

Opgeroepen hersenpotentialen als venster op de fysieke eigenschappen van externe representaties

Bachelorthese - Lot Verburgh (s0111252)

Vakgroep Instructietechnologie (IST)

Begeleiders: Theo van Leeuwen en Jan van der Meij

April 2009, Universiteit Twente

Abstract

Aanleiding van deze studie zijn meerdere onderzoeken waaruit blijkt dat het niet duidelijk is wanneer multipele externe representaties werken en in welke situatie niet. In deze onderzoeken is alleen gekeken naar de gedragscomponenten wanneer geleerd werd met multipele representaties. In deze studie is echter gefocust op de hersenprocessen die plaatsvinden wanneer losse externe representaties verwerkt worden. Meer kennis over de hersenprocessen bij losse externe representaties kan leiden tot een betere toepassing van multipele representaties in leeromgevingen.

Event Related Potentials (ERP's) van vier verschillende externe representaties (een formule, tabel, grafiek en concrete representatie) zijn geanalyseerd. Er zijn drie componenten van deze potentialen bestudeerd in een niet-taakrelevante conditie. Er zijn significante verschillen gevonden tussen de ERP componenten van de afzonderlijke representaties. De formule heeft significant lagere amplitudes bij de componenten vergeleken met de andere drie representaties. De amplitudes van de componenten zijn vergelijkbaar en niet significant verschillend voor de grafiek en tabel. De concrete representatie heeft significant sterkere ERP componenten dan de andere representaties. Daarnaast is er gekeken naar een taakrelevante conditie waarbij proefpersonen een taak moesten uitvoeren met de representaties. Analyse van de gedragsdata laat zien dat er significante verschillen zijn tussen de representaties voor de accuratesse en voor de reactietijden voor de verschillende representaties.

Key words: Event Related Potentials, externe representaties, hersenprocessen

Introductie

1.1 Representaties

Iedereen maakt in het dagelijks leven gebruik van representaties. Deze representaties kunnen worden verdeeld in externe en interne representaties. Externe representaties zijn de kennis en structuren in iemands omgeving, zoals aantekeningen, tabellen en figuren. Interne representaties zijn mentale representaties, de kennis en structuren in het geheugen over bijvoorbeeld nummers, proposities en procedures (Zhang, 1997).

In lesmethoden wordt veel gebruik gemaakt van externe representaties. Een voorbeeld hiervan is een afbeelding van een lichaamscel in een biologieboek. Bij multiële representaties worden twee of meer representaties tegelijkertijd gebruikt. Dit kunnen bijvoorbeeld een tekst, een grafiek en een formule zijn om één probleem uit te leggen. Door deze combinatie van representaties kunnen leerlingen de stof vanuit verschillende perspectieven bekijken en kunnen ze verschillende strategieën toepassen om de stof goed te kunnen begrijpen (Seufert, 2003).

1.2 Voor- en nadelen van leren door middel van multiële representaties

Een voordeel van leren met multiële representaties is dat iedere representatie een ander aspect kan laten zien van het onderwerp waarover geleerd moet worden en dat ze kunnen worden gebruikt voor verschillende doelen (Ainsworth & Labeke, 2004). Bij het leren van biologie kan bijvoorbeeld een grafiek de groei van een cel in de tijd laten zien. Daarnaast kan een schematische tekening laten zien hoe die groei er uit ziet. Een tweede voordeel is dat de representaties elkaar kunnen versterken (Ainsworth & Labeke, 2004). Op deze manier kan bijvoorbeeld een tabel worden versterkt door een grafiek om zo de tabel begrijpelijker te maken voor de lezer.

Naast de twee genoemde voordelen moet er bij het werken van multiële representaties een vertaling plaatsvinden tussen de representaties. Dit betekent dat de verschillen en overeenkomsten van representaties geïnterpreteerd moeten worden, wat kan leiden tot een beter begrip van een concept waarover geleerd wordt (van der Meij & De Jong, 2006). Dit laatstgenoemde voordeel kan echter ook een nadelige uitwerking hebben omdat leerlingen verschillende handelingen tegelijk moeten uitvoeren (Ainsworth, 1999). Ze moeten beoordelen wat wordt bedoeld met iedere representatie, hoe de variabelen moeten worden geïnterpreteerd en wat er van geleerd moet worden. Dit kan resulteren in een *attention overload*, omdat de leerling zijn of haar aandacht moet verdelen over meerdere representaties.

Doordat de leerlingen op meerdere dingen tegelijk moeten focussen ontstaat volgens Mayer & Moreno (1998) een *attention split* probleem. Dit kan leiden tot verminderde vertaling tussen representaties en een verminderd begrip van het domein waarover geleerd wordt. Een tweede nadeel is wat is aangetoond in een studie van Kozma & Russel (1997). Hier werden leken en experts op het gebied van werken met multipele representaties vergeleken. Er vonden minder transformaties tussen de representaties plaats bij de leken vergeleken met de experts, die gewend waren aan het werken met multipele representaties.

Zoals kan worden geconcludeerd uit bovenstaande voordelen en beperkingen kan leren met multipele representaties lastig zijn. De hierboven omschreven studies richtten zich enkel op de gedragscomponenten met betrekking tot het leren. Er is geen kennis beschikbaar over de hersenprocessen die plaatsvinden wanneer er geleerd wordt met behulp van externe representaties. Meer duidelijkheid en kennis hierover kan leiden tot een beter gebruik van multipele representaties bij leermethoden.

1.3 Event Related Potentials

Event Related Potentials (ERP's) zijn hersenpotentialen die worden opgeroepen door stimuli aan te bieden in de omgeving van de proefpersoon. Deze stimuli zijn bijvoorbeeld een geluid, een foto, of een elektrische stimulatie van de huid. ERP golfvormen worden gekenmerkt door amplitude, latentie en polariteit. De amplitude geeft de sterkte van de hersenactiviteit weer in microvolts, polariteit is de positiviteit of negativiteit van de golfvorm. De latentietijd is de tijd tussen het aanbieden van een stimulus en het verschijnen van de ERP component.

