

Categorische en coördinate verwerking van ruimte en kleur

Is er mogelijk sprake van een overeenkomstig, onderliggend substraat?

Kamé Peters, 3271153

Universiteit Utrecht

Master Neuropsychologie

27 februari 2012

Supervisors:

Dr. Ineke van der Ham

Dr. Martine van Zandvoort

Samenvatting

In onderzoek naar ruimtelijke relaties wordt onderscheid gemaakt tussen categorische en coördinate relaties, waarbij de eerste een meer abstracte en de tweede een meer exacte vorm betreft. Uit dergelijk onderzoek blijkt dat de linkerhemisfeer een voorkeur heeft voor de verwerking van categorische informatie, terwijl de rechterhemisfeer beter is in het verwerken van coördinate informatie. Omdat kleur, net als ruimte, categorische en metrische eigenschappen heeft, is middels het huidige experiment onderzocht of er sprake is van een overeenkomstige verwerking van vorm en kleur. Hieruit komt naar voren dat er sprake is van een overeenkomstige coördinate verwerking van vorm en kleur. Daarnaast maken proefpersonen op eenzelfde manier onderscheid tussen categorische en coördinate verschillen bij vorm en kleur. Deze bevindingen wijzen op de mogelijkheid van betrokkenheid van een overeenkomstig, onderliggend substraat.

Inleiding

Het verwerken van ruimtelijke relaties speelt een belangrijke rol in hoe wij omgaan met onze omgeving. Ruimtelijke relaties geven de verhouding tussen verschillende objecten, of tussen objecten en onszelf aan en zijn van groot belang in ons dagelijks leven, omdat we deze relaties gebruiken voor navigatie, communicatie en interactie met de omgeving. In onderzoek naar de verwerking van deze ruimtelijke relaties wordt vaak een onderscheid gemaakt tussen het verwerken van categorische en coördinate relaties omdat deze twee vormen verschillende doeleinden hebben in het regelen van gedrag (Jager & Postma, 2003). De verwerking van categorische ruimtelijke relaties heeft betrekking op abstracte relaties, zoals ‘boven’ of ‘links van’, en is vooral van belang in communicatie over ruimte. Bij coördinate verwerking daarentegen gaat het om meer exacte, metrische afstanden, zoals ‘drie meter van’ (Kosslyn, 1987). Deze vorm van ruimtelijke relaties gebruiken we vooral bij motorisch handelen, bijvoorbeeld wanneer we ons door een ruimte bewegen. Er is veel onderzoek gedaan naar de verwerking van ruimtelijke relaties in de hersenen. Hieruit komt naar voren dat de rechterhemisfeer een voorkeur heeft voor het verwerken van coördinate informatie, terwijl de linkerhemisfeer over het algemeen beter is in het verwerken van categorische informatie (Kosslyn, 1987). Dit effect wordt in tal van studies gevonden, zoals in gedragsstudies, fMRI-studies en patiëntstudies (Baciu, Koenig, Vernier, Bedoin, Rubin & Segebarth, 1999; Kosslyn, Koenig, Barrett, Backer Cave, Tang & Gabrieli, 1989; Palermo, Bureca, Matano & Guariglia, 2008). In onderzoek naar ruimtelijke relaties wordt meestal gebruik gemaakt van de *dot/bar task* of de *cross/dot task* waarbij gebruik wordt gemaakt van simpele, abstracte stimuli (Borst & Kosslyn, 2010; Michimata, Saneyoshi, Okubo & Laeng, 2011; Van der Ham, Dijkerman & Van den Berg, in revision). Proefpersonen dienen aan te geven of een punt zich binnen of buiten een bepaalde afstand van een lijn of kwadrant bevindt (coördinate instructie) of dat een punt zich onder of boven een lijn, of in hetzelfde of een ander kwadrant bevindt (categorische instructie). De hemisferische lateralisatie in de verwerking van ruimtelijke relaties is eveneens aanwezig wanneer er gebruik wordt gemaakt van meer complexe stimuli, zoals een objectherkenningstaak, waarbij foto’s van alledaagse objecten zoals een stoel, een lamp en een koekenpan worden aangeboden (Saneyoshi, Kaminaga, & Michimata, 2006). Uit onderzoek waarin gebruik werd gemaakt van afbeeldingen van veelvoorkomende objecten en dieren komt eveneens de hemisferische specialisatie naar voren (Laeng & Peters, 1995). Bovenstaande geeft aan dat we ook gebruik maken van ruimtelijke relaties bij de verwerking van complexe ruimtelijke vormen. Een belangrijke vraag hierin is: wat voor systeem is onderliggend aan deze lateralisatie?

Met betrekking tot de oorzaak van de lateralisatie in de verwerking van ruimtelijke relaties bestaan verschillende theorieën. Sommige auteurs suggereren dat een perceptuele oorzaak het meest waarschijnlijk is. Onderzoek van Van der Ham en Borst (2011) suggereert dat er bij zowel categorische als coördinate verwerking voornamelijk sprake is van visuo-spatiële verwerking, en er geen sprake is van een linguïstische verwerking, zoals door anderen beweerd wordt (Kemmerer & Tranel, 2000). Veel onderzoekers zijn het erover eens dat de lateralisatie in het verwerken van ruimtelijke relaties een gevolg is van hemisferische verschillen in het gebruik van visuele neuronen met relatief kleine receptieve velden en visuele neuronen met relatief grote receptieve velden (zie voor een review Jager & Postma, 2003). Zo neemt de linkerhemisfeer meer informatie op uit visuele neuronen met kleine, niet-overlappende receptieve velden en heeft daarmee een voorkeur voor de verwerking van categorische informatie, terwijl de rechterhemisfeer meer informatie gebruikt afkomstig uit neuronen met grote, overlappende receptieve velden en daarmee een voorkeur heeft voor het verwerken van coördinate informatie.

Ook in het verwerken van ruimtelijke vormen is sprake van zowel categorische als coördinate verwerking (Laeng & Peters, 1995; Saneyoshi, Kaminaga & Michimata, 2006). Door middel van het huidige experiment zal dit principe nogmaals onderzocht worden. Deze geometrische vormen bestaan uit verschillende categorieën, namelijk vierkant, cirkel, rechthoek en ovaal. De vormen lopen in kleine, gelijke stappen over van een cirkel naar vierkant, naar rechthoek, naar ovaal, en van een ovaal weer naar een cirkel. Hoewel de categorieën dus verschillend zijn, zijn de metrische afstanden tussen de opeenvolgende vormen exact hetzelfde. Om te onderzoeken of er ook gebruik wordt gemaakt van bovengenoemd systeem van categorische en coördinate verwerking buiten het spatiële domein, zal de verwerking van deze geometrische vormen worden vergeleken met de verwerking van kleuren. Hiervoor is gekozen omdat kleuren en vormen een aantal overeenkomstige eigenschappen hebben. Deze overeenkomst wordt duidelijk middels het principe *colorspace*, wat inhoudt dat kleur, net als vorm, in ruimtelijke termen is uit te drukken. Namelijk, tussen kleuren bestaan eveneens coördinate afstanden en kleur bestaat net als vorm uit duidelijk te onderscheiden categorieën. Zo zal kleur in dit onderzoek net als vorm in kleine stapjes overlopen, waarbij de gehele *colorspace* bestreken wordt. Vanwege bovengenoemde overeenkomstige kenmerken tussen kleur en vorm kunnen coördinate en categorische verwerking op deze manier goed met elkaar worden vergeleken.

