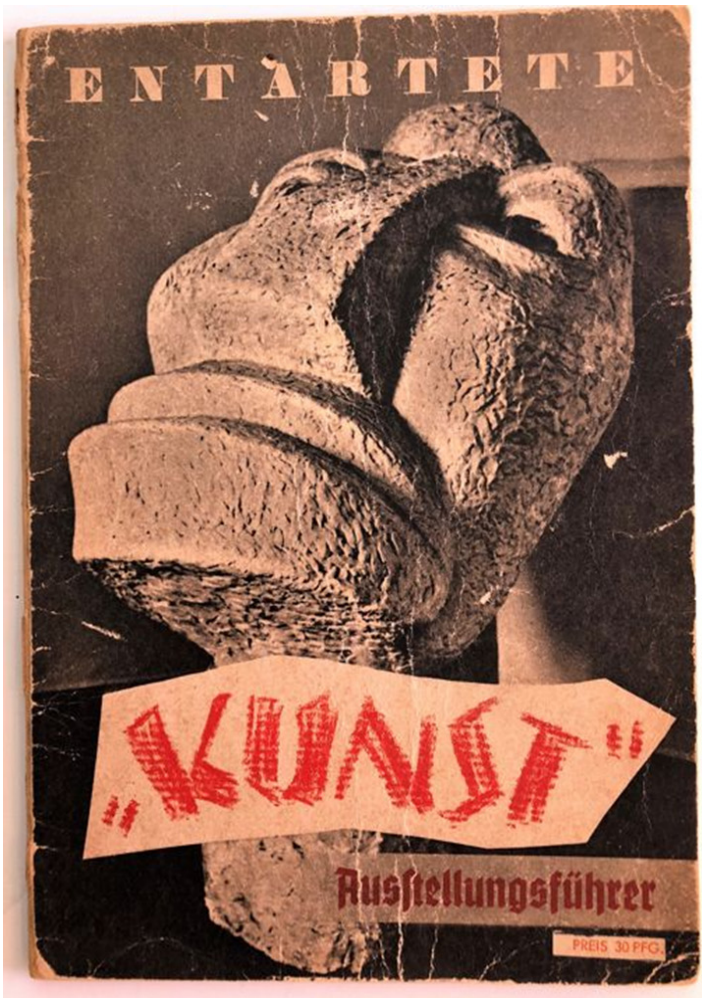
Figuur 5



Figuur 6



Figuur 7: Entarte kunst tentoonstelling (Zwitscher-Maschine, 2017)



Poster Entartete Kunst door F. Kaiser, 1937 (Catawiki, n.b.)



Ausstellungskatalog der Großen Deutsche Kunstausstellung 1937 (Deutsches Historisches Museum, nb.)



Figuur 8: Große Deutsche Kunsttentoonstelling (Plenzdorf.nl, 2011)



Figuur 9: Indoctrinatie op jonge leeftijd (Damir Sagolj / Reuters, n.b.)



Figuur 10: Propaganda op straat (Reinhard Krause / Reuters, n.b.)

Ethiek en de dierproef

P.J.R.P. Thöni², F. J. A. Schumer², S. ten Heggeler², A.C. Balt¹, A.A. ten Cate¹

¹ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

² Het Erasmus, Almelo

Abstract - Animal testing is a controversial topic. For this subject, there are many different points of view. One way of looking at this matter is through ethical principles. In this research, the following question is answered: *Which ethical principles provide the basis for possible adjustments to the law on animal testing?* To answer this question, certain ethical principles are investigated. The extent to which the Animal Testing Act uses ethical principles will then be investigated. Thereafter, it is established in which parts of the Animal Testing Act ethical principles can be applied. It is from this part of our research that we have reached a conclusion, namely that in particular utilism is a principle usable for changing the Animal Testing Act. This conclusion and the research have their flaws, such as being incomplete, which will be discussed later on.

1. Inleiding

Het uitvoeren van dierproeven is een controversieel onderwerp. Dierproeven kunnen worden gezien als verwerpelijk, maar ook als noodzakelijk. De meningen over dierproeven verschillen dan ook sterk. Hierdoor komt het regelmatig voor dat de wet op de dierproeven (Wod) in de Tweede Kamer ter sprake komt. Omdat deze wet vaak bediscussieerd wordt, is het interessant om de basis waarop deze meningen worden gebaseerd, te bekijken. Ethiek kan zo’n basis zijn. In dit onderzoek wordt gekeken in hoeverre ethiek kan worden gebruikt om de Wod aan te passen. Op deze manier wordt bijgedragen aan de discussie, die rondom het onderwerp leeft, en wordt er mogelijk een nieuwe invalshoek gegeven. De hoofdvraag luidt dan ook: “Welke ethische principes bieden uitgangspunten voor mogelijke aanpassingen in de wet op de dierproeven?” Om de hoofdvraag te beantwoorden maken we gebruik van enkele deelvragen. Deze zijn:

- Welke voor dit onderzoek relevante ethische stromingen zijn er?
- Wat is de momentele regelgeving omtrent dierproeven?
- In hoeverre maakt de huidige regelgeving gebruik van ethische stromingen?
- In hoeverre laat de momentele regelgeving ruimte voor aanpassingen aan de hand van ethische stromingen?

Deze deelvragen zullen leiden tot een conclusie, die de hoofdvraag beantwoordt.

De hypothese op de hoofdvraag luidt als volgt: de wet is al gebaseerd op enkele ethische principes, toch zullen er andere ethische principes zijn, die mogelijkheid tot aanpassing geven. Deze aanpassingen kunnen eventueel verbeteringen zijn en kunnen de ruimte voor discussie verbreden. Ethiek wordt al toegepast en kan tot zekere hoogte meer uitgang bieden voor wetgeving. Het gebruik van ethische stromingen kan dus nuttig zijn bij deze wetgeving.

2. Methodologie

In dit hoofdstuk komt naar voren met welke methode de resultaten behaald worden. Ook wordt onderbouwd waarom deze methode kloppend is.

Het onderzoek bestaat uit een aantal onderdelen, die samen leiden naar een conclusie om de hoofdvraag te beantwoorden. Allereerst wordt er een literatuurstudie gedaan naar enkele ethische stromingen, namelijk het consequentialisme, de deontologie en de deugdeethiek. Er is voor deze stromingen gekozen, aangezien deze stromingen een breed spectrum aan principes geven die de ethiek voldoende overkoepelen (Welke

ethische theorieën en stromingen zijn er?, 2019). Binnen het consequentialisme wordt voornamelijk gekeken naar het utilisme, aangezien dit een meer toegepaste vorm van het consequentialisme is. Verder wordt er ook gekeken naar de theorieën van de utilist Peter Singer, aangezien hij zich bezig houdt met dierproeven. Dit maakt zijn visie interessant voor het onderzoek. Op deze manier worden er voldoende bruikbare principes die toe te passen zijn op de dierproef verkregen. Vervolgens wordt de Wod kritisch bekeken en bepaald in hoeverre het overeenkomt met ethische principes. Hierbij wordt een selectie van artikelen gemaakt, die ofwel ethische principes bevatten ofwel ruimte laten voor aanpassingen aan de hand van ethische principes. Aan de hand van deze artikelen kan bepaald worden welke ethische stromingen gebruikt kunnen worden voor aanpassingen en in welke mate. Dit wordt gedaan, omdat er zo wordt onderzocht hoe de Wod is opgebouwd en in welke mate men hier met verschillende invalshoeken vanuit de ethiek naar kan kijken om zo op een juiste manier de ethiek toe te passen. Met deze informatie kan de conclusie worden getrokken.

3. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt de literatuurstudie naar de ethische stromingen beschreven. Deze stromingen zijn het consequentialisme, de deontologie en de deugdeethiek. Deze stromingen worden uitgewerkt en de ethische principes, waarop ze zijn gebaseerd, worden genoemd. Ook wordt de koppeling met de dierproeven gemaakt en wordt er bepaald in hoeverre stromingen dierproeven rechtvaardigen of niet.

Consequentialisme (gevolgenethiek)

Het consequentialisme, ook wel gevolgenethiek genoemd, is een overkoepelende term voor ethische-filosofische stromingen (waaronder het utilisme) waar het ethisch juist handelen blijkt uit het behalen van een goed resultaat (de gevolgen) van het handelen voor zowel mens als dier. Het resultaat wordt beoordeeld door de maatstaven: nut, genot en leed. (Prof. dr. F.W.J. Keulartz & Dr. Jac. A.A. Swart , 2009-2016). Het utilisme wordt gezien als een eerste stap naar een breder concept van consequentialisme. Het utilisme is een meer toegespitste stroming die interessanter is voor de toepassing op dierproeven, vanwege zijn meer toegepaste aard en vanwege de vele utilisten die veel over dierproeven te zeggen hebben, zoals Peter Singer.

Het utilitarisme (utilisme) is een ethische stroming. De stroming is begonnen bij David Hume en later uitgewerkt door

Jeremy Bentham. (Utilitarisme, 2018) (Mukerjee, 1997)

Deze stroming meet de morele waarde van een handeling af aan de bijdrage die deze handeling levert aan het algemeen nut. (Utilitarisme, 2018) Bentham en Hume hadden op dat “nut” een hedonistische kijk: genot moest worden gemaximaliseerd en leed en pijn moesten worden geminimaliseerd. Voorbeelden van genot zijn welzijn, gezondheid, schoonheid en geluk. Het zijn vaak waarden die van zichzelf al intrinsieke waarde hebben en dus al omwille van zichzelf nagestreefd worden. (Tramper, Jac, & Margreet, 2009) (Rothfus, 2010) Het leed en genot geldt zowel voor mens als dier. Om de afweging te maken tussen het leed en het geluk dat een proef met zich mee brengt, is de keuze van het proefdier erg belangrijk. Het ene proefdier ervaart meer leed dan een ander. Keuzes in proefdier zullen altijd omwille van utilisme worden gemaakt. Zoveel mogelijk geluk, en zo min mogelijk leed, voor mens en dier.

Er kan gesteld worden dat proefdieren niet gelukkig zijn, vanwege het leed dat komt kijken bij het uitvoeren van een dierproef en doordat de integriteit van de dieren wordt geschaad (dit wordt later toegelicht). Om deze dieren zo gelukkig mogelijk te maken, kan gedacht worden aan goede leefomstandigheden, verzorging en aan een goed verblijf. Ook de afwezigheid van leed kan als geluk worden beschouwd. (Stafleu, 2004) (Prof. dr. F.W.J. Keulartz & Dr. Jac. A.A. Swart , 2009-2016)

Kortom, het consequentialisme houdt zich meer bezig met de gevolgen van de handeling, terwijl het utilisme zich meer specifiek bezighoudt met het geluk en het leed dat ontstaat als gevolg van de handeling.

Een belangrijk principe, dat hoort bij het utilisme, is het de integriteit. Het in stand houden van de integriteit, ofwel de heelijkheid, compleetheid en authenticiteit van het dier, van een dier, is onderdeel van het respect dat wij als redelijk mens moeten hebben. Ook aantasting van de integriteit is onderdeel van het leed, want dieren horen geen proefdieren te zijn. De integriteit van proefdieren wordt beschadigd, omdat de dieren bijvoorbeeld uit hun natuurlijke habitat worden gehaald. Zo hoort een leeuw, die in een circus werkt, van oorsprong helemaal niet in een circus te werken. Zijn integriteit wordt hiermee dus beschadigd. (Verhoog, 2004) Dit leed moet dus ook worden meegenomen in de overweging die het utilisme maakt tussen geluk en leed.

Als we spreken van integriteit, hetzelfde als intrinsieke waarde en eigenwaarde, dan is, wanneer het welzijn van het dier niet in gevaar is tijdens een proef, de morele aanvaardbaarheid van een proef toch te bediscussiëren. (Tramper, Jac, & Margreet, 2009) We zouden volgens deze theorie respect moeten hebben voor de eigenwaarde van het dier. Een dier heeft namelijk bewustzijn en kan leed ervaren (dit wordt later toegelicht). Dit zijn factoren die ervoor zorgen dat ook dieren onder de morele consideratie vallen, daarom zou men respect moeten hebben voor de eigenwaarde van het proefdier. Echter worden de dieren louter als instrument gebruikt en dat is dus moreel problematisch. Het instrumentele gebruik van dieren botst dus met het principe van respect. Dieren louter als instrument gebruiken, leidt echter ook tot beschadiging van hun integriteit. Het instrumentele karakter blijkt uit het feit dat het vervangen van dierproeven door niet-dierlijke alternatieven wordt geaccepteerd door de meeste onderzoekers, mits het gewenste resultaat bereikt wordt. Het proefdier wordt dus alleen gebruikt om een bepaald resultaat te behalen, waaruit het instrumentele

karakter blijkt. Ook worden proefdieren gekweekt om te dienen voor dierproeven en hieruit blijkt wederom het instrumentele karakter. Dieren horen niet als instrument gebruikt te worden en hierbij heeft het proefdier dus geen eigenwaarde en dit is onderdeel van hun integriteit. (Stafleu, 2004) Het kritiekpunt dat sommigen hebben, is dat deze stroming geen grenzen heeft. Hoe ver mag je eigenlijk gaan om het genot voor zoveel mogelijk mensen te vergroten? In de kwestie rondom dierproeven kan men zich dan ook afvragen hoe ver zij eigenlijk mogen gaan met dieren om het geluk voor mensen te vergroten. (Rothfus, 2010)

Peter Singer

Peter Singer is een filosoof die gespecialiseerd is in de toegepaste ethiek. Het benadert ethische kwesties vooral vanuit, bij voorkeur, utilistische of atheïstische invalshoeken. (Peter Singer, 2019) Hij wordt beschouwd als de meest invloedrijke levende filosoof. Met het benaderen van ethische kwesties door middel van utilisme heeft Singer nieuwe deuren geopend voor de dierethiek, in tegenstelling tot andere utilisten. Hij kaart interessante kwesties aan en geeft boeiende en bruikbare invalshoeken met betrekking tot dierproeven.

De utilistische ethiek, die Peter Singer in zijn boeken beschrijft zijn gebaseerd op het criterium van utilist Jeremy Bentham, de oprichter van het utilisme: “The question is not”, stelde deze, “Can they reason? nor Can they Talk? but Can they suffer?” (Singer 1990, p. 7) Wat Bentham hier zegt, is dat het kunnen ervaren van pijn niet alleen noodzakelijk is, maar ook een voorwaarde om voor de belangen van een dier te spreken. Wanneer een wezen lijdt is het niet moreel rechtvaardig om geen rekening te houden met het leed van dit wezen en moet dit leed gelijk gesteld worden aan het leed van een ander dier of mens. (Singer, Animal Liberation, 1975).

Ook zegt Peter Singer, met betrekking tot dierproeven, dat dieren herkenbare uitingen van gedrag bij bepaalde emoties (zoals pijn) vertonen, en dat geeft dus reden om te zeggen dat dieren kunnen lijden. Peter Singer zegt dus eigenlijk dat we, door het zien van herkenbare gedragsuitingen bij dieren, kunnen zeggen dat dieren kunnen lijden. (Singer, Animal Liberation, 1975) Zo blijkt bewustzijn een noodzakelijke voorwaarde voor gevoelens te zijn, men kan geen pijn lijden, zonder die pijn bewust te ervaren. Het bewust beleven is dus onlosmakelijk verbonden aan de emoties. De vraag is dus of dieren bewustzijn hebben. (Rivas E. R., 1991) Het bewustzijn wordt afgeleid uit het gedrag dat dieren vertonen en daarmee kan dus, ook volgens Singer, geconcludeerd worden dat veel dieren bewustzijn hebben en dus subjectieve ervaringen hebben, zoals leed en genot. (Rivas T. P., 2011) Toch blijft dit onderwerp erg controversieel. Men kan niet in het hoofd van een dier kijken, maar alleen naar het gedrag van dieren en dit terugbrengen naar menselijke gedragsuitingen. De term hiervoor is antropomorfisme.

Singer betoogt dus voor gelijkheid tussen mens en dier en gaat uitsluiting van morele consideratie tegen. De term speciesisme komt hierbij kijken. Wanneer er sprake is van speciesisme, wordt er de discriminatie tussen soorten bedoeld. Dit geldt ook voor discriminatie tussen mens en dier. (Singer, All Animals Are Equal, 1974) Het maken van een moreel onderscheid enkel op basis van een soort waartoe een ‘sentient being’ hoort, wat gebeurt bij dierproeven, is dus speciesisme. Bij dierproeven wordt namelijk wel de ene soort gebruikt als proefdier, maar de andere niet. Dit wordt door Singer op één lijn gesteld met

racisme en seksisme. (Swart, 2006) Het is een verwerpelijk principe dat Peter Singer aankaart, maar sommige in sommige gevallen is speciesisme goed of noodzakelijk, bijvoorbeeld om een zo groot mogelijk geluk te bereiken voor de grootste groep wezens. Speciesisme, waarbij men wezens zonder bewustzijn minderwaardig stelt aan wezens met bewustzijn, gaat in de praktijk altijd gepaard met antropocentrisme. Dit gebeurt ook bij dierproeven. Hierbij stelt men de mens hoger dan andere wezens, die dan wel niet bewustzijn ervaren. (Rivas E. R., 1991)

Deontologie (plichtsethiek)

De deontologie, beginsethiek of plichtsethiek is een ethische stroming. (Beginsethiek, 2019) Deze ethiek betoogt dat het goede of rechtvaardige wordt gedefinieerd door de intentie die speelt bij het uitvoeren van een handeling. De handeling is dan moreel goedgekeurd wanneer de bedoeling van de handeling overeenkomt met een correct ethisch motief of plicht. Zo'n morele regel of wet noemt Kant een (categorische) imperatief. Kant is de bekendste grondlegger van deze ethiek. (Hoekstra, 2006) (Rothfus, 2010) Categorisch betekent absoluut en onvoorwaardelijk. De morele regels gelden ongeacht de gevolgen van het nastreven van deze plichten/regels. (Warburton, 2007) Hieronder luidt de formulering van de categorisch imperatief:

“Handel alsof de grondregel (het maxime) van jouw handeling door jouw wil een algemene natuurwet wordt” (Kant, 1758) (Rothfus, 2010)

Volgens Kant moet men nagaan of het maxime (het beginsel) waardoor de wil zich laat bepalen, voldoet aan een door jouw wil algemene natuurwet die volgens een formele eis van algemene geldigheid geldt. Onder de maxime/ het beginsel verstaan we het principe dat aanzet geeft tot of ten grondslag ligt aan iemands handelingen. De maxime is dus het beginsel van elke handeling. Soms kunnen twee maximes met elkaar in contrast staan, we praten dan van contradictie. (Lauwaert, 2013) (Maxime, 2019) Geldt een beginsel (intentie), bijvoorbeeld het verbeteren van de volksgezondheid bij dierproeven, als algemene natuurwet. Dan kan deze handeling worden gerechtvaardigd, ondanks de gevolgen.