Er zijn twee verschillende typen ERP componenten, exogene en endogene. Exogene componenten, of sensorische componenten, zijn de vroegste componenten van een ERP golfvorm. Deze componenten treden ook op wanneer de proefpersoon geen bewuste aandacht schenkt aan een stimulus (Kok, 2004). De eerste (exogene) component die geanalyseerd is in deze studie wordt P1 genoemd; de piek van deze component heeft een latentietijd rond de 100 milliseconden (Luck, Woodman & Vogel, 2000; Di Russo, Martínez & Hillyard, 2003). Endogene componenten ontstaan door bewust aandacht te schenken aan een stimulus of wanneer er wordt verwacht een bepaalde taak uit te moeten voeren (Kok, 2004). Twee bekende endogene componenten zijn P2 en P3. P2 heeft een latentietijd rond de 200 milliseconden en wordt geanalyseerd omdat de hoeveelheid aandacht die wordt geschonken aan een stimulus een groot effect heeft op de precieze latentietijd en amplitude van deze component (Picton & Hillyard, 1974).

Bij taakrelevante experimenten heeft de piek van P3 een sterke amplitude en een latentietijd rond de 300 milliseconden. Bij niet goed te identificeren stimuli of bij niet taakrelevantie condities heeft P3 echter een langere latentietijd, rond de 400 milliseconden (Courchesne, Hillyard & Galambos, 1975).

1.4 Onderzoeksvragen

Deze studie maakt deel uit van een uitgebreider onderzoek naar de eigenschappen van hersenpotentialen wanneer er wordt gewerkt met externe representaties. Hierbij wordt EEG onderzoek uitgevoerd om de opgeroepen hersenpotentialen van verschillende representaties te analyseren wanneer proefpersonen een taak moeten uitvoeren.

In deze studie is eerst onderzocht wat in de hersenen gebeurt wanneer er geen taak wordt uitgevoerd, dit wordt de baseline conditie genoemd. Naast deze fysiologische meting wordt ook de gedragsdata geanalyseerd tijdens een taak. De gedragsdata bestaat uit het percentage goede antwoorden en reactietijd.

De hoofdvraag van de hier gerapporteerde studie luidt of er verschillen zijn in de amplitudes van de ERP componenten van de vier gebruikte representaties in een baseline conditie. Deze baseline conditie is van belang omdat in een taakrelevante conditie niet bepaald kan worden waar de verschillen tussen de hersenpotentialen van de representaties vandaan komen. De hersenpotentialen die de fysieke eigenschappen van de representaties oproepen moeten kunnen worden onderscheiden van de hersenpotentialen die zijn opgeroepen door de taak die met de representaties wordt uitgevoerd. Die fysieke eigenschappen van representaties kunnen dus worden vastgesteld met een baselineconditie waarin proefpersonen externe representaties te zien krijgen zonder er een taak mee uit te voeren.

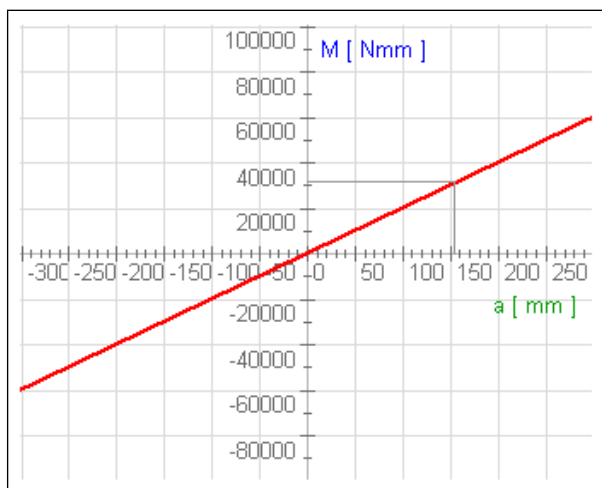
Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn vier verschillende externe representaties gebruikt; een formule (figuur 1a), een grafiek (figuur 1b), een tabel (figuur 1c) en een concrete representatie (figuur 1d). De representaties geven allemaal de natuurkundige momentstelling weer ($\text{moment} = \text{kracht} \times \text{arm}$). Dit onderwerp is gekozen omdat het gaat om van een abstract begrip. Daarnaast zijn er al meerdere onderzoeken met dit onderwerp uitgevoerd (e.g. van der Meij & de Jong, 2006) en is dit onderwerp goed met verschillende representaties te representeren.

$$M = F \times a = 150 \text{ N} \times 174 \text{ mm} = 26100 \text{ Nmm}$$

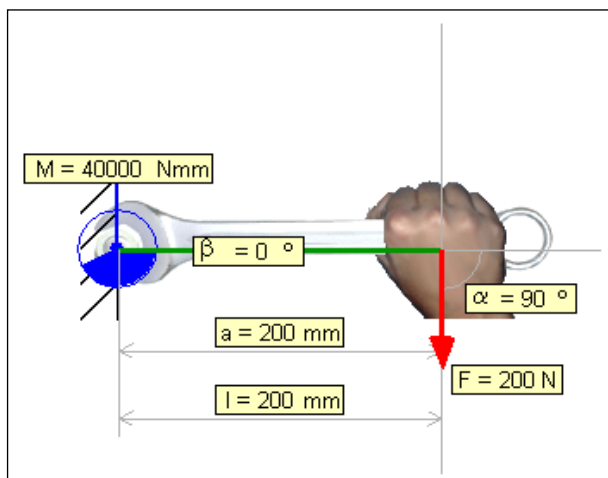
Figuur 1a. De formule

F	alpha	beta	l	a	M
-350	130	0	200	153	-53550
-300	130	0	200	153	-45900
-250	130	0	200	153	-38250
-200	130	0	200	153	-30600
-150	130	0	200	153	-22950
-100	130	0	200	153	-15300
-50	130	0	200	153	-7650
0	130	0	200	153	0
50	130	0	200	153	7650
100	130	0	200	153	15300
150	130	0	200	153	22950
200	130	0	200	153	30600
250	130	0	200	153	38250
300	130	0	200	153	45900
350	130	0	200	153	53550

Figuur 1b. De tabel



Figuur 1c. De grafiek



Figuur 1d. De concrete representatie

2.0 Methode

2.1 Proefpersonen

Achttien studenten (10 vrouwen en 8 mannen) van de Universiteit Twente hebben deelgenomen aan dit experiment. De proefpersonen hadden een gemiddelde leeftijd van 20.1 (lopend van 18 tot en met 24) en Nederlands is hun moedertaal. Vijftien studenten ontvingen proefpersoon credits. De overige drie proefpersonen deden vrijwillig mee aan het experiment. Alle proefpersonen ondertekenden een informed consent voordat het experiment startte.