In onderzoek naar kleurverwerking in het algemeen en kleurcategorisatie in het bijzonder is er eveneens aandacht voor een perceptuele verwerking in de hersenen, die vaak gekoppeld wordt aan een linguïstische verwerking. In kleurcategorisatie- en kleurdiscriminatie-onderzoek wordt vaak het fenomeen ‘categorische perceptie van kleur’ genoemd. Dit houdt in dat kleuren uit

verschillende categorieën beter en sneller van elkaar worden onderscheiden dan kleuren uit eenzelfde categorie, ongeacht wat de coördinate afstanden tussen de kleuren zijn. Dit heeft te maken met de namen die we aan kleuren geven (Franklin, Drivonikou, Clifford, Kay, Regier & Davies, 2008). Namelijk, ons kleurlexicon zorgt ervoor dat kleuren uit dezelfde lexicale categorieën meer op elkaar lijken dan kleuren uit verschillende lexicale categorieën (Kay & Whempton, 1984). In een review van Regier en Kay (2009) wordt eveneens gesteld dat de namen die wij aan kleuren geven van invloed zijn op onze perceptie van kleur. Wel blijkt hiervan met name sprake te zijn in het rechter visuele veld en daarmee de linker hemisfeer. Bewijs hiervoor komt onder andere uit onderzoek waarin peuters tussen kleuren moesten distantiëren (Franklin et al., 2008). Hieruit bleek dat er bij peuters die de kleurnamen van de kleuren in de taak nog niet hadden geleerd sprake was van een voordeel van het linker visuele veld en daarmee de rechterhemisfeer, terwijl dit bij peuters die de kleurnamen al wel hadden geleerd precies andersom was en daarmee hetzelfde als bij volwassenen. Dit suggereert dat zodra taal is aangeleerd het perceptueel categoriseren van kleur van de rechterhemisfeer naar de linkerhemisfeer verschuift. Tenslotte stellen Regier en Kay (2009) dat er bewijs is dat het perceptueel categoriseren door middel van het rechter visuele veld en de linker hemisfeer niet beperkt blijft tot het kleurdomein. Namelijk, wanneer er in plaats van kleuren gebruik wordt gemaakt van ruimtelijke stimuli (afbeeldingen van honden en katten) is er ook sprake van een voorkeur voor verwerking door het rechter visuele veld en de linkerhemisfeer (Gilbert, Regier, Kay & Ivry, 2008). De auteurs laten hiermee zien dat dit effect dus niet alleen voorkomt bij de verwerking van kleur, maar eveneens bij de verwerking van ruimte.

Met betrekking tot de oorzaak van de lateralisatie in de verwerking van ruimtelijke relaties zijn er, net als bij de verwerking van kleur, aanwijzingen voor een combinatie tussen een perceptuele en een linguïstische verwerking. Zo stellen Kemmerer en Tranel (2000) aan de hand van een patiëntstudie dat er zowel perceptuele en linguïstische representaties van ruimte betrokken zijn bij het verwerken van ruimtelijke relaties. Deze representaties bestaan onafhankelijk van elkaar en hebben ieder zijn eigen invloed op ruimtelijke verwerking. Volgens Kemmerer en Tranel is een voorkeur voor de linkerhemisfeer bij categorische verwerking alleen van toepassing bij verbaal-spatiële categorieën, terwijl een voorkeur voor de rechterhemisfeer bij coördinate verwerking gerelateerd is aan visuo-spatiële categorieën. Hoewel er bij zowel categorische als coördinate verwerking sprake is van perceptuele verwerking, zorgt een meer verbale categorische taak voor een sterker voordeel voor de linker hemisfeer bij categorische verwerking (Van der Ham & Postma, 2010).

Naast de invloed van perceptie en taal op de verwerking van ruimtelijke relaties, lijkt ook aandacht hierbij een rol te spelen. Namelijk, het type aandacht is van invloed op de verwerking van ruimtelijke relaties. Zo blijkt dat categorische ruimtelijke relaties beter verwerkt worden bij een lokale aandachtsfocus, terwijl coördinate ruimtelijke relaties voordeel hebben van een meer globale aandachtsfocus (Van der Ham, Dijkerman & Van den Berg, in revision; Laeng, Okubo, Saneyoshi, & Michimata, 2010; Borst & Kosslyn, 2010; Michimata, Saneyoshi, Okubo & Laeng, 2011). Participanten met een meer gerichte aandacht zijn dus beter in het verwerken van abstracte ruimtelijke relaties, terwijl mensen met een meer globale aandacht beter zijn in het verwerken van exacte, metrische informatie. Dit geeft aan dat aandacht een modulerend effect heeft in de verwerking van ruimtelijke relaties.

Samenvattend is er veel onderzoek gedaan naar de verwerking van ruimte en kleur. In de verwerking van ruimte blijkt de rechterhemisfeer een voorkeur te hebben voor het verwerken van coördinate, metrische, informatie en de linkerhemisfeer een voorkeur te hebben voor het verwerken van categorische, abstracte informatie. Zowel perceptuele-, linguïstische- als aandachtsaspecten bieden een verklaring omtrent de reden van deze lateralisatie. Ook in onderzoek naar kleurverwerking is er aandacht voor een combinatie van een perceptuele en linguïstische verwerking in de hersenen. Kleur en vorm zijn goed met elkaar te vergelijken omdat beiden uit verschillende categorieën (rood en blauw, cirkel en vierkant) bestaan en er tussen zowel kleuren als vormen coördinate afstanden bestaan. Hierdoor zijn zowel kleur als vorm in ruimtelijke termen uit te drukken.

Bovenstaande bevindingen samengenomen leiden tot de vraagstelling of het categoriseren en discrimineren in ruimte overeen komt met het categoriseren en discrimineren van kleur. Als het zo is dat er sprake is van een onderliggend overeenkomstig substraat, dan is de verwachting dat participanten op eenzelfde manier categoriseren en discrimineren bij geometrische vormen als bij kleuren. Mochten de prestaties op de kleurtaak substantieel verschillen van de prestaties op de ruimtelijke taak, dan is er naar alle waarschijnlijkheid sprake van betrokkenheid van verschillende onderliggende systemen in de hersenen.