Binnen de filosofie van Kant maken gevolgen niet uit, het kan dan een goede daad zijn met slechte gevolgen. Deze plicht is te vergelijken met de Gulden Regel: doe een ander niet aan wat je ook zelf niet wilt ondergaan. (Hoekstra, 2006)

Deugdethiek

“De deugdethiek stelt het karakter van de persoon die handelt centraal binnen het moreel oordelen.” (Ethiek, 2019)

De deugdethiek is een stroming waarin geen regels en principes gelden. Bepaalde deugden zijn de leidraad voor het menselijk leven. Deugden zijn goede eigenschappen van een mens, zoals dapperheid, rechtvaardigheid en zorgzaamheid. (Rothfus, 2010)

In de deugddethische benadering gaat het in de eerste plaats om de vraag: *“Wat voor een soort persoon behoort ik te zijn?”* (Tramper, Jac, & Margreet, 2009)

In deze ethiek gaat het dus om persoonlijke motieven en idealen die ten grondslag liggen aan de handelingen die men verricht. Het lijkt daarmee veel op de deontologie, echter gaat het bij de deontologie meer over de intentie die speelt bij het handelen. Bij de deugdethiek gaat het meer om het nastreven van persoonlijke motieven en idealen en het daarmee juist

handelen. Deze ethiek kwam voor het eerst voor bij de Griekse filosofen zoals Plato en Aristoteles en kent al een lange ontwikkeling. De deugd wordt als volgt omschreven: *“een karakterhouding die ons in staat stelt een keuze te maken”*. Een mens die volgens de deugden leeft is gelukkig en goed. (de Haan, Benedictus, van Graafeiland, & Wissenburg, 2010) Volgens Aristoteles handelt iemand altijd omwille van een doel. Het uiteindelijke doel is geluk. (Ethiek, 2019) (Tramper, Jac, & Margreet, 2009)

Aristoteles schrijft dat de deugden disposities zijn om weloverwogen keuzes te maken, gelegen in de middenweg tussen het te vele en het te weinige (een middenweg tussen twee morele slechtheden), bepaald door een rationeel beginsel. Zolang je maar dingen doet ten opzichte van de juiste persoon, in de juiste mate, op het juiste moment, om de juiste rede en op de juiste manier. Kortom, volgens Aristoteles vloeit deugdzaam leven uit een goede houding tegenover pijn en genot. (Aristoteles)

Via het perspectief van de deugdethiek kan er ook gekeken worden naar dierproeven. Is het uitvoeren van dierproeven wel moreel juist volgens de deugdethiek? Op het eerste gezicht lijkt dit niet. Dierproeven zijn namelijk niet bedoeld om zorgzaam met de dieren om te gaan, want er ontstaat veel leed. Het voorkomen van leed is wel zorgzaam, het veroorzaken ervan niet. Onderzoekers doen dierproeven, omdat ze nieuwe behandelmethoden willen ontwikkelen en niet om de dieren te laten lijden. Hun motief is het behulpzaam zijn en het verbeteren van de volksgezondheid. Dat zijn motieven die de handeling moreel juist maken. Tevens wordt er van onderzoekers verwacht dat ze een bepaalde basishouding hebben ten opzichte van dierproeven, zo moeten ze respectvol integer en bewust handelen. Via het de deugdethiek kunnen dierproeven dan ook worden gerechtvaardigd. (Tramper, Jac, & Margreet, 2009) (ppcfransen, 2014)

Een visualisatie van hoe de drie ethische stromingen, die zijn behandeld, zich verhouden ten opzichte van elkaar en op welke principe ze gebaseerd zijn, is te zien in afbeelding 1.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk wordt de filosofische beoordeling van de Wod besproken en worden de ethische principes overwogen. Bij de filosofische beoordeling van de Wod wordt gekeken naar in hoeverre de wetgeving ethische principes, gevonden in de literatuurstudie naar de drie ethische stromingen, bevat en waar de wetgeving de mogelijkheid geeft voor aanpassingen aan de hand van ethische principes. In het onderdeel overweging ethische principes worden de ethische principes die bruikbaar zijn voor genoemd, met uitleg waarom deze principes gebruikt kunnen worden voor aanpassingen in de Wod.

4.1 Filosofische beoordeling Wod

In dit hoofdstuk worden de controversiële punten uit de regelgeving, de Wod, aangekaart. Er wordt benoemd of bepaalde artikelen al aansluiten bij een filosofisch principe of niet en of er aanpassing mogelijk is.

In artikel 1B van de Wod wordt er gezegd dat alleen gewervelde dieren in aanmerking komen voor dierproeven. Een proef met een niet-gewerveld dier wordt dan dus ook niet een dierproef genoemd. De uitleg hiervoor is dat niet-gewervelde dieren, door het hebben van een andersoortig zenuwstelsel, niet kunnen lijden, waardoor ze ook niet onder een dierproef horen te vallen. Maar onderzoekers hebben nog niet definitief

bepaald of ongewervelden daadwerkelijk niet kunnen lijden, wat dit artikel discutabel maakt. (Stelling, 2013) Bovendien is dit vreemd, aangezien er onderscheid tussen verschillende diersoorten wordt gemaakt. Er is sprake van speciesisme. In artikel 1D wordt er gezegd dat het leed tot een minimum moet worden beperkt, een typisch utilistische opvatting die ook in de andere stromingen erg belangrijk is. Aanpassingen hieraan, volgens de ethische stromingen die zijn onderzocht, liggen niet voor de hand.

In artikel 1E wordt benoemd dat proefdieren meerdere malen mogen worden gebruikt voor dierproeven, mits de voorafgaande dierproef van lichte of matige hardheid was. Een dierproef wordt beoordeeld op de hoeveelheid leed dat met zich meebrengt en dat is al bedenkelijk, want het beoordelen van leed gebeurt door ongeriefsscores en ervaringen uit het verleden. Het leed kan hierdoor dan wel niet betrouwbaar worden ingeschat, omdat de inschatting van het leed echter wordt gebaseerd op antropomorfistische kenmerken en gedragsuitingen van de dieren. Het proces dat een dier moet ondergaan bij meerdere proeven zal langer en waarschijnlijker dus ook slechter zijn voor de integriteit van dit proefdier. Meer dieren minder leed laten ervaren zorgt ervoor dat deze dieren meer hun integriteit behouden. De integriteit wordt hiermee hoger gesteld dan het aantal proefdieren. Er moet een afweging gemaakt worden tussen veel proefdieren minder leed aandoen of weinig proefdieren veel leed. Bij het langer laten lijden van dieren kan de integriteit van deze dieren volledig verloren gaan. Om dit te voorkomen is het beter om meerdere dieren minder leed te laten ondergaan. Zo kunnen de dieren eerder in een meer wenselijke leefomgeving terecht komen, waarbij het dier zijn integriteit dan wel niet deels behoudt. Dit artikel biedt dus mogelijkheden voor aanpassingen naar bijvoorbeeld deontologische of utilistische principes.

In artikel 10A1 wordt er gesproken over de kosten- en batenanalyse die voor (of na) een proef wordt gedaan. Dit ook is weer een puur utilistisch principe. Opmerkelijk is dat veel artikelen in de wetgeving al naar utilistische principes zijn gevormd. Hieruit blijkt dat de wet al veel ethische onderbouwing heeft, alleen is deze nog wat eenzijdig. Onderbouwing van andere ethische stromingen missen nog. Ook worden de principes niet consistent toegepast.

In artikel 10B wordt er gezegd dat het niet is toegestaan om dierproeven uit te voeren die zorgen voor veel pijn en eventueel blijvende schade. Hierop zijn wel enkele uitzonderingen, want hier mag een ontheffing op worden verleend. Dit mag wanneer er op geen enkele manier een andere mogelijkheid is en wanneer de volksgezondheid in gevaar is. Eigenlijk verkiezen mensen zich hier dus boven de dieren, wat een vorm van antropocentrisme is. Dit heeft weer te maken met speciesisme en dat is wederom discutabel.

Wat ook opmerkelijk is, is dat vier niet-menselijke primaten geheel worden uitgesloten van dierproeven. Andere niet-menselijke primaten worden bij uitzonderingen gebruikt. Ook hier valt op dat het speciesisme een rol speelt.

Andere controversiële punten zijn te vinden in artikelen 10F, 10H en 11. In deze artikelen wordt aangegeven dat, tenzij er wetenschappelijke onderbouwing voor is, wilde dieren, zwerfdieren en verwilderde dieren niet mogen worden gebruikt voor onderzoek. Hierbij wordt onderscheid gemaakt op basis van de leefomstandigheden van dieren, wat een vorm van discriminatie is. De uitleg hiervoor is dat proefdieren hier speciaal voor gefokt moeten worden, tenzij er wetenschappelijke

onderbouwing is voor het gebruik van andere dieren. Waarom dieren speciaal gefokt moeten worden wordt niet uitgelegd. Maar mogen dieren wel speciaal gefokt worden en vervolgens als proefdier dienen? Is dit niet schadelijk voor hun integriteit? En blijkt hieruit niet wederom het instrumentele karakter?

Artikel 13 geeft aan dat de last waaraan een dier lijdt zoveel mogelijk moeten worden verlicht. Dit komt overeen met gevolgethiek. Het feit dat in artikel 13A er de keuze wordt gemaakt voor bepaalde soorten, kan worden uitgelegd door het utilisme. Dit kan namelijk volgens deze stroming wenselijk zijn als door het verkiezen van een bepaalde soort boven een ander deze minder leed ervaart, terwijl het verkregen geluk hetzelfde blijft. Een tweede manier waarop het verklaarbaar is, is als mensen minder leed ervaren door het verkiezen van een diersoort boven een ander. Als mens identificeren wij ons meer met apen dan met ratten, waardoor wij meer emotioneel geraakt worden als een aap lijdt. Dit emotionele lijden moet ook in de balans van het utilisme worden meegenomen, waardoor de keuze voor het niet gebruiken van een aap gerechtvaardigd kan worden. Het utilisme kijkt namelijk naar een zo positief mogelijke balans van geluk en leed, dus moet elke vorm van leed worden meegenomen. Zo blijkt dat mensen proeven met ratten eerder aanvaarden dan proeven met apen, ook als dit het enige verschil is. (Stafleu, 2004) Wordt er gekeken naar bewustzijn als eigenschap die we moeten respecteren, dan is de regelgeving te verklaren. Apen worden minder gebruikt dan andere dieren en deze dieren hebben een hoog bewustzijn.

In artikel 15A is er opnieuw sprake van speciesisme. In dit geval zijn er voor honden, katten en niet-menselijke primaten extra regels opgesteld.

Ook is er een voorbeeld van een deontologisch principe in de Wod te zien, namelijk in artikel 10D. Voor cosmetica mogen geen dierproeven worden gebruikt. Volgens het utilisme zou het gebruiken van dierproeven voor de ontwikkeling van cosmetica geen probleem zijn, zolang het geluk groter is dan het leed. Bij dit artikel wordt echter gekeken naar de handeling, het gebruiken van dierproeven voor cosmetica, en deze wordt als moreel onverantwoord gezien. Dat deze handeling als moreel onverantwoord wordt gezien komt overeen met deontologie. De intentie van het testen van cosmetica op dieren is het ‘mooier’ maken van het volk, maar dan volgt de vraag of deze intentie wel te rechtvaardigen is als verschillende proefdieren hiervoor moeten sterven. (Volkskrant, 2013)

4.2 Overweging ethische principes

Hier worden de ethische principes genoemd die mogelijkheid bieden voor mogelijke aanpassingen. Ook wordt onderbouwd waarom deze principes gebruikt kunnen worden voor aanpassingen.

Ten eerste, leed moet worden geminimaliseerd en genot moet worden gemaximaliseerd. Het leed voor het proefdier moet minimaal zijn en het geluk (in gezondheid) voor mens en dier moet maximaal zijn. Dit principe wordt genoemd in de Wod, maar er zijn ook diersoorten die worden uitgesloten van dierproeven. Dit kan in strijd zijn met het principe, aangezien deze dieren zouden kunnen zorgen voor minder leed en/of meer geluk. Ook het al dan niet beschermen van de integriteit is een onderdeel van dit principe.

Ten tweede, dieren zijn onderling gelijk aan elkaar (het tegengaan van speciesisme). Dit principe wordt niet nageleefd, zoals te zien is bij het feit dat mensen niet onder de dierproeven vallen en dat bepaalde diersoorten zijn uitgesloten van

dierproeven. Het principe geeft aan dat het geluk van collectief belang is en daarom door en voor ieder levend organismen moet worden nagestreefd. Eigenlijk zouden mensenproeven op basis van dit principe ook moeten worden uitgevoerd, maar dit valt onder andere wetgeving, namelijk de wet medisch-wetenschappelijk onderzoek met mensen (WMO). Deze wet is niet in dit onderzoek betrokken.

Deugdethische en deontologische principes kunnen niet worden toegepast in de Wod, aangezien beide stromingen het meer over de intenties en persoonlijke motieven hebben bij uitvoeren van handelingen en daarbij rechtvaardigen deze stromingen het uitvoeren van dierproeven. Aangezien deze stromingen veel meer over de gedachte achter een handeling praten, kan er alleen of het principe van de handeling worden gepraat. In de Wod wordt er weinig gekeken naar het principe van de handeling en als dit het geval is worden deze stromingen al toegepast, zoals in artikel 10D.

5. Conclusie

In dit onderzoek is de volgende hoofdvraag onderzocht: *“Welke ethische principes bieden uitgangspunten voor mogelijke aanpassingen in de wet op de dierproeven?”* Het antwoord op deze vraag is dat de volgende principes gebruikt kunnen worden voor aanpassingen: *leed moet worden geminimaliseerd en genot moet worden gemaximaliseerd en dieren zijn onderling gelijk aan elkaar (het tegengaan van speciesisme)*. Deze principes bieden uitgangspunten voor aanpassingen aan de Wod. Deze principes komen voort uit het utilisme. Er is dus te concluderen dat deze stroming uitgangspunten biedt voor dergelijke aanpassingen. Als er wordt gekeken naar de Wod zien we dat het utilisme wordt gebruikt bij sommige onderdelen van de wetgeving, maar vaak is dit gebruik inconsequent en onvolledig. Zo wordt er gezegd in artikel 1D dat het leed moet worden geminimaliseerd. Bepaalde diersoorten worden echter uitgesloten, wat zou kunnen betekenen dat het minimaliseren van leed en het maximaliseren van geluk niet wordt gebruikt. Dit is een voorbeeld waarbij de wetgeving ervoor zorgt dat het principe niet kan worden nageleefd. Dit is een voorbeeld van speciesisme, wat het tweede principe is dat uitgangspunten voor aanpassingen biedt. Ook het behouden integriteit is belangrijk voor het minimaliseren van het leed en het maximaliseren van het genot.

6. Discussie

In de discussie wordt besproken in hoeverre het onderzoek en de conclusie betrouwbaar en valide is. Ook wordt er gekeken naar mogelijke opties voor eventueel vervolgonderzoek.

6.1 Bediscussiëring van het onderzoek

Het onderzoek is op bepaalde punten niet volledig. Zo is er in het onderzoek een selectie van ethische stromingen gemaakt en is er dus niet naar alle verschillende stromingen gekeken. De resultaten volgen uit een toepassing van de ethische stromingen op de Wod, maar deze toepassing zou niet goed of volledig kunnen zijn, waardoor het zou kunnen dat een andere onderzoeker op andere resultaten uit zou komen. Daarnaast wordt de mens niet meegenomen in het onderzoek, waardoor we niet naar alle vormen van dierproeven kijken. Het behandelen van de mens als proefdier zou het onderzoek vollediger maken.

Er is te concluderen dat het speciesisme een principe kan zijn dat bruikbaar is voor het aanpassen van de wetgeving. In dit

onderzoek is aangenomen dat het speciesisme een principe is dat moet worden nageleefd, maar het onderzoek mist hiervoor onderbouwing. Er is niet bepaald wat de relevantie en het gewicht van dit principe is, wat het onderzoek minder betrouwbaar maakt. Een vraag is, vanwege het dominante mensbeeld, of mensen wel betrokken moeten worden bij (dier)proeven, vanwege onze intelligentie en het ervaren van meer leed. Is het misschien onmenselijk mensen te betrekken bij (dier)proeven? Ook het betrekken van niet-menselijke primaten kan vragen oproepen. Uit onderzoek blijkt namelijk dat zij over het algemeen intelligenter zijn en meer leed kunnen ervaren. Maar kunnen mensen en niet-menselijke primaten niet veel betere resultaten geven, omdat zij dichter bij de mens staan? En zijn hierdoor minder proefdieren nodig? Dit zijn vragen die snel naar voren komen bij het toepassen van speciesisme en vooral de vraag in welke mate dit moet gebeuren. Dit soort vragen zouden uitgewerkt moeten worden, bijvoorbeeld in de vorm van een onderzoek, om te bepalen of ze invloed hebben op de conclusie van dit onderzoek.

Uit de hierboven genoemde punten kunnen suggesties voor mogelijk vervolgonderzoek worden opgemaakt. Zo kunnen er andere ethische stromingen worden betrokken worden bij het onderzoek, waardoor deze meer uitgebreid wordt. Ook zou er onderzoek gedaan kunnen worden naar de rol van de mens als proefdier, waarbij de mens ofwel onderdeel van de Wod wordt, ofwel de WMO wordt onderzocht. Daarnaast kan er onderzocht worden wat het belang en gewicht van het speciesisme is, om te bepalen in welke mate dit principe in dit onderzoek betrokken zou moeten worden.

6.2 Betrouwbaarheid en validiteit van de conclusie

De conclusie van dit onderzoek is niet volledig betrouwbaar. Er wordt gesteld dat het utilisme het meest bruikbare principe is, wat volgt uit het feit dat dit principe het meest terugkomt als basis voor aanpassingen aan de Wod. In het onderzoek wordt echter niet bekeken of deze aanpassingen ook echt de Wod ten goede zouden komen, wat betekent dat het niet zeker is dat de principes waarop de aanpassingen zijn gebaseerd een goede basis zijn voor het vormen van een mening over dierproeven. Ook voor de conclusie geldt dat deze niet volledig is aangezien niet alle ethische stromingen zijn meegenomen in het onderzoek.

