

< Een neurale verklaring >
voor het ontstaan
> van de Müller-Lyer illusie <



Door:
Johannes Fahrenfort
Janneke Jehée
Maja Tal

Onder begeleiding van:
Dr. B. Bermond

Met hartelijke dank aan :

Frank Aldershoff voor de verzorging van de benodigde computersoftware, lay-out van het verslag, thee en dropjes.

Dr. J.J.Fahrenfort (Sr.) voor hulp bij het analyseren van de data.

- Inhoud -

ABSTRACT	1
INLEIDING	1
Voorspellingen	6
METHODE	7
Proefpersonen.....	7
Procedure en afhankelijke variabele	7
RESULTATEN.....	9
Exit-interview.....	9
Resultaten	9
DISCUSSIE	14
BIJLAGEN:	
1 Figuren 1 t/m 21	18
2 Statistische hypothesen	19
LITERATUUR	21

ABSTRACT

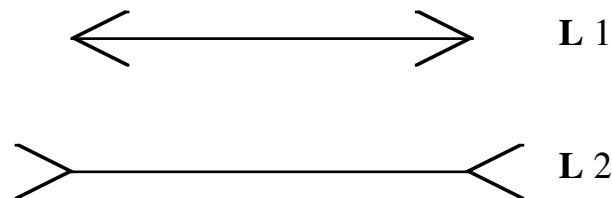
De neurale verklaring van Bermond en Van Heerden (in press, 1995) voor het ontstaan van de Müller-Lyer illusie werd getoetst. Deze stelt dat de hersenen een 'gewogen gemiddelde' over een groep neuronen die visuele informatie bevatten, berekenen. De lijdichtheid aan de uiteinden van de figuur zou van invloed zijn op dit gewogen gemiddelde. In het geval van de Müller-Lyer illusie zou dit tot het als langer waarnemen van de ene en als korter waarnemen van de andere lijn leiden. Het verhogen van de lijdichtheid aan de binnenkant van de pijlpunten zou tot een sterkere en het verhogen van de lijdichtheid aan de buitenkant tot een minder sterke illusie moeten leiden. Bovendien zouden mensen volgens de theorie van Bermond en Van Heerden het midden van een pijl niet aan kunnen geven.

Verskillende varianten van de Müller-Lyer werden aangeboden, waarbij de lijdichtheid gevarieerd werd. De 35 proefpersonen, van wie 21 vrouwen en 14 mannen, waren eerstejaars studenten psychologie. Zij kregen een computeropdracht die bestond uit het aangeven van de lengte of het midden van deze varianten. De gemiddelde scores op de figuren werden met een t-toets tegen elkaar getoetst. Verhoging van de lijdichtheid aan de buitenkant van de pijlpunten had het beoogde effect. Verhoging van de lijdichtheid aan de binnenkant van de pijlpunten leverde niet het verwachte resultaat. Hiervoor werd een verklaring gegeven. Het midden van een pijl kon niet worden aangegeven en week af in de verwachte richting.

De theorie van Bermond en Van Heerden werd goeddeels bevestigd.

INLEIDING

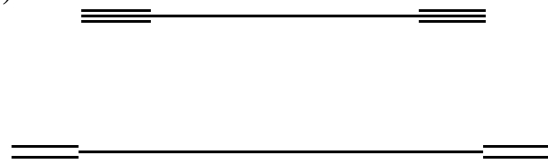
In 1889 publiceerde Müller-Lyer een optische illusie die één van de meest besproken illusies binnen de psychologie werd. De Müller-Lyer (M-L) bestaat uit twee even lange lijnstukken, één met naar buiten en één met naar binnen wijzende pijlen aan de uiteinden (zie figuur a). De kern van de illusie bestaat uit de discrepantie tussen de waargenomen lengte van het lijnstuk en de werkelijke lengte van dit lijnstuk. De lijn waarbij de pijlen naar binnen wijzen (L2) wordt als langer waargenomen dan de lijn waarbij de pijlen naar buiten wijzen (L1). In de loop der tijd zijn talloze verklaringen voor deze illusie naar voren gebracht. Geen van deze verklaringen lijkt afdoende. Het is dan ook waarschijnlijk dat meerdere mechanismen ten grondslag liggen aan deze illusie. Bermond en Van Heerden (in press, 1995) dragen een neurale verklaring aan. In dit onderzoek wordt deze getoetst. Eerst zal een aantal bestaande verklaringen besproken worden, waarna de verklaring van Bermond en Van Heerden wordt toegelicht.



< Figuur a >

De 19e eeuwse filosoof Brentano (1892) stelde dat de illusie toegeschreven moest

worden aan de overschatting van scherpe en de onderschatting van stompe hoeken. Auerbach (1894), beargumenteerde dat de illusie wordt gecreëerd doordat men zich tussen de uiteinden van de pijlen, parallelle lijnen aan de hoofdlijnen voorstelt. Omdat die parallelle lijnen bij de naar buiten wijzende pijlen korter zijn dan bij de naar binnen wijzende pijlen, zou de ene hoofdlijn optisch korter, de andere optisch langer worden waargenomen. Een soortgelijke verklaring droeg Müller-Lyer (1896) zelf aan. Volgens hem werd de door de pijlen omvatte ruimte meegenomen in de schatting van de lengte van de lijnstukken. Heymans (1895, aangehaald door Van Heerden & Draaisma, 1992) echter, maakte een variant van de illusie waarbij de pijlen vervangen werden door evenwijdige lijnstukken (zie figuur b).



< *Figuur b* >

Omdat er bij deze illusie geen sprake is van pijlen die ruimte omvatten of een bepaalde hoek maken, weerlegt deze figuur de verklaringen van Brentano, Auerbach en Müller-Lyer. De verklaring die tegenwoordig het meest gangbaar is, stoelt op het idee dat de illusie veroorzaakt wordt door een diepte-effect. De figuur waarbij de pijlen naar binnen wijzen is ook op te vatten als een driedimensionaal object, een kubus bijvoorbeeld, waarvan de rand van de toeschouwer afstaat, terwijl er bij de naar buiten wijzende pijlen sprake is van een object waarvan de rand naar de toeschouwer toe staat. Door aanwijzingen die de hersenen gebruiken om diepte te registreren, zou de ene lijn als verder weg en de andere als dichterbij gezien worden. Dit en het feit dat objecten die verder weg staan als kleiner worden waargenomen, zou de illusie veroorzaken. Ook hierdoor wordt daarentegen niet verklaard dat de illusie optreedt bij de figuur met evenwijdige lijnen (zie figuur b).

Bermond en Van Heerden (in press, 1995) stellen dat de Müller-Lyer het gevolg is van de manier waarop het oog en de visuele verwerking in elkaar zitten. Door onvolkomenheden in het oog en door verdere visuele verwerking, wordt de visuele informatie steeds minder precies met betrekking tot locatie en grootte van waargenomen objecten. Het gevolg hiervan is dat de hersenen uiteindelijk een 'gewogen gemiddelde' van de informatie die verspreid is over een groep neuronen, moeten berekenen. In het geval van de Müller-Lyer zou dit tot het als langer waarnemen van de ene en als korter waarnemen van de andere lijn leiden.