Om bovenstaande te onderzoeken zijn er een vijftal hypothesen geformuleerd. Ten eerste verwachten we dat kleurcategorisatie gelijk is aan ruimtelijke categorisatie. Hiervan is sprake indien er een significante positieve correlatie bestaat tussen beide scores. Vervolgens verwachten we ook dat kleurdiscriminatie gelijk is aan ruimtelijke discriminatie. Ook hier wordt gekeken of er sprake is van een significante positieve correlatie. Daarnaast zijn er twee hypothesen te toetsen met betrekking tot aandacht in relatie tot ruimtelijke verwerking en kleurverwerking. De vraag hierbij is of een aandachtsbias de achterliggende basis is van zowel ruimtelijke verwerking als

kleurverwerking. Hierbij wordt onderzocht of het categoriseren en discrimineren van kleur samenhangt met een aandachtsbias. Vervolgens wordt ook gekeken of het categoriseren en discrimineren van ruimte samenhangt met een aandachtsbias. Ook deze hypothesen zullen getoetst worden door middel van correlaties. Hierbij zullen er correlaties berekend worden tussen aandacht en ruimtelijk categorisch, aandacht en ruimtelijk coördinaat, aandacht en kleur categorisch en aandacht en kleur coördinaat. Tenslotte zal onderzocht worden of categorische ofwel coördinate verschillen tussen kleuren en vormen beter worden waargenomen, en of participanten op eenzelfde manier onderscheid maken bij kleur en vorm.

Methoden

Participanten

Aan het onderzoek hebben 50 participanten in de leeftijd van 18 tot 30 jaar oud deelgenomen ($M = 22.5$, $SD = 2.3$), waarvan 20 mannen ($M = 23.8$, $SD = 1.1$) en 30 vrouwen ($M = 21.7$, $SD = 2.6$). Kleurenblindheid is uitgesloten bij alle proefpersonen door middel van Ishihara's Design Charts for Colour Blindness of Unlettered Persons (Ishihara, 1970), alle participanten behaalden een maximale score op deze taak. De participanten waren studenten en ontvingen voor deelname een beloning in geld (€ 10,-) of anderhalf proefpersoonuur. Aan het begin van het onderzoek is de Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) afgenomen om handvoorkeur vast te stellen. De deelnemende proefpersonen gaven aan overwegend rechtshandig te zijn (drie ambidexters met scores $\geq -40 \leq 40$, vijf linkshandigen met scores < -40 en 42 rechtshandigen met scores > 40).

Taken

De Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) is afgenomen om de handvoorkeur van de participanten te bepalen. Door middel van Ishihara's Design Charts for Colour Blindness of Unlettered Persons (Ishihara, 1970) is getest op kleurenblindheid.

Kleurcategorisatie en -discriminatie is getest door middel van de Farnsworth-Munsell 100-Hue Test (FM-100, Farnsworth, 1957), die uit drie subtaken bestaat. De eerste opdracht is om de nopjes met kleuren (85 verschillende, diameter van 2 cm, hoogte van 0,8 cm, waarbij de gehele *colorspace* werd doorlopen) naar eigen invulling te groeperen op kleur. Bij de tweede subtaak diende de participant de kleuren opnieuw te groeperen, dit keer in vijf kleurgroepen. De laatste opdracht is het maken van vier rijen van 21 nopjes per rij, waarbij de eerste en laatste vastliggen en de tussenliggende in correcte volgorde (bijvoorbeeld beginnend bij rood, overlopend naar groen) moesten worden gelegd. In deze taak zijn de eerste en tweede subtaak categorisch en is de laatste subtaak coördinaat van aard.

Een equivalent van de FM-100 is ontwikkeld om ruimtelijke categorisatie en -discriminatie te onderzoeken. Deze taak is qua opzet hetzelfde als de FM-100, maar in plaats van kleuren is er gebruik gemaakt van geometrische vormen (afmeting grootste figuur: 2 x 2 x 0,8 cm, afmeting kleinste figuur: 2 x 0,8 x 0,8 cm). De veranderingen in de vorm zijn metrisch gezien op dezelfde manier berekend als bij de kleurtaak. Ook bij de ruimtelijke taak is de eerste opdracht om de geometrische figuren te groeperen op vorm. Bij de tweede subtaak dient dit opnieuw te gebeuren, maar dit keer in exact vijf groepen. De laatste opdracht is ook hier het maken van vier rijen van 21 vormen, waarbij steeds de eerste en laatste vastliggen en de tussenliggende vormen op volgorde

dienen te worden gelegd (bijvoorbeeld beginnend bij een cirkel, overlopend naar een vierkant). Ook in deze taak zijn de eerste en tweede subtaak categorisch en is de laatste subtaak coördinaat van aard.

Een computertaak is afgenomen om de globale en lokale aandachtsfocus in kaart te brengen. Hierbij werd gebruikt gemaakt van de *Navon letters* (Navon, 1977). Gedurende de taak dienden de participanten te reageren op lokale en globale stimuli die op een beeldscherm van een computer (resolutie: 1280 x 1024 pixels) verschenen. Een klein, zwart fixatiekruis werd voor 500 ms in het midden van het scherm aangeboden. Vervolgens verscheen er links of rechts een letter in beeld voor 150 ms, eveneens zwart van kleur. Dit was een grote letter (globale stimulus; E, H, S of O in 145 x 225 pixels, visuele hoek: 4.24°), bestaande uit kleine letters (lokale stimulus; E, H, S of O in 20 x 30 pixels, visuele hoek: 0.58°). De grote letter was incongruent aan de kleine letter en alle mogelijke combinaties werden random aangeboden. Vooraf werd aangegeven op welke letter de proefpersonen dienden te reageren. Wanneer betreffende letter in beeld verscheen, ongeacht of deze groot of klein, of links of rechts op het beeldscherm verscheen, diende de participant op een groene knop te drukken, wanneer de participant deze letter niet zag drukte hij op een rode knop. Hierbij kregen de proefpersonen steeds 2000 ms de tijd om te reageren voordat de volgende letter in beeld verscheen. De taak bestond uit totaal 320 trials, met 80 trials per letter, en duurde ongeveer 15 minuten.

Om te onderzoeken of categorische ofwel coördinate verschillen tussen kleuren en vormen beter worden waargenomen, is gebruikt gemaakt van een *odd one out* taak, die onderscheidend vermogen test. Zowel de kleurtaak als de ruimtelijke taak bestond uit 18 trials, waarbij er steeds drie kleuren of vormen werden aangeboden. De proefpersonen dienden aan te geven welke van de drie stimuli er op basis van kleur of vorm niet, of het minst, bij hoort. De taak bestond uit drie blokken van 6 trials, op basis van verschillende categorische en coördinate eigenschappen. Zes van de trials bestonden uit kleuren of vormen met dezelfde coördinate afstanden ($X - 4$, X , $X + 4$) tussen de drie stimuli, maar deze verschilden in categorische eigenschappen. Vervolgens bestonden zes van de trials uit verschillende coördinate afstanden ($X - 4$, X , $X + 6$) tussen de drie stimuli en eveneens verschillende categorische eigenschappen. Eveneens zes van de trials bestonden uit dezelfde coördinate afstanden ($X - 4$, X , $X + 4$) en dezelfde categorische eigenschappen. De trials werden door elkaar, maar bij alle participanten in dezelfde volgorde afgenomen, met in ieder blok twee trials uit elk van de verschillende samenstellingen. De stimuli werden in een groepje voor de participant neergelegd waarbij de participant op basis van perceptie de *odd one* aan diende te wijzen.