2.2 Apparatuur, taak en stimuli

Alle vier de representaties die zijn gebruikt in dit experiment (figuur 1 a t/m d) bevatten dezelfde variabelen: Arm (in millimeters), Moment (in Newton- millimeters) en Kracht (in Newton). Het experiment is geprogrammeerd in E-Prime (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, USA). De gebruikte computer is een IBM Intel Pentium IV (3.00 GHz), met een Samsung Syncmaster 750S beeldscherm van 17 inch. De beeldschermresolutie was 1024x768 pixels (70 Hz). In de baseline conditie, waar de proefpersonen geen taak hoefden uit te voeren verschenen de stimuli in een willekeurige volgorde voor 150 milliseconden in het midden van het computerscherm. De stimuli hadden een inter-stimulus interval van 1500 milliseconden en iedere stimulus verscheen 48 keer op het beeldscherm. Tijdens het inter-stimulus interval was een wit beeldscherm te zien.

De taakrelevante conditie bestond uit meerdere onderdelen per representatie. De eerste was een willekeurige presentatie van een van de representaties. Dit was bijvoorbeeld de concrete representatie zoals te zien is in figuur 2a. Na 1000 milliseconden verscheen de vraag onder de representatie in beeld. In figuur 2b is te zien dat dit bijvoorbeeld kon zijn:

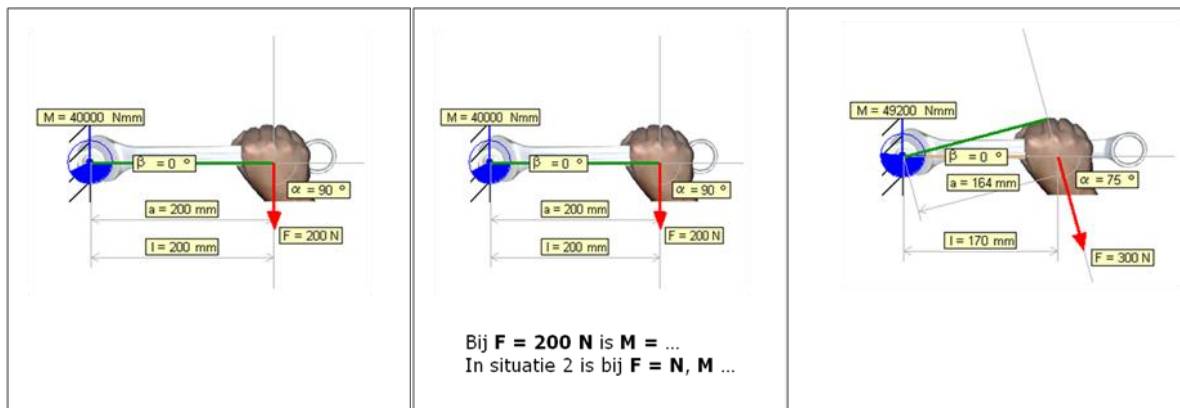
Bij $F=200\text{ N}$ is $M=...$

In situatie 2 is bij $F= 300\text{ N}$, $M=...$

De taak van de proefpersoon hield in om de bijbehorende waarde van M op te zoeken in de representatie op het beeldscherm, en bij situatie 2 (figuur 2c) aan te geven of de waarde van M in de tweede situatie groter of kleiner is geworden dan in de eerste situatie. Dit deden ze door de z of / toets op het toetsenbord in te drukken waar de betekenis < of > aan was gegeven door middel van een sticker. Situatie 2 was zichtbaar wanneer de proefpersoon zelf op de spatiebalk op het toetsenbord drukte. Er was geen tijdslimiet aan de taak verbonden. Daarnaast was slechts één van beide situaties tegelijkertijd te zien op het beeldscherm, en kon de proefpersoon niet terugkeren naar de eerste situatie wanneer hij of zij situatie 2 op het

beeldscherm zag. Na iedere trial verscheen er een wit scherm met fixatiekruis in het midden om de aandacht naar het midden van het scherm te leiden. De proefpersoon kon hierbij zelf een willekeurige toets kon indrukken om te starten met de volgende trial.

Ook bij deze conditie verscheen iedere representatie 48 keer, dus de proefpersoon had 192 trials te beantwoorden.



Figuur 2a.

Figuur 2b.

Figuur 2c.

2.3 Procedure

Het experiment vond plaats in het laboratorium van de faculteit Gedragwetenschappen van de Universiteit Twente en duurde twee uur zonder pauze. Aan de proefpersonen werd verteld dat ze enkele tests met externe representaties moesten uitvoeren, maar zij wisten niet wat het doel van het experiment was. De baseline conditie zoals beschreven in sectie 2.2 duurde ongeveer vijf minuten.

Aan de proefpersonen werd verteld rustig te blijven zitten en alleen te kijken naar het beeldscherm zonder verder een taak met de representaties te hoeven uitvoeren. Na de baseline conditie werd de momentstelling uitgelegd door middel van gestandaardiseerde Microsoft PowerPoint™ sheets. Ook de taak die de proefpersonen moesten uitvoeren werd uitgelegd. Na de uitleg konden de proefpersonen de taak acht keer oefenen waarbij ook vragen aan de experimentator mochten worden gesteld. Bij deze oefensessie zagen de proefpersonen op het scherm of ze de trial goed of fout hadden beantwoord. Na de oefensessie begon het taakrelevante experiment waarbij de proefpersonen geen feedback meer ontvingen.

2.4 EEG opname

EEG werd gedurende het experiment opgenomen door middel van Ag/AgCl elektroden. Deze werden geplaatst volgens het internationale 10-20 systeem in een elastisch kapje dat op het hoofd van de proefpersoon was bevestigd (BrainProducts GmbH ©, München, Germany). De elektroden waren geplaatst op de volgende 61 locaties: Fpz, Fp1, Fp2, AFz, AF3, AF4, AF7, AF8, Fz, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, FCz, FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6, FT7, FT8, Cz, C1, C2, C3, C4, C5, C6, T7, T8, CPz, CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, TP7, TP8, Pz, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, POz, PO3, PO4, PO7, PO8, Oz, O1, O2.

