

**Wordt visuele input, die overeenkomt met de
items in het passieve visuele werkgeheugen,
geprioriteerd voor toegang tot het visuele
bewustzijn?**

Naam: Youri Wessel Robert Vroege

Student nummer: 5744652

Begeleiders: dr. Chris Paffen & prof. dr. Stefan van der Stigchel

Tweede beoordelaar: dr. Rianne van Lambalgen

Datum: 25-06-2019

ECTS: 15

Inhoudsopgave

| | |
|-----------------------------|-----------|
| <u>Abstract</u> | <u>2</u> |
| <u>Inleiding</u> | <u>3</u> |
| <u>Methode</u> | <u>8</u> |
| <i>Participanten</i> | <u>8</u> |
| <i>Apparaten en stimuli</i> | <u>9</u> |
| <i>Procedure</i> | <u>10</u> |
| <i>Data analyse</i> | <u>14</u> |
| <u>Resultaten</u> | <u>15</u> |
| <u>Discussie</u> | <u>20</u> |
| <u>Literatuurlijst</u> | <u>26</u> |

Abstract

Het visuele werkgeheugen zorgt voor een selectieproces van inkomende informatie voordat deze bewust wordt ervaren. Hierbij vallen er twee toestanden te onderscheiden: het actieve en het passieve visuele werkgeheugen. Informatie dat wordt opgeslagen in het actieve visuele werkgeheugen verkrijgt een andere status dan informatie dat wordt opgeslagen in het passieve werkgeheugen. Eerdere onderzoeken hebben uitgewezen dat het actieve visuele werkgeheugen een grote rol speelt bij het selectieproces. Visuele input die overeenkomt met de content van het actieve visuele werkgeheugen wordt geprioriteerd voor toegang tot het visuele bewustzijn. In dit onderzoek werd gekeken in hoeverre het passieve visuele werkgeheugen een invloed heeft op de prioritering van inkomende visuele stimuli. Dit werd gedaan door middel van een geheugentaak te combineren met een b-CFS taak. Tijdens de b-CFS taak werden visuele stimuli aangeboden die voor de geheugentaak actief, passief of niet onthouden moesten worden. Met behulp van de b-CFS taak is gekeken of de verschillende stimuli sneller of langzamer doorbraken tijdens interoculaire suppressie. De verkregen data suggereert dat er geen verschil is tussen de doorbreektijden van de verschillende visuele stimuli. Echter kan er met de huidige opzet van het onderzoek geen uitsluitend antwoord worden gegeven op de onderzoeksvraag.

Inleiding

Niet alle informatie uit de omgeving waarin mensen zich begeven wordt bewust ervaren (Daniel et al., 1997; Dehaene et al., 1998; Todd & Marois, 2004). Een reden hiervoor is dat het visuele bewustzijn een gelimiteerde capaciteit heeft (Baars, 1997). Om te voorkomen dat de capaciteit overschreden wordt, vindt er selectie plaats voor toegang tot het visuele bewustzijn (Dehaene et al., 1998).

Voorafgaande onderzoeken hebben aangetoond dat informatie, dat op het huidige moment relevant is, eerder toegang krijgt tot het visuele bewustzijn dan informatie dat niet relevant is (Dehaene et al., 1998; Gayet et al., 2013; Olivers et al., 2011; Stein et al., 2011). Volgens Baddeley (1992) wordt deze relevante informatie tijdelijk opgeslagen in ons werkgeheugen, wat suggereert dat het werkgeheugen een selectief filter toepast op inkomende informatiestromen.

De term werkgeheugen verwijst naar een cognitief systeem dat zorgt voor een combinatie van tijdelijke opslag en manipulatie van relevante informatie die nodig is bij complexe taken als redeneren of leren (Baddeley, 1992; 2010; 2012). Het gebruik van ons werkgeheugen is zeer gevarieerd en eindeloos. Zo wordt het werkgeheugen bijvoorbeeld gebruikt om een telefoonnummer te behouden voordat we deze hebben opgeschreven, om losse woorden op te bouwen tot een complete zin of om te proberen te herinneren wat er op je boodschappenlijstje staat die op de keukentafel ligt terwijl je al in de supermarkt staat. Samen met Hitch heeft Baddeley in 1974 een model voorgesteld dat tot op heden nog steeds veel aandacht krijgt. In dit multicomponent model hebben Baddeley en Hitch vier componenten van het werkgeheugen onderscheiden. Ten eerste is er een centrale uitvoerende macht die als een homunculus aandacht richt, aandacht verdeelt over twee belangrijke stimulus-stromen en switcht tussen de andere componenten om een andere taak uit te kunnen voeren (Baddeley, 1996). Ten tweede is er een episodische buffer die zorgt voor de integratie tussen de componenten, inkomende informatie en het langetermijngeheugen (Baddeley, 2000). De laatste twee componenten, die ook wel de slaaf-systemen worden genoemd, zijn de fonologische lus en het visueel-ruimtelijke schetsblok (Baddeley,

2012). De fonologische lus en het visueel-ruimtelijke schetsblok slaan respectievelijk verbaal-akoestische en visuele informatie op (Baddeley, 2010).

Alle componenten van dit model, die samen verantwoordelijk zijn voor het opslaan en manipuleren van visuele informatie, maken deel uit van het visuele werkgeheugen. In het visuele werkgeheugen wordt actief informatie behouden, welke gebruikt wordt voor doelgericht gedrag (Gayet et al., 2013). Met deze content helpt het visuele werkgeheugen het aandachtssysteem door middel van een bias richting stimuli die overeenkomen met de content om zo relevante informatie uit de wereld om ons heen te selecteren (Hollingsworth & Luck, 2009). Volgens Gayet et al. (2013) heeft het visuele werkgeheugen zelfs een bias richting stimuli die nog niet bewust zijn waargenomen. Hier past het visuele werkgeheugen dus een filter toe voor relevante informatie.

Net als het visuele bewustzijn heeft ook het visuele werkgeheugen een gelimiteerde capaciteit (Cowan, 2010; Luck & Vogel, 1997). Hierdoor moet ook het visuele werkgeheugen efficiënt omgaan met inkomende informatiestromen. Er wordt van uitgegaan dat het visuele werkgeheugen niet alle inkomende informatie dezelfde status geeft (Cowan, 2001; Oberauer, 2002). Er kan onderscheid worden gemaakt tussen items in het werkgeheugen die functioneren als zogeheten attentional templates en accessory items (Olivers et al., 2011). Volgens Olivers et al. (2011) heeft een attentional template direct invloed op perceptie doordat dit zorgt voor een bias richting overeenkomende objecten, welke de selectie voor relevante informatie van de perceptuele input aanstuurt. Deze attentional template is dus een item dat actief wordt gebruikt en daarom wordt opgeslagen in het actieve (visuele) werkgeheugen. De accessory items aan de andere kant worden alleen opgeslagen voor eventueel later gebruik (Olivers et al., 2011). Deze items zijn voor de huidige taak niet bruikbaar en worden passief in het werkgeheugen opgeslagen. Deze accessory items worden dus opgeslagen in het passieve (visuele) werkgeheugen.

Het actieve visuele werkgeheugen is niets meer dan een neurale substraat dat een representatie behoudt van een object. Volgens Gayet et al. (2016) wordt

hetzelfde neurale substraat gebruikt voor representaties die afkomstig zijn van visuele input. Omdat deze neuronen al actief zijn, is de drempel voor toegang tot het bewustzijn verlaagd (Gayet et al., 2016). Hierdoor zal visuele input, die overeenkomt met de content in het actieve visuele werkgeheugen, eerder toegang krijgen tot het visuele bewustzijn.

Zoals eerder besproken wordt inkomende informatie niet alleen opgeslagen in het actieve visuele werkgeheugen. De meeste informatie wordt zelfs juist opgeslagen in het passieve visuele werkgeheugen. Dit roept dus de vraag op: wordt visuele input, die overeenkomt met de items in het passieve visuele werkgeheugen, geprioriteerd voor toegang tot het visuele bewustzijn?