Om te bepalen of de conclusie betrouwbaar is zou er in een vervolgonderzoek kunnen worden gekeken naar de beoordeling van de resultaten. Filosofen en Tweede Kamerleden zouden de resultaten van dit onderzoek kunnen beoordelen op juistheid en bruikbaarheid. Deze informatie zou kunnen bepalen hoe betrouwbaar de conclusie van dit onderzoek is.

Al met al valt te stellen dat het onderzoek in zijn geheel enkele tekortkomingen heeft, waardoor de conclusie niet als betrouwbaar kan worden beschouwd. Deze tekortkomingen zouden met vervolgonderzoek kunnen worden verholpen, waardoor het onderzoek volledig is en de betrouwbaarheid van de conclusie bepaald kan worden.

7. Bibliografie

(2013, Maart 11). Opgehaald van Volkskrant: <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/op-dieren-geteste-cosmetica-in-eu-verboden~b8fce4d0/>

Aristoteles. (sd). Boek 2, optimaal functioneren in moreel opzicht: deugd (Ethica Nicomachea).

Beginselethiek. (2019). Opgehaald van Wikipedia:

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Beginselethiek>

de Haan, G., Benedictus, R., van Graafeiland, R., & Wissenburg, M. (2010). Gen-ethische grensverkenningen, een liberale benadering van ethische kwesties. Opgehaald van Repository ubn RU: <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/86840/86840.pdf?sequence=1>

Ethiek. (2019). Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ethiek>

Hoekstra, A. (2006, Juni). integriteit vanuit deugdenethisch perspectief. Opgehaald van Integriteitoverheid: http://www.integriteitoverheid.nl/fileadmin/BIOS/data/Publicaties/Downloads/Hoekstra__A._Integriteit_vanuit_deugdenethisch_perspectief_Filosofie_in_bedrijf_jrg._17_nr.2__2006_.pdf

Keulartz, F., & Swart, J. (sd). Dieren om te plezieren? Lauwaert, L. (2013). KANT MET SADE, SADE MET KANT . Opgehaald van https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33195931/Kant_met_Sade_Sade_met_Kant_.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DJacques_Lacan_over_Kant_en_Sade.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F201

Maxime. (2019). Opgehaald van Wikipedia: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Maxime_\(filosofie\)#targetText=Een%20maxime%20is%20een%20subjectief,onwetendheid%20of%20ook%20diens%20neigingen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Maxime_(filosofie)#targetText=Een%20maxime%20is%20een%20subjectief,onwetendheid%20of%20ook%20diens%20neigingen).

Mukerjee, M. (1997, Februari). Trends in Animal Research. Opgehaald van Indiana: <http://www.indiana.edu/~p1013447/dictionary/anires1.pdf>

Ongewerveld leed. (2013, oktober 5). Opgehaald van NRC Handelsblad: <https://advance.lexis-com.ezproxy2.utwente.nl/api/document?collection=news&id=urn:contentltem:59HR-8TT1-DYRY-N11D-00000-00&context=1516831>

Peter Singer. (2019, November). Opgehaald van Wikipedia: https://nl.wikipedia.org/wiki/Peter_Singer

ppcfransen. (2014). Opgehaald van <https://ethiekblog.wordpress.com/2014/10/02/dierproeven-met-honden/>

Prof. dr. F.W.J. Keulartz, & Dr. Jac. A.A. Swart . (2009-2016). Library wur. Opgehaald van The intrinsic value of performing animals : <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/13622>

Rivas, E. R. (1991). Opgehaald van Bewustzijn bij dieren: http://txts.nl/print_artikel.asp?artid=320

Rivas, T. P. (2011). Onrechtvaardig diergebruik: essays over dieren, ethiek en veganisme.

Rothfus, J. (2010). Ethiek in de psychologie. Singer, P. (1974). All Animals Are Equal. Opgehaald van Digitalcommons brockport edu: https://digitalcommons.brockport.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1179&context=phil_ex

Singer, P. (1975). Animal Liberation. HarperCollins. Stafleu, F. (2004). Het dier als alternatief bij dierproeven. Opgehaald van deconsult: <http://www.deconsult.nl/resources/Kan-het-ook-anders.pdf#page=33>

Stelling, T. (2013, Oktober 5). Ongewerveld leed. Opgehaald van NRC: <https://www.nrc.nl/nieuws/2013/10/05/ongewerveld-leed-1300651-a512069>

Swart, J. (2006 , September). De ethiek uit het keurslijf . Opgehaald van NVBE: <http://nvbe.nl/images/stories/pdf/2006-3.pdf#page=2>

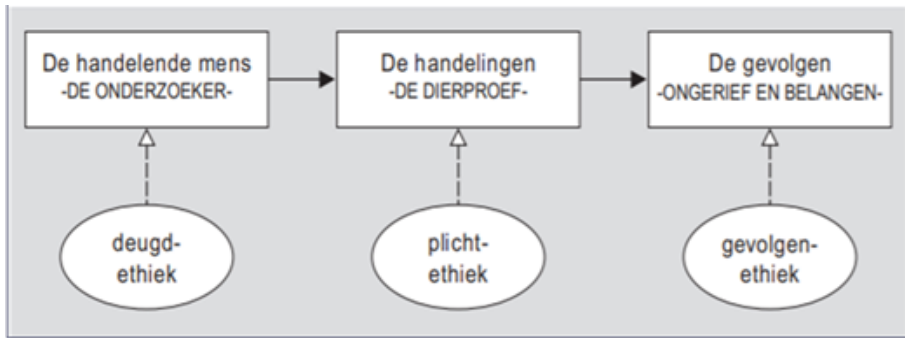
Tramper, R., Jac, S., & Margreet, J. (2009). De weging gewogen, beschouwingen over ethiek en dierproeven. Damon Budel. Opgehaald van <http://deconsult.nl/resources/De-weging-gewogen.pdf#page=19>

Utilitarisme. (2018, November). Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Utilitarisme>

Verhoog, H. (2004). Utilisme en de integriteit van het dier. Opgehaald van Repository ubn ru: <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/175496/175496.pdf>

Warburton, N. (2007). HET Basisboek Filosofie. London: Routledge.

Welke ethische theorieën en stromingen zijn er? (2019, Januari 24). Opgehaald van KNMG: <https://www.knmg.nl/advies-richtlijnen/ethische-toolkit/verdiepen/welke-ethische-theorieen-en-stromingen-zijn-er-1.htm>



Afbeelding 1: “De drie belangrijkste ethische stromingen” (Tramper, Jac, & Margreet, 2009)

Het effect van de Panama Papers

De gevolgen van de publicatie van de Panama Papers voor de Nederlandse belastingontwijking via trustkantoren

Noa van Heerde¹, Iris Kleine², Danique Poppe³, Anne-Fleur Karssing⁴, Rowan Nijboer¹, Rianne Hogenkamp², Mirjam Jorink³, Arthur ten Cate⁴

¹ Etty Hillesum College het Vlier, Deventer

² Thorbecke Scholengemeenschap, Zwolle

³ Lyceum De Grundel, Hengelo

⁴ Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - The publication of the Panama Papers in 2016 caused a wave of shock in the financial sector, which induced consequences throughout the entire industry. Most of the research done in relation to this subject was done about companies in the United States, which is why little is known about the effects in other countries. The purpose of this study was thus to determine whether the publication of the Panama Papers has had any effect on the amount of tax evasion via trust offices by Dutch companies. The study was conducted by determining any substantial differences between the Financial Statements of four Dutch trust offices in 2015, 2016 and 2017. The Financial Statements of the four trust offices Intertrust, IQ EQ, Vistra and JTC were obtained through the archives of the Chamber of Commerce. Next, the Financial Statements were compared in order to see if there were any remarkably high or low numbers in sheet items that were present in the Financial Statements of all four companies. These four sheet items, equity capital, liquid assets, participating interest and operating result, were then investigated to see if there was any possible connection to tax evasion, and thus the publication of the Panama Papers. Through this process it becomes evident that the liquid assets and operating results have no apparent connection to tax evasion, but that the equity capital and participating interest do present a possible connection to tax evasion. The conclusion of this research paper is thus that the tax evasion by Dutch companies via trust offices adjourns.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In deze paper wordt er onderzoek gedaan naar de belastingontwijking van Nederlandse bedrijven via trustkantoren. In april 2016 werden de Panama Papers gepubliceerd. Hieruit bleek dat vele bedrijven via trustkantoren een vennootschap opzetten in zogenoemde belastingparadijzen en zo de belastingbetaling in het land waar het hoofdkantoor gevestigd zat, konden ontlopen (Sambrook, 2016). In dit onderzoek wordt een vergelijking gemaakt tussen de jaarrekeningen van verschillende trustkantoren in de periode voor de publicatie van de Panama Papers en de periode erna. Het is de bedoeling hieruit af te leiden of de belastingontwijking onder Nederlandse bedrijven via trustkantoren is toe- of afgenomen na deze publicatie.

1.2 Gat in de kennis

Er is veel bekend over de Panama Papers en over de belastingontwijking die daarin bekendgemaakt werd. Hier zijn dan ook al veel onderzoeken naar uitgevoerd. Deze onderzoeken gingen echter vooral over grote Amerikaanse bedrijven die in de Panama Papers werden uitgelicht (Fitzgibbon, 2019), maar gevolgen voor de Nederlandse trustkantoren zijn nog niet onderzocht. Wanneer er onderzoek gedaan zou zijn naar de gevolgen voor Nederlandse bedrijven die belasting ontdoken hebben via trustkantoren, zouden die bedrijven in de toekomst een betere inschatting kunnen maken van kosten en baten (Eijgenraam, Koopmans, Tang & Verster, 2000). Er zou door deze onderzoeken meer informatie beschikbaar zijn, waarmee de speculatie zou afnemen en bedrijven met meer zekerheid een correcte kosten-batenanalyse kunnen opstellen. Daarom wordt in dit onderzoek de vraag gesteld of er een verband is tussen de publicatie van de Panama Papers en de hoeveelheid belastingontwijking via Nederlandse trustkantoren.

1.3 Theoretisch kader

Er is sprake van belastingontduiking wanneer de belastingplichtige zich opzettelijk (intentioneel element) onttrekt van de betaling van een deel van of de gehele verschuldigde belasting. Hiermee wordt inbreuk gepleegd op de fiscale wet (materieel element; de gedraging, in dit geval de overtreding dat er inbreuk is gepleegd op de fiscale wet) en is de belastingplichtige dus onwettig bezig. Op deze manier is hij strafbaar voor het gepleegde feit en zullen er strafmaatregelen volgen (Delanote, 2004).

Hier tegenover staat belastingontwijking. Dit zit tussen de volledig legale belastingbesparing (waarbij bijvoorbeeld de hypotheekrente van het bruto-inkomen afgetrokken mag worden) en de illegale belastingontduiking in. Ook hier wordt een deel van de verschuldigde belasting ingehouden, maar bij deze activiteit worden er geen regels overtreden. Doordat er geen materieel element is – er wordt deze keer geen inbreuk gepleegd op de wet – is het niet strafbaar om belasting te ontwijken (Delanote, 2004).

De Panama Papers zijn interne documenten van het bedrijf Mossack Fonseca & Co., een juridisch advieskantoor in Panama (Trouw & Het Financieele Dagblad, 2016). Zij zet vennootschappen op voor klanten om in onder andere Panama belasting te voeren. Panama is een zogenoemd belastingparadijs, het heeft een ‘fiscaal voordelig klimaat’. Er zijn geen tot lage belastingen voor buitenlandse entiteiten (bijvoorbeeld bedrijven), er geldt geheimhoudingsplicht en er gelden belastingtechnische constructies die het mogelijk maken om makkelijker belastingontwijking te plegen (Palan, Murphy & Chavagneux, 2009). Via hybride mismatches wordt er belasting ontweken. Hybride mismatches worden door de OESO gedefinieerd als structuren die misbruik maken van verschillende belastingwetten in twee of meer jurisdicties om op deze manier tot een belastingvoordeel te komen (Fibbe, 2013). Door een gebrek aan harmonisatie tussen de nationale

wetgeving van verschillende landen ontstaan er mismatches tussen belastingwetten. Multinationale ondernemingen kunnen gebruik maken van deze mismatches om een belastingvoordeel te realiseren (Snel, 2018). Hier houden grote bedrijven een behoorlijk belastingvoordeel aan over. De ruim 11,5 miljoen documenten van de gegevens van de klanten van Mossack Fonseca & Co. zijn in eerste instantie via een lek in handen gekomen van de Süddeutsche Zeitung, waarna deze krant de informatie al gauw naar andere kranten over de hele wereld verspreid heeft (Trouw & Het Financieële Dagblad, 2016). Vele belastingontwijkers bleven echter niet bij ontwijken, bleek uit de publicatie. Met het lekken van de Panama Papers kwamen er ook allerlei illegale handelspraktijken aan het licht, zoals het omkopen van politici en het witwassen van crimineel geld in de voetbalsector (Nelen & Moerland, 2017).

Mossack Fonseca & Co. is een trustkantoor. In de Panama Papers zijn vele trustkantoren benoemd, omdat zij betrokken zijn geweest bij het opzetten van belastingstructuren. Met de belastingstructuren werd belastingontwijking gepleegd via deze kantoren. “Een trustkantoor is een kantoor dat tegen zeker loon trustee-werkzaamheden op zich neemt,” definieert de Van Dale. Wat hiermee wordt bedoeld, is dat een trustkantoor zich bezighoudt met het beheer van vennootschappen en het verlenen van verschillende soorten financiële diensten aan bedrijven, zoals het helpen bij het opzetten van belastingconstructies, waarmee belastingontwijking wordt gepleegd. Een voorbeeld van zo’n constructie is de brievenbusfirma. Een brievenbusfirma wordt opgezet in een land waar weinig tot geen belasting wordt geheven, waardoor een bedrijf minder belasting betaald dan in het land waar het werkelijk gevestigd is. Het zijn dus eigenlijk alleen maar postbussen – vandaar ook de naam brievenbusfirma – op naam van het bedrijf. Ze hebben geen fysieke vestiging geopend in het land waar de postbus zit. Het gaat dus enkel om het gunstige belastingklimaat van een ander land (Vleggeert & Bender, 2017). Mogelijke gevolgen hiervan zijn witwassen en belastingontduiking (Logger & Weijnen, De Groene Amsterdammer, 2018). Deze definitie wordt aangehouden binnen het onderzoek, en is ook gebruikt bij het definiëren van de onderzoeksvraag.

De publicatie van de Panama Papers kan verschillende gevolgen met zich meebrengen. Met de publicatie werd bekend dat er naast de legale belastingontwijking ook illegaal belasting is ontdoken (De Groot & Kleinnijenhuis, 2017). De exacte praktijken worden niet aan het publiek bekendgemaakt vanwege de privacywet, er wordt alleen bekend gemaakt dat er sprake is van belastingontduiking. Bedrijven ontvangen in sommige gevallen boetes of moesten ze aandelen inleveren en hun waarde op de beurs flink daalde (Fitzgibbon & Díaz-Struck, 2016). De bedrijven worden aangeklaagd door de overheid waardoor ze er rechtszaken op nahouden (Roessingh, 2017), en ze hebben last van reputatieschade. De wetgeving omtrent belastingontwijking is in 2019 ook veranderd om de structuren die trustkantoren gebruiken, tegen te gaan (Rijksoverheid, 2018). Op deze manier worden de illegale bijkomstige activiteiten ingeperkt. Bedrijven gaan minder belasting ontwijken na het ontvangen van bijvoorbeeld een boete. Hierdoor krijgen ze namelijk reputatieschade, waardoor ook hun koers op de aandelenbeurs daalt, omdat het vertrouwen in het bedrijf verloren is en zij dus minder inkomen binnenkrijgen (Marktgedrag, LWE0, 2015). Dit sneeuwbaaleffect is slecht voor een bedrijf en bedrijven willen dit voorkomen.

1.4 Onderzoeksvraag en hypothese

Om te onderzoeken wat de effecten van de publicatie van de Panama Papers zijn geweest op de belastingontwijking via Nederlandse trustkantoren, is het zaak om een onderzoeksvraag op te stellen. De onderzoeksvraag die hierbij gevormd is, is: *Wat zijn de gevolgen van de publicatie van de Panama Papers voor de Nederlandse belastingontwijking via trustkantoren?* Daarnaast is er een hypothese opgesteld. De verwachtingen zijn dat de hoeveelheid belastingontwijking via Nederlandse trustkantoren zal zijn afgenomen na de publicatie van de Panama Papers. De Belastingdienst kwam erachter dat er naast de legale activiteiten ook illegale praktijken werden uitgevoerd – het ontwijken zelf is legaal, maar de nevenactiviteiten, zoals witwassen, die bij vele praktijken zijn komen kijken, zijn illegaal (De Groot & Kleinnijenhuis, 2017). Bedrijven zien dat anderen bestraft worden na de publicatie van de Panama Papers en houden zich daardoor ook zelf in om bij een trustkantoor aan te sluiten. Deze terughoudendheid is af te leiden van de zogenoemde ‘law of anticipated reactions’, welke terug wordt gedateerd tot tenminste Carl Friedrich (1937). Dit principe houdt in dat wanneer twee of meer partijen een beslissing moeten maken de partijen rekening zullen houden met wat de andere partij doet, zal doen of heeft gedaan voordat zij een beslissing maken. In het geval van de Panama Papers zien bedrijven dat andere bedrijven die de keuze hebben gemaakt om belasting te ontwijken, worden bestraft. Dit resultaat zullen zij meenemen in de beslissing om wel of geen belasting te ontwijken. Ook als er geen informatie bekend is over de andere bedrijven, zullen andere (kleinere) trustkantoren rekening houden met de eventuele gevolgen die de andere bedrijven ondervonden hebben. Ze zullen dus minder gauw zelf belastingontwijking plegen, wanneer ze ervanuit gaan dat zij net zoals de andere bedrijven eventuele gevolgen zouden ondervinden. Ook is er sinds 2019 een wet ingediend die belastingontwijking en de structuren die hierbij gebruikt worden, tegengaat – dit is ATAD2 (Rijksoverheid, 2018).

In Nederland is tussen april 2016 en december 2018 al 8 miljoen euro aan boetes en naheffingen uitgedeeld door de Belastingdienst (Kleinnijenhuis, Trouw, 2019). Dit zijn echter nog lang niet alle boetes die uitgevaardigd moeten worden, waardoor het risicovoller is om als bedrijf zijnde aan te sluiten bij een trustkantoor dat mogelijk nog een boete of naheffing te wachten staat. Bedrijven nemen het zekere voor het onzekere en zullen hun belastingzaken niet meer uitbesteden aan trustkantoren, maar ‘gewoon’ de belastingregels in het thuisland volgen. De hypothese die hieruit dus volgt, is: *De hoeveelheid belastingontwijking via trustkantoren in Nederland zal zijn afgenomen na de publicatie van de Panama Papers.*

2 Methode

Dit onderzoek is een alfa-onderzoek, er wordt namelijk aan tekstanalyse gedaan. Dit wordt gedaan aan de hand van de volgende stappen.