De ground elektrode werd geplaatst op het voorhoofd, voor Fpz. Oogbewegingen werden geregistreerd door middel van EOG (electro-oculografie). Twee elektrodes werden boven en onder het linkeroog van de proefpersoon en horizontaal aan beide zijkanten van het hoofd naast het linker en rechteroog. De EEG en EOG signalen werden versterkt met Brain Recorder (BrainProducts GmbH©, München, Germany) en opgenomen met 500 Hz per kanaal (filterinstelling low cutoff DC, high cutoff 140 Hz). De elektrode weerstand werd bij iedere proefpersoon onder de 10 k Ω gehouden.

2.5 Data analyse

De gedragsmaten van het taakrelevante experiment zijn *accuratesse* en *reactietijd*. *Accuratesse* is het percentage correct beantwoorde trials, *reactietijd* is de reactietijd voor een trial gemeten in milliseconden.

De resultaten van de baseline conditie zijn de door Brain Vision Analyzer (BrainProducts GmbH©, München, Germany) geanalyseerde EEG data. De analyse begon met filteren (.30–30 Hz, 24 dB/Oct, plus een notchfilter van 50 Hz) en segmenteren van de ruwe EEG data. Er zijn segmenten van 1100 milliseconden berekend voor iedere representatie die de proefpersoon te zien kreeg, met een prestimulus interval van 100 milliseconden. Na deze segmentatie werd een DCdetrend correctie uitgevoerd (Hennighausen, Heil & Rosler, 2004). Na deze correctie werd een *ocular correction* uitgevoerd om te corrigeren voor oogbewegingen. Vervolgens werden artefacten van meer dan 150 microvolt zoals hoofdbewegingen verwijderd door middel van *artifact rejection*. Als laatste werd een baseline correctie uitgevoerd, 100 milliseconden voor de start van een stimulus.

De *Global Field Power* (GFP) is de spatiële standaarddeviatie van de hersenactiviteit van alle elektroden die geplaatst zijn op de schedel (Skrandies, 1989) en is geplot als een functie van tijd. De drie componenten werden onderscheiden door de GFP golfvormen te

segmenteren. Het segment voor P1 loopt van 90 tot 182 milliseconden na de start van een stimulus, voor P2 is dit 184 tot 324 milliseconden en voor P3 loopt het segment van 326 tot 539 milliseconden.

Binnen deze segmenten is rond de piek latentietijd van ieder component een window van 10 milliseconden bepaald waarin de gemiddelde amplitude werd berekend (Skrandies 1989). Het window van P1 start 115 milliseconden na de start van de stimulus en eindigt bij 125 milliseconden. Voor P2 loopt het window van 275 tot 285 milliseconden, voor P3 is dit van 375 tot 385 milliseconden.

We zijn het meest geïnteresseerd in de sterkte van de hersenpotentialen, dus in deze studie wordt alleen ingegaan op de amplitudes van de drie ERP componenten. Behalve de analyse van de sterkte (amplitude) van de componenten, kan de EEG data ook worden geanalyseerd door te kijken naar de topografische verandering met behulp van topografische kaarten.

2.6 Statistische analyse

Deze studie heeft een within subjects design waarbij *accuratesse* en *reactietijd* de afhankelijke variabelen zijn bij het taakrelevante experiment. Voor de baseline conditie zijn de drie ERP componenten de afhankelijke variabelen. Bij alle statistische analyses is een significantie criterium met een alfa van 0.05 aangehouden. Een Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA) is gebruikt voor de analyses en de data is paarsgewijs getest om de verschillen tussen de afzonderlijke representaties te bekijken.

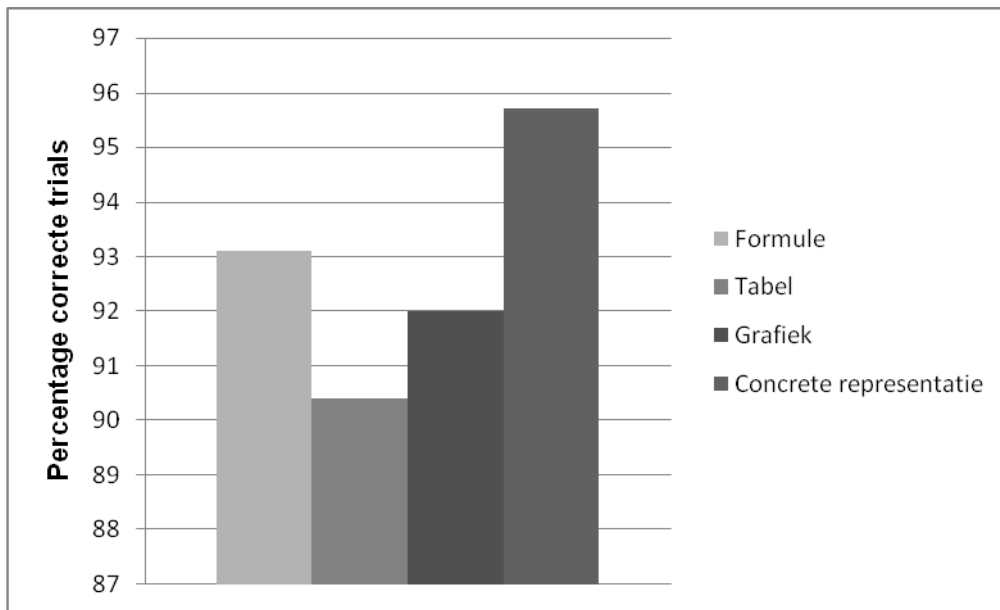
3.0 Resultaten

3.1 Gedragsdata

Als eerste is een repeated measures ANOVA uitgevoerd voor de *accuratesse* scores op de afzonderlijke representaties. De resultaten zijn te zien in figuur 3 en zijn gepresenteerd als percentage goed beantwoorde trials. Er is een significant verschil gevonden voor *accuratesse* tussen de representaties ($F(3,51) = 3.158, p < .05$). Omdat met deze test nog niet te zien is waar de significante verschillen zich precies bevinden is vervolgens een paarsgewijze toets uitgevoerd om te bepalen welke *accuratesse* scores significant van elkaar verschillen.