Om de relatie tussen het visuele werkgeheugen en het visuele bewustzijn te onderzoeken, wordt er in dit huidige experiment gebruik gemaakt van een methode genaamd breaking continuous flash suppression (b-CFS). Met deze methode is het mogelijk om verschillen in prioritering van verscheidene visuele stimuli voor toegang tot het bewustzijn te bestuderen (Stein et al., 2011). b-CFS maakt gebruik van het fenomeen binocular rivalry. Tijdens binocular rivalry worden twee verschillende afbeeldingen aan beide ogen getoond. Wanneer dit gebeurd ontstaat er een competitie voor perceptuele dominantie, zodanig dat één afbeelding waarneembaar is en de ander onderdrukt wordt (Logothetis et al., 1996). Binnen het b-CFS paradigma wordt aan het ene oog een dynamisch hoog-contrast masker getoond, terwijl aan het andere oog een stimulus gepresenteerd wordt dat in contrast wordt opgehoogd. Zo'n stimulus wordt ook wel een target genoemd. Het masker zorgt voor interoculaire suppressie waardoor de target in eerste instantie niet bewust wordt waargenomen. Na een onbepaalde tijd verandert de perceptuele dominantie en wordt de target bewust waargenomen. Er wordt verondersteld dat de tijd die nodig is om de target te detecteren (de doorbreektijd) een maatstaf is voor de toegang tot het visuele bewustzijn (Gayet et al., 2014).

Net als het actieve werkgeheugen bevat het passieve werkgeheugen een neuraal substraat dat een representatie behoudt. Ook in dit geval zal hetzelfde neurale

substraat geactiveerd worden bij overeenkomende visuele input. Hierdoor zal ook deze visuele input sneller toegang krijgen tot het visuele bewustzijn, dan input die niet overeenkomt met de inhoud van zowel het actieve als het passieve werkgeheugen. Er wordt dus verwacht dat de stimuli die overeenkomen met de accessory items in het passieve werkgeheugen sneller gedetecteerd worden tijdens b-CFS, dan stimuli die niet overeenkomen met de inhoud van zowel het passieve als het actieve visuele werkgeheugen.

Volgens Olivers et al. (2011) heeft het passieve visuele werkgeheugen weinig invloed op het filter voor het visuele bewustzijn. Ook blijkt dat de accessory items steeds minder invloed uitoefenen naarmate de attentional template sterker wordt (Olivers et al., 2011). Anders gezegd: de drempel voor toegang tot het visuele bewustzijn van het passieve werkgeheugen wordt hoger naarmate de drempel van het actieve werkgeheugen lager wordt. Er wordt dus verwacht dat visuele input, die overeenkomt met de inhoud van het passieve werkgeheugen, minder snel doorbreekt tijdens interoculaire suppressie dan visuele input die overeenkomt met de content in het actieve werkgeheugen. Visuele input, die niet overeenkomt met items in zowel het actieve als het passieve visuele werkgeheugen, zal de hoogste drempel hebben voor toegang tot het visuele bewustzijn. Deze neutrale input zal dus het minst snel gedetecteerd worden tijdens b-CFS. De verwachting is dat (a) visuele input, die overeenkomt met de items in het passieve visuele werkgeheugen, niet wordt geprioriteerd voor toegang tot het visuele bewustzijn ten opzichte van visuele input die overeenkomt met de content van het actieve visuele werkgeheugen en (b) visuele input, die overeenkomt met items in het passieve visuele werkgeheugen, wordt geprioriteerd voor toegang tot het bewustzijn ten opzichte van neutrale visuele input.

De uiteindelijke resultaten van dit onderzoek brengen ons weer een stap dichterbij het begrijpen van ons brein en dan in het bijzonder de processen die plaatsvinden voordat bepaalde stimuli bewust worden ervaren. Veel literatuur over het visuele werkgeheugen houdt zich vooral bezig met informatie dat al bewust is. Echter is een groot deel van de processen die plaatsvinden onbewust. Met dit onderzoek zal er weer een puzzelstukje worden toegevoegd aan ons begrip

van het onbewuste brein. Daarnaast zullen de resultaten van dit onderzoek er voor zorgen dat er weer tal van nieuwe vragen ontstaan over het werkgeheugen en/of breinprocessen die onbewust plaatsvinden.

Ook wordt de kunstmatige intelligentie mee geholpen. Binnen de kunstmatige intelligentie is er een streven naar de meest efficiënte systemen. Om zulke systemen te maken wordt er soms inspiratie gehaald uit de natuur. Ons brein is een zeer complex maar efficiënt informatie verwerkingssysteem. Door te begrijpen hoe dit complexe systeem in elkaar zit, kunnen we dit gebruiken om andere systemen te construeren of te optimaliseren. Met behulp van de resultaten van dit onderzoek kan er een systeem gerealiseerd worden dat prioriteit geeft aan bepaalde relevante informatie. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om robot vision te optimaliseren. Wanneer er geen prioriteit wordt gegeven aan bepaalde informatie uit de buitenwereld, heeft dit systeem geen filter. Zonder filter wordt alle informatie van buitenaf als even belangrijk beschouwt. Om die reden wordt alle informatie op dezelfde manier verwerkt, wat veel rekenkracht kost. Wanneer er wel een filter wordt toegepast, hoeft informatie zonder prioriteit (nog) niet verwerkt te worden. Deze informatie kan dus bijvoorbeeld worden opgeslagen voor later gebruik, of het systeem kan deze informatie in zijn volledigheid links laten liggen. Als we weten hoe dit filter te werk gaat in ons brein kunnen we dit inbrengen in de kunstmatige intelligentie.

Methode

Het experiment bestaat uit een combinatie van twee verschillende taken. Met een b-CFS taak werd in tijd gemeten wanneer een stimulus tot het bewustzijn van een participant doorbrak. Deze taak zat midden in een geheugentaak verwerkt. Tijdens een trial werden telkens achtereenvolgens twee tinten van een verschillende kleur-categorie aangeboden. De participanten werden geïnstrueerd om één van de kleuren actief te onthouden voor de eerst volgende geheugentaak (de kleur wordt opgeslagen in het actieve visuele werkgeheugen) en de andere kleur te onthouden voor een eventuele latere geheugentaak (de kleur wordt opgeslagen in het passieve visuele werkgeheugen).

Hierdoor was het tijdens de b-CFS taak mogelijk om verschillende condities te bewerkstelligen. In de actieve conditie had de target tijdens de b-CFS een tint van dezelfde kleur-categorie als de kleur die actief in het werkgeheugen was opgeslagen. In de passieve conditie had de target tijdens de b-CFS een tint van dezelfde kleur-categorie als de kleur die passief in het werkgeheugen was opgeslagen. In de neutrale conditie had de target een tint die niet overeen kwam met één van de twee kleur-categorieën die werden aangeboden tijdens de geheugentaak. Na de b-CFS taak werd de geheugentaak vervolgd door het tonen van twee verschillende tinten van dezelfde kleurcategorie. Hierbij moest de participant de tint kiezen welke overeenkwam met de voorheen getoonde kleur.

Participanten

21 participanten (leeftijd tussen de 19 en 26 jaar oud) hebben deelgenomen aan het experiment. Alle participanten hadden normaal of gecorrigeerd tot normaal zicht. Voorafgaand aan het experiment werd uitgevraagd of de participanten last hadden van oogziekten en/of epilepsie. De participanten werden getest op correct stereoscopisch zicht met de TNO test voor stereoscopisch zicht. Ook werden ze getest op kleurenblindheid met Ishihara's test voor kleurenblindheid. Wanneer een participant voor beide testen slaagde kon er deelgenomen worden aan het experiment.

Alle participanten hebben een consent formulier ondertekend voorafgaand aan het experiment. Alle participanten kregen een vergoeding van zeven euro per uur voor het deelnemen aan het experiment.