Procedure

Participanten werden individueel getest in een laboratorium in het van Unnikgebouw van de Universiteit Utrecht. Voordat de deelname aan het experiment begon is uitgelegd dat het een experiment betreft naar het categoriseren en discrimineren van kleuren en ruimtelijke vormen en dat er naast een kleurtaak en een ruimtelijke taak ook een aandachtstaak op de computer zal worden afgenomen. Vervolgens werd de participanten gevraagd een *informed consent* te ondertekenen. Daarna begon het onderzoek, waarin bij alle proefpersonen op volgorde de Edinburgh Handedness Inventory, Ishihara's Design Charts for Color Blindness of Unlettered Persons en de globale/lokale aandachtstaak werden afgenomen. Vervolgens werd bij de oneven genummerde participanten op volgorde de kleurenvariant van de *odd one out* test, de vormen variant van dezelfde test, de kleurenvariant van de FM-100 en tenslotte de vormenvariant van de FM-100 afgenomen. Bij de even genummerde participanten werden de kleuren- en vormenvariant van de *odd one out* test alsmede de kleuren- en vormenvariant van de FM-100 in omgekeerde volgorde afgenomen.

Data reductie en statistische analyses

Ishihara's Design Charts for Colour Blindness of Unlettered Persons (Ishihara, 1970), de Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) en de *odd one out* test werden met de hand gescoord. Met betrekking tot de globale/lokale aandachtstaak is er gekeken naar zowel accuratesse als reactietijden, waarbij op basis van beide scores een aandachtsbias is berekend om te onderzoeken of er sprake is van een voorkeur voor globale danwel lokale stimuli. Op de FM-100 voor zowel kleur als vorm zijn voor elke participant verschillende scores berekend. De scores op de coördinate subtaak van FM-100 voor zowel kleur als vorm werden berekend door middel van een hiervoor bestaand digitaal scoringsprogramma op basis van normatieve data van Kinnear en Sahraie (2002). De totaal behaalde foutscore is gebaseerd op de score van foute antwoorden, waarbij er punten worden gegeven voor het aantal stappen dat de kleur of vorm verkeerd geplaatst is. Bij foute antwoorden krijgen ook de direct naastgelegen vormen of kleuren een punt. Bij de categorische subtaken van de FM-100 zijn foutscores op dezelfde manier berekend als bij de coördinate subtaak, maar dit maal met de hand. Hierbij is naast de totale foutscores gekeken naar het aantal groepen (alleen bij vrij groeperen) en de spreiding in groepsgrootte.

Om te onderzoeken of de verwerking van kleur gelijk is aan de verwerking van ruimte zijn correlaties berekend tussen de scores op de verschillende kleurtaken en ruimtelijke taken. Eveneens door middel van correlaties is getest of een aandachtsbias de achterliggende basis is van zowel ruimtelijke verwerking als kleurverwerking. Om te onderzoeken op welke manier

proefpersonen onderscheid maken tussen categorische en coördinate eigenschappen bij kleuren en vormen is gebruik gemaakt van de Chi Kwadraat toets. Om vervolgens te kijken of zij dit bij kleuren en vormen op eenzelfde manier doen, is gebruik gemaakt van de gepaarde T-test, om beide scores te vergelijken.

Resultaten

Om te onderzoeken of er een verband bestaat tussen kleur en vorm op de verschillende subtaken van de FM-100 is een correlatieve analyse uitgevoerd (zie tabel 1 voor een overzicht van de ruwe scores voor kleur en vorm). Wanneer gekeken wordt naar de categorische subtaken, hangen de foutscores van kleur en vorm niet samen bij het vrij groeperen ($r = -.161$, $p = .281$) en het maken van vijf groepen ($r = .024$, $p = .874$). Echter, het aantal groepen dat participanten maken bij het vrij groeperen van kleuren correleert significant met het aantal groepen dat proefpersonen maken bij het vrij groeperen van vormen ($r = .472$, $p < .01$). Wanneer er gekeken wordt naar samenhang binnen kleur en vorm, blijken de foutscores op het vrij groeperen samen te hangen met de foutscores op het maken van vijf groepen, bij zowel kleur ($r = .570$, $p < .01$) als vorm ($r = .561$, $p < .01$). Ook is er samenhang tussen de spreiding in groepsgrootte bij het vrij groeperen en het maken van vijf groepen, eveneens voor zowel kleur ($r = .400$, $p < .01$) als vorm ($r = .371$, $p < .05$). Wanneer gekeken wordt naar de coördinate subtaak van de FM-100, is er sprake van een significante correlatie tussen de foutscores op het discrimineren van kleur en vorm ($r = .657$, $p < .01$).

Tabel 1: *Gemiddelden en standaarddeviaties op de categorische (vrij groeperen en het maken van vijf groepen) en coördinate (discrimineren) subtaken van de FM-100, uitgesplitst naar kleur en vorm.*

| Subtaak | Kleur | Vorm |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | Gemiddelde (SD) | Gemiddelde (SD) |
| <i>Categorisch: vrij groeperen</i> | | |
| Foutscore | 10.75 (12.03) | 24.19 (37.96) |
| Aantal groepen | 8.46 (4.24) | 7.94 (3.39) |
| Range in groepsgrootte | 8.56 (3.60) | 11.55 (5.55) |
| <i>Categorisch: 5 groepen</i> | | |
| Foutscore | 7.40 (9.65) | 14.85 (29.46) |
| Range in groepsgrootte | 11.40 (4.45) | 14.53 (5.80) |
| <i>Coördinaat: discrimineren</i> | | |
| Foutscore | 44.71 (36.07) | 50.56 (29.87) |