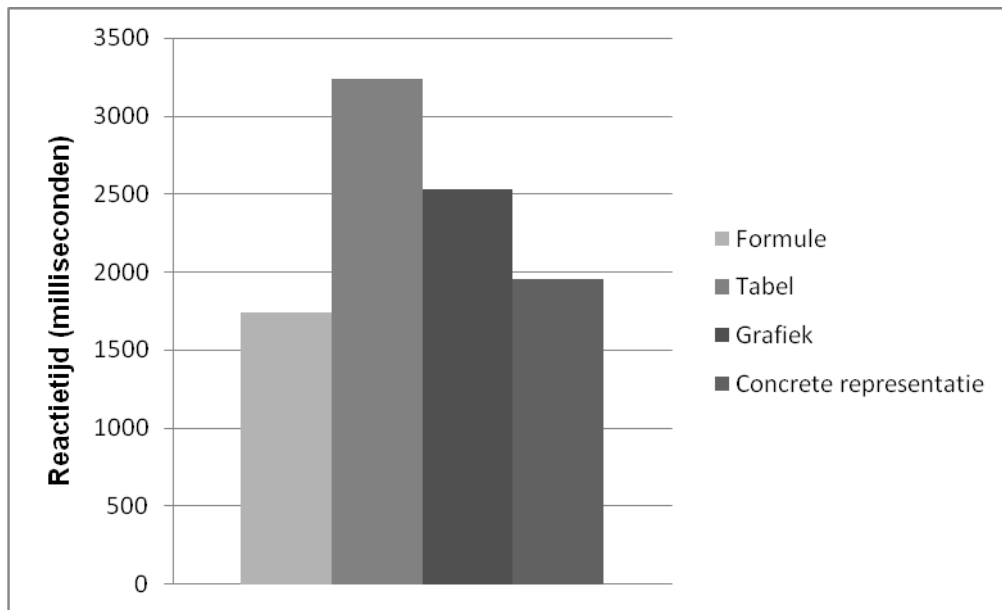
De resultaten laten zien dat de concrete representatie significant betere *accuratesse* scores had dan de formule ($F(1,17) = 7.389, p < .05$), de tabel ($F(1,17) = 7.502, p < .05$) en de grafiek

($F(1,17) = 4.851, p < .05$). Voor de overige paarsgewijze testen zijn geen significante verschillen gevonden.



Figuur 3. Percentage correcte antwoorden voor de vier representaties. De waarden zijn het gemiddelde percentage van alle proefpersonen.

Vervolgens is een repeated measures ANOVA uitgevoerd om de reactietijden te vergelijken. De gemiddelde reactietijden zijn weergegeven in figuur 4. De within subject test was significant ($F(3,51) = 79.435, p < .0001$) en ook alle paarsgewijze vergelijkingen zijn significant bevonden (formule – tabel: $F(1,17) = 268.406, p < .0001$, formule – grafiek: $F(1,17) = 52.058, p < .0001$, formule – concrete representatie: $F(1,17) = 28.851, p < .0001$, tabel – concrete representatie: $F(1,17) = 160.018, p < .0001$, tabel – grafiek: $F(1,17) = 24.872, p < .0001$, grafiek – concrete representatie: $F(1,17) = 21.339, p < .0001$



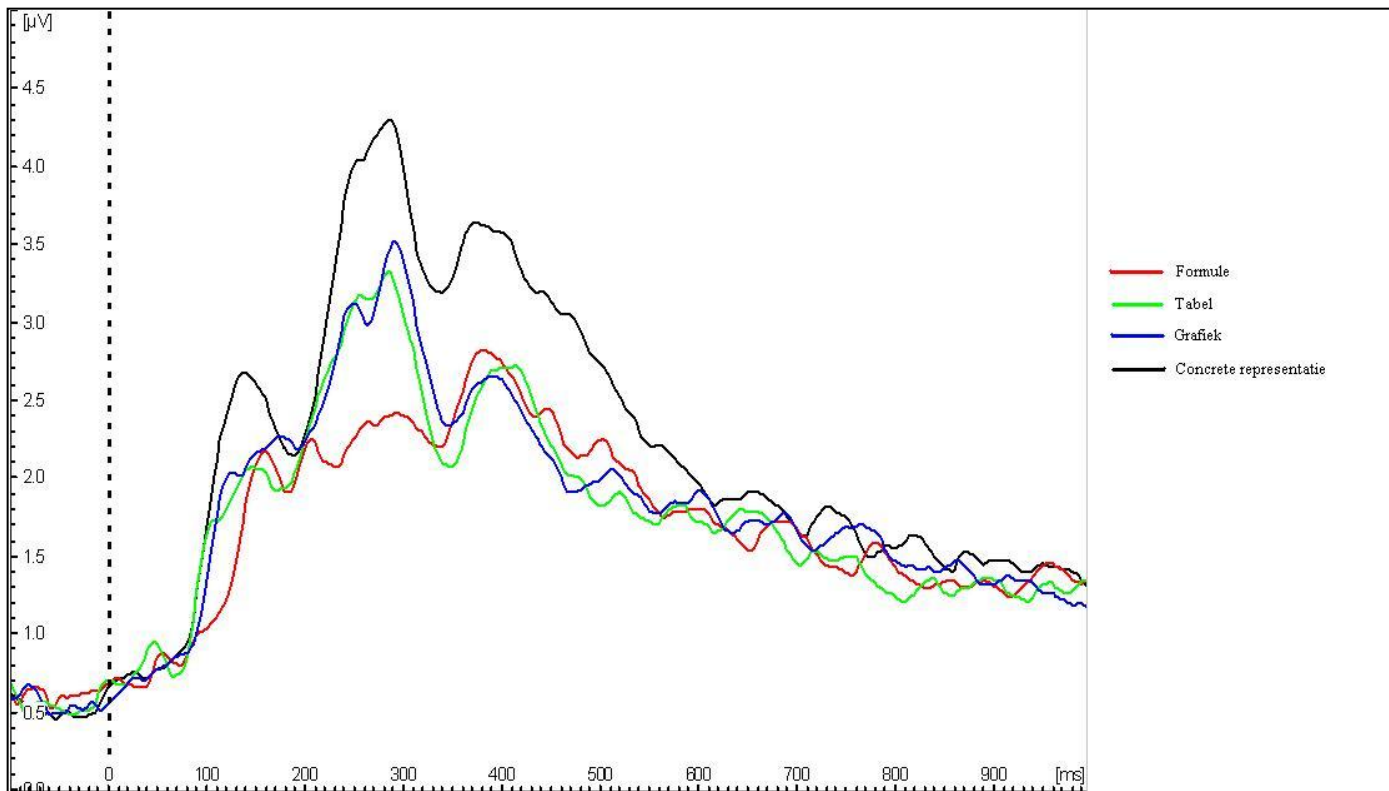
Figuur 4. Gemiddelde reactietijden voor het taakrelevante experiment. De reactietijd is gemeten in milliseconden en is gemiddeld voor alle proefpersonen.