Apparaten en stimuli

Het experiment werd uitgevoerd op een Apple Mac mini met een 2.6Hz intel Core i5 processor en een Intel Iris 1536MB grafische kaart. Hierop werd macOS Sierra versie 10.12.4 uitgevoerd. Daarnaast werd gebruik gemaakt van een Iiyama G-Master GB2488HSU monitor die lineair was gemaakt door middel van een gamma correctie ($\gamma = 2.115$). De refresh rate van de monitor werd ingesteld op 100Hz. De kleur-instellingen waren ingesteld op sRGBIEc61966-2.1. Een Apple toetsenbord werd gebruikt om de reacties van de participanten te registreren. De monitor was de enige lichtbron in de ruimte waar het experiment werd afgenomen.

Het gehele experiment is gecodeerd in MatLab R2018a met behulp van Psychophysics Toolbox 3. De stimuli werden door een spiegelstereoscopie dichoptisch gepresenteerd. Door middel van de spiegels is het mogelijk om aan beide ogen op hetzelfde moment een ander beeld te presenteren. De spiegels stonden op een hoofd - en kinsteun, waarmee het hoofd van een participant stabiel werd gehouden. De afstand tussen het beeldscherm en de ogen, via de spiegels, bedroeg 52.5 centimeter. De targets werden altijd gepresenteerd aan het niet dominante oog en het masker aan het dominante oog. De targets (1.2° visuele hoek) werden in contrast verhoogd en bereikte maximaal contrast na 1 seconde. De stimuli werden aan beide ogen gepresenteerd in een donkergrijs circulair gebied (43.3 cd/m^2 , $x = 0.308$, $y = 0.335$) met een visuele hoek van 7.5° . Voor het experiment zijn er drie basiskleuren gekozen (rood, groen en blauw). Voor elke basiskleur zijn er vijf tinten gekozen die perceptueel isoluminant waren. Een blauwe kleur (RGB = [20 10 255], 50 cd/m^2 , $x = 0.189$, $y = 0.143$) werd gebruikt om perceptuele isoluminantie te bewerkstelligen bij alle tinten. Om de kleuren te kiezen is gebruik gemaakt van een HSL kleurenmodel. De componenten van dit model zijn afhankelijk van hoe mensen het kleurenspectrum waarnemen (Ibraheem et al., 2012). Met behulp van de blauwe

kleur is een stuk uit het HSL kleurenmodel genomen waarbij alle kleuren perceptueel isoluminant aan elkaar waren. Uit dit stuk zijn op het blote oog alle tinten gekozen. Deze tinten zijn zo gekozen dat ze allemaal dezelfde kleur hebben als de desbetreffende basis kleur, echter verschillen ze wel genoeg van elkaar om ze te kunnen onderscheiden. Er is één tint rood (44.9 cd/m^2 , $x = 0.613$, $y = 0.331$), groen (57.7 cd/m^2 , $x = 0.317$, $y = 0.559$) en blauw (54.6 cd/m^2 , $x = 0.183$, $y = 0.143$) gekozen die enkel werden gebruikt voor de b-CFS taak. De andere vier tinten van elke basiskleur werden gebruikt voor de geheugentaak.

Het masker werd gecreëerd door roze ($1/f$) ruis te filteren met een rotatie-symmetrische Gaussian low-pass filter ($\sigma = 3.5$) en vervolgens het resulterende beeld binair te maken met maximaal contrast. Tijdens iedere trial werden er 200 nieuwe maskers gegenereerd die elk 10 frames (10Hz) op het scherm te zien waren (Gayet et al., 2013).

Procedure

Voorafgaand aan het experiment werd een soortgelijk experiment uitgevoerd. Hieruit bleek dat de resultaten van de geheugentaak bij een derde trial onder kans-niveau lagen. Wanneer de scores onder kans-niveau liggen worden de kleuren niet (of slecht) in het werkgeheugen geladen. Hierdoor ontstaan de juiste condities tijdens de b-CFS taak niet, waardoor de resultaten niet bruikbaar zijn. Om deze reden is er in dit experiment gekozen voor niet drie, maar twee achtereenvolgende trials.

Ook zijn er twee pilot experimenten uitgevoerd. Uit de eerste pilot bleek dat de targets te snel werden gedetecteerd tijdens de b-CFS taak. De participanten konden nagenoeg niet sneller worden in deze taak. De verschillen tussen de condities zouden hierdoor nooit groot genoeg zijn om een verschil aan te kunnen tonen. Door middel van de grijze achtergrond perceptueel isoluminant aan de targets te maken, is het luminantie-contrast tussen de targets en de achtergrond verkleind. Volgens Morrone et al. (2002) trekt luminantie-contrast de aandacht. Wanneer er een laag luminantie-contrast is, zal dit minder snel de aandacht trekken. Hierdoor zal de target minder snel opvallen en dus minder snel toegang krijgen tot het visuele bewustzijn. Uit de tweede pilot bleek dat de scores op de

geheugentaak te hoog waren. De tinten waren dus danig verschillend dat ze te gemakkelijk te onderscheiden waren. Hierdoor pasten de participanten de tactiek toe om de tinten verschillende namen te geven om ze te onderscheiden. Doordat participanten deze tactiek toepasten, maakten zij geen gebruik meer van het visueel-ruimtelijke schetsblok in hun werkgeheugen maar van de fonologische lus. Deze metingen vertelden dus niets over het visuele werkgeheugen. Er werd voor gekozen om nieuwe kleuren te kiezen die minder gemakkelijk te onderscheiden waren.

Voorafgaand aan het experiment mocht de participant de stoel en de hoofd – en kinsteun in hoogte verstellen zodat hij of zij in een comfortabele houding zat tijdens het gehele experiment. Voordat een participant begon aan het daadwerkelijke experiment deed elke participant eerst een kalibratietaak. De kalibratietaak was bedoeld om binoculaire fusie te bewerkstelligen. De participanten mogen hier met de pijltoetsen (links en rechts) twee circulaire gebieden horizontaal verplaatsen, totdat deze werden waargenomen als één circulair gebied. Vervolgens moesten de participanten twintig b-CFS oefen-trials doen. Tijdens deze b-CFS oefen-trials werd het dominante oog van de participant bepaald. Hierbij werd de target gerandomiseerd tien keer aan het linker oog en tien keer aan het rechter oog aangeboden. De participanten moesten simpelweg met pijltoetsen aangeven of de target zich aan de linkerkant (met de linker pijltoets) of aan de rechterkant (met de rechter pijltoets) van het fixatie punt begaf (1.8° van het middelpunt). Ook kreeg de participant nog minimaal twintig oefen-trials waarbij de b-CFS taak en de geheugentaak waren gecombineerd, zodat de participant volledig begreep wat er verwacht werd tijdens het experiment. De participanten gaven zelf aan of zij nog extra wilde oefenen, of dat zij voldoende geoefend hadden.

Elke trial bestond uit twee taken: de b-CFS taak en de geheugentaak. Elk miniblok bestond uit twee trials. Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen de eerste trial (positie 1) en de tweede trial (positie 2).

Voorafgaand aan de eerste trial werden successievelijk twee tinten (beide 800 ms), van elk een andere kleur-categorie, in beide ogen aangeboden (zie Figuur 1).