1. Vooronderzoek naar belastingontwijking. Door deze oriëntatie is het onderzoek bij het onderwerp belastingontwijking middels trustkantoren beland. De database van De Nederlandsche Bank – het Register Trustkantoren – geeft een overzicht van alle trustkantoren in Nederland die staan ingeschreven bij de Kamer van Koophandel en uit dit register zijn dan ook de onderzochte bedrijven geselecteerd. De keuze voor de te behandelen kantoren werd bepaald door de

grootte – voor een zo groot mogelijk draagvlak en om zoveel mogelijk gegevens te verzamelen, de aanwezigheid van diens Nederlandse jaarrekeningen bij de Kamer van Koophandel en de activiteit van het kantoor voor en na de publicatie van de Panama Papers, zodat er jaarverslagen van de jaren voor en na beschikbaar zijn (Kieft, 2018).

Er zijn vier trustkantoren gekozen om te onderzoeken. Twee besloten vennootschappen (bv’s) – Vistra en JTC – en twee naamloze vennootschappen (nv’s) – Intertrust en IQ EQ. Dit zijn een paar van de grootste trustkantoren van Nederland – de totale marktwaarde van deze vier bedrijven bedraagt (volgens de cijfers uit hun jaarrekeningen) 44,5% van de totale waarde van de trustsector (Accountant, 2018), waardoor de representativiteit voor de Nederlandse trustkantoren erg goed is. Bij beide soorten vennootschappen worden dus inzichten verkregen in hun bedrijfsresultaten. Deze bedrijfsresultaten geven een valide resultaat, omdat ze inzicht verschaffen in alle kosten en baten van deze vier bedrijven, en zoals al gezegd, is de marktwaarde van deze bedrijven 44,5% van de totale marktwaarde, waardoor deze vier bedrijven representatief zijn voor alle trustkantoren.

Er zijn twee soorten bedrijfsvormen gekozen, die de jaarrekeningen publiceren. De andere twee bedrijfsvormen hoeven geen jaarrekeningen te publiceren en deze vallen dus niet te onderzoeken door middel van de gekozen meetmethode. Van de twee vormen, een bv en een nv, die wel te gebruiken zijn, zijn van beide twee trustkantoren uitgezocht (Stoffels, De Naamloze Vennootschap, 2015).

2. Verzameling voor data-analyse. Na de aanschaf van de jaarrekeningen – en bij Intertrust en IQ EQ hun winst- en verliesrekeningen – zijn deze onderzocht op opvallendheden. Dit zijn getallen die eruit springen, het zijn hele grote stijgingen of dalingen. Enkel bij Intertrust en IQ EQ waren winst- en verliesrekeningen beschikbaar. Dit zijn nv’s en die hebben een publicatieplicht tegenover hun aandeelhouders, in tegenstelling tot bv’s. De merkwaardige getallen, de extreme stijgingen en dalingen dus, zijn vervolgens met elkaar vergeleken en in tabelvorm verwerkt.

3. Om het effect van deze opmerkelijkheden te kunnen bepalen, werd er een tweede literatuuronderzoek geïnitieerd. Hierbij werd de definitie en ‘normale’ situatie van elke opvallendheid bepaald om zo het onderscheid tussen de standaardvorm (bijvoorbeeld wat een normale liquiditeit voor een bedrijf is) en de afwijking (dat wat is gebleken uit de dataverzameling) te bepalen. Hierna zijn de afwijkingen per trustkantoor geanalyseerd en is er uitgelegd wat de link met de Panama Papers zou kunnen zijn of dat er ook andere verklaringen zijn voor de merkwaardige getallen.

4. De bevindingen die bleken uit het tweede literatuuronderzoek, zijn samen met de tabellen met opvallende getallen verwerkt in deze paper onder ‘resultaten’. Hier zijn ook de analyse en verklaringen te vinden.

3 Resultaten

De opvallende cijfers worden hier per categorie van de jaarrekening verwerkt, te beginnen met de tabel waarin de opvallende cijfers staan, en daarna de definitie, opvallendheden en de verklaring van de opvallendheden. De definitie wordt

gegeven om een norm te stellen, de basis van het begrip weer te geven. Aan de hand van de basis kan dan bekeken worden of een opvallend getal wel zo apart is en waarom dan (verklaren). Alle cijfers die nader benoemd worden, zijn afkomstig uit de jaarrekening van de bijbehorende trustkantoren.

3.1 Definitie resultaat deelneming:

Volgens het Bureau Kees Horden – die een financiële begrippenlijst hanteert: “Het resultaat deelneming is gelijk aan het deel van het door de rechtspersoon, waarin wordt deelgenomen, toegezegde dividend waarop de deelnemende rechtspersoon op grond van de omvang van haar belang recht op heeft”. Dat wil zeggen dat een bedrijf of onafhankelijk individu aandelen bezit in een bepaald bedrijf, waar diegene vervolgens vergoeding voor krijgt in de vorm van dividend, wat gelijk staat aan de grootte van het aandeel wat iemand bezit.

3.1.a Opvallendheden (zie figuur 1):

- Intertrust komt na 2016 ineens uit de schulden.
- IQ EQ daalt, maar niet significant veel.

3.1.b Mogelijke verklaringen:

- Intertrust heeft in 2015 en 2016 een negatief resultaat deelneming (figuur 1). De dochtermaatschappijen van Intertrust hebben in deze jaren verlies gedraaid en dit heeft Intertrust (als holdingcompany) moeten opvangen (Kieft, 2018). In plaats van dat zij – de holdingcompany – dividend kregen over hun aandelen moest Intertrust het verlies van de dochtermaatschappijen betalen. Uit figuur 1 kan worden afgelezen dat in 2017 deze schulden helemaal verdwenen zijn, omdat het resultaat deelneming dan weer positief is. Dit kan betekenen dat de dochtermaatschappijen meer winst hebben gemaakt – deze winst wordt namelijk via dividend aan de moedermaatschappij uitgekeerd nadat de vennootschapsbelasting is betaald (NCD, 2014). De moedermaatschappij kreeg deze inkomsten en hierdoor verdwenen de schulden op het resultaat deelneming. De dochtermaatschappijen van Intertrust hebben dus meer winst gemaakt. Dit kan betekenen dat er in 2017 veel belasting is ontweken, wat een gevolg kan zijn van de publicatie van de Panama Papers in 2016.

Intertrust is in 2017 onderzocht door een commissie onder leiding van Henk Nijboer (PvdA). Dit had te maken met de belangrijke vestigingen van Intertrust op de Kaaimaneilanden, Curaçao en Guernsey waarvan de Nederlandse overheid vermoedde dat het voor Intertrust functioneerde als belastingparadijs (NOS, 2017). Er is dus mogelijk sprake van belastingontwijking bij Intertrust.

- Bij IQ EQ daalt het resultaat deelneming zoals in de figuur 1 te zien is wel wat, maar niet significant veel. Dit duidt op de normale schommelingen binnen een bedrijf, waar kosten en baten op andere momenten geboekt worden dan dat ze werkelijk betaald worden (Van den Ende & Stoffelen, PwC, 2017). Daarom valt het niet te koppelen aan de publicatie van de Panama Papers.

3.2 Definitie eigen vermogen:

Volgens het Economisch Woordenboek bestaat het eigen vermogen op de balans van een vennootschap uit het door de aandeelhouders beschikbaar gestelde aandelenvermogen plus de (winst)reserves. Dat laatste, de winstreserve, wordt door

de Financiële begrippenlijst gedefinieerd als: “deel van het eigen vermogen van een onderneming dat wordt opgebouwd met ingehouden winsten”. Het eigen vermogen bestaat dus in eerste instantie, bij het opstarten van een bedrijf, uit inbreng van de eigenaar of van aandeelhouders en wordt na verloop van tijd verhoogd met de winst die wordt gemaakt.

3.2.a Opvallendheden (zie figuur 2):

- JTC heeft een daling in 2016, maar heeft daarna een hoge stijging in 2017.
- Vistra heeft een hoge stijging na 2016.
- De nv’s hebben beide een piek in 2016 en daarna hebben ze een daling in 2017.

3.2.b Mogelijke verklaringen:

- JTC is een besloten vennootschap, wat betekent dat hun aandelenkapitaal niet makkelijk uitgebreid kan worden (Van der Sangen, 2003). Dit komt doordat het maximaal aandelenkapitaal in de statuten vastgesteld staat. Hierdoor kan een stijging van het eigen vermogen alleen veroorzaakt worden door het reserveren van winst en het uitbreiden van de winstreserves (Van der Sangen, 2003). In 2017 is er bij JTC een stijging van het eigen vermogen (figuur 2), wat betekent dat er in 2017 veel winst is gemaakt en dat hiervan een groot deel is gereserveerd. Deze grote winst kan komen door de stijging van de hoeveelheid belastingontwijking na de publicatie van de Panama Papers.

- Ook bij Vistra, eveneens een bv, is een stijging te zien van een miljoen van het eigen vermogen (figuur 2). Bij dit bedrijf is dus ook veel winst gemaakt, welke gereserveerd is. Hier is hetzelfde gebeurd als bij JTC en daarom kan het in dit geval ook een gevolg van de publicatie van de Panama Papers zijn.

- Zowel bij Intertrust als IQ EQ is er een daling van het eigen vermogen in 2017 (figuur 2). Een daling van het eigen vermogen kan komen door de daling van de vaste activa, maar er zijn ook nog andere verklaringen. De vaste activa daalt door het verkopen of afschrijven van bezittingen, dat houdt in: het opzijzetten van geld om machines of onroerend goed na het verlopen van diens levensduur te kunnen vervangen (Vineyard gemeente Wageningen, 2018). Dit heeft niet met belastingontwijking te maken.

Bij Intertrust is de vaste activa van 2016 naar 2017 afgenomen met €97.233.000,- (figuur 2). Deze afname van de vaste activa is groter dan de afname van het eigen vermogen, wat te verklaren valt door de verkoop van bijvoorbeeld een groot, duur gebouw of apparaat (Stoffels, De Naamloze Vennootschap, 2015). Op deze manier vervalt een groot deel van de vaste activa-post en komt een deel van de winst bij het eigen vermogen op. Dus de afname van het eigen vermogen is kleiner dan de afname van de vaste activa. Bij IQ EQ is de afname van 2016 naar 2017 €3.666.000 (figuur 2). Er is dus bij beide bedrijven geen link te leggen met de publicatie van de Panama Papers, omdat de afschrijving van bezittingen niet veroorzaakt wordt door een toe- of afname van belastingontwijking.

3.3 Definitie liquide middelen:

Liquide wordt door de van Dale gedefinieerd als “dadelijk invorderbaar of beschikbaar” en kan gekoppeld worden aan middelen en dit wordt gedefinieerd als “geld”. Het houdt dus

in: geld dat direct beschikbaar is voor uitgave.

3.3.a Opvallendheden (zie figuur 3):

- De bv’s en Intertrust hebben een daling in 2016.
- IQ EQ heeft een piek in 2016, maar in 2017 een daling.

3.3.b Mogelijke verklaringen:

- Een afname van de liquide middelen duidt op onmiddellijke grote uitgaven waar geen rekening mee is gehouden in de begroting van dat jaar (De Reuver, 2016). Voorbeelden hiervan zijn: boetes, natuurlijke rampen of onverwachte berechting. Na de publicatie van de Panama Papers is het bekend gemaakt dat de Nederlandse Belastingdienst verschillende onderzoeken is gestart waaruit berechting en boetes voortkwamen voor 500 bedrijven in Nederland, met een totaal van 8 miljoen euro aan boetes (Het Financieele Dagblad, 2019). Het is echter niet bekend welke bedrijven deze boetes hebben gekregen. Wel is bekend dat Vistra, JTC, Intertrust en IQ EQ werden genoemd in de Panama Papers (Het Financieele Dagblad, 2019). Bij Vistra, JTC en Intertrust is er een daling te zien in 2016 (figuur 3). Dit kan betekenen dat er een boete uitgevaardigd is aan deze bedrijven en dat deze boete heeft geleid tot een daling van de liquide middelen in 2016. Hiernaast zijn er vele andere redenen waardoor de liquide middelen stijgen of dalen. Dit zijn bijvoorbeeld de aan- en verkoop van producten en diensten, de aan- en verkoop van activa, het aangaan en aflossen van schulden en de storting van bestaande of nieuwe aandelen (De Zaak, 2011). Door deze mogelijkheden is het niet te zeggen of deze daling door de publicatie van de Panama Papers komt.

- De piek van IQ EQ in 2016 en de daling in 2017 (figuur 3) kan verklaard worden door het feit dat de Belastingdienst niet alle boetes en onderzoeken tegelijkertijd kan uitvaardigen en uitvoeren, maar dit verspreid doet over de jaren (Het Financieele Dagblad, 2019). Indien IQ EQ een boete heeft gekregen, zou dit in 2017 kunnen zijn, maar ook hier geldt dat er vele andere redenen, zoals ook hierboven te lezen viel, kunnen zijn voor de stijging en daling van de liquide middelen. Of IQ EQ, en de andere bedrijven, een boete hebben gehad, valt echter niet te achterhalen vanwege de privacywetgevingen. Hierdoor valt er geen link te leggen met de publicatie van de Panama Papers.

3.4 Definitie bedrijfsresultaat:

“Winst voor aftrek van belastingen en zonder dat rekening gehouden is met betaalde of ontvangen rente” definieert de van Dale.

3.4.a Opvallendheden (zie figuur 4):

- Intertrust heeft een daling in 2016, maar heeft weer een stijging in 2017.
- IQ EQ draait alle drie de jaren verlies, maar het verlies vermindert in 2016 en 2017.

3.4.b Mogelijke verklaringen:

- In 2016 heeft Intertrust hun directe concurrent Elian overgekocht, waardoor de winst van Intertrust in 2017 met 20,4 procent is gestegen (Klumpenaar, NRC, 2016). De winst van Elian kon namelijk in 2016 niet meer op de balans worden geboekt. De toevoeging van Elian aan Intertrust verklaart de stijging van het bedrijfsresultaat van 2016 naar 2017 (figuur

4). Het resultaat dat Elian heeft gemaakt, telt nu immers mee op de balans van Intertrust, waardoor het bedrijfsresultaat stijgt. De stijging van de winst van Intertrust lijkt dus niks te maken te hebben met de toename van belastingontwijking na de publicatie van de Panama Papers.

- Het bedrijfsresultaat bestaat uit de netto omzet min de bedrijfskosten. Er zijn dus twee mogelijke verklaringen voor een stijging van het bedrijfsresultaat: of de netto omzet is gestegen of de bedrijfskosten zijn gedaald (Fennis, 2016). Uit de jaarrekening blijkt dat tussen 2015 en 2016 de bedrijfskosten met €329.000 zijn gedaald. Daarentegen laat de netto omzet geen verband zien met het bedrijfsresultaat. Hieruit valt af te leiden dat het bedrijfsresultaat veranderd is door de daling van de bedrijfskosten, niet door een stijging van de netto-omzet. Dit betekent dat de stijging van het bedrijfsresultaat geen verband houdt met de publicatie van de Panama Papers.

4 Conclusie

De volgende data gaven geen verband weer met de publicatie van de Panama Papers.

- Onder resultaat deelneming: de minieme daling van IQ EQ.
- Onder eigen vermogen: de piek in 2016 en daling in 2017 van Intertrust en IQ EQ.
- Onder bedrijfsresultaat: de daling van Intertrust in 2016 en de constante stijging van IQ EQ.
- Onder liquide middelen: de stijgingen en dalingen van Intertrust, JTC, Vistra en IQ EQ.

Er zijn ook verklaringen die wel verband kunnen houden met de publicatie van de Panama Papers. De verschillende gevolgen die uit de resultaten bleken, zijn:

- Bij het resultaat deelneming van Intertrust was het resultaat in 2015 en 2016 negatief, maar in 2017 was het enorm gestegen. De dochtermaatschappijen van Intertrust hebben in 2017 geen verlies meer, wat erop kan wijzen dat ze winst hebben gemaakt aan het ontwijken van belasting.
- Het eigen vermogen van JTC en Vistra steeg door het reserveren van winst. Wat betekent dat beide bedrijven meer winst hebben gemaakt na de publicatie van de Panama Papers. Deze winst betekent dat er meer belastingontwijking is gepleegd.

Dit zijn de gevonden resultaten, maar uit enkel deze cijfers vallen geen keiharde bewijzen te halen, waardoor er slechts gespeculeerd kan worden. Er zijn veel meer mogelijke verklaringen, waardoor het bijna niet te doen is om het te koppelen aan de publicatie van de Panama Papers. Voorbeelden van deze andere verklaringen zijn:

- Het resultaat deelneming kan veranderen bij investeringen. Door bij winst te investeren kan een bedrijf hoger resultaat (nog meer winst) ervaren van de gedane investeringen en de winst van het bedrijf wordt hoger (Stoffels, De Naamloze Vennootschap, 2015). Hierdoor verdient de moedermaatschappij – die aandelen in de dochtermaatschappij heeft – ook extra.
- Het bedrijfsresultaat kan veranderen door een toename/afname van de omzet of een toename/afname van de bedrijfskosten. Dit kan beïnvloed zijn door de conjunctuur van de economie – dus inflatie of deflatie, door onderhandelingen van de cao waarmee de loonkosten worden aangepast, door nieuwe wetgevingen die kosten doen veranderen, et cetera

(Economische Modellen, LWEO, 2015).

- Het eigen vermogen stijgt door het reserveren van winst of door het herwaarderen van de vaste activa. Het bedrijf kan ervoor kiezen om winst die ‘te veel’ was te investeren in het bedrijf en te behouden voor de toekomst, dus om het te gebruiken in slechtere jaren; dit is het reserveren van winst (Stoffels, De Naamloze Vennootschap, 2015). Soms worden vaste activa (bezittingen van een bedrijf) meer waard. Hierom dienen de bedrijven op hun balansrekening te houden met prijsveranderingen van deze vaste activa. Wanneer de aanschafprijs van bijvoorbeeld een bedrijfsauto omhooggaat, betekent dit ook dat de boekwaarde (dit is de aanschafprijs van het product min de afschrijvingen) van de auto’s die het bedrijf al heeft omhoog mag gaan. Als de auto meer waard is geworden, geldt dit ook voor de auto’s die het bedrijf al in bezit heeft. Bij een eventuele verkoop zou je hier namelijk meer voor krijgen dan voorheen. Het aanpassen van deze boekwaarde, noem je herwaarderen (Stoffels, De Naamloze Vennootschap, 2015).