Voordat licht de lichtreceptoren (kegeltjes en staafjes) in het oog bereikt, moet het eerst door vier cellagen heen. Dit zijn achtereenvolgens ganglion, amacrine, bipolaire en

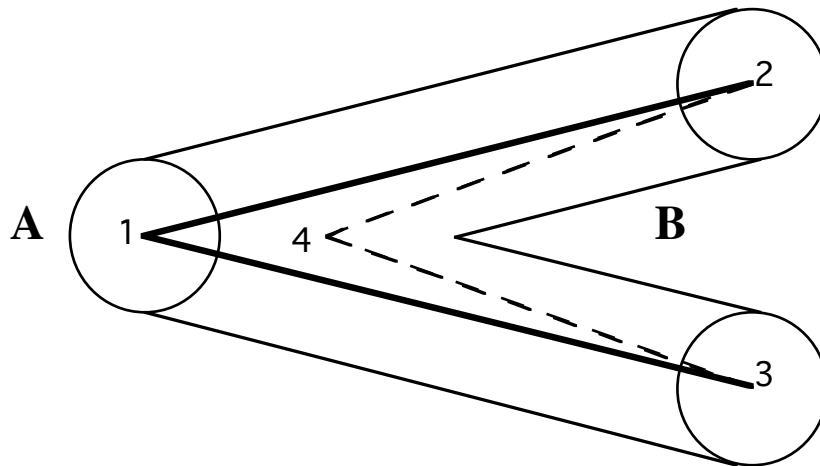
uiteindelijk horizontale cellen. Deze cellen vervullen weliswaar belangrijke functies in de visuele waarneming, maar het is onvermijdelijk dat licht door deze cellagen verstrooid wordt, alvorens het de lichtreceptoren bereikt. Afgezien daarvan wordt licht al gedeeltelijk verstrooid door cornea, iris, lens en oogvocht, hetgeen resulteert in een waas van licht over de retina waardoor de contrastgevoeligheid afneemt (Van den Berg, 1990; Van den Berg, IJspeert & De Waard, 1991, aangehaald door Bermond & Van Heerden, in press 1995). Ook is er spontane activiteit van neuronen in zowel de retina als verder in de visuele verwerking. Deze activiteit moet haast wel voor ruis in de overdracht van visuele informatie zorgen. De laatste factor die van belang is, is het ontbreken van een één op één relatie tussen receptor cellen en ganglion cellen. Al met al is het signaal dat de hersenen ter verwerking krijgen aangeboden, vaag met betrekking tot precieze vorm, locatie en grootte van stimuli.

Hoewel Neafsey (1990, aangehaald door Bermond & Van Heerden, in press 1995) liet zien dat verschillende aspecten van visuele stimuli parallel verwerkt worden, hetgeen het probleem van vormbepaling zou ondervangen, blijft het probleem van bepaling van locatie en grootte bestaan. Bermond en Van Heerden (in press, 1995) maken aannemelijk dat hiertoe 'gewogen gemiddelde cellen' operatief zijn.

Het principe van gewogen gemiddelden is reeds beschreven voor cellen die saccadische oogbewegingen reguleren (Goldberg, Eggers & Gouras, 1991, pp.674-675). Deze cellen hebben bewegingsvelden die sterk lijken op de receptieve velden van neuronen in de visuele verwerking. Het bewegingsveld van een neuron is dat gedeelte van het visuele veld waar de ogen naar toe bewegen ten gevolge van activiteit in dat neuron. De bewegingsvelden zijn groot, zodat ieder neuron vuurt voor een groot aantal verschillende oogbewegingen. Een neuron vuurt echter het hardst voor die oogbewegingen die van de gewenste snelheid en richting zijn. Iedere oogbeweging wordt dus steeds gestuurd door een hele groep geactiveerde neuronen, en is het gemiddelde van de optimale richting voor ieder neuron gewogen door de intensiteit waarmee dat neuron vuurt voorafgaand aan de beweging. Het principe van gewogen gemiddelden is hierdoor zeer resistent tegen neurale ruis en het afsterven van cellen en maakt bovendien gebruik van alle beschikbare informatie. Hoewel het ook voor reukzin en vrijwillig gestuurde beweging is beschreven, is het nog niet beschreven voor de visuele verwerking.

Omdat ook de visuele verwerking functioneert door de informatie over een groep neuronen met receptieve velden en verschillende activatieniveaus te verdelen, lijkt het systeem van gewogen gemiddelden hier zeer geschikt voor. Zeker voor grove maar snelle identificatie van locatie en grootte van stimuli zou het uitstekend dienst doen. Indien het principe van gewogen gemiddelden inderdaad werkzaam is in de visuele verwerking, zou

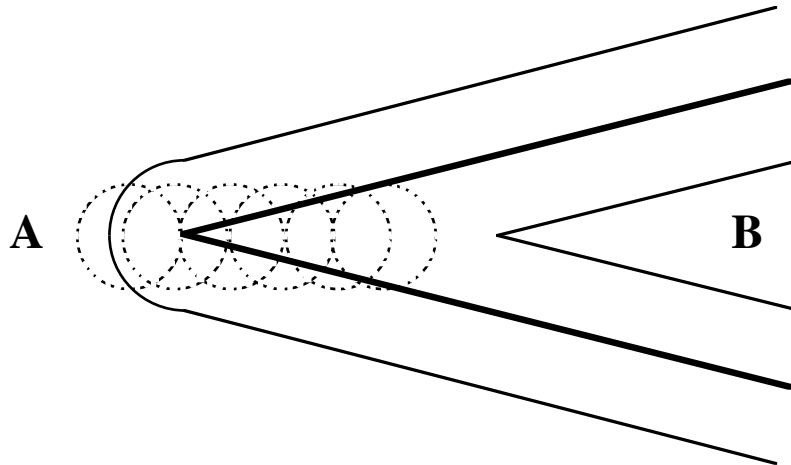
het de Müller-Lyer illusie (gedeeltelijk) kunnen verklaren. Het is onbekend waar precies in het brein neurale informatie omgezet wordt in visuele perceptie. Het is in ieder geval duidelijk dat die informatie door gebied 17 moet gaan alvorens er sprake is van bewuste visuele perceptie. Visuele informatie bereikt gebied 17 in laag 4 alwaar de receptieve velden cirkelvormig zijn (Hubel, 1988, aangehaald door Bermond & Van Heerden, in press 1995).