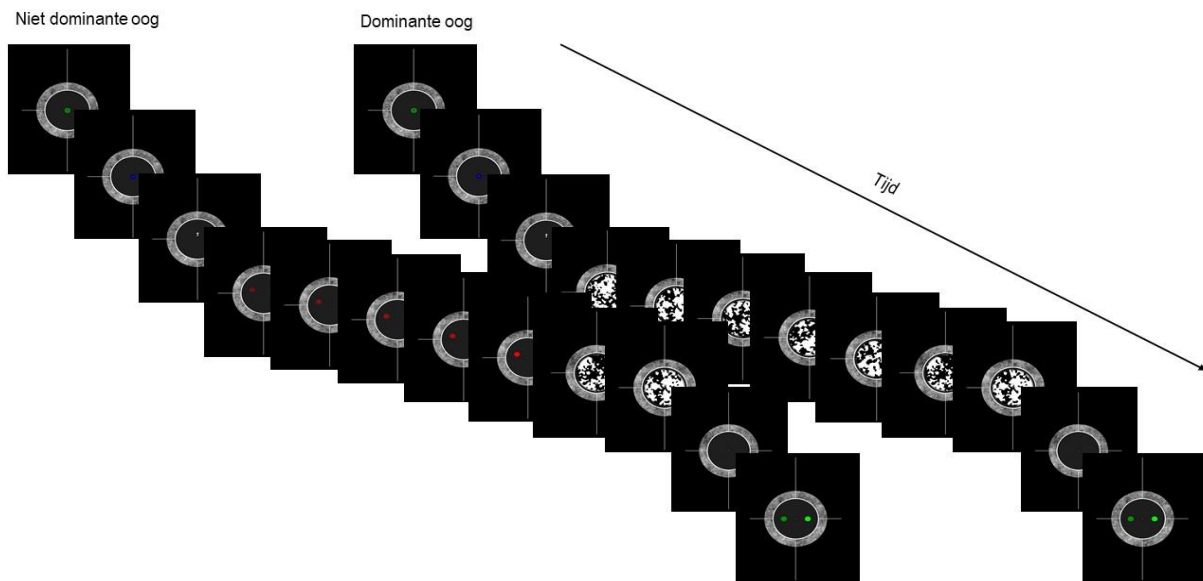
Er werd bijvoorbeeld achtereenvolgend een tint groen en een tint blauw getoond. Welke tinten van elke kleur-categorie werden aangeboden was willekeurig maar gecounterbalanced. Daaropvolgend werd een getal '1' of '2' getoond (800 ms). Dit getal was bedoeld als indicatie welk van de twee eerder getoonde kleuren onthouden moest worden in de huidige trial. Stel dat er in het voorbeeld aansluitend het getal '1' getoond werd, dan betekende dit dat de participant die tint groen moest onthouden voor de geheugentaak in de huidige trial. Nadat het getal getoond was begon de b-CFS taak. Welk van de drie condities de participant onderging tijdens de b-CFS taak was willekeurig maar gecounterbalanced. De target werd niet meteen in zijn volledigheid aangeboden. Deze werd van 0 naar een contrast van 100% opgehoogd in duizend milliseconden. Na de reactie van de participant werd aan beide ogen het masker aangeboden (800 ms) en kwam de b-CFS taak aan een einde. Indien een participant de target niet waarnam werd de b-CFS taak na vijfduizend milliseconden beëindigd.

Na de b-CFS taak volgde meteen de geheugentaak. Aan beide ogen werden twee tinten van dezelfde kleur-categorie getoond die eerder onthouden moesten worden. Het was de taak van de participanten om aan te geven welke van de twee tinten correspondeerde met de tint die zij aan het begin moesten onthouden. Dit deden zij door met de linker of rechter pijltoets aan te geven of de linker of de rechter cirkel correspondeerde.

Hierna volgde de tweede trial in een miniblok (positie 2). Tijdens de tweede trial werden er geen kleuren meer getoond maar begon de trial met het tonen van een getal '1' of '2'. Opeenvolgend moest de participant weer de b-CFS taak en de geheugentaak uitvoeren. Binnen een miniblok was de volgorde van de getallen '1' en '2' willekeurig en gecounterbalanced.

Het experiment bestond uit 72 trials. Deze 72 trials waren opgedeeld in vier blokken van 18 trials. Na ieder blok werd er op het scherm het percentage juiste antwoorden op de geheugentaak getoond. Aan de participanten werd gevraagd dit percentage op te schrijven. Tussen de blokken door mochten de participanten zelf aangeven of de participant wilde pauzeren. Elk blok bestond uit 9 miniblokken bestaande uit 2 trials. Tijdens de 72 trials werden maar twee kleur-categorieën gebruikt voor de geheugentaak. Omdat elke participant het

experiment met een combinatie van twee kleur-categorieën (bijvoorbeeld eerst de combinatie rood en groen en daaropvolgend de combinatie blauw en groen) moest doen, moest elke participant twee keer 72 trials afnemen. Na de eerste 72 trials moest iedere participant verplicht een pauze van minimaal vijf minuten nemen. In totaal werden bij iedere participant 144 trials afgenomen.



Figuur 1. Stimulusreeks van een trial op positie 1 met een neutrale conditie tijdens de b-CFC taak. Participanten kregen twee tinten van verschillende kleur-categorieën te zien. Door middel van een getal werd aangegeven welke van de twee kleuren hij of zij actief moest onthouden voor de geheugentaak binnen de huidige trial en welke hij of zij moest onthouden voor de geheugentaak in de volgende trial. Hierop volgde de b-CFS taak waarbij de participanten zo snel mogelijk de target moesten detecteren. Hierbij was het mogelijk dat de kleur van de target overeenkwam kwam de te onthouden kleur voor de huidige trial (actieve conditie), overeenkwam met de eventueel onthouden kleur voor de volgende trial (passieve conditie) of niet overeenkwam met één van de eerder getoonde kleuren (neutrale conditie). Als laatste kregen de participanten twee tinten van dezelfde kleur-categorie te zien. Hierbij moest een participant aangeven welke volgens hem of haar overeenkwam met de eerder getoonde tint. Nadat een participant één van de twee tinten gekozen had begon de tweede trial in een miniblok (positie 2). Het enige verschil met positie 1 is dat positie 2 begint bij het tonen van het getal '1' of '2'. De rest van de trial was identiek aan positie 1 met de kleuren die konden variëren.

Data analyse

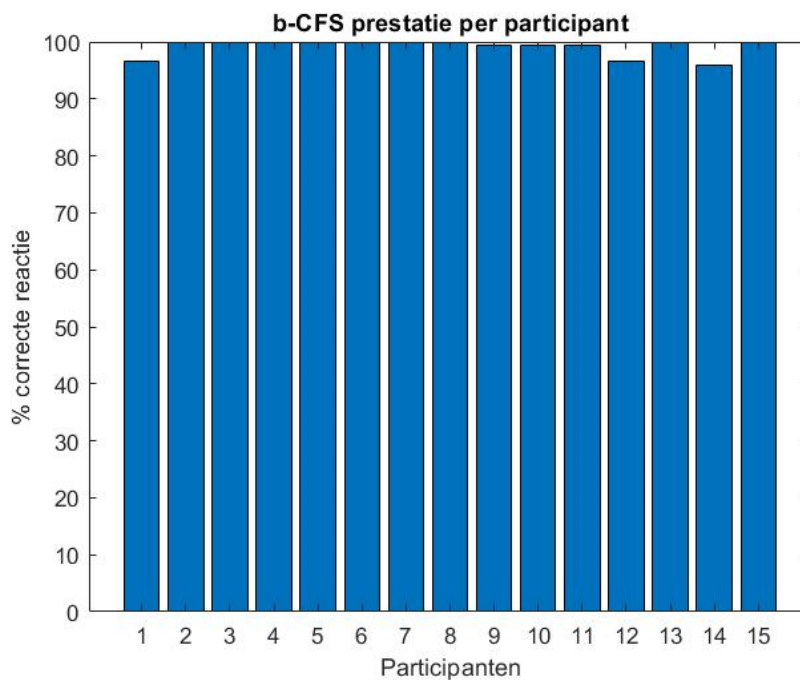
Alleen de trials waarbij een correcte reactie werd gegeven tijdens de b-CFS taak, werden gebruikt voor de analyse. Ook zijn de trials waarbij geen reactie werd gegeven tijdens de b-CFS taak geëlimineerd uit de data set. Voor elke participant is het percentage juiste antwoorden op de geheugentaak berekend. Wanneer de score lager was dan kansniveau (50%), betekende dit dat data van de participant onbruikbaar was. Tijdens de geheugentaak had een participant een keuze tussen twee tinten. Een participant die de kleuren niet goed in het werkgeheugen had geladen, doordat de participant niet geconcentreerd was, zal dus gaan gokken tussen de twee tinten. Deze data is echter niet geschikt voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag. Ook mag de score niet hoger zijn dan 90%. Dit is een indicatie dat de geheugentaak te gemakkelijk was en dat er geen gebruik werd gemaakt van het visuele werkgeheugen.