3.2 Event Related Potential data

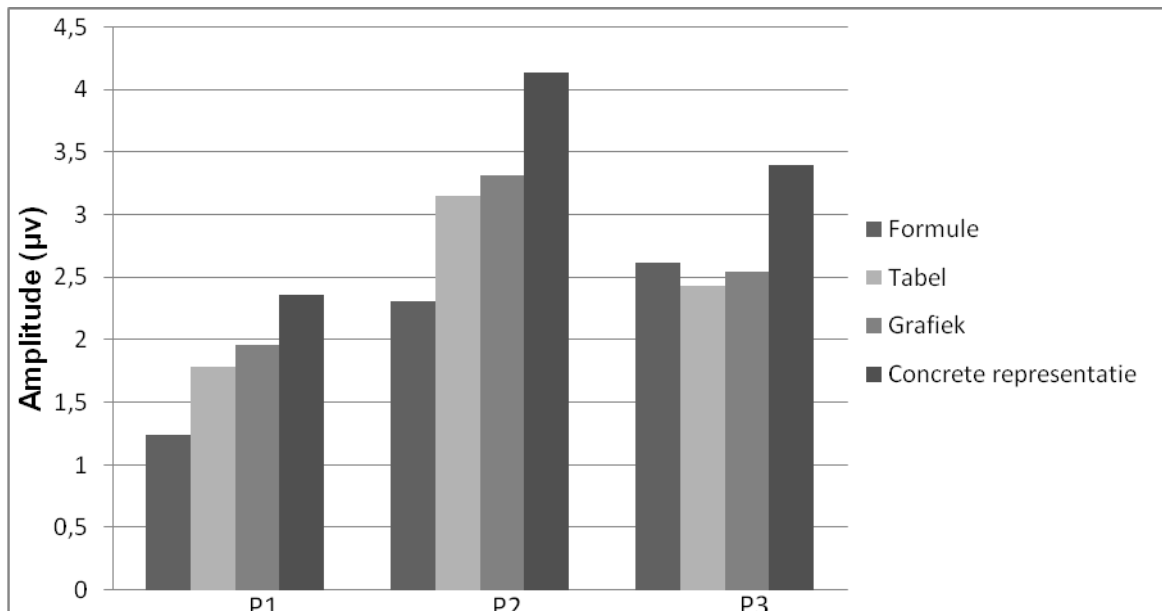
3.2.1 GFP segment 90-182 ms, P1

Het verloop van de grand average GFP's is te zien in figuur 5. Dit zijn de gemiddelde GFP's van alle proefpersonen per representatie. Voor P1 zijn de gemiddelde amplitudes rond de pieklatentietijd (115-125 ms) van de afzonderlijke representaties te zien in figuur 6. De amplitudes zijn statistisch getoetst met de repeated measures ANOVA en deze bleken significant te verschillen ($F(3,51) = 14.25, p < .0001$).

De paarsgewijze testen waren ook allemaal significant, met uitzondering van de paarsgewijze test van de tabel en grafiek (formule – tabel: $F(1,17) = 20.81, p < .0001$, formule – grafiek: $F(1,17) = 17.782, p < .05$, formule – concrete representatie: $F(1,17) = 31.091, p < .0001$, tabel – grafiek: $F(1,17) = 1.036, p = .322$, tabel – concrete representatie: $F(1,17) = 6.119, p < .05$, grafiek – concrete representatie: $F(1,17) = 5.840, p < .05$).



Figuur 5. Verloop van de Grand Averages van de vier representaties.



Figuur 6. Gemiddelde amplitudes voor alle drie de componenten.

3.2.2 GFP segment 184-324 ms, P2

Ook voor P2 is er een significant verschil gevonden tussen de amplitudes van de representaties door het uitvoeren van een repeated measures ANOVA ($F(3,51) = 16.346$, $p < .0001$). De paarsgewijze testen laten zien dat de amplitudes van de concrete representatie en de formule beide significant verschillen van de andere representaties (formule – tabel $F(1,17) = 15.387$, $p < .05$, formule – grafiek: $F(1,17) = 213.827$, $p < .05$, formule – concrete representatie: $F(1,17) = 30.771$, $p < .0001$, tabel – concrete representatie: $F(1,17) = 10.406$, $p < .05$, grafiek – concrete representatie: $F(1,17) = 16.150$, $p < .000$). Alleen de paarsgewijze vergelijking tussen de tabel en de grafiek was niet significant ($F(1,17) = .504$, $p = .487$). De gemiddelde amplitudes voor P2 zijn te zien in figuur 6.