< Figuur c >

In figuur c is een gedeelte van de Müller-Lyer figuur te zien. Het bestaat uit twee lijnen (1,2 en 1,3) die vanuit B gezien een scherpe en vanuit A gezien een stompe hoek vormen. Op de lijnfiguur (pijl 1,2,3) liggen de excitatoire gedeeltes van de receptieve velden van neuronen in laag 4 die geactiveerd zouden worden door deze figuur. Het gebied omvat twee keer de gemiddelde straal van de cirkelvormige receptieve velden plus de hoeveelheid willekeurige lichtverstrooiing ten gevolge van onvolkomenheden in het oog. De lijnfiguur zou overal binnen dit gebied gesitueerd kunnen zijn. Maar, de kans dat de lijnfiguur in het centrum van het gebied dat door de neuronen bestreken wordt ligt, is groter, aangezien een neuron harder vuurt wanneer de meer van de oorspronkelijke lijnfiguur zich in het receptieve veld ervan bevindt.

Zoals in figuur d te zien is, wordt er een groter gedeelte bestreken door 'geactiveerde' receptieve velden aan de scherpe kant (kant B) dan aan de stompe kant van het lijnfiguur.



< *Figuur d* >

Bovendien hebben neuronen met het centrum van hun receptieve velden aan de scherpe kant van het figuur, vaker velden die beide lijnen bestrijken dan neuronen waarvan het centrum van hun receptieve velden aan de stompe zijde ligt. Het gemiddelde niveau van activatie van neuronen met het centrum van hun receptieve velden aan de scherpe zijde, is dus ook hoger dan dat van neuronen met het centrum van hun receptieve velden aan de stompe zijde. Hieruit volgt dat, de gewogen gemiddelde methode in consideratie genomen, het punt waar de twee lijnen snijden meer naar rechts wordt waargenomen (punt 4 in figuur c).

Men kan de Müller-Lyer figuur uit deze figuur samenstellen door hem twee keer te tekenen (een keer gewoon en een keer gespiegeld) en de twee te verbinden met een lijn. Indien de pijlen naar buiten wijzen wordt de lijn dan als korter en in het geval dat ze naar binnen wijzen als langer waargenomen. Het is evident dat de illusie, in ieder geval gedeeltelijk, verklaard kan worden door deze theorie.

In dit onderzoek is geprobeerd deze theorie te testen. Het moge duidelijk zijn dat, op basis van deze theorie, de mate waarin een lijnstuk als korter of langer wordt waargenomen afhankelijk is van de plaats waar neuronen gemiddeld het meest geprikkeld worden aan de uiteinden van een Müller-Lyer figuur. Die prikkeling is afhankelijk van de getekende gemiddelde dichtheid aan de uiteinden van de figuur. Daarnaast is voor de detectie van lijnen het bestaan van zogenaamde ‘simple cells’ aangetoond (Atkinson, Atkinson, Smith & Bem, 1993, p. 174). Zij worden geactiveerd wanneer een lijn zich op een bepaalde plek in hun receptieve veld bevindt. De cellen bevinden zich in de primaire visuele cortex; de lijn in de Müller-Lyer figuur wordt dus (ook) op een geheel andere plaats in de hersenen verwerkt. Deze parallele verwerking van het lijnstuk zou van invloed kunnen zijn op de illusie.

Om de theorie van Bermond en Van Heerden te testen zijn een aantal figuren ontworpen (met en zonder lijnstuk) waarin de dichtheid in een aantal pijlpunten die Müller-Lyer-achtige figuren constitueren, gevarieerd wordt. De verwachting is dat die variatie in dichtheid van invloed is op de sterkte van de illusie en figuren verwant aan de illusie.

Voorspellingen

Eerder onderzoek (Devane, 1993; Gordon, Day & Dorwood, 1993) toonde aan dat figuur 2 (zie voor de figuren 1 t/m 21 bijlage 1) meer bijdraagt aan de illusie dan figuur 1. Omdat dit strijdig is met de theorie van Bermond en Van Heerden (in press, 1995), de hogere lijndichtheid in de uiteinden van figuur 1 zou namelijk tot een sterkere illusie moeten leiden dan de minder hoge dichtheid in figuur 2, wordt dit gegeven nogmaals getoetst. Als dit effect zich weer voordoet, zou het toegeschreven kunnen worden aan de parallelle verwerking van het lijnstuk (zie boven). Om deze reden worden ook de figuren 3 en 4 (M-L zonder lijnstuk) toegevoegd. Eventuele storende invloeden van het lijnstuk zijn dan niet meer aanwezig. Figuur 3 en figuur 4 zouden evenveel aan de illusie moeten bijdragen.

Aan de binnenkant van de pijlpunten van figuur 5 en 6 is een cirkel toegevoegd. Hiermee wordt een vergroting van de dichtheid van lijnen aan die kant bewerkstelligd, waardoor de neuronen in dat gebied sterker geactiveerd worden. Dientengevolge verschuift het gewogen gemiddelde naar binnen (figuur 5) of naar buiten (figuur 6). De figuren 5 en 6 zouden een sterkere illusie teweeg moeten brengen dan de figuren 3 en 4.

Het toevoegen van een cirkel aan de andere kant van de pijlpunten bij figuur 7 en 8 leidt tot een grotere spreiding van activatie van neuronen, waardoor het gewogen gemiddelde naar buiten (figuur 7) of naar binnen (figuur 8) verschuift. De illusie zou dan ook minder sterk moeten zijn dan bij figuur 3 en 4.

Verder wordt verwacht dat mensen niet in staat zijn het midden van de pijlfiguren 9 tot en met 14 aan te geven. De uiteinden van de pijlfiguur 'verschuiven' door het principe van gewogen gemiddelden immers naar links (figuur 9, 11 en 13) of rechts (figuur 10, 12 en 14), waardoor ook het midden meer naar links of meer naar rechts wordt waargenomen. De naar links wijzende pijlfiguur (figuur 10, 12 en 14) werd steeds toegevoegd om een mogelijke storende invloed van de gangbare leesrichting op het door de proefpersoon aangegeven midden te onderzoeken.

Omdat aan de pijlfiguren 9 en 10 hetzelfde bezwaar kleeft als aan de figuren 1 en 2, worden deze ook zonder lijnstuk getest (figuur 11 en 12).

De uitleg bij de pijlfiguren 13 en 14 is analoog aan die van de figuren 5 en 6. Verwacht wordt een sterkere afwijking van het midden dan bij de pijlfiguren 11 en 12.

METHODE

Proefpersonen

De 35 proefpersonen, van wie 14 mannen en 21 vrouwen, waren eerstejaars psychologiestudenten met normaal of gecorrigeerd gezichtsvermogen. Zij deden mee aan dit onderzoek in het kader van een verplicht onderdeel van de propedeuse. Deelname geschiedde op basis van inschrijving.

Procedure en afhankelijke variabele

De proefpersonen kregen een computertaak die uit twee componenten bestond. Ten eerste het schatten van de lengte van een lijnstuk tussen twee pijlpunten (figuur 1 en 2) of afstand tussen twee pijlpunten (figuur 3 t/m 8). Ten tweede het aangeven van het midden van een lijnstuk tussen twee pijlpunten (figuur 9 en 10) of het midden van een afstand tussen twee pijlpunten (figuur 11 t/m 14).