Voor elke participant is voor iedere conditie (actief, passief en neutraal) een mediaan berekend. Hierop is een repeated measure variatieanalyse (ANOVA) toegepast. Daarnaast is er met een repeated measure ANOVA gekeken naar de prestaties van de participanten op de twee posities. Hierna is er nog gekeken of er een effect te zien is op alleen positie 1 of positie 2 met een 3x2 variatieanalyse (ANOVA) met de condities en posities als factoren. Ten slotte is er gekozen om alleen de data te bekijken van de participanten die op zowel positie 1 als positie 2 op de geheugentaak boven kansniveau scoren.

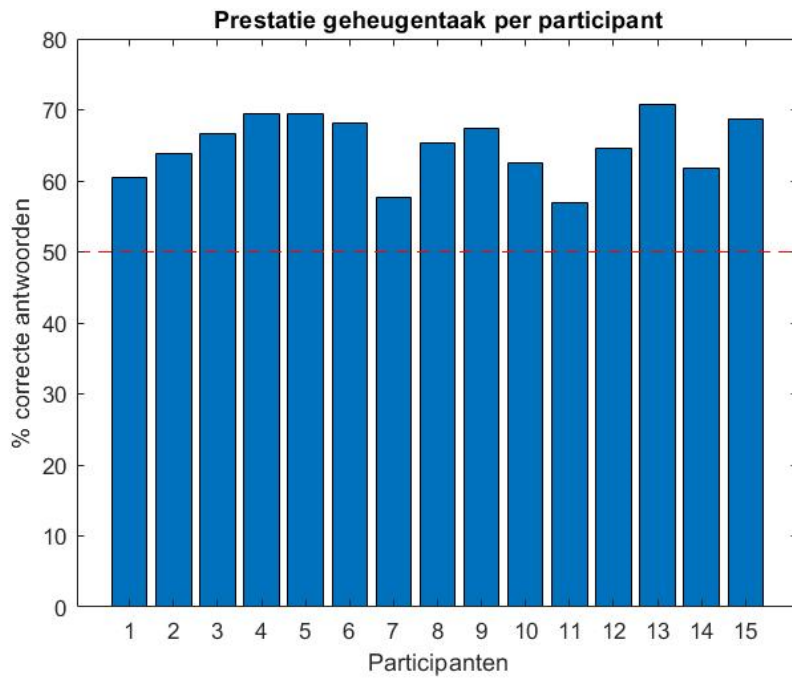
Resultaten

Van de in totaal 2160 trials zijn er 285 trials uitgesloten voor de data analyse. Deze trials zijn uitgesloten door geen of een foute reactie tijdens de b-CFS taak. In Figuur 2 is het percentage correcte reacties per participant tijdens de b-CFS taak te zien. Hier is dus te zien dat een aantal participanten geen 100% scoorden. Verder was er geen reden om meer trials te elimineren uit de data set. De prestaties op de geheugentaak waren voor iedere participant voldoende. Alle participanten scoorden boven de 50% (zie Figuur 3). Ook is te zien dat de scores niet boven de 90% komen.

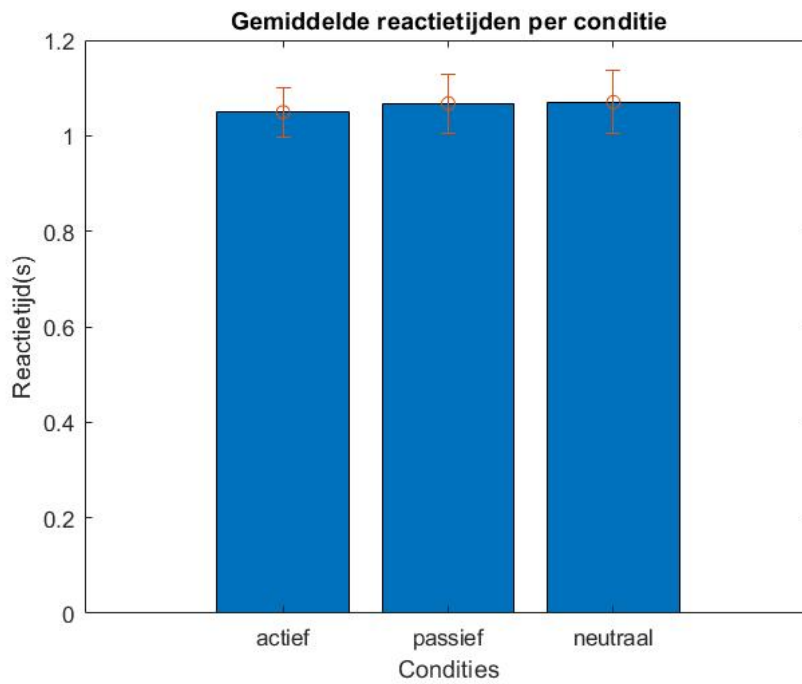
Een repeated measure ANOVA is uitgevoerd om de reactietijden van de condities (actief, passief en neutraal) te vergelijken. In Figuur 4 zijn de gemiddelden van de medianen van elke participant ($N = 15$) weergegeven per conditie. Hier is te zien dat de reactietijden van de actieve ($M = 1.049$, $SD = .199$), passieve ($M = 1.068$, $SD = .239$) en neutrale conditie ($M = 1.070$, $SD = .257$) nagenoeg gelijk aan elkaar zijn. Een repeated measure ANOVA laat zien dat er geen significant verschil bestaat tussen de reactietijden van de drie condities ($F_{2,2} = .298$, $p = .747$ met $\alpha = .05$).



Figuur 2. Percentage correcte reacties tijdens de b-CFS taak per participant. Een correcte reactie is wanneer een participant op de rechter pijltoets drukte wanneer de target zich rechts van het midden bevond of wanneer een participant op de linker pijltoets drukte wanneer de target links van het midden bevond.

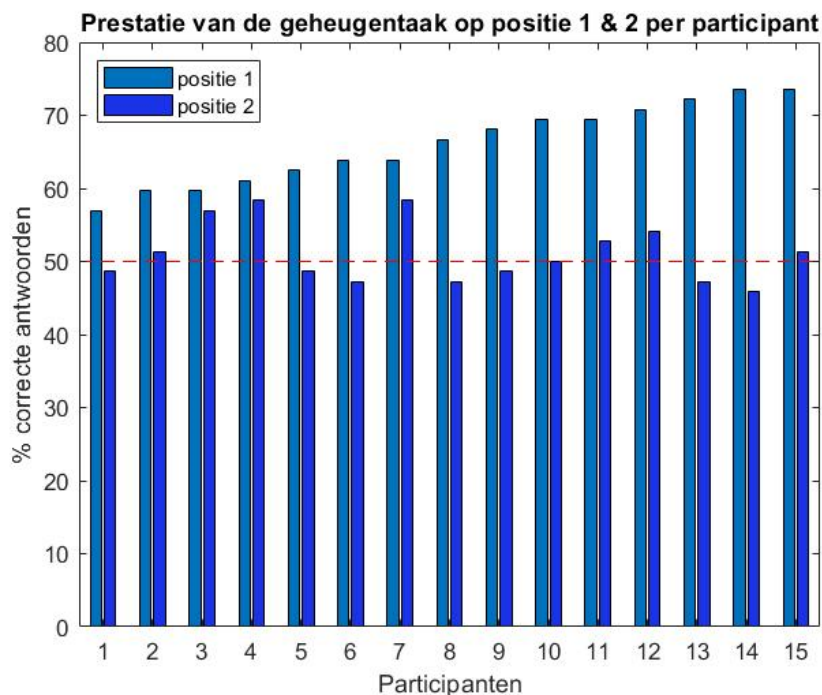


Figuur 3. Percentage correcte antwoorden op de geheugentaak per participant. De rode stippellijn geeft het kansniveau weer.