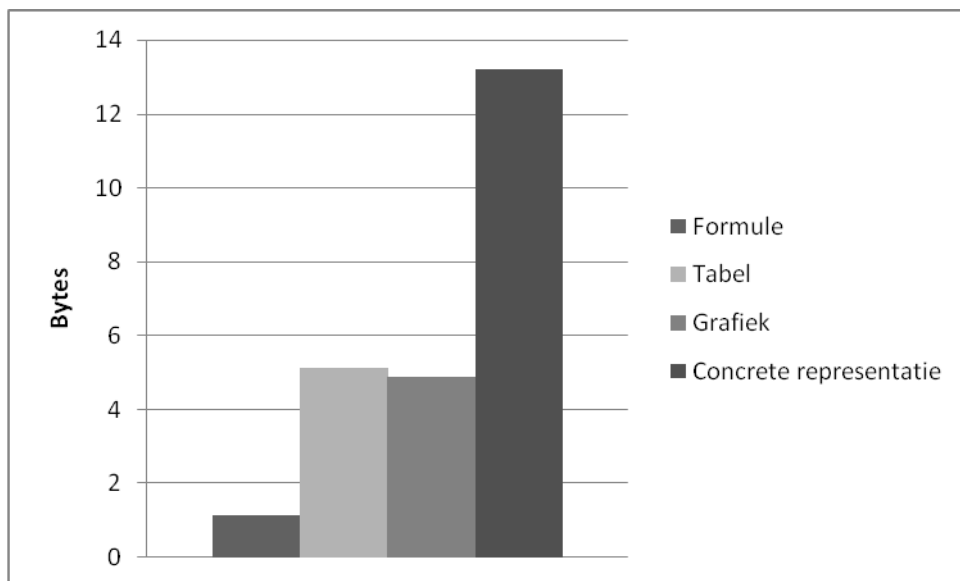
3.2.3 GFP segment 326-530 ms, P3

Het window rond de pieklantietijd van de P3 component loopt van 375 tot 385 milliseconden, de gemiddelde amplitudes per representatie zijn te zien in figuur 6. De repeated measures ANOVA test was significant $F(3,51) = 8.099$, $p < .0001$, wat betekent dat er significante verschillen zijn gevonden tussen de amplitudes. De paarsgewijze testen laten zien dat de gemiddelde amplitude van de concrete representatie significant afwijkt van de amplitudes van de andere drie representaties. (concrete representatie – formule: $F(1,17) = 6.677$, $p < .05$, concrete representatie – tabel: $F(1,17) = 16.634$, $p < .05$, concrete representatie – grafiek: $F(1,17) = 17.475$, $p < .05$). De amplitudes van de andere representaties verschilden niet significant van elkaar.

3.2.4. Visuele informatie van de representaties en trend in amplitude sterkte

Door middel van een compressietechniek is de hoeveelheid informatie in iedere representatie bepaald. De formule bevat de minste visuele informatie, en de concrete representatie veruit de meeste, dit is te zien in figuur 7.

Zoals duidelijk te zien is in figuur 6, lijkt het of er een lineaire trend bestaat in de amplitudes van de hersenpotentialen. De toename in amplitudes is getoetst met een trendanalyse. Uit de resultaten (P1: $F(1,17) = 1.650$, $p < .05$, P2: $F(1,17) = 5.885$, $p < .05$, P3: $F(1,17) = 19.994$, $p < .0001$) blijkt dat er inderdaad sprake is van een lineaire trend.



Figuur 7. Hoeveelheid visuele informatie per representatie.

4.0 Discussie en conclusie

In deze studie is EEG onderzoek uitgevoerd om de verschillen tussen externe representaties te kunnen bestuderen. Voordat echter werd bepaald wat de verschillen tussen representaties zijn wanneer een taak werd uitgevoerd is eerst onderzocht wat er in de hersenen gebeurde wanneer er geen taak wordt uitgevoerd. Deze conditie is de baseline conditie, en hier werd op gefocust in deze studie. De hoofdvraag luidt of er verschillen zijn in de ERP's van de vier gebruikte representaties in een niet-taakrelevante conditie.

4.1 Gedragskenmerken

Er zijn twee gedragsmaten (*accuratesse* en *reactietijd*) gebruikt om te kijken naar de gedragsdata bij het taakrelevante experiment. De formule, tabel en grafiek hadden vergelijkbare *accuratesse* scores die niet significant van elkaar afweken. De concrete representatie had echter significant betere scores voor de *accuratesse* dan de andere drie. Een verklaring hiervoor kan zijn dat vanwege het feit dat de concrete representatie meer visuele informatie (figuur 7) bevat, het de proefpersonen meer aansprak om mee te werken en hierdoor de trials beter beantwoordden.

De resultaten voor de reactietijden lieten zien dat alle gemiddelde reactietijden voor de representaties significant van elkaar verschilden. De tabel had veruit de langste reactietijden met een gemiddelde van 3239 milliseconden. Na gewend te zijn geraakt aan de taak die uitgevoerd moest worden pasten de meeste proefpersonen een strategie toe om de

afzonderlijke trials zo snel mogelijk te kunnen beantwoorden. Ze realiseerden zich dat slechts één getal hoefde te worden onthouden bij de formule, grafiek en concrete representatie om het goede antwoord te kunnen geven. Bij de tabel moesten er echter twee getallen worden onthouden. Als gevolg hiervan duurde het langer voordat de proefpersonen de bijbehorende waarde hadden gevonden. Dit verklaart de hoge reactietijden bij de tabel.

Ondanks de hogere reactietijden voor de tabel is niet te zeggen dat de tabel ook moeilijker is om correct te beantwoorden vergeleken met de grafiek en formule (zie figuur 3), maar het kost wel extra tijd om het goede antwoord te kunnen geven.

De trend in hoeveelheid visuele informatie die de representaties bevatten (figuur 7) lijkt geen verband te hebben met de *accuratesse* en *reactietijd* die de proefpersonen hadden op de trials. De proefpersonen hadden bij de concrete representatie snelle reactietijden en een hoge accuratesse, ondanks de hoge visuele informatie die het bevat. Bij de grafiek hadden de proefpersonen een veel hogere gemiddelde reactietijd, ondanks dat die representatie minder visuele informatie bevat dan de concrete representatie. Het verschil tussen de concrete representatie en de grafiek zou kunnen worden verklaard doordat de concrete representatie de proefpersonen meer aanspreekt omdat het een concrete afbeelding is en kleuren bevat. De grafiek ziet er moeilijker uit om te interpreteren.

4.2 ERP resultaten

4.2.1 GFP gesegmenteerd 115-125 ms, P1

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden of er significante verschillen bestaan in de amplitudes van de ERP's zijn er drie positieve ERP componenten geanalyseerd. Zoals is gevonden in onderzoek van Luck et al. (2004) blijkt ook bij deze studie dat na ongeveer 100 milliseconden te zien is dat de inkomende visuele informatie de visuele schors van de hersenen heeft bereikt en dat de hersenen de informatie aan het verwerken zijn. Zoals is te zien in figuur 6 genereerde de concrete representatie de hoogste amplitude voor P1 vergeleken met de andere representaties. De formule had een significant lager gemiddelde amplitude, dit zou kunnen worden verklaard doordat de proefpersonen bij deze representatie gelijk zien wat de representatie voorstelt. De paarsgewijze test van de tabel en grafiek was niet significant. Dit kan worden toegeschreven aan het feit dat deze representaties een vergelijkbare hoeveelheid visuele informatie bieden aan de proefpersoon.

4.2.2 GFP gesegmenteerd 275 -285 ms, P2

P2 is een endogene component die een sterke amplitude heeft wanneer er bewuste

aandacht wordt geschonken aan een stimulus (Picton & Hillyard 1974; Eimer, 1997). Bij de tweede component heeft iedere representatie een sterkere amplitude dan bij P1 (zie figuur 10). Dit effect is mogelijk te verklaren doordat proefpersonen wel bewust hun aandacht op de representaties vestigen, ondanks dat er geen taak hoeft uitgevoerd te worden en de representatie slechts 150 milliseconden op het scherm te zien is.