De afstand of lengte van de figuren 1 tot en met 8 kon worden ingesteld door respectievelijk de ruimte tussen twee verticale streepjes (figuur 20) of de lengte van een lijnstuk (figuur 18) te veranderen met behulp van de cursortoetsen. De voorbeeldfiguur verscheen in alle gevallen linksboven op het scherm, de tweede (in te stellen) figuur altijd rechtsonder. Hiermee werd voorkomen dat denkbeeldige verticale lijnstukken getrokken konden worden van de uiteinden van de eerste figuur naar de uiteinden van de tweede figuur. Zo zou men feitelijk geen afstand schatten, maar twee denkbeeldige verticale lijnen trekken. Hoewel ook nu, weliswaar niet verticaal maar diagonaal, lijnen getrokken konden worden, werd het instellen van de lengte door het trekken van denkbeeldige parallelle lijnen bemoeilijkt. Verder was de beginafstand of -lengte van de in te stellen figuur bij elke opdracht anders. Zo was het aantal keer dat op de cursortoetsen gedrukt moest worden teneinde een juiste afstand in te stellen, nooit gelijk.

Bij de figuren 15, 16 en 17 gaf de proefpersoon de afstand tussen de twee pijlpunten uit de (bovenste) voorbeeldfiguur aan door de afstand tussen de twee pijlpunten uit de tweede figuur met de cursortoetsen te variëren. Ook hier verscheen de voorbeeldfiguur linksboven op het scherm en de tweede (in te stellen) figuur rechtsonder. Wederom was het aantal keren dat op de cursortoetsen gedrukt moest worden, nooit gelijk.

Het midden van een lijnstuk of de afstand tussen twee pijlpunten konden de deelnemers aangeven met een verticaal streepje dat al in de pijlfiguur geplaatst was. Ook hiervoor werden de cursortoetsen gebruikt. Het streepje verscheen nooit op dezelfde plaats

in de figuur en nooit in het midden.

Ter controle werd gevraagd het midden van de figuren 19 en 21 en de afstand van de figuren 18 en 20 in te stellen.

De afstand tussen de pijlpunten bedroeg in alle gevallen 150 pixels*. De lengte van de lijnstukjes van de pijlpunten was bij benadering 23 pixels. De hoek tussen deze twee lijnstukjes was steeds 52 graden. In de figuren 5, 6, 13, 14 en 16 bedroeg de afstand van de pijlpunt tot het midden van de cirkel 12 pixels. In de figuren 7, 8 en 17 was deze afstand 6 pixels. De cirkel had in al deze figuren een doorsnede van 7 pixels. De dikte van alle lijnen in de figuren bedroeg 1 pixel. Groter dan wel kleiner maken van een figuur resulteerde steeds in een vergroting dan wel verkleining van die figuur met 1 pixel aan beide uiteinden. Het streepje waarmee het midden kon worden aangegeven was 2 pixels breed en 21 pixels hoog. Het verschoof bij het instellen steeds met stappen van 1 pixel. De score was de afwijking van de werkelijke lengte of het werkelijke midden in pixels. Bij het aangeven van de lengte duidde een positieve score op overschatting en een negatieve score op onderschatting van de figuur. Bij het aangeven van het midden duidde een positieve score op een afwijking naar rechts en een negatieve score op een afwijking naar links van het midden. De scores lagen tussen -99 en 99 pixels.

Om de procedure te oefenen, werden eerst vier oefenopgaven doorgenomen. Daarna kregen de proefpersonen alle figuren driemaal aselekt aangeboden. Dit betekent dat een figuur twee of zelfs driemaal achter elkaar kon verschijnen. Gevraagd werd hier geen acht op te slaan en de figuur iedere keer opnieuw in te stellen. Expliciet werd gewezen op het feit dat het ging om de afstand tussen de twee *pijlpunten*. Halverwege de taak vulden de proefpersonen een vragenlijst in. Gevraagd werd onder andere naar hobbies, leeftijd en vorige opleidingen. Doel van deze vragenlijst was het opvullen van een pauze; de antwoorden op de vragen werden niet aan verder onderzoek onderworpen.

Een exit-interview bestond uit de volgende vragen:

1. Heb je serieus aan dit onderzoek meegewerkt?
2. Waar denk je dat dit onderzoek over ging?

Alleen als de proefpersoon aangaf dat het om een illusie ging:

3. Heb je je antwoorden bijgesteld (iets groter/kleiner gemaakt) omdat je wist dat wat je zag een illusie was en niet klopte met de werkelijkheid?

Achteraf werden de proefpersonen op de hoogte gesteld van de bedoeling van het

)* Een pixel is de kleinste eenheid op een computermonitor. Een afstand van 150 pixels kwam op de gebruikte monitor overeen met 5,29 cm.

onderzoek. De totale taak nam ongeveer twintig minuten in beslag.

Getoetst werd met een ‘t-test pairs’. Voor de hypothesetoetsende testen (tabel 2 t/m 5, zie onder ‘resultaten’) werd een Bonferroni-significantieniveau van $.05/18=.0028$ aangehouden. Het overschrijdingsniveau bij de overige testen was $.05$.

Zie bijlage 2 voor de statistische hypothesen.

RESULTATEN

Exit-interview




Uit het exit-interview bleek dat alle 35 proefpersonen serieus aan het onderzoek hadden meegewerkt (vraag 1). Verder gaven 3 proefpersonen aan dat ze hun antwoorden hadden bijgesteld of aangepast omdat ze wisten dat het om een illusie ging (vraag 3). Omdat het om zo’n klein aantal proefpersonen ging, is besloten toch de resultaten van alle 35 proefpersonen te analyseren. Gezien de bereikte significantieniveaus lijkt het niet aannemelijk dat de resultaten van deze 3 proefpersonen een storende invloed hebben gehad.

Resultaten

Alle figuren werden 3 maal aangeboden aan de proefpersonen. Dit betekent dat er van de 17 manipulatiefiguren en de 4 controlefiguren steeds 3 gemiddelden zijn. Per figuur is vervolgens het uiteindelijke gemiddelde over deze 3 gemiddelden berekend.

Om te bepalen of er bij de manipulatiefiguren 1 tot en met 8 een illusie is opgetreden, zijn al deze figuren getoetst tegen hun controlefiguren. Bij alle figuren trad een significante afwijking in de verwachte richting op, behalve bij figuur 7. Bij deze figuur was wel sprake van een trend in de verwachte richting. In tabel 1 staan de resultaten van deze figuren vermeld.)*

tabel 1: toetsing figuren 1 t/m 8 tegen 18 en 20 (N = 35)

Variabele		Gemiddelde	SD	t-waarde	df	p
FIG1		-3.6381	4.561	-8.70	34	.000
FIG18		1.8952	2.432			
FIG2		8.0571	3.869	10.57	34	.000
FIG18		1.8952	2.432			

)* De getekende figuurtjes in de tabellen zijn alleen ter verduidelijking toegevoegd. Qua lengte, aangegeven midden en grootte komen zij niet overeen met de werkelijk aangeboden figuren of scores.