- De liquide middelen kunnen veranderen door de aan- en verkoop van producten en diensten, de aan- en verkoop van activa, het aangaan en aflossen van schulden en de storting van bestaande of nieuwe aandelen (De Zaak, 2011).

Toch moet er een conclusie getrokken worden, ondanks dat deze niet volledig valide is. Het antwoord op de onderzoeksvraag “Wat zijn de gevolgen van de publicatie van de Panama Papers voor de Nederlandse belastingontwijking via trustkantoren?” is dus:

Het gevolg van de publicatie van de Panama Papers voor de Nederlandse belastingontwijking via trustkantoren is dat de belastingontwijking aanhoudt.

Er zijn echter maar twee bewijzen, namelijk de stijging van het resultaat deelneming bij Intertrust en het eigen vermogen van JTC en Vistra dat door winstreservering was gestegen, die gekoppeld kunnen worden aan de publicatie en de belastingontwijking, maar deze wijzen allebei op het feit dat de belastingontwijking aanhoudt, waardoor deze conclusie getrokken is – ook al is er maar weinig bewijs om dit te ondersteunen.

Er volgt dus een compleet andere uitkomst dan die bij de hypothese verwacht was. Hier werd verwacht dat de belastingontwijking zou zijn afgenomen.

5 Discussie

5.1 Resultatenanalyse

De gevonden resultaten – al zijn dit er maar twee – kunnen erop wijzen dat de belastingontwijking aanhield na de publicatie van de Panama Papers. Dit is opvallend, omdat de verwachting was dat de belastingontwijking zou zijn afgenomen. Mogelijke verklaringen kunnen zijn dat bedrijven toch niet zijn afgeschrikt door de publicatie of dat ze zich beter aan de wet houden. De tweede reden is waarschijnlijker, omdat er zelfs nu, na drieënhalve jaar, nog steeds onderzoeken lopen en straffen uitgedeeld worden. Bedrijven zullen voorzichtiger te werk gaan en zich dichter bij de wet houden (Kleinnijenhuis, Trouw, 2019). Wanneer de bedrijven volledig legaal belasting ontwijken, hoeven ze ook niet bang te zijn voor negatieve gevolgen.

Wat verder bijzonder was, was dat bijna alle resultaten geen link hadden met de publicatie van de Panama Papers. Bijvoorbeeld bij de stijging van het bedrijfsresultaat van Intertrust, waar eerst verwacht werd dat dit kwam door de belastingontwijking,

maar het bleek te komen door de aankoop van een ander bedrijf. Sommige cijfers leken dus op het eerste gezicht iets anders dan wat ze werkelijk waren. Er waren gewoon te veel andere mogelijke verklaringen die niets te maken hadden met de publicatie van de Panama Papers.

Een achteraf gebleken fout was het gebruik van deze grote bedrijven. Het leek een goed idee om bedrijven te kiezen die zo een groot draagvlak hadden, maar doordat deze bedrijven een enorm secure boekhouding bijhielden en boekhouders hebben die mogelijke belastingontwijking weten te verbergen in de vele cijfertjes, is het voor een niet al te groot onderzoek dat binnen een half jaar voltooid moet worden, niet mogelijk om belastingontwijking te achterhalen uit enkel de jaarverslagen.

5.2 Gevolgen

Het lijkt erop dat de belastingontwijking via Nederlandse trustkantoren na de publicatie van de Panama Papers aanhoudt of toegenomen is, maar er is geen waterdicht bewijs hiervan. Twee bewijzen geven immers geen valide conclusie op zo een immens onderzoek. Toch valt hieruit af te leiden dat de repercussies die volgden na de publicatie geen invloed hebben gehad op hoeveel belastingontwijking er gepleegd werd. Om belastingontwijking verder in te perken, kan de overheid boetes of andere straffen aan het voeren van belastingontwijking binden, maar dit kan enkel door zoveel mogelijk mazen in de wet te dichten, en dus belastingontwijking strafbaar te maken. Er zijn al enkele maatregelen genomen, zoals de ATAD2 (Rijksoverheid, 2018). Hierbij wordt het opzetten van structuren om belastingontwijking te plegen haast onmogelijk gemaakt. Structuren zoals de hybride mismatch en de ‘spaarpot op zee’ kunnen niet meer gebruikt worden. Er volgt hier echter ook veel onzekerheid uit voor bedrijven, zij weten niet waar ze aan toe zijn en wat voor belastingregels er steeds bijkomen of veranderen. Zakendoen gaat lastiger wanneer er onzekerheid is omtrent deze activiteit (Schmidt, Trouw, 2017).

5.3 Vervolgonderzoek

Eigenlijk kan dit onderzoek niet voortgezet worden, omdat belastingontwijking zo een grijs gebied is dat het bijna niet op te sporen is. Bedrijven weten waar ze mee bezig zijn en doen er alles aan om ervoor te zorgen dat er geen bewijs te vinden is. Er zijn ook veel mogelijke verklaringen voor wat de veranderingen in de cijfers kunnen zijn, dat het haast onmogelijk is om de link te leggen met de publicatie van de Panama Papers. Als er toch een vervolgonderzoek gedaan zou worden, zou om preciezere data en uitkomsten te krijgen, elk Nederlands trustkantoor onderzocht moeten worden. Door al deze data te vergelijken en te kijken of hier ook bepaalde categorieën uitspringen met opvallende getallen, kan bepaald worden wat exact de gevolgen zijn – of in ieder geval de gevolgen voor de bedrijven die terug te vinden zijn in de jaarrekeningen – van de publicatie van de Panama Papers. Op deze manier kunnen de uitkomsten gebruikt worden door de staat om mogelijk om maatregelen te treffen.

5.4 Onderzoek van anderen

Er zijn naast wat nieuwsartikelen die deze twee onderwerpen – belastingontwijking via Nederlandse trustkantoren en de publicatie van de Panama Papers – verbinden, geen wetenschappelijke onderzoeken over dit onderwerp gedaan. Hierom is er hier geen informatie over.

5.5 Sterke en zwakke punten

Om te beginnen, bleek de onderzoeksmethode niet de juiste. Er had een andere methode gekozen moeten worden bij de beschikbare tijd, middelen en kennis. De keuze voor de jaarrekeningen bleek niet verstandig, omdat hier niet uit op te maken viel of er belastingwijking werd gepleegd of niet.

Wat er in dit onderzoek goed gebeurde, was dat er onder de groepsleden te allen tijde open communicatie was en dat er constant duidelijkheid bleef. Zelfs als elk lid even compleet verloren was en iets niet begreep, werd er door iedereen gezorgd dat er overzichtelijk naar het probleem gekeken werd. In de beginfase van het proces was het voor de leden nog onduidelijk wat precies de bedoeling was van het onderzoek, waardoor het eerste onderzoeksvoorstel geen succes was. Na een zomervakantie lang werken en hierbij proberen de overzichtelijkheid toe te passen, heeft de groep, tot grote opluchting, het onderzoek gecontinueerd na de vakantieperiode. De groepsleden snaptten nu wat er in eerste instantie mis was gegaan en konden verdergaan met hernieuwde motivatie. Door de krachten – samenwerking, precisie en doorzettingsvermogen – te bundelen, is de groep tot dit resultaat gekomen.

Toch waren er ook zwakke punten. Het duurde een hele tijd voordat er een goede onderzoeksvraag stond, waardoor er veel tijd (en wat motivatie) verloren is gegaan. Zodra er een goed afgebakende onderzoeksvraag gekozen was, die ook werkelijk een antwoord kon krijgen binnen het tijdsbestek, kon het team aan het werk. De leden waren soms wat te veel opgegaan in het onderwerp, waardoor ze niet meer inzagen of sommige begrippen wel te begrijpen waren voor mensen die onbekend zijn met het onderwerp. Na een peer-review zijn ze daarom extra gaan letten op het goed verklaren van begrippen en alle informatie in het onderzoek met elkaar te koppelen. Hierbij is wel gezorgd dat het overzicht behouden bleef.

Het onderzoek bracht behoorlijk wat tegenslagen met zich mee, waardoor er verkeerde inschattingen zijn gemaakt. Het onderzoek is eigenlijk niet uit te voeren, maar omdat er is gekozen om dit te doen, kon de groep niet meer terug. De keuzes die zijn gemaakt, waren niet goed doordacht, omdat er te weinig vooronderzoek is gedaan. De tijdsdruk om tot een goede onderzoeksvraag te komen, zorgde ervoor dat keuzes te snel gemaakt werden.

Er werd verwacht genoeg informatie te kunnen halen uit de jaarrekeningen, terwijl dit bij lange na niet voldoende was. Ook zegt deze informatie veel meer en kan er niet duidelijk uitgehaald worden waar de belastingontwijking plaatsvindt. Intertrust en IQ EQ waren daarnaast ook nog eens enorme bedrijven, waardoor ze nog makkelijker belastingontwijking in hun cijfers weggestopt konden hebben. Het was bij deze bedrijven dus zo goed als onmogelijk om belastingontwijking te achterhalen. Door al deze (denk)fouten kon er bij de resultaten en conclusie enkel gespeculeerd worden.

Bibliografie

Accountant, Trustsector moet rol als poortwachter invullen, 2018

<https://www.accountant.nl/nieuws/2018/12/trustkantoor-moet-rol-als-poortwachter-invullen/#>
Bureau Kees Horden, Wat is het resultaat deelneming?, 2015
<https://www.keeshorden.nl/begrippen/resultaat-deelneming/>
De Financiële Begrippenlijst

<https://www.dfbonline.nl/>
De Groot, G., Kleinnijenhuis, J., DNB doet aangifte bij OM tegen trustkantoren naar aanleiding van de Panama Papers, 2017
<https://panamapapers.nl/#!dnb-doet-aangifte-bij-om-tegen-trustkantoren-naar-aanleiding-van-panama-papers>
Delanote, Mark, Belastingontduiking En Belastingontwijking: Het Belgische Anti-Misbruikconcept in Europees Perspectief?, 2004
https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/480/839/RUG01-002480839_2018_0001_AC.pdf
De Zaak, De kasstroom: waar blijft je geld?, 2011
<https://www.dezaak.nl/2283/de-kasstroom-waar-blijft-geld.htm>
Economische Modellen, LWEO, 2015
Eijgenraam, C. J. J., Koopmans, C. C., Tang, P. J. G., Verster, A. C. P., Centraal Planbureau & Nederlands Economisch Instituut, Evaluatie van infrastructuurprojecten leidraad voor kosten-batenanalyse, 2000
<https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/evaluatie-van-infrastructuurprojecten-leidraad-voor-kosten-batenanalyse-samenwerking-met.pdf>
Ende, H van den, Stoffelen, S., PwC, Alles over: belastingen naar de winst, 2017
<https://www.pwc.nl/nl/assets/documents/pwc-alles-over-belastingen-naar-de-winst.pdf>
Fennis, J., Processen en strategie, 2016
https://essay.utwente.nl/70710/3/Fennis_BA_BMS.pdf
Fibbe, G. K., OESO en Europese Commissie op oorlogspad tegen hybride structuren, ‘k Moet eerlijk zeggen: andere wetenschappelijke uitgaven, 2013
Fitzgibbon, W., Fugitive or not? Panama Papers pre-trial begins, 2019
<https://www.icij.org/investigations/panama-papers/fugitive-or-not-panama-papers-pre-trial-continues/>
Friedrich, C. J., Constitutional Government and Politics, 1937
Het Economisch Woordenboek
<https://www.economischwoordenboek.nl/zoek/economisch>
Het Financieele Dagblad, Panama Papers leveren belastingdiensten tot nu toe 1 miljard op, 2019
<https://fd.nl/economie-politiek/1295793/panama-papers-leveren-belastingdiensten-tot-nu-toe-1-mrd-op>
Het Financieele Dagblad & Trouw, Wat zijn de Panama Papers?, 2016
<https://panamapapers.nl/#!wat-zijn-de-panama-papers>
Het Register Trustkantoren, De Nederlandsche Bank
<https://www.dnb.nl/toezichtprofessioneel/openbaar-register/WTTTK/index.jsp>
Kieft, R., Kapitaalbelangen en consolidatie, 2018
<https://executivefinance.nl/2018/04/kapitaalbelangen-en-consolidatie/>
Kleinnijenhuis, J., Trouw, Dankzij de Panama Papers halen belastingdiensten wereldwijd ruim 1 miljard euro extra op, 2019
<https://www.trouw.nl/nieuws/dankzij-de-panama-papers-halen-belastingdiensten-wereldwijd-ruim-1-miljard-euro-extra-op~b719e571/>
Klumpenaar, S., NRC, Intertrust neemt branchegeenoot Elian over, 2016
[neemt-branchegeenoot-elian-over-a1406730
Logger, B., Weijnen, P., de Groene Amsterdammer, Witwassen in een flexkantoor., 2018
<https://www.groene.nl/artikel/witwassen-in-een-flexkantoor>
Marktgedrag, LWEO, 2015
Nelen, H., Moerland, R., De taal van ontkenning: introductie, 2017
\[https://www.researchgate.net/profile/Hans_Nelen/publication/322656087_De_taal_van_ontkenning_introductie/links/5a670ba84585159da0d852c0/De-taal-van-ontkenning-introductie.pdf\]\(https://www.researchgate.net/profile/Hans_Nelen/publication/322656087_De_taal_van_ontkenning_introductie/links/5a670ba84585159da0d852c0/De-taal-van-ontkenning-introductie.pdf\)
NOS, Niets mis met zo weinig mogelijk belasting betalen, 2017
<https://nos.nl/artikel/2178191-niets-mis-met-zo-weinig-mogelijk-belasting-betalen.html>
Palan, R., Murphy, R., & Chavagneux, C., Tax Havens - How Globalization Really Works, 2009
Reuver, W. de, Tijdschrift voor het economisch onderwijs, Kasstroomoverzicht, 2016
Rijksoverheid, Start consultatie nieuwe wet tegen belastingontduiking \(ATAD2\), 2018
<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2018/10/29/start-consultatie-nieuwe-wet-tegen-belastingontwijking-atad2>
Roessingh, M., Welke maatregelen volgden op de Panama Papers, 2017
<https://www.trouw.nl/nieuws/welke-maatregelen-volgden-op-de-panama-papers~b8e22366/>
Sambrook, R., Panama Papers: the nuts and bolts of a massive international investigation, 2016
\[http://orca.cf.ac.uk/88684/1/88684_Sambrook.pdf\]\(http://orca.cf.ac.uk/88684/1/88684_Sambrook.pdf\)
Sangen, G.J.H. van der, Aandeelhoudersovereenkomsten in besloten verhoudingen, 2003
<https://pure.uvt.nl/ws/portalfiles/portal/514380/ahovk.pdf>
Snel, O. C., Hybride mismatches in Europa na de komst van de ATAD, 2018
<http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=146561>
Stoffels, H., De Naamloze Vennootschap VWO, 2015
Van Dale woordenboek
Vineyard gemeente Wageningen, Rapport inzake jaarrekening, 2018
<https://www.vineyardwageningen.nl/media/2326/vineyard-wageningen-concept-jaarrekening-2017-2018.pdf>
Vleggeert, J. & Bender, T., Dit moet je weten over belastingontwijking, 2017
<https://www.universiteit leiden.nl/nieuws/2017/07/dit-moet-je-weten-over-belastingontwijking>](https://www.nrc.nl/nieuws/2016/06/06/intertrust-</p></div><div data-bbox=)

Resultaat deelneming	2015	2016	2017
Intertrust	€ -42.000	€ -29.000	€ 689.000
IQ EQ	€ 6.198.000	€ 5.536.000	€ 5.018.000

Figuur 1: Resultaat deelneming

Eigen vermogen	2015	2016	2017
Vistra	€ 663.112	€ 928.733	€ 1.946.367
JTC	€ 640.108	€ 598.615	€ 1.104.150
Intertrust	€ 562.066.000	€ 755.943.000	€ 704.693.000
IQ EQ	€ 4.153.000	€ 6.419.000	€ 2.666.000

Figuur 2: Eigen vermogen

Liquide middelen	2015	2016	2017
Vistra	€ 66.606	€ 7.422	€ 71.511
JTC	€ 113.432	€ 67.144	€ 580.290
Intertrust	€ 80.464.000	€ 69.858.000	€ 66.620.000
IQ EQ	€ 1.355.000	€ 4.168.000	€ 667.000

Figuur 3: Liquide middelen

Bedrijfsresultaat	2015	2016	2017
Intertrust	€ 107.289.000	€ 102.113.000	€ 132.781.000
IQ EQ	€ -6.866.000	€ -2.874.000	€ -2.257.000

Figuur 4: Bedrijfsresultaat

Fossiele lobby en klimaatbeleid van de Europese Unie

De invloed van lobbyisten uit de olie- en gasindustrie op de besluitvorming en het beleid van de Europese Unie met betrekking tot klimaatverandering

Simon Nijman¹, Wouter Vonk¹, Anne-Fleur Karssing², Ronald Blankenburg¹, Arthur ten Cate²

¹SG Marianum, Groenlo

²Afdeling Pre-U, Universiteit Twente, Enschede

Abstract - Corporate lobby can have an impact on whether the European Union will hit its emission targets as established in the Paris Climate Agreement. Fossil fuel companies such as Shell spend several millions of euros every year lobbying the European institutions. This paper therefore looked at the influence of the fossil fuel industry on the policy and the legislation of the European Union concerning climate change. Two key aspects thereof were researched. The first being the voting behavior of Members of the European Parliament (MEP's). A comparison was made between MEP's who were active members of a relatively large lobby organization - the European Energy Forum - where the legislators met with fossil fuel industry representatives, and MEP's who were not. There was found no difference in how favorable MEP's voted concerning climate change and the reduction of carbon emissions. The other aspect being researched was the functioning of the European Emissions Trading System, where carbon emitting corporations trade their emission allowances. Being the most important and cost-effective instrument of the European Union to reduce carbon emissions, the system can be worth lobbying for fossil fuel companies. The influence of the fossil fuel industry was measured by looking into the development of the allowances' price and by looking at the profits made by fossil fuel companies through this system. There were some remarkable results, but most of them could be explained by other factors, such as the economic situation and thus demand and supply. Concludingly, there was found no causal relation between fossil fuel lobby and the legislation and policy of the European Union concerning climate change.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De verwondering voor dit onderwerp werd onder andere veroorzaakt door de vele schietpartijen (vaak op en rond scholen) in de Verenigde Staten. Daarbij vielen vaak vele (jonge) slachtoffers; wetgeving van de overheid om dit wapengeweld tegen te gaan, kwam er niet. Critici spraken zich om deze reden in grote getalen uit tegen de passiviteit van de overheid bij dit onderwerp, en weten dit vaak aan de grote invloed van lobbyorganisaties op de Amerikaanse wetgevers in het Congres (Andone, 2018) (Beckett, 2019). Zij hekelden ook de grote bedragen die deze democratisch gekozen besluitvormers ontvingen van de grootste Amerikaanse wapenlobbyvereniging, de National Rifle Association, kortweg de NRA (Al Jazeera, 2018). Het beïnvloeden van wetgevers en beleidsmakers gebeurt niet alleen in de Verenigde Staten, maar ook in de Europese Unie (EU). Deze organisatie is interessant, omdat eurosceptis, wantrouwen tegenover de EU, groter lijkt dan ooit, en de vraag is of de macht van lobbyisten hierbij een rol speelt. Bij dit onderzoek is er gekozen voor het beleidsdomein 'klimaat'; de verandering van het klimaat is een polariserend onderwerp. De urgentie die men voelt om maatregelen te nemen tegen klimaatverandering verschilt. Ook speelt het mee dat internationale (en dus ook Europese) samenwerking nodig is om de gekozen maatregelen tegen klimaatverandering uit te voeren. Het beleidsdomein 'klimaat' is daarbij een relevante keuze. De Europese Commissie presenteerde onlangs de Green Deal, een verzameling aan wetsvoorstellen tegen klimaatverandering en de gevolgen daarvan. De maatregelen omvatten alle sectoren van de economie en hebben als uiteindelijk doel een klimaatneutraal Europa in 2050 (Volkskrant, 2019). Daarmee is het zowel een zeer actueel onderwerp waarbij de belangen groot zijn als een polariserend onderwerp.