4.2.3 GFP gesegmenteerd 375 -385 ms, P3

De latentietijd van de piek van P3 ligt rond de 380 milliseconden zoals te zien is in de ERP golfvormen in figuur 5. Dit is in overeenstemming met Chourchesne et al. (1975), waar in een niet-taakrelevant experiment een latentietijd rond de 400 milliseconden is gevonden. De amplitudes van de representaties zijn bij P3 sterk gedaald vergeleken met P2. Dit effect is ook in bovenstaand onderzoek van Courchesne et al. (1975) gevonden wanneer er geen specifieke taak aan de proefpersonen was toegekend.

Er blijft echter een significant verschil bestaan tussen de sterkte van de amplitude van de concrete representatie en de andere representaties (figuur 7). Het is mogelijk dat hier sprake is van een cognitief aspect. Een verschil tussen de representaties kan zijn dat bij de concrete representatie de proefpersonen gaan nadenken over wat ze op het plaatje hebben gezien. Bij de andere representaties is dit minder relevant, omdat daarbij gelijk te zien is dat het om een abstracte representatie gaat met enkele variabelen.

De amplitudes van de tabel en grafiek zijn bij geen van de drie componenten significant verschillend. De opgeroepen hersenactiviteit van deze twee representaties is dus vergelijkbaar.

4.2.4 Lineaire trend

Zoals blijkt uit de resultaten is er een duidelijk zichtbare en significante toename in de sterkte van de amplitudes van de ERP componenten (figuur 6). Daarnaast is er een oplopend informatiegehalte in de representaties (figuur 7). Het zou kunnen dat de hoeveelheid informatie die een representatie bevat, een verband heeft met de sterkte van de hersenactiviteit die wordt gegenereerd in de hersenen. Dit is belangrijk om te weten om verder onderzoek te kunnen doen naar de weergave van representaties in de hersenen. Met kennis over de hersenprocessen die de representaties genereren kan beter inzicht worden verkregen in de toepassing van multipale representaties, omdat bekend is dat deze elkaar kunnen versterken, maar ook kunnen tegenwerken (Ainsworth en Labeke, 2004).

4.3 Aanbevelingen

In vervolgonderzoek kunnen de amplitudes van P1, P2 en P3 worden vergeleken met de amplitudes bij een taakrelevante conditie. Dit kan meer kennis opleveren over de hersenactiviteit wanneer er wel een taak met de representaties uitgevoerd moet worden.

Er zijn enkele andere aspecten die kunnen worden bekeken in vervolg onderzoek. In deze studie is bij de ERP golfvormen alleen gekeken naar de sterkte van de opgeroepen hersenpotentialen. Een andere manier om de ERP's te analyseren is door te kijken naar de latentietijd van de componenten. Zoals ook eerder is omschreven hangt de latentietijd van pieken af van een bepaalde taak en de complexiteit van de aangeboden stimulus. Door middel van het analyseren van de latentietijd kan er meer worden inzicht worden verkregen over de complexiteit van representaties. Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat bij proefpersonen die niet goed presteren op de taak de latentietijd van een component langer is (Handy, 2004).

In deze studie zijn de amplitudes van de ERP's geanalyseerd, de amplitudes brengen de kwantiteit van de hersenactiviteit in kaart. Een andere mogelijkheid is om naar de kwalitatieve verschillen tussen de hersenpotentialen te kijken met behulp van een topografische verdeling. Er kunnen overzichtskaarten worden gemaakt van de hersengolven waarbij de verdeling op de schedel in positieve en negatieve activiteit te zien is.

Een nog specifiekere techniek is om door middel van bronanalyse de hersenactiviteit te analyseren. Het voordeel van bronanalyse is dat er beter te analyseren is welke hersengebieden actief zijn en de precieze locatie van de oorsprong van de hersenactiviteit kan worden berekend (Handy, 2004). Er zijn verschillende vormen van bronanalyse om de oorsprong te lokaliseren.

4.4 Conclusie

Vanuit de EEG resultaten kan worden geconcludeerd dat de hoofdvraag bevestigend kan worden beantwoord: er bestaan significante verschillen tussen de amplitudes van de ERP's van de representaties. Nu de ERP's bij de baseline conditie in kaart zijn gebracht spreekt het voor zich deze te gaan vergelijken met de ERP's van een taakrelevante conditie. Hierdoor kan er meer worden geconcludeerd over wat voor processen er plaatsvinden in de hersenen wanneer er taken worden uitgevoerd met externe representaties. Belangrijk is hierbij te onderscheiden welke eigenschappen van de ERP's afkomstig zijn van de visuele informatie in de representaties zelf (de baseline conditie) en welke eigenschappen afkomstig zijn van de taak die de proefpersonen uitvoeren.

5.0 Referenties

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, *33*, 131–152.

Ainsworth, S., & Labeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, *14*, 241–255.

Courchesne, E., Hillyard, S.A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *39*, 131–143.

Di Russo, F., Martínez, A., & Hillyard, S.A. (2003). Source analysis of event-related cortical activity during visuo-spatial attention cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, *13*, 486–499.

Eimer, M. (1997). An event-related potential (ERP) study of transient and sustained visual attention to color and form. *Biological Psychology*, *44*, 143–160.

Handy, T.C. (2004). *Event-Related Potentials: A Methods Handbook*. Cambridge: The MIT Press.

Hennighausen, E., Heil, M., & Rosler, F. (1993). A correction method for DC drift artifacts. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, *86*, 199–204.

Kok, A. (2004). *Het hierarchisch brein*. Assen: Van Gorcum.

Kozma, R., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*, 949–968.

Luck, S.J., Woodman, G.F., & Vogel, E.K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 432–440.

Mayer, R.E., & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, *90*, 312–320.

Picton, T.W., & Hillyard, S.A. (1974). Human auditory evoked potentials. II: Effects of attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *36*, 191–200.

Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction, 13*, 227–237.

Skrandies, W. (1989). Data reduction of multichannel fields: Global Field Power and principal component analysis. *Brain Topography, 2*, 73–80.

Skrandies, W. (1990). Global field power and topographic similarity. *Brain Topography, 3*, 137–141.

Van der Meij, J., & De Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction, 16*, 199–212.

Zhang, J. (1997). The nature of external Representations in problem solving. *Cognitive Science: a multidisciplinary journal, 21*, 179–217.