FIG3	<	>	-4.7810	5.151	-5.87	34	.000
FIG20			-0.0286	3.239			
FIG4	>	<	4.8381	5.846	5.96	34	.000
FIG20			-0.0286	3.239			
FIG5	↖	↗	-4.0762	4.872	-5.08	34	.000
FIG20			-0.0286	3.239			
FIG6	↗	↖	4.7714	5.411	5.84	34	.000
FIG20			-0.0286	3.239			
FIG7	◦<	>◦	-1.6476	5.160	-1.95	34	.060
FIG20			-0.0286	3.239			
FIG8	>◦	◦<	2.2667	5.275	3.07	34	.004
FIG20			-0.0286	3.239			

De volgende variaties op de Müller-Lyer zijn tegen elkaar getoetst: de figuren 1 & 2, de figuren 3 & 4, de figuren 5 & 6, en de figuren 7 & 8. Dit om te bepalen of de figuren met naar binnen wijzende pijlen een even sterke bijdrage leverden aan de illusie als de figuren met naar buiten wijzende pijlen. In tabel 2 staan achtereenvolgens de gemiddelden, de standaardafwijkingen, de t-waarden, het aantal vrijheidsgraden en de overschrijdingskansen.)*

tabel 2 toetsing figuren 1 & 2, 3 & 4, 5 & 6 en 7 & 8 (N = 35)

























Variabele		Gemiddelde	SD	t-waarde	df	p	
FIG1	↔	3.6381 □	4.561	-3.47	34	.001	
FIG2	>—<	8.0571	3.869				
FIG3	<	>	4.7810 □	5.151	-0.04	34	.970
FIG4	>	<	4.8381	5.846			
FIG5	↖	↗	4.0762 □	4.872	-0.48	34	.631
FIG6	↗	↖	4.7714	5.411			
FIG7	◦<	>◦	1.6476 □	5.160	-0.41	34	.685
FIG8	>◦	◦<	2.2667	5.275			

)* Als twee figuren tegen elkaar getoetst zijn waarvan de ene werd overschat en dus een positief gemiddelde heeft en de andere werd onderschat en dus een negatief gemiddelde heeft, is hiervoor gecorrigeerd door het negatieve getal ook positief te maken. Deze omgescoorde gemiddelden zijn gemarkeerd met een □.

Uit deze resultaten blijkt dat het verschil tussen figuur 1 en figuur 2 significant was op Bonferroni-niveau. De overschatting van de lengte van figuur 2 was significant sterker dan de onderschatting van de lengte van figuur 1. Dit betekent dat figuur 2 een sterkere bijdrage heeft geleverd aan de illusie dan figuur 1. Tussen de andere drie paren, de figuren 3 & 4, 5 & 6 en 7 & 8, zijn geen significante verschillen gevonden. Dit houdt in dat beide figuren steeds een even grote bijdrage hebben geleverd aan de illusie.

Een volgende reeks toetsingen is gedaan om de invloed van de figuren met cirkels op de illusie te bepalen in vergelijking met de figuren zonder cirkels. Hierbij was er een onderscheid tussen figuren met cirkels aan de binnenkant van de pijlpunten (figuur 5, 6 en 16) en figuren met cirkels aan de buitenkant van de pijlpunten (figuur 7, 8 en 17). De figuren met cirkels zijn steeds getoetst tegen dezelfde figuren zonder cirkels (figuur 3, 4 en 15). In tabel 3 staan achtereenvolgens de gemiddelden, de standaardafwijkingen, de t-waarden, het aantal vrijheidsgraden en de overschrijdingskansen.

tabel 3: toetsing figuren 5 & 3, 6 & 4, 16 & 15, 7 & 3, 8 & 4 en 17 & 15 (N=35)

Variabele		Gemiddelde	SD	t-waarde	df	p
FIG5	 	-4.0762	4.872	1.66	34	.106
FIG3	 	-4.7810	5.151			
FIG6	 	4.7714	5.411	0.14	34	.889
FIG4	 	4.8381	5.846			
FIG16	 	-7.7619	5.893	-0.98	34	.335
FIG15	 	-8.4667	5.209			
FIG7	 	-1.6476	5.160	5.12	34	.000
FIG3	 	-4.7810	5.151			
FIG8	 	2.2667	5.275	4.25	34	.000
FIG4	 	4.8381	5.846			
FIG17	 	-1.5429	6.089	-8.00	34	.000
FIG15	 	-8.4667	5.209			

De verwachting was dat bij de figuren met de cirkels aan de binnenkant van de pijlpunten de illusie in dezelfde richting op zou treden als bij de figuren zonder cirkels, maar in sterkere mate. Uit de resultaten blijkt echter geen significant verschil tussen figuur 5 en

figuur 3: figuur 5 werd niet sterker onderschat dan figuur 3. Bij figuur 6 moest een grotere overschatting van de lengte plaatsvinden dan bij figuur 4. Ook hier komt uit de resultaten geen significant verschil tussen de beide figuren naar voren. Van figuur 16 werd verwacht dat de illusie sterker zou optreden dan bij figuur 15. Ook tussen deze figuren werd geen significant verschil gevonden. De hypothese dat de figuren met de cirkels aan de binnenkant van de pijlpunten een sterkere illusie zouden opwekken dan dezelfde figuren zonder cirkels, wordt niet bevestigd door de resultaten.

De verwachting bij de figuren met de cirkels aan de buitenkant van de pijlpunten was dat de illusie in dezelfde richting op zou treden als bij de figuren zonder cirkels, maar in mindere mate. Het gemiddelde van figuur 7 verschilde significant van dat van figuur 3: de onderschatting van de lengte bij figuur 7 was, zoals verwacht, kleiner dan bij figuur 3. Ook bij figuur 8 wordt de voorspelling bevestigd: de overschatting van de lengte van figuur 8 was significant kleiner dan die van figuur 3. Tenslotte werden ook de figuren 17 en 15 tegen elkaar getoetst. Bij figuur 17 zou de illusie minder sterk moeten zijn dan bij figuur 15. Dit wordt bevestigd door de resultaten: het verschil tussen beide figuren was significant. De hypothese dat de figuren met de cirkels aan de buitenkant van de pijlpunten een minder sterke illusie zouden opwekken dan dezelfde figuren zonder cirkels, wordt wel door de resultaten ondersteund.