1.2. Gat in de kennis

Er is weinig bekend over hoe groot de invloed van lobbyisten daadwerkelijk is, omdat dit proces van belangenbehartiging vaak achter de schermen plaatsvindt. Er bestaat daarom vaak een negatief beeld van lobbyisten; er wordt op Europees niveau wel eens gesproken van achterkamertjespolitiek, waar onbekend is wie er aan de knoppen zit bij het tot stand komen van beleid (Volt Nederland, -). Er is bekend dat bedrijven uit de fossiele industrie tussen 2000 en 2016 wereldwijd meer dan twee miljard dollar besteedden aan het beïnvloeden van wetgeving met betrekking tot de aanpak van klimaatverandering (DrexelNOW, 2019). Tot in hoeverre die invloed van olie- en gasmaatschappijen bij de Europese Unie reikt, daar is nog maar weinig onderzoek naar gedaan, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de Verenigde Staten (Brulle, 2018).

1.3. Theoretisch kader

Lobbyen is door gesprekken proberen belangrijke beslissingen te beïnvloeden (VanDale, -). Organisaties die kunnen lobbyen, lopen uiteen van bedrijven en niet-gouvernementele organisaties tot lokale overheden zoals gemeenten en provincies (Joode, 2019). Lobbyisten proberen besluitvormers te beïnvloeden door te bepalen hoe deze naar een onderwerp kijken, om het onderwerp zo te kantelen zoals de lobbyist wil dat de besluitvormer er naar kijkt. Dit wordt in de wereld van de lobby 'framing' genoemd. Het grootste gedeelte van het werk van een lobbyist bestaat uit informatie verzamelen; spreken met besluitvormers beslaat slechts een deel van het werk van een lobbyist (Keulen, 2019).

Als er gekeken wordt naar lobbyen in de Europese Unie, staan er meer dan 11.000 belangengroepen (European Parliament, 2018) geregistreerd die actief invloed proberen uit te oefenen op de besluitvorming van de politici, bestuurders en de vele ambtenaren die de EU heeft. Voor de 50.000 ambtenaren en bestuurders die de EU telt (Europa Nu, -), zijn er naar schatting 80.000 lobbyisten actief in Brussel (European Parliament,

2018). Voor de vijf grootste bedrijven uit de fossiele sector, zijn er bij de EU ongeveer 200 lobbyisten aan het werk, en deze lobbyisten hadden 327 ontmoetingen met vertegenwoordigers van de Europese Commissie (RTL Z, 2019). Hieruit blijkt dat spreken met politici en ambtenaren goed mogelijk is en dat de belangenbehartiging geprofessionaliseerd is.

Met betrekking tot klimaatwetgeving- en beleid, zijn er zowel groepen actief die ervoor pleiten dat er zo snel mogelijk omvangrijke maatregelen worden genomen tegen klimaatverandering (Greenpeace, -) als groepen die stellen dat de invloed van die maatregelen op de economie en op de concurrentiepositie van Europese bedrijven meegenomen moet worden (FuelsEurope, -) of die de doelstellingen die overeengekomen zijn in het klimaatakkoord van Parijs niet steunen (Smit, 2019).

Bedrijven uit de fossiele sector lobbyen tegen een streng klimaatbeleid, omdat dat betekent dat er relatief minder fossiele brandstoffen gebruikt zullen worden en dat het uitstoten van broeikasgassen duurder zal worden. Dat zou ten koste van de omzet en de winsten van deze bedrijven gaan. Het is immers een lucratieve industrie; Shell maakte in het jaar 2018 een winst van 18,6 miljard euro (Middel, 2019). Om deze winsten te behouden en om het marktaandeel in de energievoorziening te behouden, is het in het belang van deze bedrijven dat er nog steeds fossiele brandstoffen gebruikt worden (Neslen, 2015). Middels lobbyen pogen deze bedrijven daarom om de strenge wetgeving tegen te houden.

Een van de maatregelen die de Europese Unie heeft genomen om klimaatverandering tegen te gaan, is de invoering van het Europees systeem voor emissiehandel (ETS). Dat is in 2005 in werking gesteld als middel om de uitstoot van broeikasgassen door industriële bedrijven te reduceren. Bedrijven krijgen in dit systeem elk jaar een bepaalde hoeveelheid emissierechten toegewezen, dus rechten om een bepaalde hoeveelheid CO2 uit te stoten. Het aantal emissierechten dat een bedrijf in bezit heeft moet elk jaar gelijk zijn aan de hoeveelheid CO2 die is uitgestoten. Doordat er bedrijven zijn met een tekort of een overschot aan emissierechten, ontstaat er een markt waarbij deze verhandeld kunnen worden. Zo ontstaat er een prikkel voor bedrijven om de uitstoot van CO2 te verminderen, omdat er dan of minder emissierechten bijgekocht hoeven te worden of er emissierechten verkocht kunnen worden, wat geld oplevert. Critici hebben vraagtekens geplaatst bij de werking van dit systeem, omdat er volgens hen een groot overschot aan emissierechten is toebedeeld. Hierdoor kunnen veel bedrijven gratis uitstoten en is de prijs van emissierechten gekelderd, waardoor uitstoten goedkoop is (Cornelisse, 2017).

Door bedrijven uit de fossiele sector is er weinig tot niks betaald of het systeem heeft hen zelfs geld opgeleverd (NOS, 2016). Zo heeft Shell alleen in Nederland al zo'n 200 miljoen euro opgehaald door de emissiehandel. In de hele Europese Unie verdienen Europese bedrijven 24 miljard euro aan dit systeem (de Bruyn, Huigen, & Schep, 2015).

1.4. Onderzoeksvraag en deelvragen

Om een conclusie te kunnen trekken bij dit onderzoek, is er een passende onderzoeksvraag nodig. Deze luidt als volgt: *'In hoeverre hebben lobbyisten uit de fossiele industrie invloed op het beleid en de besluitvorming van de Europese Unie met betrekking tot de aanpak van klimaatverandering?'* Bij het beantwoorden van deze onderzoeksvraag, wordt er

gekeken naar verschillende aspecten van het Europees bestuur waar lobbyisten mogelijk invloed op uitoefenen. Om deze reden zijn de volgende deelvragen opgesteld, waarbij per deelvraag kort een toelichting wordt gegeven over de (keuze van de) afkadering:

1. *'Is er een oorzakelijk verband te herkennen tussen zichtbare beïnvloeding van bedrijven uit de fossiele sector en zichtbaar stemgedrag onder parlementsleden van de Europese Volkspartij?'*

Er wordt gekeken naar parlementsleden van de Europese Volkspartij – de conservatieve en christendemocratische Europese partij. Er is voor deze partij gekozen, omdat dit de grootste partij is in het Europees Parlement is (Segers, 2019), de EVP een middenpartij is (EuropaNu, 2019), én omdat het door lobbyisten wordt gezien als een partij die relatief makkelijk te lobbyen is met betrekking tot klimaat (Roffel, Sengers, & de Vos, 2017). Een grote achterban in de industrie en landbouw verklaart het laatstgenoemde.

Het aspect van zichtbare lobby in deze deelvraag wordt gemeten aan de hand van lidmaatschap van parlementsleden aan het European Energy Forum (EEF). Dit is een organisatie die ontmoetingen organiseert tussen vertegenwoordigers uit de fossiele industrie en parlementsleden.

2. *'Is er een oorzakelijk verband te herkennen tussen zichtbare beïnvloeding van bedrijven uit de fossiele sector en de inrichting van het ETS?'*

Zoals in het theoretisch kader al beschreven was, hebben bedrijven uit de fossiele sector, zoals Shell, veel geld verdiend met de handel in emissierechten. Dat roept de vraag op of de lobby van deze sector invloed heeft gehad op de hoeveelheid rechten die is toegewezen aan bedrijven uit de sector en op de werking van het systeem.

1.5. Hypothese

De volgende hypothese is opgesteld: de invloed van gas- en oliemaatschappijen middels lobbyen op het beleid en de besluitvorming van de Europese Unie met betrekking tot klimaatverandering is groot; dat wil zeggen dat de Europese wetgeving deels gevormd en bepaald is door de actieve lobby van bedrijven uit de fossiele industrie.

De hypothese is tot stand gekomen door de volgende zaken:

- Elk jaar geven de vijf grootste gas- en oliebedrijven wereldwijd circa 150 miljoen euro uit om middels lobbyen klimaatwetgeving- en beleid te beïnvloeden (Laville, 2019). Shell geeft elk jaar rond de 4.5 miljoen euro uit aan het lobbyen van de instituties van de EU (Neslen, 2015). Dit bedrag gaat onder meer op aan ontmoetingen met wetgevers; de lobbyisten van de vijf grootste bedrijven uit de fossiele sector hebben in 2014 bijvoorbeeld 327 ontmoetingen gehad met wetgevers van de Europese Commissie (RTL Z, 2019). De verwachting is daarom dat deze ontmoetingen invloed hebben op de wetsvoorstellen die ingediend worden en zich zo uiten in het gevormde beleid.

- Shell blijkt er succesvol voor gelobbyd te hebben dat er geen bindende doelstellingen voor de landen van de Europese Unie zijn gekomen op het gebied van klimaatverandering. Zo was het oorspronkelijke idee dat ieder land een bindend percentage hernieuwbare energiebronnen moest gebruiken in 2030. Na een lobby van Shell in 2011 werd het bindende element echter losgelaten. Volgens critici faalde de EU hierdoor om een sterk signaal aan investeerders te geven dat deze duurzame energie hoog op de agenda had staan (Neslen,

2015). Het feit dat één bedrijf de klimaatdoelstellingen van de gehele Europese Unie heeft kunnen beïnvloeden, heeft ook tot deze hypothese geleid.

2. Methode

2.1. Deelvragen

Door het beschouwen van verschillende aspecten van het Europees bestuur, verschilt de wijze waarop onderzoek wordt gedaan per deelvraag. Daarom het volgende overzicht:

2.1a. Deelvraag ‘stemgedrag’

De Europese Volkspartij (EVP) heeft relatief veel parlementariërs die lid zijn van het European Energy Forum (EEF); de helft van de EEF-leden is lid van de EVP (EEF, 2017). Het stemgedrag van een EEF-parlementariër uit een bepaalde lidstaat van de EU wordt telkens vergeleken met het stemgedrag van een parlementariër die tot dezelfde nationale partij (en dus ook tot de EVP) behoort, maar geen lid is van het EEF. Een vergelijking van Europarlementariërs van dezelfde nationale partij voorkomt dat een verschil in stemgedrag kan worden verklaard door verschillende partijstandpunten van de nationale partijen. EVP-leden stemmen immers nog vaker met de partijlijn van de nationale partij mee dan met de partijlijn van de EVP.

De vergelijking wordt vijfmaal gemaakt, dus in totaal worden tien Europarlementariërs van de EVP onderzocht. De lidstaten zijn Bulgarije, Duitsland, Hongarije, Oostenrijk en Spanje. Uit een CAN Europe-rapport over klimaatstemgedrag krijgen de vijf gekozen nationale partijen van deze landen een vergelijkbare score, namelijk tussen de 10 en 15 procent (CAN Europe, 2019).

Er wordt gekeken naar het stemgedrag over wetsvoorstellen met betrekking tot klimaatverandering, dus wetsvoorstellen die een reductie van de CO2-uitstoot tot doel hebben. Het stemgedrag wordt onderzocht door de database VoteWatch te raadplegen. Deze website geeft voor elke Europarlementariër aan hoe deze gestemd heeft bij hoofdelijke stemmingen in de zittingsperiode 2014-2019.

Parlementsleden hebben verschillende opties bij het uitbrengen van hun stem. Er zijn de twee meest logische opties, voor en tegen, maar ze hebben ook de mogelijkheid om voor stemonthouding te kiezen. Hierbij wordt er wel gestemd, maar geeft het parlementslid geen blijk van instemming of afkeuring. In dit onderzoek wordt een stem van onthouding tussen een voor- en tegenstem geplaatst. De database VoteWatch geeft nog twee mogelijkheden, namelijk niet gestemd en afwezigheid. Verschillen in stemgedrag die hierdoor worden veroorzaakt, zijn niet meegenomen in de resultaten.

Bij de stemmingen waarbij er een verschil zichtbaar is tussen de EEF-parlementariër en de parlementariër die geen lid is van het EEF, wordt er bepaald welk parlementslid ‘groener’ gestemd heeft. Dat heeft als definitie: de stem komt meer overeen met het partijstandpunt van de groenste partij (CAN Europe, 2019) van het Europees Parlement, de Greens/EFA. Hierbij wordt dus de aannname gemaakt dat deze partij in alle gevallen zo ‘groen’ mogelijk stemt, wat afgeleid is van de bevindingen in het CAN Europe-rapport, waarin deze partij op basis van stemgedrag bijna een volledige score haalt op de grond van wetsvoorstellen met betrekking tot de aanpak van klimaatverandering. Wederom, een stem van onthouding wordt hierin tussen een voor- en tegenstem geplaatst.

Deze deelvraag omvat de invloed van lobbyisten op de individuele parlementsleden die deel uitmaken van de EVP,

niet de invloed van lobbyisten op de partijlijn. Deze zou ook beïnvloed kunnen zijn door de lobby, maar dat heeft geen invloed op welk parlementslid ‘groener’ stemt.

2.1b. Deelvraag ‘emissiehandel’

Om inzicht te krijgen in de zichtbare lobby van bedrijven uit de fossiele sector bij het handelen in emissierechten, wordt er gekeken naar een aantal wetenschappelijke onderzoeken en rapporten over wat voor invloed lobbyisten hebben gehad op de handel in emissierechten. Daarnaast worden er rapporten geraadpleegd over de winsten die bedrijven uit de fossiele sector maakten in de emissiehandel. Deze deelvraag wordt dus grotendeels uitgewerkt door middel van beschrijvend onderzoek.

2.2. Interview

Daarnaast wordt er een interview gehouden met Peter van Keulen. Hij is de eigenaar van Public Matters, het grootste lobbyadviesbureau van Nederland. Meneer Van Keulen is al sinds 2001 actief in de wereld van de lobby in zowel Den Haag als Brussel en hij kan om die reden een nauwkeurig beeld van lobbyisten en het proces van lobbyen in het algemeen geven. Het interview wordt gehouden met de volgende doelstellingen: 1) richting geven aan het onderzoek en 2) inzicht en informatie geven over hoe het proces van belangenbehartiging in zijn werk gaat.

3. Resultaten

Doordat er naar verschillende aspecten van het Europees bestuur wordt gekeken, wordt hier een overzicht gegeven van de resultaten per deelvraag.

3.1. Deelvraag ‘stemgedrag’

3.1a. Weergave resultaten

Er zijn 193 stemmingen van het Europees Parlement onderzocht, die te relateren zijn aan de aanpak van klimaatverandering. In de meerderheid van de gevallen waren alle tien de parlementariërs loyaal aan hun Europese partij – de Europese Volkspartij (EVP). Als dit niet het geval was en er een verschil zichtbaar was, dan duidde dit er meestal op dat de Europarlementariërs afweken van de partijlijn van de EVP en meestemden met de nationale partij waartoe zij behoorden. Dit is in overeenstemming met de theorie. Echter zijn er enkele gevallen waar het stemgedrag van een EEF-parlementariër verschilt van het stemgedrag van de parlementariër van dezelfde nationale partij, die geen lid is van het EEF. Van de onderzochte stemmingen blijkt dat dit het geval is bij zestien stemmingen over wetsvoorstellen en amendementen op wetsvoorstellen.

In figuur 1 is een voorbeeld gegeven van zo’n stemming. Weergegeven is een tabel waarin de parlementariërs geselecteerd zijn op twee zaken: 1) de nationale partij en het land dat zij vertegenwoordigen in het Europees Parlement – aangegeven tussen haakjes – en 2) het lidmaatschap aan het European Energy Forum (EEF) – ‘EEF’ voor naam duidt op lidmaatschap. Ter referentie zijn de partijstandpunten van de EVP en de twee groene Europese partijen (Green/EFA en GUE-NGL), die het vaakst instemmen met maatregelen tegen klimaatverandering (CAN Europe, 2019), zichtbaar. Een ‘V’ duidt op instemming met een wetsvoorstel, een ‘T’ op een tegenstem en dus geen instemming.

Figuur 2 geeft een samenvatting van de resultaten; dat wil zeggen dat voor elk verschil in stemming is bepaald welk

parlementslid ‘groener’ heeft gestemd. Deze bepaling is gemaakt aan de hand van een vergelijking van het stemgedrag van de parlementariërs met het partijstandpunt van de groenste partij van het Parlement, de Greens/EFA (zie methode).