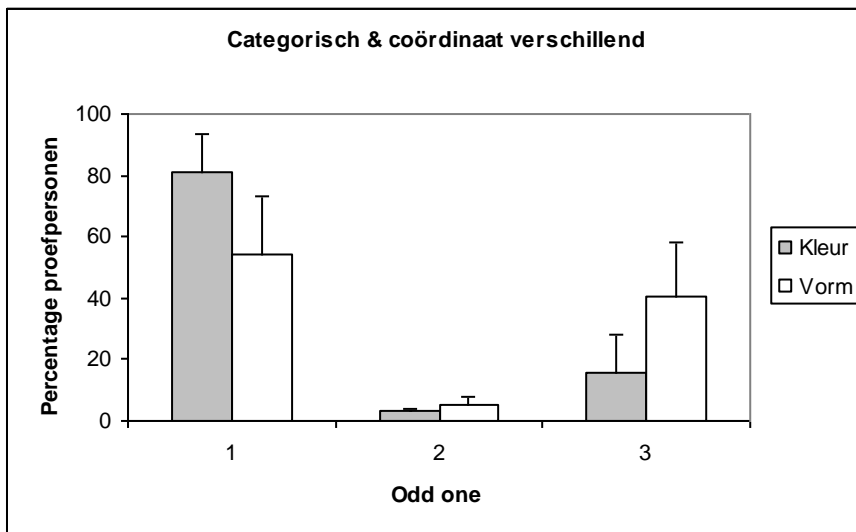
Voor elke participant is een biasscore berekend op basis van zowel accuratesse (verkregen door: (accuratesse globale trials – accuratesse lokale trials/accuratesse van de globale trials + accuratesse van de lokale trials)*100) als reactietijden (verkregen door: (RT globale trials – RT lokale trials/RT globale trials + RT lokale trials)*100; zie tabel 2 voor een overzicht van ruwe scores), dit om te kunnen rekenen met de reactietijden bij een eventueel plafondeffect bij de bias op basis van accuratesse. Er blijkt een gemiddelde aandachtsbias op basis van reactietijden te zijn van -5% (SD = 4%) en een gemiddelde op basis van accuratesse van 3% (SD = 8%), hetgeen wijst op een globale bias. Vervolgens is door middel van een T-test op één variabele berekend of deze voorkeur voor globale stimuli significant is. Dit blijkt inderdaad zo te zijn, zowel op basis van reactietijden ($t(46) = 8.66, p < .01$) als op basis van accuratesse ($t(46) = 2.15, p < .05$).

Om te onderzoeken of er samenhang bestaat tussen de aandachtsbias en de scores op de categorische en coördinate subtaken van de FM-100, is een correlatieve analyse uitgevoerd. Wanneer er wordt gekeken naar een samenhang tussen aandacht en kleur, blijkt er sprake van een correlatie tussen de biasscore op basis van accuratesse en de coördinate subtaak ($r = .386, p < .01$). Op basis van reactietijden blijkt deze samenhang niet te bestaan ($r = -.232, p = .124$). Er blijkt geen sprake van samenhang tussen aandacht en de categorische subtaken. Er zijn geen significante correlaties gevonden tussen aandacht en vrij groeperen, noch op basis van reactietijden ($r = .064, p = .677$), noch op basis van accuratesse ($r = .202, p = .184$). Evenmin zijn er correlaties gevonden tussen aandacht en het maken van vijf groepen (op basis van reactietijden: $r = -.070, p = .649$, op basis van accuratesse: $r = .016, p = .918$). Wanneer er gekeken wordt naar vorm, blijkt er geen samenhang te zijn tussen aandacht en de coördinate subtaak (accuratesse: $r = .089, p = .563$, reactietijden: $r = -.195, p = .199$). Er zijn geen significante correlaties gevonden tussen aandacht en vrij groeperen, noch op basis van reactietijden ($r = -.108, p = .485$), noch op basis van accuratesse ($r = -.115, p = .458$). Evenmin bestaan er significante correlaties tussen aandacht en het maken van vijf groepen (accuratesse: $r = -.066, p = .670$, reactietijden: $r = -.152, p = .323$).

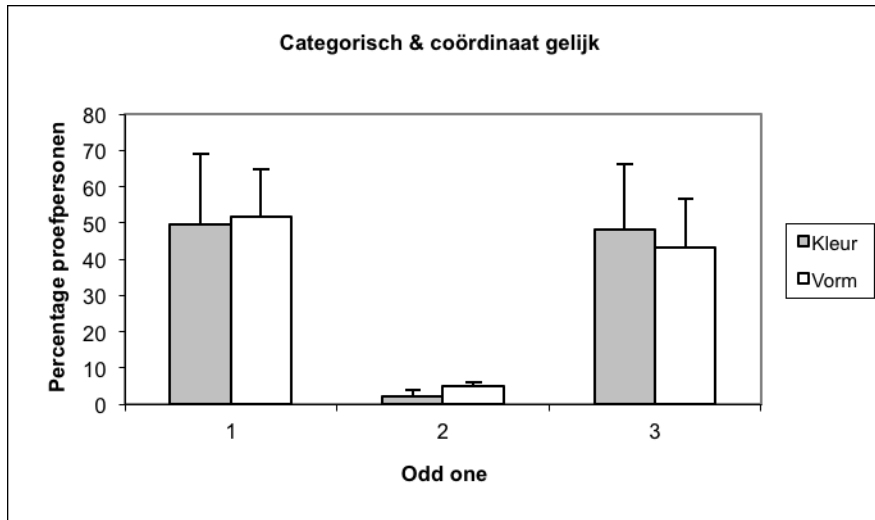
Voor de *odd one out* taak is voor de in het totaal 18 trials voor zowel kleur als vorm berekend hoe vaak voor elk van de drie stimuli werd gekozen. Hiervan zijn gemiddelden en standaarddeviaties berekend, welke zijn omgezet in percentages (zie figuur 1, 2 en 3 voor een overzicht van de ruwe data).



Figuur 1: Percentage proefpersonen dat kiest voor stimulus 1 (wijkt categorisch af) 2 (middelste stimulus) of 3 (overige stimulus) als zijnde de *odd one out*, inclusief standaarddeviaties, uitgesplitst naar kleur en vorm, bij de subtaak waarbij enkel de categorische eigenschappen verschillen.



Figuur 2: Percentage proefpersonen dat kiest voor stimulus 1 (wijkt categorisch en coördinaat af), 2 (middelste stimulus) of 3 (overige stimulus) als zijnde de *odd one out*, inclusief standaarddeviaties, uitgesplitst naar kleur en vorm, bij de subtaak waarbij zowel de categorische als coördinate eigenschappen verschillen.



Figuur 3: Percentage proefpersonen dat kiest voor stimulus 1 (linker stimulus), 2 (middelste stimulus) of 3 (rechter stimulus) als zijnde de *odd one out*, inclusief standaarddeviaties, uitgesplitst naar kleur en vorm, bij de subtaak waarbij zowel de categorische als coördinate eigenschappen gelijk zijn.