Van de pijlfiguren 9 tot en met 14 moest het midden worden aangegeven. Bij de pijlfiguren 9, 11 en 13 werd een afwijking naar links van het midden verwacht, terwijl bij de pijlfiguren 10, 12 en 14 een afwijking naar rechts van het midden werd verwacht. Pijlfiguur 9 en 10 zijn getoetst tegen de controlefiguur 19 en de pijlfiguren 11 tot en met 14 tegen de controlefiguur 21. In tabel 4 staan achtereenvolgens de gemiddelden, de standaardafwijkingen, de t-waarden, het aantal vrijheidsgraden en de overschrijdingskansen.

tabel 4:toetsing figuur 9 t/m 14 (N=35)






Variabele		Gemiddelde	SD	t-waarde	df	p
FIG9		-4.2857	2.188	-9.76	34	.000
FIG19		0.7714	2.103			
FIG10		4.9714	2.630	9.39	34	.000
FIG19		0.7714	2.103			
FIG11		-4.9714	2.807	-14.28	34	.000

FIG21		1.1333	1.635			
FIG12	< <	5.3524	3.198	7.88	34	.000
FIG21		1.1333	1.635			
FIG13	▷ ▷	-4.1333	2.762	-12.17	34	.000
FIG21		1.1333	1.635			
FIG14	◁ ◁	4.5429	3.418	5.75	34	.000
FIG21		1.1333	1.635			

Uit deze resultaten blijkt inderdaad een significant verschil op Bonferroni-significantieniveau tussen alle manipulatiefiguren en bijbehorende controlefiguren. De richting van de afwijking komt overeen met die in de voorspellingen.

Ook bij de figuren met de pijlen naar één kant wijzend, zonder lijnstuk en met cirkels is gekeken naar de invloed van deze cirkels op het aangeven van het midden in vergelijking met dezelfde figuren zonder cirkels. Bij pijlfiguur 13 werd een grotere afwijking naar links verwacht dan bij pijlfiguur 11. Verder werd bij pijlfiguur 14 een grotere afwijking naar rechts verwacht dan bij pijlfiguur 12. In tabel 5 staan achtereenvolgens de gemiddelden, de standaardafwijkingen, de t-waarden, het aantal vrijheidsgraden en de overschrijdingskansen.

tabel 5: toetsing figuur 11 & 13 en 12 & 14 (N=35)







Variabele		Gemiddelde	SD	t-waarde	df	p
FIG11	> >	-4.9714	2.807	-2.11	34	.042
FIG13	▷ ▷	-4.1333	2.762			
FIG12	< <	5.3524	3.198	2.66	34	.012
FIG14	◁ ◁	4.5429	3.418			

Uit deze resultaten blijkt dat de gemiddelden van pijlfiguur 11 en pijlfiguur 13 volgens het Bonferroni-significantieniveau niet significant van elkaar verschilden. Voor pijlfiguur 12 en 14 geldt hetzelfde. Ook hier was het verschil tussen beide figuren niet significant. De hypothese dat de pijlfiguren met cirkels een sterkere afwijking van het midden zouden vertonen dan de pijlfiguren zonder cirkels, wordt niet bevestigd door de resultaten.

Om te bepalen of de gangbare leesrichting van invloed was op het aangeven van het

midden van de pijlfiguren, werden al deze figuren zowel met de pijlen naar rechts wijzend (figuur 9, 11 en 13), als met de pijlen naar links wijzend (figuur 10, 12 en 14) aangeboden. De volgende pijlfiguren zijn tegen elkaar getoetst om te controleren voor deze eventuele storende invloed: figuur 9 & 10, figuur 11 & 12 en figuur 13 & 14. In tabel 6 staan achtereenvolgens de gemiddelden, de standaardafwijkingen, de t-waarden, het aantal vrijheidsgraden en de overschrijdingskansen.)*

tabel 6: toetsing figuur 9 & 10, 11 & 12 en 13 & 14 (N=35)

Variabele		Gemiddelde	SD	t-waarde	df	p
FIG9		4.2857 □	2.188	-1.32	34	.197
FIG10		4.9714	2.630			
FIG11		4.9714 □	2.807	-0.64	34	.528
FIG12		5.3524	3.198			
FIG13		4.1333 □	2.762	-0.65	34	.519
FIG14		4.5429	3.418			

Uit de resultaten blijkt voor al deze pijlfiguren geen significant verschil. Een storende invloed van de gangbare leesrichting kan dus worden uitgesloten.

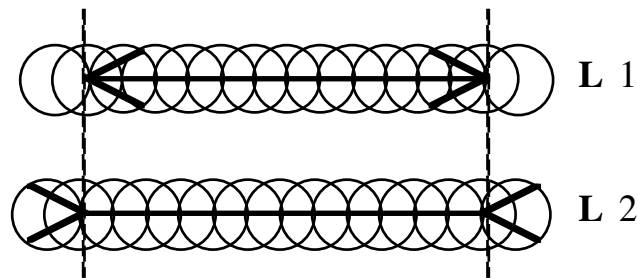
DISCUSSIE

Bij alle figuren is de illusie in de verwachte richting opgetreden, behalve bij figuur 7 die het significantieniveau net niet haalde. Verder leverde figuur 2 (de originele M-L met naar binnen wijzende pijlen) een sterkere bijdrage aan de illusie dan figuur 1 (de originele M-L met naar buiten wijzende pijlen). Figuur 3 & 4 (M-L zonder lijnstuk), 5 & 6 (M-L zonder lijnstuk, met cirkels aan de binnenkant van de pijlpunten) en 7 & 8 (M-L zonder lijnstuk, met cirkels aan de buitenkant van de pijlpunten) leverden elk een even grote bijdrage aan de illusie. Het toevoegen van een cirkel aan de binnenkant van de pijlpunten van de figuren 5, 6 en 16 leidde niet tot een sterkere illusie. Wel werd de illusie minder sterk wanneer de cirkels aan de andere kant van de pijlpunten geplaatst waren (figuur 7, 8 en 17).

)* Als twee figuren tegen elkaar getoetst zijn waarvan de ene een afwijking rechts van het midden heeft en dus een positief gemiddelde en de andere een afwijking links van het midden en dus een negatief gemiddelde, is hiervoor gecorrigeerd door het negatieve getal ook positief te maken. Deze omgescoorde gemiddelden zijn gemarkeerd met een □.

De proefpersonen waren niet in staat het midden van de pijlfiguren 9 tot en met 14 aan te geven. De afwijking van het midden was steeds in de voorspelde richting. Bij pijlfiguur 13 en 14 (zonder lijnstuk, met cirkels in de pijlpunten) werd geen sterkere afwijking van het midden gevonden dan bij pijlfiguur 11 en 12 (zonder lijnstuk, zonder cirkels).

Het feit dat de originele M-L met naar binnen wijzende pijlen sterker bijdraagt aan de illusie dan de M-L met naar buiten wijzende pijlen strookt in eerste instantie niet met de theorie van Bermond en Van Heerden (in press, 1995). Indien het mechanisme van gewogen gemiddelden werkzaam is, zou de M-L met naar buiten wijzende pijlen immers meer aan de illusie moeten bijdragen dan de M-L met naar binnen wijzende pijlen. Een verklaring voor deze ogenschijnlijke ongerijmdheid kan gevonden worden in de aanwezigheid van het lijnstuk tussen de pijlpunten in de originele M-L. Deze wordt namelijk, parallel aan de door Bermond en Van Heerden voorgestelde verwerkingsmethode, verwerkt met behulp van zogenaamde 'simple cells' (Atkinson et al., 1993, p.174). Deze simple cells reageren op de aanwezigheid van een lijnstuk van bepaalde lengte op een bepaalde plaats in hun receptieve veld. Teneinde die plaats en lengte te bepalen projecteert een aantal neuronon met kleinere receptieve velden steeds op een 'simple cell'. Wanneer deze neuronon hard genoeg vuren (omdat er een lijnstuk door hun receptieve veld loopt), reageert de 'simple cell'. In figuur e zijn Müller-Lyer figuren (L1 en L2) getekend, met daar overheen de receptieve velden van de neuronon die op een 'simple cell' projecteren.