3.1b. Opvallendheden

Afgaande op de resultaten kan er een aanwijzing gevonden worden:

-Het aantal stemmingen waarbij de parlementariër die lid is van het EEF groener stemt dan het parlementslid dat geen lid is van die organisatie, is vergelijkbaar met het aantal stemmingen waarbij het parlementslid dat geen lid is van het EEF groener stemt dan de parlementariër die wel lid is van het EEF.

3.1c. Mogelijke verklaringen resultaten

-Lidmaatschap aan het EEF heeft geen invloed op stemgedrag van parlementariërs. Het zelfopgelegde doel van het EEF is om ervoor te zorgen dat de besluitvormers in het Europees Parlement hun beslissingen maken – hoe zij stemmen dus – op basis van juiste informatie én op basis van verschillende standpunten (in dit geval dus die van de industrie) en hierbij een afweging maken. Het EEF zet ook in op haar neutraliteit (de organisatie neemt geen standpunten in), maar nog steeds is het de vraag of ontmoeting met industrievertegenwoordigers geen invloed heeft op stemgedrag.

Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de vertegenwoordigers uit de industrie bij de parlementariërs geen verandering in standpunten teweeg hebben gebracht en geen verandering in stemgedrag hebben veroorzaakt. Dit wordt ondersteund door het feit dat ook linkse leden van het parlement, leden van de sociaaldemocratische partij, lid zijn van het EEF. Linkse partijen zetten zich nadrukkelijker in voor klimaatverandering (CAN Europe, 2019), dus het feit dat deze parlementsleden ook lid zijn van het EEF zou erop kunnen duiden dat deze ontmoetingen met industrieleden geen invloed hebben op parlementsleden, maar enkel voor een open debat met de juiste feiten over klimaat en energie zorgen.

Daar zou wel tegenover geplaatst kunnen worden dat er maar twee parlementariërs van de twee groene partijen lid zijn van het EEF, en dat de EVP een grote vertegenwoordiging heeft bij deze organisatie (EEF, 2017), wat weer kan duiden op mogelijke beïnvloeding.

-Europarlementariërs worden niet enkel beïnvloed door ontmoetingen met industrievertegenwoordigers bij het EEF, maar ook door andere groepen die een bepaald belang hebben. Denk hierbij bijvoorbeeld aan groepen die zich inzetten voor het belang van wezenlijke maatregelen tegen klimaatverandering, zoals Greenpeace.

3.2. Deelvraag ‘emissierechten’

3.2a. Weergave resultaten

In 1997 werd het Kyoto Protocol ondertekend. Het Kyoto Protocol is een verdrag dat voor de emissiereductie van broeikasgassen moet zorgen (UNFCCC, sd). Het Kyoto Protocol is onderdeel van het Klimaatverdrag, het United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, sd). De Europese Unie heeft het ETS (Emissions Trading System) ingesteld om zo de doelstellingen van het Kyoto Protocol te realiseren (Nederlandse Emissieautoriteit, sd). Volgens de Europese Commissie is het ETS het belangrijkste middel om de uitstoot van broeikasgassen kosteneffectief te verminderen. De EU stelde als doel dat in 2020 de uitstoot van

broeikasgassen ten opzichte van 2005 met 21% gedaald zijn (Europese Commissie).

Om een oordeel te kunnen geven aan de lobby binnen het ETS is het noodzakelijk om te begrijpen hoe het ETS werkt. Deelnemende bedrijven krijgen jaarlijks van de EU een hoeveelheid gratis emissierechten (Nederlandse Emissieautoriteit, sd). Deze rechten staan voor de hoeveelheid broeikasgassen die bedrijven in een jaar mogen uitstoten; per ton CO2 die is uitgestoten, moet een bedrijf een emissierecht inleveren. Er is een maximum aantal emissierechten beschikbaar en daarmee ook een maximum aan broeikasgassen dat een bedrijf mag uitstoten. Wanneer een bedrijf meer uitstoot dan het aan rechten heeft, moet dat rechten bijkopen. Wanneer een bedrijf minder uitstoot dan dat het aan rechten heeft, mag het bedrijf de rechten die over zijn verkopen (Nederlandse Emissieautoriteit, 2015). Bedrijven zullen emissierechten aan elkaar verkopen en bij elkaar kopen. Een bedrijf kan zelf de afweging maken of het bij meer uitstoot dan is toegestaan emissierechten erbij koopt of dat het maatregelen neemt om hun uitstoot te verminderen. Een bedrijf heeft er dus baat bij als de prijs van emissierechten lager is dan maatregelen nemen tegen de uitstoot zodat het niks hoeft te veranderen aan zijn productieproces.

Om een inzicht te krijgen in de invloed van lobbyisten op het ETS, en daarmee op het klimaatbeleid, is er gekeken naar het verloop van de emissierechtenprijs sinds de start van het ETS en de oorzaken van de schommelingen in de prijs. De emissierechtenprijs is onderdeel van het ETS en speelt, zoals eerder genoemd, een belangrijke rol in de vraag naar emissierechten. De prijs van emissierechten wordt door marktwerking bepaald en was op zijn hoogst in 2008, namelijk 30 euro per ton (CBS, sd). Na 2008 is de prijs drastisch gedaald en de prijs schommelt sinds 2015 tussen de 3 en 9 euro per ton (CBS, sd). Uit een rapport van het Planbureau voor de Leefomgeving (2019) blijkt dat de prijs voor emissierechten in 2018 rond de 20 euro per ton ligt. Aan de hand van de emissierechtenprijs kan er een verband worden gelegd tussen de invloed van de lobbyisten en het verloop van de emissierechtenprijs. Er kan zo worden gekeken of de emissierechtenprijs door de jaren heen een verloop heeft dat gelijkwaardig is aan het verloop van de hoeveelheid aanwijzingen voor een lobby op de prijs tussen 2008 en 2019. De emissierechtenprijs is een onderdeel van het ETS en daarmee dus ook van het Europees klimaatbeleid.

Er is gekeken naar de doelstelling van de EU voor de broeikasgasreducties en of deze in de loop der tijd behaald is. Er is ook gekeken naar hoe het ETS invloed heeft gehad op het al dan wel of niet behalen van de doelstelling. Aan de hand daarvan wordt er gekeken hoe groot de invloed van lobbyisten op het behalen van de doelstelling via het ETS is. De uitstoot van broeikasgassen door bedrijven die deelnemen in het emissiehandelsstelsel is in 2016 ten opzichte van 2005 met 27 procent gedaald (CBS, sd). Daarmee is het doel van de Europese Unie om de uitstoot voor 2020 met 21% te verminderen behaald. Volgens Corporate Europe Observatory (2016) zijn er weinig aanwijzingen die er op duiden dat het ETS voor de reductie van broeikasgassen heeft gezorgd. In 2021 gaat fase 4 van het ETS in, fase 4 heeft betrekking op de periode 2021 tot en met 2030. De Europese Unie heeft als doel om voor 2030 de uitstoot van broeikasgassen met ten minste 40% te verminderen (Europese Commissie, sd). De sectoren die deelnemen aan het ETS moeten hun uitstoot met 43%

verminderen ten opzichte van 2005 (Europese Commissie, sd). Uit een rapport van CE Delft (2016) is gebleken dat bedrijven uit de Europese industrie tussen 2008 en 2015 meer dan 7,5 miljard euro aan extra winst hebben verdiend doordat ze meer emissierechten toegewezen kregen dan dat ze nodig hadden. Deze emissierechten konden deze bedrijven op hun part weer verkopen. Volgens Sander de Bruyn van CE Delft zijn er in 2008 te veel rechten uitgegeven (NOS, 2016). Er ontstond een overschot aan rechten. Voor bedrijven die deelnemen aan het ETS is het gunstig dat er veel rechten in omloop zijn, zodat de prijs laag blijft en ze dus weinig hoeven te betalen voor hun uitstoot van broeikasgassen. De grote vervuilers lobbyen voor een toename van het aantal gratis emissierechten en een toename van het aantal subsidies dat ze kunnen krijgen (Reyes & Balanyá, 2016). Des te meer gratis emissierechten bedrijven hebben, des te minder ze hoeven te betalen voor hun uitstoot. Lobbyisten van onder andere Shell en BP hebben gelobbyd voor een enkel klimaatdoel in plaats van een systeem van afzonderlijke klimaatdoelstellingen (Reyes & Balanyá, 2016). Afzonderlijke klimaatdoelstellingen zijn ongunstig voor grote industriële bedrijven doordat het moeilijker is om ze te ondermijnen. De grote industriële bedrijven willen een enkel klimaatdoel zodat ze makkelijker klimaatdoelstellingen kunnen ondermijnen (Reyes & Balanyá, 2016). De lobbyisten hebben in zekere mate invloed gehad op het ‘Comission’s 2030 Climate and Energy Framework. Lobbyisten en vertegenwoordigers van grote olieproducenten en elektriciteitsbedrijven zijn gaan praten met enkele vooraanstaande personen binnen de Europese Commissie, zoals Peter Vis (Reyes & Balanyá, 2016). Deze gesprekken kunnen geslaagd worden genoemd. Hoewel in het 2030 Climate and Energy Framework de klimaatdoelstellingen betreffende hernieuwbare energie en energie-efficiëntie wel werden gehandhaafd, werden deze doelstellingen wel verzwakt (Reyes & Balanyá, 2016). Het Climate and Energy Framework heeft invloed op het ETS doordat het o.a. bepaalt hoeveel de emissies van broeikasgassen door bedrijven die deelnemen aan het ETS moeten worden gereduceerd (Europese Commissie, sd).

3.2b. Opvallendheden

- De emissierechtenprijs is in 2018 omhoog geschoten.
- Het ETS zou geen invloed hebben op de reductie van broeikasgassen.
- In 2008 zijn er teveel emissierechten uitgegeven.

3.2c. Mogelijke verklaringen resultaten

- De reden voor de hoge emissierechtenprijs is 2018 is de ingang van fase 4 van het ETS (Planbureau voor de Leefomgeving, 2019). Een onderdeel van de 4e fase is dat het aantal beschikbare emissierechten wordt verminderd terwijl er tegelijkertijd sprake was van economische groei (Planbureau voor de Leefomgeving, 2019). Doordat het aanbod kleiner werd en de vraag groter werd steeg de prijs. Naar verluidt zal de prijs in de toekomst nog meer stijgen (Planbureau voor de Leefomgeving, 2019).
- De broeikasgasreducties zijn het gevolg van ander milieubeleid dan het ETS, zoals groene certificaten (Reyes & Balanyá, 2016). Via het ETS hebben lobbyisten dus geen invloed uitgeoefend op de reductie van broeikasgassen.
- Door de economische crisis die in 2008 begon werd er minder CO2 uitgestoten. Dat kwam doordat de economische activiteit daalde (Bruyn, 2016).

4. Conclusie

4.1. Conclusie

4.1a. Deelvraag ‘stemgedrag’

Uit de resultatenanalyse blijkt dat er geen oorzakelijk verband gevonden is tussen het stemgedrag van parlementariërs van de Europese Volkspartij (EVP) en zichtbare beïnvloeding van het European Energy Forum (EEF) – een relatief grote organisatie die met name de fossiele industrie vertegenwoordigt (EEF, -). Het stemgedrag van EEF-parlementsleden wijkt niet af van het stemgedrag van parlementariërs die geen lid zijn van deze organisatie; parlementariërs die geen lid zijn van het EEF stemmen niet groener dan EEF-leden. Deze uitkomst is tegenstrijdig met de gestelde hypothese, waarin werd verwacht dat lobbyisten invloed zouden hebben op de wetgevers van de Europese Unie.

Echter is het niet mogelijk te stellen dat lidmaatschap aan het EEF geen invloed heeft op het stemgedrag van Europarlementariërs van de EVP. Er zijn namelijk veel andere factoren die van invloed zijn op het tot een standpunt komen van een parlements lid, bijvoorbeeld:

- Invloed van lobbyorganisaties die zich inzetten voor het belang van een streng klimaatbeleid, zoals Greenpeace (Gullberg, 2008).
- Het wetsvoorstel waarover gestemd wordt, heeft gevolgen voor het land dat de parlementariër vertegenwoordigt. Het parlements lid stemt hierdoor anders dan dat het op ideologische grond zou doen (Cencig & Sabani, 2017).

4.1b. Deelvraag ‘emissiehandel’

Aan de hand van de resultaten bij de deelvraag over emissiehandel is er geen duidelijk oorzakelijk verband te herkennen tussen zichtbare beïnvloeding van bedrijven uit de fossiele sector en de inrichting van het ETS. Dit komt doordat de aanwijzingen voor de lobby binnen het ETS door bepaalde cijfers en statistieken worden ontkracht. Zo lobbyen bedrijven voor meer gratis emissierechten zodat de prijs laag blijft, maar daalde de prijs na 2008 vooral door het overschot aan emissierechten door de economische crisis van 2008 (NOS, 2016) en is het met deze resultaten niet te bewijzen dat de lobby voor de lage prijs heeft gezorgd. Lobbyisten hebben geen invloed uitgeoefend op de reductie van broeikasgassen via het ETS doordat het ETS geen invloed zou hebben gehad op het reduceren van broeikasgassen (Reyes & Balanyá, 2016). Voor de andere onderdelen van de inrichting van het ETS is er met deze data ook te weinig bewijs om te kunnen concluderen dat lobbyisten hier een hele grote rol in hebben gespeeld.

4.1c. Hoofdvraag

De hoofdvraag luidde als volgt:

‘In hoeverre hebben lobbyisten uit de fossiele industrie invloed op het beleid en de besluitvorming van de Europese Unie met betrekking tot de aanpak van klimaatverandering?’

Afgaande op de resultatenanalyse, is het antwoord op deze vraag:

Lobbyisten uit de fossiele industrie hebben geen invloed op de besluitvorming en het beleid van de Europese Unie met betrekking tot de aanpak van klimaatverandering.

5. Discussie

5.1. Resultaten

5.1a. Deelvraag ‘stemgedrag’

Het resultaat dat verkregen is, is tegenstrijdig met de

hypothese. Er werd verwacht dat er wel degelijk een verschil in stemgedrag te meten zou zijn. Parlementariërs stemmen in de meeste gevallen mee met de Europese en anders de nationale partij, dus als er een verschil in stemgedrag aanwezig is, dan heeft de parlementariër daar een sterke aanleiding voor moeten hebben gehad. En daarom werd gedacht dat juist in die verschillen tussen parlementariërs de beïnvloeding van belangengroepen gemeten zou kunnen worden.

Echter was het te verwachten. De hoeveelheid data waaruit de conclusie bij deze deelvraag getrokken moest worden, was te klein. Verwacht werd dat er, ondanks het al vernomen feit dat parlementsleden zeer loyaal zijn aan hun Europese en vooral nationale partij, meer verschillen in stemgedrag gevonden zouden kunnen worden. Het gaat hier immers om het stemgedrag van tien parlementsleden. Doordat er maar achttien verschillen gevonden zijn, hangt de conclusie te sterk af van andere factoren die invloed hebben op het stemgedrag. Door dit tekort aan data had er niet eens een valide oorzakelijk verband waargenomen kunnen worden. Om dat te doen, is het noodzakelijk om echt die invloed van een bepaalde belangengroep te kunnen meten en daar is simpelweg meer data voor nodig.

Aanvullend op dat argument, is het sowieso lastig om de invloed van een bepaalde belangengroep te meten. De besluitvorming die in Brussel en Straatsburg tot stand komt, is een gevolg van een wisselwerking van enorm veel partijen. Parlementsleden worden beïnvloed door zoveel belangengroepen, alleen op het gebied van klimaat en energie al, dat het meten van de invloed van een belangengroep lastig is.

5.1b. Deelvraag ‘emissiehandel’

De resultaten van de deelvraag over emissiehandel kunnen, tegen de verwachtingen in, geen eenduidig antwoord geven over de invloed van lobbyisten in de inrichting van het ETS. Er werd verwacht dat de resultaten erop zouden wijzen dat lobbyisten veel invloed hebben gehad in de inrichting van het ETS. Dit zou verklaard kunnen worden met het feit dat er een aantal andere factoren heeft meegespeeld bij veranderingen binnen het ETS, zoals de invloed van de economische crisis van 2008 op de prijs van emissierechten waardoor het niet is aan te tonen dat lobbyisten voor de lage prijs na 2008 hebben gezorgd. Er werd verwacht dat de lage emissierechtenprijs na 2008 het gevolg was van de lobby van de grote industriële bedrijven, maar de lage prijs bleek het resultaat te zijn van de economische crisis van 2008 waardoor het moeilijk te bewijzen is of lobbyisten ook nog een rol speelden in de verlaging van de prijs van emissierechten. De prijs bleef laag doordat er in 2008 meer rechten zijn uitgegeven dan nodig was. Door de economische crisis werd er minder uitgestoten en werden er dus ook minder rechten gebruikt waardoor er veel rechten in omloop waren, daardoor bleef de prijs laag. Ook werd er verwacht dat de prijs de komende tijd laag zou blijven door de lobby, maar met de ingang van fase 4 in 2021 zal de prijs dalen doordat er minder emissierechten in omloop zullen zijn (Planbureau voor de Leefomgeving, 2019). Aan te merken is dat er niet met zekerheid gezegd kan worden dat de economische oorzaak de enige oorzaak was. Er zijn geen andere mogelijke oorzaken gevonden maar er zou bijvoorbeeld gelobbyd kunnen zijn over hoe de gevolgen van de crisis voordelig uit konden pakken voor bedrijven. Er had in het onderzoek meer gekeken kunnen worden naar andere mogelijke oorzaken dan de economische crisis. Uit de resultaten bleek wel dat

gesprekken van lobbyisten met de Europese Commissie over het 2030 Climate and Energy Framework redelijk succesvol te noemen zijn. Naar aanleiding van deze gesprekken zijn de doelstellingen verzwakt. Aan het begin van het onderzoek werd verwacht dat er aangetoond zou kunnen worden dat de lobbyisten een grote invloed zouden hebben. Er kan met de resultaten die zijn verkregen geen eenduidig antwoord worden gegeven over de invloed van de lobbyisten.

5.2. Validiteit en betrouwbaarheid

De resultaten die verkregen zijn via VoteWatch zijn betrouwbaar doordat VoteWatch hun resultaten automatisch verzameld van de eigen website van het Europese Parlement (VoteWatch Europe, sd). Ook de resultaten bij de deelvraag over de emissiehandel zijn betrouwbaar te noemen. Er is gebruik gemaakt van cijfers van bureaus als het CBS en het CE-Delft; beide zijn betrouwbare instituten. Een kanttekening bij deze resultaten is dat er te weinig rekening is gehouden met andere factoren dan de factoren die wij onderzocht hebben. Daardoor zijn een aantal aannames gedaan die wat kort door de bocht waren.