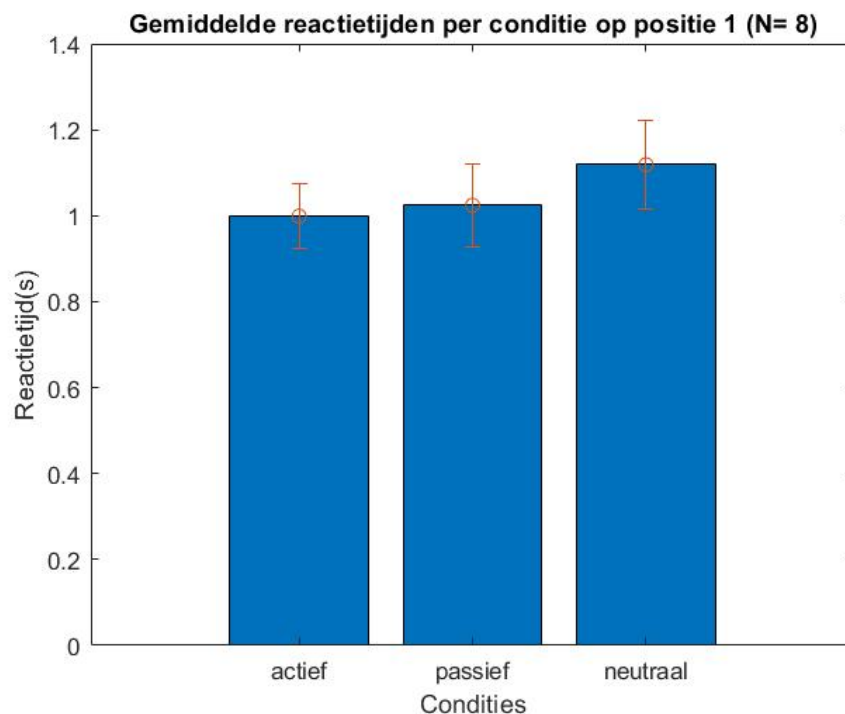
Figuur 4. De gemiddelde reactietijden per conditie. Voor iedere participant was een mediaan per conditie berekend. Voor iedere conditie is hier het gemiddelde van elk vijftien medianen weergegeven. De foutenbalken zijn de standaarddeviatie van het gemiddelde.

In Figuur 5 zijn de scores op de geheugentaak per positie weergegeven. Alle participanten scoren slechter op positie 2 ($M = 51.1\%$, $SD = 4.2$) dan op positie 1 ($M = 61.9\%$, $SD = 16.3$). Een repeated measure ANOVA laat zien dat de participanten significant slechter scoren op positie 2 dan op positie 1 ($F_{1,1} = 6.598$, $p = .022$) Ook scoort een groot aantal participanten onder kansniveau op positie 2. Met deze resultaten wordt het interessant om de reactietijden van de verschillende condities per positie te vergelijken. Een 3x2 repeated measure ANOVA is uitgevoerd om de reactietijden van de actieve ($M = 1.024$, $SD = .201$), passieve ($M = 1.082$, $SD = .211$) en neutrale ($M = 1.070$, $SD = .248$) conditie op positie 1 en de actieve ($M = 1.082$, $SD = .211$), passieve ($M = 1.135$, $SD = .308$) en neutrale ($M = 1.081$, $SD = .277$) conditie op positie 2 te vergelijken. Hierbij zijn de drie condities en de twee posities gebruikt als factoren. Hieruit blijkt dat er geen significant verschil bestaat tussen de drie verschillende condities per positie ($F_{2,1} = 1.832$, $p = 0.199$). Wel blijkt dat de doorbreektijden van de participanten significant sneller waren op positie 1 dan op positie 2 ($F_{1,1} = 10.249$, $p = .006$).



Figuur 5. Scores van de geheugentaak per positie. De linker balk (lichter blauw) geeft bij iedere participant de score weer die behaald is op positie 1. De rechter balk (donkerblauw) geeft bij iedere participant de score weer die behaald is op positie 2. De grafiek is zo gesorteerd dat de scores op positie 1 van links naar rechts oplopen. In de grafiek is een lijn te zien die het kansniveau aangeeft.

Omdat de prestaties van een aantal participanten dusdanig slecht zijn, is er nog een analyse uitgevoerd zonder de resultaten van de participanten die op één van de twee posities op de geheugentaak onder kansniveau scoorden. Een 3x2 repeated measure ANOVA is uitgevoerd om de reactietijden van de actieve ($M = 0.999$, $SD = .209$), passieve ($M = 1.024$, $SD = .271$) en neutrale ($M = 1.119$, $SD = .288$) conditie op positie 1 en de actieve ($M = 1.041$, $SD = .215$), passieve ($M = 1.039$, $SD = .276$) en neutrale ($M = 1.121$, $SD = .338$) conditie op positie 2 nog eens te vergelijken met een data set van participanten die op beide posities boven kansniveau scoorden ($N = 8$). Hieruit blijkt dat er geen significant verschil bestaat tussen de condities per positie ($F_{2,1} = .232$, $p = .799$). Omdat de participanten het zeer slecht deden op positie 2 tegenover positie 1 is er nog gekeken naar de verschillende condities op positie 1. In Figuur 6 is het gemiddelde van de medianen van de acht overgebleven participanten per conditie te zien. Er blijkt er geen significant verschil tussen de condities te bestaan ($F_{2,2} = 1.642$, $p = .270$).



Figuur 6. Gemiddelde reactietijden per conditie. Hier is alleen gebruik gemaakt van de resultaten van de participanten die op beide posities op de geheugentaak boven kansniveau scoorden ($N = 8$). De foutenbalken zijn de standaarddeviatie van het gemiddelde.

Deze resultaten zijn niet in lijn met eerdere verwachtingen. De hypothese kan niet worden aangenomen omdat visuele input, die overeenkomt met items in het passieve werkgeheugen, niet geprioriteerd wordt voor toegang tot het visuele bewustzijn ten opzichte van neutrale input. Eveneens blijkt uit deze resultaten dat positie 2 op zowel de scores van de geheugentaak als de reactietijden van de b-CFS taak minder goed zijn dan positie 1. Ook zonder de resultaten van de participanten die op één van de twee posities onder kansniveau scoorde op de geheugentaak, bleek er geen significant verschil te zijn tussen de condities per positie en tussen de condities op positie 1.

Discussie

Voorgaande onderzoeken hebben uitgewezen dat het actieve visuele werkgeheugen visuele input selecteert en prioriteert voor toegang tot het visuele bewustzijn (Gayet et al., 2013; Olivers et al., 2011; Stein et al., 2011). Het doel van dit onderzoek was om deze bevindingen te repliceren. Nog belangrijker was om tijdens dit onderzoek verder te gaan en te kijken in hoeverre het passieve visuele werkgeheugen invloed heeft op het selecteren van visuele stimuli voor eerdere toegang tot het visuele bewustzijn. Echter blijkt uit de verkregen data dat zowel het actieve als het passieve visuele werkgeheugen geen invloed had op het selecteren en prioriteren van visuele input voor toegang tot het visuele bewustzijn. Een aantal punten kunnen ter discussie worden gebracht om een mogelijke verklaring te geven waarom de resultaten niet in lijn zijn met de eerdere onderzoeken. Omdat het huidige experiment een uitbreiding is van het experiment dat Gayet et al. in 2013 hebben afgenomen, zal deze als vergelijking worden gebruikt om aan te tonen dat de opzet van het huidige experiment niet optimaal was.