Vervolgens is door middel van een Chi kwadraat toets berekend of de verdeling per subtaak voor kleur en vorm afwijkt van de op basis van kans verwachte verdeling. Dit blijkt voor alle subtaken voor kleur en vorm het geval te zijn (categorisch verschillend, kleur: $X^2(2) = 124.62$, $p < .01$, vorm: $X^2(2) = 136.86$, $p < .01$, categorisch en coördinaat verschillend, kleur: $X^2(2) = 263.53$, $p < .01$, vorm: $X^2(2) = 96.39$, $p < .01$, categorisch en coördinaat gelijk, kleur: $X^2(2) = 129.86$, $p < .01$, vorm: $X^2(2) = 111.50$, $p < .01$). Omdat de Chi kwadraat toets slechts aangeeft dat er een verschil is in de keuze voor de verschillende stimuli, maar geen informatie verschaft over waar dit verschil precies inzit, geeft de ruwe data hier meer informatie over. In bovenstaande figuren worden deze verschillen duidelijk gemaakt aan de hand van het percentage van de participanten die voor stimulus 1, 2 of 3 koos als zijnde de *odd one out*. Hierbij is stimulus 1 in figuur 1 en 2 de stimulus die categorisch (valt in een andere categorie) en/of coördinaat (6 stapjes ertussen in plaats van 4) gezien afwijkt. Er wordt door de participanten logischerwijs in de meeste gevallen voor uiterste stimuli gekozen. Kijkend naar de absolute verschillen tussen de keuze voor de categorisch en/of coördinaat afwijkende stimulus of de overige stimulus, blijkt dat er voor zowel kleur als vorm met name een overtuigend verschil is voor de subtaak waarbij zowel de categorische als coördinate eigenschappen verschillend zijn (zie figuur 2). Voor de subtaak waarbij de categorische eigenschappen verschillend zijn, zijn in absolute zin geen overtuigende verschillen gevonden tussen de keuzen voor de categorisch afwijkende stimulus en de overige stimulus bij kleur (respectievelijk 50% en 47.3%). Voor dezelfde subtaak bij vorm is dit verschil groter, namelijk 35.6% koos voor de categorisch afwijkende stimulus, 60% koos voor de overige stimulus. Bij de

subtaak waar de categorische en coördinate eigenschappen gelijk zijn is voor zowel kleur als vorm geen overtuigend verschil gevonden in de keuze voor de metrisch gezien linker en rechter stimulus (kleur: respectievelijk 49.6% en 48%, vorm: respectievelijk 51.6% en 43.3%).

Tenslotte is er door middel van een gepaarde T-test onderzocht of er door de proefpersonen bij kleur en vorm per subtaak in dezelfde mate voor de verschillende stimuli gekozen werd. Hieruit komt naar voren dat er significante resultaten worden gevonden voor de middelste stimulus bij de subtaak waarbij de categorische eigenschappen verschillend zijn voor kleur en vorm, $t(5) = 2.71$, $p < .05$, en eveneens voor de middelste stimulus bij de subtaak waarbij zowel de categorische als de coördinate eigenschappen gelijk zijn voor kleur en vorm, $t(5) = 3.16$, $p < .05$. Dit betekent dat alle overige combinaties tussen de stimuli, per subtaak, voor kleur en vorm niet significant van elkaar verschillen.

Discussie

Tot op heden heeft onderzoek naar de verwerking van categorische en coördinate informatie zich gericht op het spatiële domein. Over het algemeen wordt hierbij aangenomen dat de rechterhemisfeer een voorkeur heeft voor het verwerken van coördinate informatie, terwijl de linkerhemisfeer beter is in het verwerken van categorische informatie (Kosslyn, 1987; Baciú, Koenig, Vernier, Bedoin, Rubin & Segebarth, 1999; Kosslyn, Koenig, Barrett, Backer Cave, Tang & Gabrieli, 1989; Palermo, Bureca, Matano & Guariglia, 2008). Het is belangrijk te onderzoeken hoe specifiek dit principe is binnen het ruimtelijke systeem, omdat ook in het verwerken van ruimtelijke vormen sprake is van zowel categorische als coördinate verwerking (Laeng & Peters, 1995; Saneyoshi, Kaminaga & Michimata, 2006). Het huidige onderzoek heeft zich gericht op de vraag of er eveneens sprake is van deze twee typen verwerking buiten het spatiële domein. Vorm en kleur hebben een aantal overeenkomstige eigenschappen, namelijk, tussen kleuren bestaan net als tussen vormen coördinate afstanden en kleur bestaat net als vorm uit duidelijk te onderscheiden categorieën. Middels dit onderzoek is onderzocht of de categorische en coördinate verwerking van vorm overeenkomt met de verwerking van kleur.

Kijkend naar de categorische subtaken van de FM-100, blijkt er een significante, positieve samenhang te bestaan tussen zowel het vrij groeperen en het maken van vijf groepen, als tussen de spreiding in groepsgrootte bij deze twee subtaken. Dit geeft aan dat de prestaties van proefpersonen binnen de subtaken voor kleur en vorm overeenkomen en zij eenzelfde strategie hanteren als het gaat om de groepsgrootte. Wanneer de foutscores tussen kleur en vorm worden vergeleken op zowel het vrij groeperen als het maken van vijf groepen, blijkt er geen sprake van samenhang te zijn. Dit is niet in lijn met de hypothese dat er sprake zou zijn van een onderliggend systeem dat betrokken is bij zowel de verwerking van kleur als de verwerking van vorm. Kijkend naar de gemiddelde foutscores voor zowel het vrij groeperen als het maken van vijf groepen voor kleur en vorm, blijkt dat deze bij beide subtaken een stuk hoger zijn voor vorm dan voor kleur (zie tabel 1). Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat kleurverwerking een beter ontwikkelde en meer gedetailleerde functie is dan spatiële verwerking. Namelijk, we denken erg gedetailleerd over de kleuren uit het kleurspectrum. Zo hebben we in onze taal benamingen voor veel verschillende tinten uit eenzelfde kleurcategorie, zoals lichtblauw, donkerblauw, marineblauw, kobaltblauw en indigo. Over vormcategorieën praten we over het algemeen in niet zoveel detail. Zo hebben we geen benamingen voor de nuances in vorm tussen een vierkant en een rechthoek, of tussen een cirkel en ovaal. Dit kan komen doordat we dit in het dagelijks leven in veel mindere mate gebruiken, terwijl kleurnuances juist vaak voorkomen in ons taalgebruik, bijvoorbeeld

wanneer we het hebben over de tint van een kledingstuk of van verf. Doordat we in meer detail denken en praten over kleur dan over vorm, zou het mogelijk kunnen zijn dat we beter in staat zijn kleine verschillen in kleurtinten te onderscheiden, en dat als gevolg hiervan de prestatie op de kleurtaak beter is dan op de vormtaak.

Tussen het aantal groepen dat participanten maken bij het vrij groeperen van kleuren en bij het vrij groeperen van vormen, werd daarentegen wel een verband gevonden. Dit zegt waarschijnlijk niet zoveel over een overeenkomstig substraat, maar heeft wellicht meer te maken met de betrokkenheid van een hogere orde verwerkingssysteem, dat betrokken is bij het aantal groepen dat participanten maken bij kleur en vorm. Mocht dit het geval zijn, dan is het waarschijnlijk dat dit principe niet alleen voor kleur en vorm geldt, maar ook op andere soorten stimuli toepasbaar is.