5.3. Beperkingen onderzoek

5.3a. Deelvraag ‘stemgedrag’

Een classificatie van de stemmingen had een meer valide resultaat opgeleverd. Doordat aan elk verschil in stemming een gelijke waarde werd toegekend, kon de invloed van lobbyisten niet goed beoordeeld worden. De invloed van een lobbyist is immers groter als deze invloed uitoefent op het stemgedrag bij een omvangrijk wetsvoorstel dan bij een amendement van twee zinnen lang. Die hierboven ook

Bij deze deelvraag is geprobeerd de representativiteit te waarborgen door parlementariërs van de EVP uit vijf verschillende landen te kiezen, die ook nog geografisch de verschillende gebieden van de Europese Unie representeren (Spanje vertegenwoordigt Zuid-Europa, enz.). Er werd ook geselecteerd op basis van ideologische score met betrekking tot klimaat door het CAN Europe-rapport te raadplegen, en partijen te kiezen die een vergelijkbare score kregen. Echter bleek dit onnodig, omdat parlementsleden van dezelfde partij met elkaar vergeleken werden. In het eerste onderzoeksvorstel werden parlementsleden van verschillende partijen vergeleken, en dus is deze selectie op basis van ideologie meegenomen, terwijl dat niet nodig is en juist de representativiteit vermindert. Een selectie van EVP-partijen die ideologisch van elkaar verschillen, had een beter beeld gegeven van de invloed van lobbyisten.

Het resultaat van deze deelvraag geeft niet direct weer hoe groot de invloed van lobbyisten op de besluitvorming van de EU is, omdat de EVP een van de vele Europese fracties in het Europees Parlement is. Er kan dus niet beweerd worden dat de invloed die hier (niet) gemeten is, ook representatief is voor de andere Europese fracties en dat deze invloed zodoende geldt voor de gehele besluitvorming van de EU.

Daarnaast is het niet duidelijk tot in hoeverre de invloed van het EEF generaliseerbaar is voor de invloed van de gehele fossiele industrie. Het EEF is immers een organisatie die inzet op haar neutraliteit en geen standpunten inneemt, maar naar inziens wel relevant was, omdat 1) vertegenwoordigers uit de fossiele industrie ontmoetingen hebben met parlementariërs en 2) omdat de EVP’ers sterk vertegenwoordigd waren bij het EEF. Door haar neutraliteit verschilt zij echter van andere

belangengroepen en bedrijven, omdat bekend is dat deze organisaties lobbyen met een bepaald belang (FuelsEurope, -). Het was echter noodzaak om voor het EEF te kiezen, omdat parlementariërs ontmoetingen met lobbyisten niet hoeven op te geven en openbaar te maken. Bij het EEF is daarentegen wel bekend welke parlementariërs lid zijn van de organisatie.

5.3b. Deelvraag ‘emissiehandel’

Er is bij deze deelvraag te weinig rekening gehouden met mogelijke andere factoren die de emissiehandel beïnvloed zouden kunnen hebben. Zo zouden er andere factoren dan de economische crisis kunnen zijn waardoor de emissierechtenprijs in 2008 zo laag was. Daardoor zijn de aannames niet geheel betrouwbaar te noemen. Er is te weinig gezocht naar andere factoren die invloed gehad kunnen hebben waardoor de aannames op sommige vlakken wat kort door de bocht zijn. Hetzelfde geldt voor de aanname dat het verzwakken van de klimaatdoelstellingen in het 2030 Climate and Energy Framework zijn verzwakt door de gesprekken van lobbyisten met personen binnen de Europese Commissie. Ook hier is er te weinig gezocht naar andere factoren.

5.4. Maatschappelijke implicaties

De conclusie van dit onderzoek kan botsen met de ideeën van bepaalde organisaties over de invloed van lobbyisten op het beleid van de Europese Unie met betrekking tot de aanpak van klimaatverandering. Veel milieuorganisaties wijten het volgens hen gebrek aan actie in de Europese Unie aan de invloed van de lobbyorganisaties en minder aan gebrek aan ideologische wil. Dit onderzoek laat echter een ander beeld zien, waarin ontmoetingen met vertegenwoordigers uit de fossiele industrie geen invloed hebben op de besluitvorming van politici. Hieruit zouden organisaties die zich inzetten voor actie tegen klimaatverandering kunnen afleiden dat zij zich minder moeten uitspreken tegen de invloed van lobbyisten en zich meer moeten inzetten om mensen te overtuigen van de noodzaak van maatregelen tegen klimaatverandering.

5.5. Vervolgonderzoek

Vervolgonderzoek zou beide deelvragen moeten specificeren als hoofdvraag; beide deelvragen bleken te breed en konden geen valide resultaat geven.

5.5a. Deelvraag ‘stemgedrag’

Bij de deelvraag stemgedrag zou dat dus kunnen betekenen dat er veel meer data verzameld zou moeten worden, dus van meer parlementariërs, en dat er gekeken moet worden naar meerdere belangengroepen in plaats van één. Alleen dan valt er iets zinnigs te zeggen over een oorzakelijk verband.

5.5b. Deelvraag ‘emissiehandel’

Hetzelfde geldt voor de deelvraag emissiehandel. Door het onderwerp emissiehandel al in deelvragen te verdelen en hier dieper op in gaan, zouden er meer valide resultaten gegeven kunnen worden. Interviews met betrokkenen/experts op dit onderwerp zouden dan een goed startpunt zijn. Data zou bij deze deelvraag een ondersteunende rol moeten spelen, omdat er met data alleen geen antwoord gegeven kan worden op deze deelvragen.

5.6. Sterke en zwakke punten

Het begin van het onderzoek – het kiezen van een onderwerp – verliep moeizaam. Het concept ‘lobbyen’ als onderzoeksonderwerp stond al snel vast, maar over de bestuurslaag waarop het onderzocht moest worden, werd lang

gediscussieerd. Nadat via omzwervingen als de gemeentelijke politiek en de Amerikaanse politiek de Europese Unie als bestuurslaag werd gekozen, kwam het onderzoek op gang. Het onderzoeksvoorstel was snel geschreven en beide groepsleden hadden goed voor ogen wat de bedoeling was. Na de zomervakantie, bij het uitvoeren van het onderzoeksvoorstel, werden er pas veel obstakels ondervonden. Allereerst was één database, VoteWatch, opeens tijdelijk onbereikbaar, wat de omvangrijkste deelvraag onmogelijk maakte om uit te voeren. Daarnaast was er de deelvraag ‘subsidiën’, waarover niet genoeg data gevonden kon worden. Hierdoor konden er voor deze deelvraag geen valide resultaten gevonden worden en dus werd deze deelvraag geschrapt.

Al deze obstakels hadden als gevolg dat er een achterstand opgelopen werd. Bij de tweede pitch waren er nog steeds geen resultaten en conclusie, waardoor er veel moest gebeuren op het laatst. Ook ontbrak er na de zomervakantie een planning voor de groep, waardoor er in het begin te weinig tijd aan het onderzoek was besteed. Dit is veelvuldig besproken met de studentbegeleider en uiteindelijk is de achterstand ingehaald. Daarentegen was er sprake van een goede samenwerking tussen de leden van de groep. Er was sprake van een intensieve communicatie. Er is nooit onenigheid ontstaan over de taakverdeling of over de kwaliteit van het werk van de ander. Dit hangt samen met het feit dat ieder lid één van de twee deelvragen op zich nam. Terugblikkend hadden de groepsleden elkaar meer moeten motiveren in de beginfase van het onderzoek, dus daar is ruimte voor verbetering.

6. Bibliografie

Al Jazeera. (2018, Februari 17). US: School shooting survivors demand stricter gun laws. Opgehaald van Al Jazeera: <https://www.aljazeera.com/news/2018/02/school-shooting-survivors-demand-stricter-gun-laws-180217193222713.html>

Andone, D. (2018, Maart 23). What you should know about the March for Our Lives. Opgehaald van CNN: <https://edition.cnn.com/2018/03/21/us/march-for-our-lives-explainer/index.html>

Beckett, L. (2019, Februari 11). ‘We can’t let fear consume us’: why Parkland activists won’t give up. Opgehaald van The Guardian: <https://www.theguardian.com/us-news/2019/feb/11/parkland-student-activists-march-for-our-lives-year-later-2019>

Borst, T. (2019, Mei 13). Compromissen, coalities en flexibele fractiediscipline: zo werkt het Europe Parlement. Opgehaald van NieuwsCheckers: <https://nieuwscheckers.nl/nieuwscheckers/compromissen-coalities-en-flexibele-fractiediscipline-zo-werkt-het-europarlement/>

Brulle, R. J. (2018). The climate lobby: a sectoral analysis of lobbying spending on climate change in the USA, 2000 to 2016. -: Springer Netherlands.

Bruyn, S. d. (2016, Maart 15). ‘Bedrijven verdienen miljarden aan emissierechten’. (NOS, Interviewer)

CAN Europe. (2019). DEFENDERS, DELAYERS, DINOSAURS Ranking of EU political groups & national parties on climate change. Brussels: CAN Europe.

CBS. (sd). CO2-prijs emissiehandel. Opgeroepen op November 13, 2019, van Website van het CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/groene-groei/groene-beleidsinstrumenten/indicatoren/co2-prijs-emissiehandel>

Cencig, E., & Sabani, L. (2017). Voting Behaviour in

the European Parliament and Economic Governance Reform: Does Nationality Matter? -: Springer.

Cornelisse, A. (2017, December 17). Zorgt emissiehandel wel voor minder CO2-uitstoot? . Opgehaald van NPO Radio 1: <https://www.nporadio1.nl/onderzoek/7283-zorgt-het-ets-wel-voor-minder-co2-uitstoot>

de Bruyn, S., Huigen, T., & Schep, E. (2015). Calculation of additional profits of sectors and firms from the EU ETS 2008-2015. Delft: CE Delft.

de Bruyn, S., Schep, E., Cherif, S., & Huigen, T. (2016). Calculation of additional profits of sectors and firms from the EU ETS 2008-2015. Delft. Opgeroepen op November 27, 2019

DrexelNOW. (2019, Juli 19). Report: Fossil Fuel Industries - The Goliath of Climate-Related Lobbying Efforts, Spent Billions. Opgehaald van [drexel.edu](https://drexel.edu/now/archive/2018/July/Report-Fossil-Fuel-Industries-Spent-Billions-on-Climate-Lobby/): <https://drexel.edu/now/archive/2018/July/Report-Fossil-Fuel-Industries-Spent-Billions-on-Climate-Lobby/>

EEF. (-, -). Associate Members. Opgehaald van EEF: <http://www.europeanenergyforum.eu/members/associate-members>

EEF. (2017). European Energy Forum Activity Report 2017. -: -.

Europa Nu. (-, -). Nederland over Europa. Opgehaald van [europa-nu.nl](https://www.europa-nu.nl/id/vh93qqnk8atd/nederland_over_europa): https://www.europa-nu.nl/id/vh93qqnk8atd/nederland_over_europa

EuropaNu. (2019, Mei 26). Middenpartijen verliezen meerderheid. Opgehaald van Europa Nu: https://www.europa-nu.nl/id/vkyyteb003z3/nieuws/middenpartijen_verliezen_meerderheid?ctx=vh6ukzb3nnt0

European Parliament. (2018, Januari 9). Transparency register: who is lobbying the EU? Opgehaald van [europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/eu-affairs/20180108STO91215/transparency-register-who-is-lobbying-the-eu-infographic): <http://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/eu-affairs/20180108STO91215/transparency-register-who-is-lobbying-the-eu-infographic>

Europese Commissie. (sd). EU Emissions Trading System (EU ETS). Opgeroepen op November 13, 2019, van Website van de Europese Commissie: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

Europese Commissie. (sd). Maatregelen van de EU. Opgeroepen op November 26, 2019, van Website van Europese Commissie: https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_nl

Europese Commissie. (sd). Revision for phase 4 (2021-2030). Opgeroepen op November 26, 2019, van Website van Europese Commissie: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision_en

Europese Commissie. (sd). 2030 climate & energy framework. Opgeroepen op November 30, 2019, van Website van de Europese Commissie: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

FuelsEurope. (-, -). Competitiveness. Opgehaald van FuelsEurope: <https://www.fuelseurope.eu/policy-priorities/competitiveness/>

FuelsEurope. (-, -). Mission. Opgehaald van FuelsEurope: <https://www.fuelseurope.eu/about-us/mission/>

Greenpeace. (-, -). Missie. Opgehaald van Greenpeace: <https://www.greenpeace.org/nl/over-ons/onze-missie/>

Gullberg, A. T. (2008, Maart 13). Rational lobbying and EU climate policy. Opgehaald van Springer: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10784-008-9067-5#citeas>

Joode, E. d. (2019, Juli 6). Klachten over werkdruk in

Den Haag: ‘Agenda Tweede Kamer ontploft’. Opgehaald van NOS: <https://nos.nl/artikel/2292244-klachten-over-werkdruk-in-den-haag-agenda-tweede-kamer-ontploft.html>

Keulen, P. v. (2019, - -). -. (S. Nijman, & W. Vonk, Interviewers)

Laville, S. (2019, Maart 22). Top oil firms spending millions lobbying to block climate change policies, says report . Opgehaald van [theguardian.com](https://www.theguardian.com/business/2019/mar/22/top-oil-firms-spending-millions-lobbying-to-block-climate-change-policies-says-report): <https://www.theguardian.com/business/2019/mar/22/top-oil-firms-spending-millions-lobbying-to-block-climate-change-policies-says-report>

Middel, M. (2019, Januari 31). Hogere olie- en gasprijzen stuwden jaarwinst Shell. Opgehaald van nrc.nl: <https://www.nrc.nl/nieuws/2019/01/31/hogere-olie-en-gasprijzen-stuwden-jaarwinst-shell-a3652426>

Nederlandse Emissieautoriteit. (2015, September 1). Emissiehandel uitgelegd. Opgeroepen op November 10, 2019, van Website van de Nederlandse Emissieautoriteit: <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/wat-is-emissiehandel/documenten/publicatie/2015/02/24/emissiehandel-uitgelegd>

Nederlandse Emissieautoriteit. (sd). Wat is emissiehandel? Opgeroepen op Oktober 20, 2019, van Website van de Nederlandse Emissieautoriteit: <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/wat-is-emissiehandel>

Neslen, A. (2015, April 27). Shell lobbied to undermine EU renewables targets, documents reveal . Opgehaald van [theguardian.com](https://www.theguardian.com/environment/2015/apr/27/shell-lobbied-to-undermine-eu-renewables-targets-documents-reveal): <https://www.theguardian.com/environment/2015/apr/27/shell-lobbied-to-undermine-eu-renewables-targets-documents-reveal>

NOS. (2016, Maart 15). ‘Bedrijven verdienen miljarden aan emissierechten’. Opgehaald van NOS.nl: <https://nos.nl/artikel/2092917-bedrijven-verdienden-miljarden-aan-emissierechten.html>

Planbureau voor de Leefomgeving. (2019). Klimaat- en energieverkenning 2019. Opgeroepen op November 26, 2019, van <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf>

Reyes, O., & Balanyá, B. (2016). Carbon welfare - How big polluters plan to profit from EU emissions trading reform. Corporate Europe Observatory. Opgeroepen op 11 28, 2019

Roffel, R., Sengers, L., & de Vos, E. (2017, September 6). ‘De industriële lobby is ongelooflijk sterk’. Opgehaald van De Groene Amsterdammer: <https://www.groene.nl/artikel/de-industriële-lobby-is-ongelooflijk-sterk>

RTL Z. (2019, Oktober 24). Gas- en oliereuzen geven meer dan 250 miljoen euro uit aan EU-lobby. Opgehaald van RTLZ: <https://www.rtlz.nl/beurs/bedrijven/artikel/4895651/gas-olie-lobby-giganten-shell-chevron-total-europese-unie>

Segers, F. (2019, Mei 26). Voorlopige resultaten: EVP blijft grootste in het Europees Parlement, winst voor liberalen en groenen. Opgehaald van VRT: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/05/26/eerste-prognose-evp-blijft-de-grootste-partij-in-het-europees-p/>

Smit, P. H. (2019, April 3). Shell stapte als eerste oliebedrijf uit lobby tegen klimaatbeleid. Opgehaald van Volkskrant: <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/shell-stapt-als-eerste-oliebedrijf-uit-lobby-tegen-klimaatbeleid-be4f3403/>

UNFCCC. (sd). What is the Kyoto Protocol? Opgeroepen op Oktober 20, 2019, van Website van United Nations Climate Change: https://unfccc.int/kyoto_protocol

VanDale. (-, -). Betekenis ‘lobbyen’. Opgehaald

van VanDale: <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/lobbyen#.Xd1or25FwkE>

Volkskrant. (2019, December 13). EU-leiders bereiken akkoord over klimaatneutraliteit in 2050. Opgehaald van Volkskrant: <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/eu-leiders-bereiken-akkoord-over-klimaatneutraliteit-in-2050~b117c4f7/>

Volt Nederland. (-, - -). De EU terug naar de mensen. Opgehaald van Volt: https://www.voltnederland.org/de_eu_terug_aan_de_mensen

VoteWatch Europe. (sd). Methodology. Opgehaald van Website van VoteWacth Europe: <https://www.votewatch.eu/blog/guide-to-votewatcheu/>

Parlementariër		Stemming
		53/193
EEF	András Gyürk (FIDESZ/Hongarije)	V
	Andrea Bocskor (FIDESZ/Hongarije)	V
EEF	Pilar del Castillo Vera (PartidoPopular/Spanje)	T
	Esteban González Pons (PartidoPopular/Spanje)	V
EEF	Daniel Caspary (CDU/Duitsland)	V
	Michael Gahler (CDU/Duitsland)	V
EEF	Paul Rübig (ÖVP/Oostenrijk)	V
	Heinz Becker (ÖVP/Oostenrijk)	V
EEF	Vladimir Oeroetsjev (BEOB/Bulgarije)	V
	Andrej Kovatsjev (BEOB/Bulgarije)	V
	Partijlijn EVP	V
	Partijlijn GUE-NGL	T
	Partijlijn Green/EFA	T

Figuur 1. Voorbeeld van een verschil in stemgedrag

	Aantal stemmen:
EEF'er stemt groener dan niet-EEF'er:	10
Niet-EEF'er stemt groener dan EEF'er:	8

Figuur 2. Samenvatting van verschillen in stemgedrag