Het grootste verschil tussen het huidige onderzoek en het onderzoek van Gayet et al. (2013), is dat er in het huidige onderzoek een extra conditie is toegevoegd. Deze passieve conditie is bijgevoegd omdat in het huidige onderzoek het doel was om te ondervinden hoe deze conditie zich verhoudt tegenover de actieve en neutrale conditie. Echter kan het toevoegen van de passieve conditie een reden zijn waarom de resultaten van Gayet et al. (2013) niet gerepliceerd zijn in het huidige experiment. Participanten gaven na het experiment aan dat zij probeerde beide kleuren te onthouden wanneer deze aan het begin van de eerste trial getoond werden. Twee verklaringen kunnen gegeven worden waarom dit de resultaten kan beïnvloeden. De eerste bouwt zich op uit het idee dat er maar één item in het werkgeheugen actief kan zijn (Houtkamp & Roelfsema 2009; Olivers et al., 2011; van Moorselaar et al., 2014). Dit wordt ook wel de single-item hypothese (SIT) genoemd (Bahle et al., 2018). De kleur die relevant is voor de geheugentaak binnen de huidige trial wordt actief en de andere kleur passief. Volgens Olivers et al. (2011) kunnen items in het werkgeheugen met elkaar

interacteren. Zodanig dat hoe sterker het actieve item, hoe zwakker het passieve item is opgeslagen in het werkgeheugen. Dit heeft natuurlijk ook een andere kant. Wanneer het passieve item sterker wordt, wordt het actieve item zwakker. Volgens Barrouillet et al. (2007) is het verwerken en opslaan van items in het werkgeheugen afhankelijk van een enkele algemene aandacht-bron. Het sterker en/of zwakker worden van items kan dus gezien worden aan de hand van hoeveel aandacht eraan wordt besteed. Wat dit zou kunnen betekenen is dat de participanten bij benadering evenveel aandacht gaven aan het passieve item als aan het actieve item. Hierdoor zou het actieve item tijdens de b-CFS taak afgezwakt zijn en het passieve item sterker zijn geworden. De drempels voor toegang tot het visuele bewustzijn voor beide items zijn tijdens de b-CFS taak daarom nagenoeg even hoog.

Naast de SIT is er ook het idee dat er meerdere items in het visuele werkgeheugen te gelijk actief kunnen zijn, ook wel de multiple-item hypothese (MIT) (Bahle et al., 2018; Beck & Hollingworth, 2017; Hollingworth & Beck, 2016). Wanneer de participanten proberen beide kleuren te onthouden, worden beide kleuren in dit geval actief. Hierdoor hebben beide kleuren een even grote invloed op de selectie voor toegang tot het visuele bewustzijn. Dus omdat beide items dezelfde status hebben, zijn de drempels voor toegang tot het visuele bewustzijn tijdens de b-CFS taak nagenoeg even hoog.

Binnen het huidige experiment worden de SIT en de MIT hypothesen niet getest. Welk van de twee hypothesen dichterbij de waarheid ligt maakt in dit geval alleen uit welke redeneerstappen genomen moeten worden om te verklaren waarom de doorbreektijden van de actieve en de passieve conditie binnen het huidige experiment niet significant verschillen. Met elk van de twee hypothesen als basis, komt het er op neer dat binnen het huidige experiment de drempels voor toegang tot het visuele bewustzijn voor beide items even hoog zijn. Dit kan een reden zijn waarom we zien dat de doorbreektijden van de actieve en de passieve conditie niet significant verschillen.

In Figuur 6 is de meest interessante data te zien. Hier is te zien dat, zoals de theorie voorspelde, de reactietijden (numeriek gezien) van de actieve conditie het langste zijn, gevolgd door de passieve conditie en als laatste de neutrale conditie. Maar de verschillen zijn niet significant. Daarentegen vonden Gayet et al. (2013) tijdens hun onderzoek in 2013 wel een significant verschil tussen de actieve en de neutrale conditie. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in het huidige experiment andere kleuren zijn gebruikt. In het onderzoek van Gayet et al. (2013) hadden de kleuren een gemiddelde luminantie van 6.06 cd/m^2 . In het huidige experiment hadden de kleuren een gemiddelde luminantie van 52.4 cd/m^2 . Hogere luminantie zorgt ervoor dat targets eerder de aandacht trekken met als resultaat snellere reactietijden (Hawkins et al., 1988; Hughes, 1984). Doordat de kleuren in het huidige experiment een dusdanig hoge luminantie hadden, lagen de meeste reactietijden rond de seconde. De targets bereikte na één seconde volledig contrast. Doordat de luminantie te hoog was, werden de targets dus in de meeste gevallen vrijwel meteen gedetecteerd wanneer deze volledig contrast bereikte. Dit zorgde ervoor dat de reactietijden van de participanten niet hoger werden door de te hoge luminantie van de kleuren. Hierdoor ontstaat er weinig variatie tussen de reactietijden van de verschillende condities. Daarom zien we ook in de resultaten dat de reactietijden vrij dicht bij elkaar liggen.

Het feit dat voor Figuur 6 alleen de data is gebruikt van acht participanten, zou nog een reden kunnen zijn waarom in het huidige experiment de resultaten van Gayet et al. (2013) niet gerepliceerd zijn. Doordat er de data van slechts acht participanten is gebruikt is de power van dit onderzoek zeer laag. Met behulp van een poweranalyse is gebleken dat de power van data (die gebruikt is voor de analyse uit Figuur 6) .23 is. Dit is een zeer lage power en kan betekenen dat de steekproef niet groot genoeg was om een significant verschil te ontdekken.

Omreden dat een aantal participanten op positie 2 dusdanig slecht scoorde, was er gekozen om een analyse uit te voeren met de acht participanten die positie 2 wel boven kansniveau scoorden. Er kunnen een aantal argumenten beschreven worden als eventuele reden waarom de participanten slechter scoorden op positie

2. Zoals hierboven al genoemd is, waren er een aantal participanten die de twee kleuren tegelijk probeerden te onthouden. Hierdoor werd er evenveel aandacht aan beide kleuren gegeven tot op het moment van de eerste geheugentaak. Hier werd aan de participanten naar één van de twee eerder getoonde kleur-categorieën gevraagd. Hierdoor ging de meeste aandacht, die eerst verdeeld was over het actieve en het passieve item, nu naar het actieve item. Volgens Olivers et al. (2011) werd op dat moment het attentional template (het actieve item) sterker en werd de accessory item (het passieve item) weggedrukt. Door deze verdrukking heeft het passieve item minder invloed op de selectie van visuele input voor toegang tot het visuele bewustzijn (Olivers et al., 2011). Na deze geheugentaak volgde positie 2. Op positie 2 was het mogelijk dat de actieve kleur van positie 1 nog een keer gevraagd werd tijdens de geheugentaak. Deze kleur zou op dit moment nog goed in het werkgeheugen zitten en zou dus geen probleem moeten vormen voor de participanten tijdens de geheugentaak. Echter was het ook mogelijk dat de passieve kleur van positie 1 gevraagd werd tijdens de geheugentaak en dus actief moest worden. Deze kleur is alleen ver weggedrukt door de andere kleur tijdens de geheugentaak van positie 1. Hierdoor zit deze kleur niet meer goed in het werkgeheugen. Tijdens de geheugentaak zou het dus voor de participanten zeer lastig zijn om de juiste tint te kiezen tijdens de geheugentaak. Dit zou een reden kunnen zijn waarom een aantal participanten slechter scoorden op de geheugentaak op positie 2.

Dit kan ook als argumentatie worden gezien waarom de reactietijden op positie 2 significant langzamer zijn dan op positie 1. Het wegdrukken van het item, die op positie 1 passief was, heeft invloed op de condities op positie 2. Wanneer het item, dat op positie 1 passief was, gevraagd wordt tijdens de geheugentaak op positie 2, moet dit item dus actief worden. Volgens Kiyonaga et al. (2012) kost deze transactie tijd. Wanneer het passieve item vrijwel niet meer in het werkgeheugen zit, zal dit dus nog meer tijd kosten. Hierdoor zal de doorbreektijd van dit (actieve) item tijdens de b-CFS taak langzamer zijn.