Vervolgens werd verwacht dat participanten even goed zijn in het discrimineren van kleuren als het discrimineren van vormen. Uit de resultaten blijkt dat de foutscore bij het discrimineren van kleur sterk samenhangt met de foutscore bij het discrimineren van vorm, hetgeen aangeeft dat de prestaties op de coördinate subtaak voor kleur en vorm overeenkomen. Met andere woorden, participanten zijn even goed in het discrimineren van kleur als van vorm. Dit gegeven is in overeenstemming met het idee van een onderliggend, overeenkomstig systeem.

Waar er bij de categorische subtaak dus geen samenhang tussen de foutscores op de kleur- en vormtaak blijkt te zijn, is deze samenhang er wel bij de coördinate subtaak. Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de coördinate subtaak, waarbij de proefpersoon steeds een vast begin en eindpunt en alle tussenliggende kleuren of vormen aangeboden krijgt, meer structuur biedt dan de categorische subtaken, waarbij de proefpersoon alle kleuren of vormen aangeboden krijgt. Het is mogelijk dat de coördinate subtaak vanwege deze houvast eerder op eenzelfde manier wordt uitgevoerd bij kleur en vorm. Daarnaast zou het te maken kunnen hebben met de door de participanten toegepaste strategie in het uitvoeren van de categorische en coördinate subtaken. Bij navraag hiernaar gaven vrijwel alle participanten aan bij de coördinate subtaak vanuit een externe representatie te werken. Dat wil zeggen, zij vergeleken de voorgaande stimulus met de overige stimuli, en besloten op basis van deze vergelijking welke stimulus de volgende in de rij moest zijn. De gebruikte strategie bij de categorische subtaken bleek bij navraag wat meer verdeeld te zijn. Hoewel er door sommige proefpersonen hier eveneens vanuit een externe representatie van kleur en vorm werd gecategoriseerd, gaven sommige participanten daarnaast aan vanuit een interne representatie te werken. Dit wil zeggen dat zij alle stimuli onder verdeelden in categorieën (rond, vierkant, rood, groen), en per stimulus steeds de afweging maakten tot welke categorie deze behoorde. Het is mogelijk dat de scores op de categorische subtaken voor kleur en

vorm verder uit elkaar liggen dan de scores op de coördinate subtaak, door bovengenoemd verschil in toegepaste strategie.

De verwachting dat de verwerking van kleur samen zou hangen met een aandachtsbias, wordt middels dit onderzoek deels bevestigd. Namelijk, een medium sterke, positieve correlatie wordt gevonden tussen de coördinate subtaak en de aandachtsbias op basis van accuratesse. Dit betekent hoe globaler de aandachtsbias is, des te meer fouten er werden gemaakt bij het discrimineren van kleuren. Echter, dit verband komt niet overeen eerdere bevindingen, die juist aantoonde dat een globale aandachtsbias de prestatie van coördinate verwerking zou verbeteren (Van der Ham, Dijkerman & Van den Berg, in revision; Laeng, Okubo, Saneyoshi, & Michimata, 2010; Borst & Kosslyn, 2010; Michimata, Saneyoshi, Okubo & Laeng, 2011). In de studie van Van der Ham, Dijkerman en Van den Berg (in revision) werd gebruik gemaakt van exact dezelfde taak om de aandachtsfocus in kaart te brengen. Waarom het gevonden effect van aandacht op categorische en coördinate verwerking in dat onderzoek anders is dan in het huidige onderzoek, blijft vooralsnog onduidelijk. Vervolgens wordt er geen verband gevonden tussen de categorische subtaken bij kleur en aandacht.

Vervolgens blijkt ruimte, in tegenstelling tot aangetoond in bovengenoemd onderzoek, geenszins samen te hangen met een aandachtsbias. Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat er in dit onderzoek gebruik is gemaakt van een andere methode om categorische en coördinate verwerking in kaart te brengen. In voorgaande onderzoeken werd gebruik gemaakt van de *dot/bar task* of een variant hierop, waarbij proefpersonen aan dienen te geven of een punt zich binnen of buiten een bepaalde afstand van een lijn of kwadrant bevindt (coördinate instructie) of dat een punt zich onder of boven een lijn, of in hetzelfde of een ander kwadrant bevindt (categorische instructie). In het huidige onderzoek werd daarentegen geen gebruik gemaakt van een computertaak. Mogelijk is de overgang van het gebruik van ruimtelijke stimuli in een computertaak naar de FM-100 voor het in kaart brengen van coördinate en categorische verwerking te groot en is de meetpretentie hiervan niet exact hetzelfde. Dit zou een verklaring kunnen bieden voor het feit dat bovengenoemde onderzoeken wel lieten zien dat aandacht een rol speelt in coördinate en categorische verwerking, maar dat dit in het huidige onderzoek niet wordt gevonden. Met betrekking tot vervolgonderzoek zou er een computertaak ontwikkeld kunnen worden die wat karakter betreft voor zowel vorm als kleur meer gelijk is aan eerder gebruikte taken in onderzoek naar categorische en coördinate verwerking, zoals de *dot/bar task* en de *cross/dot task*. Hiermee zou nogmaals gekeken kunnen worden naar een verband tussen aandacht en de categorische en coördinate verwerking van kleur en ruimte. Dit zou mogelijk ook effect kunnen hebben op de samenhang tussen kleur en ruimte op zich; wellicht blijkt middels een

dergelijke taak dat niet alleen de coördinate verwerking van kleur en ruimte overeenkomt, maar ook de categorische verwerking.

Tenslotte is onderzocht op welke manier proefpersonen onderscheid maken tussen categorische en coördinate verschillen, en of dit bij kleur en vorm gelijk is. Uit de resultaten blijkt dat wanneer participanten steeds uit drie kleuren of vormen dienen aan te geven welke de *odd one out* is, blijkt dat niet voor alle drie de stimuli even vaak wordt gekozen. De categorisch en/of coördinaat afwijkende stimuli, ofwel de uitersten, worden logischerwijs het vaakst gekozen als zijnde de *odd one out*. Deze verschillen zijn ook het meest interessant om te bekijken, gezien de middelste stimulus nooit degene is die categorisch en/of coördinaat gezien afwijkt en daarom geen informatie verschaft over een gevoeligheid voor verschillen in categorische en coördinate informatie.

Bij de subtaak waarbij alleen de categorische eigenschappen verschillen met betrekking tot kleur blijkt er geen expliciete voorkeur voor de categorisch afwijkende stimulus te zijn, in vergelijking met de andere uiterste (maar niet categorisch afwijkende) stimulus. Dit houdt in dat de stimulus die tot een andere categorie behoort niet vaker als *odd one* wordt bestempeld. Bij dezelfde subtaak voor vorm is dit verschil iets groter, waarbij de stimulus die categorisch niet afwijkt (de 'overige' stimulus) opvallend genoeg het vaakst als *odd one* aangemerkt werd.