< figuur e >

In deze figuur is te zien dat er bij L2 receptieve velden aan de uiteinden zitten die wel activatie van de bijbehorende neuronon veroorzaken. Echter niet omdat het zich tussen de pijlpunten bevindende *lijnstuk* er doorheen loopt maar omdat er activatie door de *pijlstukken* is. Derhalve neemt de bij deze neuronon behorende 'simple cell' een langer lijnstuk waar dan de 'simple cell' die reageert op L1. Bij L1 is immers géén sprake van neuronon aan de uiteinden die geactiveerd worden ten gevolge van iets anders dan het lijnstuk zelf. De parallelle verwerking met 'simple cells' zou er dus verantwoordelijk voor

kunnen zijn dat L2 meer als langer wordt waargenomen, dan L1 als korter wordt waargenomen. Hieruit vloeit voort dat beide figuren even veel aan de illusie bij zouden moeten dragen indien de Müller-Lyer zonder lijnstuk getest wordt en van parallelle verwerking met 'simple cells' dus geen sprake is. Uit de resultaten blijkt dat dit inderdaad het geval is.

Het toevoegen van een cirkel aan de binnenkant van de pijlpunten leidde in alle gevallen niet tot een sterkere illusie bij de illusiefiguren of tot een significant grotere afwijking van het midden bij de pijlfiguren. Cirkels aan de buitenkant van de pijlpunten hadden wél een vermindering van de illusie tot gevolg.

Een verklaring voor deze schijnbare tegenstrijdigheid kan gevonden worden in de afstand van de pijlpunt tot het midden van de cirkel. Wanneer de figuren nader beschouwd worden, valt op dat deze afstand groter is bij de pijlpunten met cirkels aan de binnenkant. Misschien viel de cirkel in dit geval buiten het receptieve veld van de neuronen die de illusie veroorzaken, waardoor het gewogen gemiddelde niet verschoof. Het uitblijven van een significant resultaat is dan het gevolg. Wellicht worden eenduidiger resultaten verkregen als geen cirkels maar (bijvoorbeeld) driehoekjes, die dicht bij de punt geplaatst kunnen worden, in de pijlpunten worden gezet. De illusie werd wel minder sterk wanneer een cirkel aan de andere kant van de pijlpunten geplaatst werd. Blijkbaar bestreken de cirkels hier de receptieve velden van de neuronen wel.

Aangevoerd kan worden dat het minder sterk worden van de illusie bij figuren met cirkels aan de buitenkant van de pijlpunten, te wijten is aan de veranderde ingenomen ruimte van de totale figuur. Dit zou inderdaad opgaan voor de figuur met cirkels en naar buiten wijzende pijlen: de totale ruimte die deze figuur inneemt is groter geworden, waardoor de illusie gedeeltelijk teniet gedaan zou kunnen worden. De totale ingenomen ruimte van de andere figuur (met naar binnen wijzende pijlen) blijft echter, ondanks het toevoegen van cirkels, even groot. Toch dragen beide figuren even veel bij aan de illusie. Bovendien werd de proefpersonen expliciet gevraagd de afstand te schatten van pijlpunt tot pijlpunt. Een (verkeerde) schatting van cirkel tot cirkel lijkt dan niet aannemelijk. Het zwakker worden van de illusie wanneer een cirkel aan de buitenkant van de pijlpunten geplaatst wordt, ondersteunt derhalve de theorie van Bermond en Van Heerden (in press, 1995).

Uit de resultaten blijkt dat bij de pijlfiguren met de pijlen naar rechts wijzend het midden teveel naar links werd aangegeven. Bij de pijlfiguren met de pijlen naar links wijzend was de afwijking naar rechts. Dit is in overeenstemming met de theorie van Bermond en Van Heerden (in press, 1995). Immers, bij de pijlfiguren met de pijlen naar rechts wijzend verschuift het gewogen gemiddelde naar links door de hogere lijndichtheid

aan de binnenkant van de pijlpunten, waardoor ook het midden naar links ‘verschuift’. Bij de pijlfiguren met de pijlen naar links wijzend, verschuift het gewogen gemiddelde naar rechts.

Een alternatieve verklaring zou kunnen liggen in het feit dat de grootte van de hele figuur wordt meegenomen in de bepaling van het midden, in plaats van alleen het gebied tussen de pijlpunten. In het geval van de pijlfiguur met naar rechts wijzende pijlen nemen de lijnen van de linkerpijl een extra ruimte in links van het gebied tussen de pijlpunten waardoor het midden ook meer naar links ‘verschuift’. Voor de pijlfiguren met pijlen naar links wijzend geldt hetzelfde maar dan aan de rechterkant. Het lijkt echter niet waarschijnlijk dat deze alternatieve verklaring juist is omdat dit bij de M-L zonder lijnstuk dan ook zou moeten optreden. De totale figuur met naar binnen wijzende pijlen is namelijk groter dan die met naar buiten wijzende pijlen. Dit houdt in dat volgens deze verklaring alleen de figuur met naar binnen wijzende pijlen de illusie teweeg zou moeten brengen. Dit is echter niet het geval: ook de figuur met de naar buiten wijzende pijlen draagt bij aan de illusie. Het is derhalve niet aannemelijk dat dit mechanisme bij de pijlfiguren wel werkzaam is.

De meeste hypothesen werden bevestigd. Alleen het toevoegen van cirkels aan de binnenkant van de pijlpunten had niet het voorspelde effect. Hiervoor werd een mogelijke verklaring gegeven. De theorie van Bermond en Van Heerden lijkt daarom een goede kandidaat in de strijd om de verklaring van het ontstaan van de Müller-Lyer illusie.

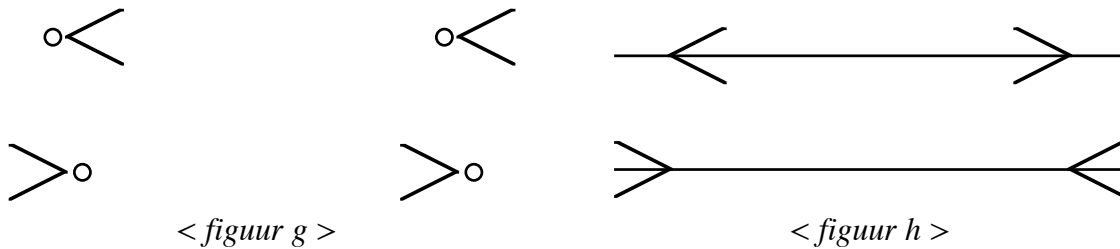
Hoewel de proefpersonen psychologiestudenten waren, die bekend zijn met het bestaan van de illusie, lijkt het niet aannemelijk dat dit invloed heeft gehad op de resultaten. Het optreden van de illusie is immers terug te voeren op een fysiologisch proces. Het is dan ook waarschijnlijk dat dezelfde resultaten verkregen worden met een andere steekproef.

Vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op het op andere wijze vergroten van de gemiddelde dichtheid in de pijlpunten, door bijvoorbeeld het toevoegen van driehoekjes (figuur f). Zoals eerder werd vermeld, kunnen deze dichter bij de pijlpunten worden geplaatst: de illusie zou nu wel sterker moeten worden.



< figuur f >

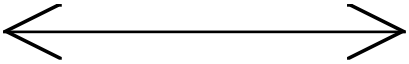
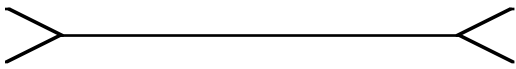






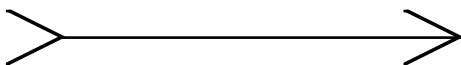
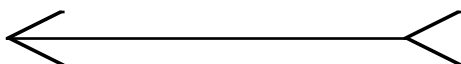




Verder zouden een volgende keer ook cirkels aan de buitenkant van de *pijl*figuren toegevoegd kunnen worden (figuur g); dit zou tot een minder sterke afwijking van het midden moeten leiden. Een andere manier om de storende invloed van het lijnstuk in de originele Müller-Lyer te omzeilen, is het doortrekken van het lijnstuk (figuur h). De dichtheid in de pijlpunten ten gevolge van het lijnstuk is nu in beide figuren even groot. Ook de invloed van de ‘simple cells’ is in beide figuren even groot. Dientengevolge zullen beide figuren een even grote bijdrage aan de illusie leveren.







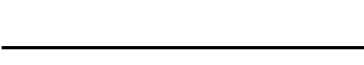


Of de theorie van Bermond en Van Heerden ook met bovenstaande suggesties stand houdt, zal toekomstig onderzoek moeten uitwijzen.

BIJLAGEN:

1. Figuren 1 t/m 21

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	

2. Statistische hypothesen

I=opgetreden illusie

M=het door de proefpersonen aangegeven midden

1=bij figuur 1

2=bij figuur 2

etc.

1. $H_0: \mu I1 = \mu I18$
 $H_A: \mu I1 < \mu I18$

2. $H_0: \mu I2 = \mu I18$
 $H_A: \mu I2 > \mu I18$

3. $H_0: \mu I3 = \mu I20$
 $H_A: \mu I3 < \mu I20$

4. $H_0: \mu I4 = \mu I20$
 $H_A: \mu I4 > \mu I20$

5. $H_0: \mu I5 = \mu I20$
 $H_A: \mu I5 < \mu I20$

6. $H_0: \mu I6 = \mu I20$
 $H_A: \mu I6 > \mu I20$

7. $H_0: \mu I7 = \mu I20$
 $H_A: \mu I7 < \mu I20$

8. $H_0: \mu I8 = \mu I20$
 $H_A: \mu I8 > \mu I20$

9. $H_0: \mu I2 = \mu I1$
 $H_A: \mu I2 < \mu I1$

10. $H_0: \mu I3 \neq \mu I4$
 $H_A: \mu I3 = \mu I4$

11. $H_0: \mu I5 \neq \mu I6$
 $H_A: \mu I5 = \mu I6$

12. $H_0: \mu I7 \neq \mu I8$
 $H_A: \mu I7 = \mu I8$

13.a $H_0: \mu I5 = \mu I3$
 $H_A: \mu I5 > \mu I3$

b $H_0: \mu I6 = \mu I4$
 $H_A: \mu I6 > \mu I4$

c $H_0: \mu I16 = \mu I15$
 $H_A: \mu I16 > \mu I15$

14.a $H_0: \mu I7 = \mu I3$
 $H_A: \mu I7 < \mu I3$

b $H_0: \mu I8 = \mu I4$
 $H_A: \mu I8 < \mu I4$

c $H_0: \mu I17 = \mu I15$
 $H_A: \mu I17 < \mu I15$

15. $H_0: \mu M9 = \mu M19$
 $H_A: \mu M9 < \mu M19$

16. $H_0: \mu_{M10} = \mu_{M19}$
 $H_A: \mu_{M10} > \mu_{M19}$

17. $H_0: \mu_{M11} = \mu_{M21}$
 $H_A: \mu_{M11} < \mu_{M21}$

18. $H_0: \mu_{M12} = \mu_{M21}$
 $H_A: \mu_{M12} > \mu_{M21}$

19. $H_0: \mu_{M13} = \mu_{M21}$
 $H_A: \mu_{M13} < \mu_{M21}$

20. $H_0: \mu_{M14} = \mu_{M21}$
 $H_A: \mu_{M14} > \mu_{M21}$

21. $H_0: \mu_{M13} = \mu_{M11}$
 $H_A: \mu_{M13} < \mu_{M11}$

22. $H_0: \mu_{M14} = \mu_{M12}$
 $H_A: \mu_{M14} > \mu_{M12}$

LITERATUUR

- Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Smith, E. E. & Bem, D. J. (1993). Introduction to Psychology (11th ed.). San Diego: Harcourt Brace Jovanovich.
- Auerbach, F. (1894). Erklärung der Brentanoschen optischen Täuschung. Zeitschrift für Psychologie, III, 498-504.
- Bermond, B., Heerden, J. van, (in press, 1995). The Müller-Lyer Illusion Explained and Its Theoretical Importance Reconsidered. Biology and Philosophy
- Brentano, F. (1892). Über ein optisches Paradoxon. Zeitschrift für Psychologie, III, 349-358.
- Devane, J. R. (1993). The Method of Reproduction and Mueller-Lyer Changes. Perceptual and Motor Skills, 76, 43-46.
- Goldberg, M. E., Eggers, H. N. & Gouras, P. (1991). The Ocular Motor System. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (Eds.), Principals of Neural Science (3rd ed.) (pp.660-680). New York, Amsterdam: Elsevier.
- Gordon, I. E., Day, R. H. & Dorwood, F. (1993). A Müller-Lyer-type Illusion of Egocentric Distance with 3D Convex and Concave Objects. Scandinavian Journal of Psychology, 34, 97-106.
- Heerden, J. van & Draaisma, D. (1992). De Müller-Lyer illusie. In D.Draaisma (Ed.), Een laboratorium voor de ziel (pp.40-52). Groningen: Historische uitgeverij.
- Müller-Lyer, F. C. (1896). Zur Lehre von den optischen Täuschungen. Über Konstrast und Konfluxion. Zeitschrift für Psychologie, IX, 1-16.