Ook zullen de doorbreektijden van de passieve conditie op positie 2 langzamer zijn dan op positie 1. Items in het passieve visuele werkgeheugen zijn relevant voor een eventuele latere taak. Echter is positie 2 het einde van een miniblok. De

participanten wisten ook dat hierna geen volgende trial meer volgde waar het passieve item gevraagd kon worden. Doordat participanten dit wisten is het mogelijk er geen item meer in het passieve visuele werkgeheugen zat. De reactietijden van de passieve conditie op positie 2 zouden dus langzamer zijn, omdat er geen overeenkomend item in het werkgeheugen zit.

Om een uitsluitend antwoord te geven op de vraag of visuele input, die overeenkomt met items uit het passieve werkgeheugen, geprioriteerd wordt voor toegang tot het visuele bewustzijn zou een aangepast experiment uitgevoerd moeten worden. De hierboven genoemde punten zouden hierbij meegenomen kunnen worden. Een grote verandering is dat er andere kleuren gebruikt moeten worden. De kleuren zouden een stuk minder luminant moeten zijn dan de kleuren die gebruikt zijn in het huidige experiment. De kleuren zouden ongeveer dezelfde luminantie moeten hebben als de kleuren die gebruikt zijn door Gayet et al., (2013). Zo zou ook uitgesloten kunnen worden of het luminantie verschil daadwerkelijk een reden was voor de snelle doorbreektijden.

Daarnaast zou de geheugentaak een andere vorm krijgen. Met de huidige vorm passen participanten de strategie toe om beide kleuren te onthouden. Binnen het huidige experiment worden items alleen maar tijdelijk opgeslagen in het werkgeheugen. Om er voor te zorgen dat de twee kleuren verschillende statussen krijgen, waarbij één van de twee items meer aandacht krijgt, zou een vorm van manipulatie toegevoegd kunnen worden. Door de participanten op een bepaalde manier één van de twee items mentaal actief te laten manipuleren, krijgt dit item een andere status dan het item dat niet gemanipuleerd hoeft te worden. Op deze manier zou één item actief worden gemanipuleerd en opgeslagen en het andere item passief worden opgeslagen. Een vorm van manipulatie zou als volgt kunnen zijn: in het begin worden er twee gekleurde rechthoeken aangeboden. Deze rechthoeken draaien. Tijdens de b-CFS taak wordt aan de participanten gevraagd of zij het draaien van één van de rechthoeken mentaal kunnen voortzetten. Tijdens de b-CFS taak zijn de participanten dus bezig met het manipuleren van het actieve item in hun werkgeheugen. Op deze manier wordt er in het brein van de participanten een duidelijk verschil gemaakt tussen het

actieve en passieve item. Tijdens de b-CFS zouden dan de doorbreektijden van de verschillende condities verder uit elkaar liggen.

Dat er op positie 2 slecht gescoord wordt zou voor het vervolgonderzoek geen probleem hoeven te vormen. Als we kijken naar de mogelijke redenen waarom er op positie 2 slechter wordt gescoord op zowel de b-CFS taak als de geheugentaak, lijkt dit onvermijdelijk. Als er genoeg participanten zijn hoeft de data van positie 2 niet meegenomen te worden in de uiteindelijke analyse. Bij het vervolgonderzoek zou positie 2 er alleen zijn zodat de juiste condities op positie 1 kunnen worden bewerkstelligd. Het experiment, zoals uitgevoerd op de huidige manier, kan geen uitsluitend antwoord geven op de onderzoeksvraag. Wanneer er meer onderzoek gedaan wordt naar het passieve visuele werkgeheugen, kunnen de hierboven genoemde aanpassingen worden meegenomen.

Literatuurlijst

- Baars, B. J. (1997). In the theatre of consciousness: Global workspace theory, a rigorous scientific theory of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 4, 292–309.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the Central Executive. *The quarterly journal of experimental psychology*, 49A(1), 5-28. doi:10.4324/9781315111261-21
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*. 8, 47-89. doi:10.1016/s0079-7421(08)60452-1
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current biology*. 20(4) 136-140.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100422
- Bahle, B., Beck, V.M., Hollingworth, A. (2018). The architecture of interaction between visual working memory and visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44(7), 992-1011. doi:10.1037/xhp0000509
- Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 570-585. doi:10.1037/0278-7393.33.3.570
- Beck, V.M., & Hollingworth, A. (2017). Competition in saccade target selection reveals attentional guidance by simultaneously active working memory representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(2), 225-230. doi:10.1037/xhp0000306
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Science*, 21(1), 87-114. doi:10.1017/S0140525X01003922

- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current directions in psychological science*, 19(1), 51-57. doi:10.1177/0963721409359277
- Dehaene, S., Kerszberg, M., & Changeux, J. P. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 95, 14529– 14534.
- Gayet, S., Paffen, C. L., & van der Stigchel, S. (2014). Breaking continuous flash suppression: competing for consciousness on the pre-semantic battlefield. *Frontiers in Psychology*, 5, 460. doi:10.3389/fpsyg.2014.00460
- Gayet, S., Paffen, C. L., & Van der Stigchel, S. (2013). Information matching the content of visual working memory is prioritized for conscious access. *Psychological Science*, 24(12), 2472- 2480. doi:10.1177/0956797613495882
- Hawkins, H.S., Shafto, M.G., & Richardson, K. (1988). Effects of target luminance and cue validity on the latency of visual detection. *Perception & Psychophys*, 44, 484-492. doi:10.3758/BF03210434
- Hollingworth, A., & Beck, V.M. (2016). Memory-based attention capture when multiple items are maintained in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(7), 911-917. doi:10.1037/xhp0000230
- Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2009). The role of working memory in the control of gaze during visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(4), 936–949.
- Houtkamp, R. & Roelfsema, P.R. (2009). Matching of visual input to only one item at any one time. *Psychological Research*, 73(3), 317-326. doi:10.1007/s00426-008-0157-3
- Hughes, H.C. (1984). Effect of flash luminance and positional expectancies on visual response latency. *Perception & Psychophys*, 36, 177-184. doi:10.3758/BF0320678
- Ibraheem, N.A., Hasan, M.M., Khan, R.Z., & Mishra P.K. (2012). Understanding Color Models: A Review. *ARPN Journal of Science and Technology*, 2(3), 265-275.

- Kiyonaga, A., Egner, T., & Soto, D. (2012). Cognitive control over working memory biases of selection. doi:10.3758/s13423-012-0253-7
- Logothetis, N. K., Leopold D. A., & Sheinberg D. L. (1996). What is rivalling during binocular rivalry? *Nature*, 380(6575), 621-624.
doi:10.1038/380621a0
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281. doi:10.1038/36846
- Morrone, M.C., Denti, V., & Spinelli, D. (2002). Color and Luminance contrast attract attention. *Current Biology*, 12(13), 1134-1137. doi:10.1016/S0960-9822(02)00921-1
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(3), 411-421. doi:10.1037/0278-7393.28.3.411
- Olivers, C. N., Peters, J., Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2011). Different states in visual working memory: When it guides attention and when it does not. *Trends in cognitive sciences*, 15(7), 327-334.
doi:10.1016/j.tics.2011.05.004
- Todd, J. & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, 428, 751-754.
doi:10.1038/nature02466
- Simons, D.J., & Ambinder, M.S. (1997). Change Blindness. *Trends in Cognitive Science*, 1(7), 261-267. doi:10.1016/S1364-6613(97)01080-2
- Stein, T., Hebart, M. N., & Sterzer, P. (2011). Breaking continuous flash suppression: A new measure of unconscious processing during interocular suppression? *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 167.
doi:10.3389/fnhum.201100167
- van Moorselaar, D., Theeuwes, J. & Olivers, C. N. (2014). In competition for the attentional template: Can multiple items within visual working memory guide attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(4), 1450-1464. doi:10.1037/a0036229