Voor zowel kleur als vorm wordt een groot verschil gevonden in de keuze voor de zowel categorisch als coördinaat afwijkende stimulus in vergelijking met de 'overige' stimulus, bij de subtaak waarbij zowel de categorische als de coördinate eigenschappen verschillen. Hieruit valt te concluderen dat participanten pas gevoelig zijn voor categorische en coördinate verschillen als deze samen komen in één stimulus, aangezien dit effect op basis van enkel categorische verschillen niet wordt gevonden. Een verschil in keuze voor de uiterste stimuli komt zoals verwacht niet naar voren bij de subtaak waarbij zowel de categorische als de coördinate eigenschappen gelijk zijn.

Vervolgens was er de vraag of er door proefpersonen bij kleur en vorm per subtaak in dezelfde mate voor coördinate en/of categorische verschillen gekozen werd. De resultaten laten zien dat, op twee combinaties na, participanten op eenzelfde manier onderscheid maken tussen coördinate en/of categorische verschillen bij kleur als bij vorm. Dit is in lijn met de verwachting en dit gegeven ondersteunt de hypothese dat er sprake zou zijn van een overeenkomstig, onderliggend substraat. Significante verschillen tussen kleur en vorm worden enkel gevonden voor de metrisch gezien middelste stimulus, bij de subtaken waarbij de categorische eigenschappen verschillend zijn en waarbij zowel de categorische als coördinate eigenschappen gelijk zijn. Echter, zoals eerder vermeld zijn deze resultaten zijn niet dermate interessant omdat de

categorische of coördinate verschillen zich nooit in de middelste stimulus bevinden en dit daarmee niets zegt over de keuze voor categorische en/of coördinate verschillen.

Om meer inzicht te verwerven in welke functies betrokken zijn bij de categorische en coördinate verwerking van kleur en ruimte, is het van belang dat hiernaar vervolgonderzoek wordt uitgevoerd. Hierin zou gebruik gemaakt kunnen worden van fMRI, om in kaart te kunnen brengen welke gebieden in de hersenen actief worden gedurende de categorische en coördinate verwerking van kleur en ruimte.

Samenvattend geeft dit onderzoek enkele aanwijzingen voor een overeenkomstige verwerking van kleur en vorm. Echter, dit komt niet uit elke subtaak van dit onderzoek voren. Het huidige experiment geeft geen aanwijzingen voor de betrokkenheid van een aandachtsbias in de categorische en coördinate verwerking van kleur en vorm. Gezien de significante correlatie tussen het discrimineren van kleur en vorm en het gegeven dat participanten categorische en coördinate verschillen op eenzelfde manier beoordelen bij kleur en vorm, lijkt dat er op basis van dit onderzoek met enige voorzichtigheid kan worden gesteld dat er mogelijk sprake is van een onderliggend, overeenkomstig substraat. Aan de hand van het huidige onderzoek lijkt het het meest waarschijnlijk dat, gezien het ontbreken van een verband tussen kleur- en spatiële verwerking en aandacht, visuo-spatiële en/of linguïstische aspecten een ondersteunende rol in spelen in de categorische en coördinate verwerking van kleur en ruimte, zoals gebleken uit eerder onderzoek (Van der Ham & Borst, 2011; Van der Ham & Postma, 2010; Kemmerer & Tranel, 2000; Regier & Kay, 2009; Franklin, Drivonikou, Clifford, Kay, Regier & Davies, 2008).

Referenties

- Baciu, M., Koenig, O., Vernier, M.P., Bedoin, N., Rubin, C., & Segebarth, C. (1999). Categorical and coordinate spatial relations: fMRI evidence for hemispheric specialization. *NeuroReport*, *10*, 1373-1378.
- Borst, G., & Kosslyn, S.M. (2010). Varying the scope of attention alters the encoding of categorical and coordinate spatial relations. *Neuropsychologia*, *48*, 2769-2772.
- Farnsworth, D. (1957). The Farnsworth-Munsell 100-Hue Test for the examination of color discrimination.
- Franklin, A., Drivonikou, G.V., Clifford, A., Kay, P., Regier, T., & Davies, I.R.L. (2008). Lateralization of categorical perception of color changes with color term acquisition. *Proceedings of the National Academy of Science*, *105*, 18221-18225.
- Gilbert, A.L., Regier, T., Kay, P., & Ivry, R.B. (2008). Support for lateralization of the Whorf effect beyond the realm of color discrimination. *Brain and language*, *105*, 91-98.
- Ishihara, S. (1970). *Ishihara's Design Charts for Colour Blindness of Unlettered Persons*. Tokyo: Isshinkai.
- Jager, G., & Postma, A. (2003). On the hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations: A review of the current evidence. *Neuropsychologia*, *41*, 504-515.
- Kay, P., & Kempton, W. (1984). What is the Sapir-Whorf hypothesis? *American Anthropologist*, *86*, 65-79.
- Kemmerer, D., & Tranel, D. (2000). A double dissociation between linguistic and perceptual representations of spatial relationships. *Cognitive Neuropsychology*, *17*, 393-414.
- Kinnear, P.R., & Sahraie, A. (2002). New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5–22 and for age decades 30–70. *British Journal of Ophthalmology*, *68*, 1408-1411.

- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imaging in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological review*, *94*, 148-175.
- Kosslyn, S.M., Koenig, O., Barrett, A., Backer Cave, C., Tang, J., & Gabrieli, J.D.E. (1989). Evidence for two types of spatial representations: Hemispheric specialization for categorical and coordinate relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 723-735.
- Laeng, B., Okubo, M., Saneyoshi, A., & Michimata, C. (2011). Processing spatial relations with different apertures of attention. *Cognitive science*, *35*, 297-329.
- Laeng, B. & Peters, M. (1995). Cerebral lateralization for the processing of spatial coordinates and categories in left- and right-handers. *Neuropsychologia*, *33*, 421- 439.
- Michimata, C., Saneyoshi, A., Okubo, M., & Laeng, B. (in press). Effects of global and local attention on the processing of categorical and coordinate spatial relations. *Brain and cognition*.
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*, 353-383.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*, 97-113.
- Palermo, L., Bureca, I., Matano, A., & Guariglia, C. (2008). Hemispheric contribution to categorical and coordinate representational processes: a study on brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, *46*, 2802-2807.
- Regier, T., & Kay, P. (2009). Language, thought, and color: Whorf was half right. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*, 439-446.
- Saneyoshi, A., Kaminaga, T., & Michimata, C. (2006). Hemispheric processing of categorical/metric properties in object recognition. *NeuroReport*, *17*, 517-521.

Van der Ham, I.J.M., & Postma, A. (2010). What is the nature of spatial abstraction? A comparison of verbal and visuospatial categorical relations. *Memory and cognition*, 38, 582-590.

Van der Ham, I.J.M., & Borst, G. (2011). The nature of categorical and coordinate spatial relation processing: An interference study.

Van der Ham, I.J.M., Dijkerman, H.C., & Van den Berg, E. (in revision). The effect of attentionalscope on spatial relation processing: A case study.