

LETSELEFFECTEN IN EEN ACT-R MODEL VAN DE STROOPTEST

Bachelorproject

Mariëlle Winarto, s1225618, m.winarto@ai.rug.nl

Samenvatting: De Strooptest is een veelgebruikte neuropsychologische test voor executieve functies en aandacht. Bij het benoemen van incongruente kleuren (bijvoorbeeld in rood geschreven 'groen') treedt interferentie op. Patiënten met hersenletsel presteren afwijkend op deze test, net als ouderen, en patiënten met schizofrenie of neurodegeneratieve aandoeningen. In de literatuur worden verschillende afwijkingen beschreven: algemene traagheid, problemen met kleuren benoemen, een trade-off tussen snelheid en nauwkeurigheid en specifieke vergroting van het interferentie-effect. Onderzocht is de mogelijkheid om in het ACT-R model van Altmann de verschillende afwijkingen kwalitatief te reproduceren. Met verschillende modificaties aan het model was het mogelijk een aantal afwijkingen te modelleren.

1. Inleiding

In 1935 deed Stroop bij zijn onderzoek naar interferentie-effecten van kleuren en woorden een experiment waarbij aan proefpersonen een lijst met in kleur gedrukte woorden werd voorgelegd en zij gevraagd werd zo snel en correct mogelijk de kleur van de inkt te benoemen (Figuur 1.1). Wanneer de voorgelegde woorden incongruente kleuren voorstelden (bijvoorbeeld 'groen' in rood gedrukt), waren de proefpersonen aanmerkelijk trager dan bij neutrale stimuli ('xxxx' in rood gedrukt). Dit effect, het zogenaamde Stroopeffect, was niet te vinden bij het lezen van zwarte of gekleurde woorden.

Tegenwoordig is de Strooptest een veelgebruikte neuropsychologische test voor executieve functies en aandacht (Butler *et al.*, 1991; Rabin *et al.*, 2004). Deze test verschilt nauwelijks van de test zoals die gebruikt werd in het oorspronkelijke experiment. Meestal worden bij patiënten scores op drie taken gemeten: het benoemen van kleuren van neutrale stimuli, het lezen van kleurwoorden en het benoemen van kleuren op de incongruente taak. Als de test met behulp van een computer wordt afgenomen, worden de stimuli meestal één voor één gepresenteerd en kan ook de respons per individuele stimulus gemeten worden.

Naast het klassieke Stroopeffect is er veel onderzoek gedaan naar andere aspecten van de Strooptest. MacLeod (1991) geeft een overzicht van de literatuur en gaat hierbij onder andere in op verschillende variaties op de Strooptaak en op effecten van manipulaties zowel op losse stimuli (bijvoorbeeld semantische variatie) en op de test als geheel (zoals de verhouding tussen incongruente en congruente stimuli). Ook gaat hij in op mogelijke verklaringen en onderliggende cognitieve mechanismen.

Op basis van theorieën over het Stroopeffect zijn er verschillende computermodellen gemaakt. Het model van Cohen *et al.* (1992, 1998) ging uit van een connectionistische benadering waarbij in het met *backpropagation* getrainde neurale netwerk het verschil tussen lees- en benoemingstaken werd toegeschreven aan de relatieve automaticiteit. De

(a)	(b)	(c)
green	XXXXX	green
yellow	XXXXX	yellow
red	XXXXX	red
blue	XXXXX	blue
yellow	XXXXX	yellow
red	XXXXX	red
blue	XXXXX	blue
green	XXXXX	green
red	XXXXX	red

Figuur 1.1: Subtaken van de Strooptest: (a) woordleestaak (b) kleurbenoemingstaak (c) incongruente taak

associaties tussen de aangeboden stimuli en de correcte responsen zijn sterker voor het lezen van woorden dan voor het benoemen van kleuren. Deze verklaring wordt ondersteund door onderzoek naar het effect van training op een vergelijkbare taak. Hoewel dit model een elegante, eenvoudige, verklaring kon geven voor het Stroopfenomeen had het een aantal tekortkomingen (Kanne, 1998). Zo verdween het interferentie-effect geheel als de waardes voor de beide taken gelijk werden gesteld.

Latere modellen, connectionistisch (Herd *et al.*, 2006; Phaf *et al.*, 1990) of gebaseerd op een hybride architectuur (Roelofs, 2003; Altmann, 2001; Lovett, 2005; Juvina, 2007) lossen deze problemen deels op. De modellen verschillen in benadering en in welke effecten gemodelleerd worden maar hebben met elkaar gemeen dat zij zich vooral richten op effecten zoals die gevonden worden bij gezonde proefpersonen. Er wordt weinig aandacht besteed aan letseleffecten. Het bestuderen van letsel is echter een beproefde methode om inzicht te krijgen in het gezonde functioneren van de hersenen, met als bekend voorbeeld het verhaal van Phineas Gage die een ijzeren staaf door zijn hoofd kreeg waarna zijn gedrag aanmerkelijk veranderde (Harlow, 1999; Ratiu *et al.*, 2004; Damasio *et al.*, 1994). Ook nu er veel mogelijkheden zijn met neuroimaging technieken als fMRI en PET blijven letselstudies

voordelen houden: waar neuroimaging technieken de activiteit van hersengebieden in kaart brengt, geven letselstudies aan welke gebieden ook daadwerkelijk noodzakelijk zijn bij de uitvoering van een taak. (Müller & Knight, 2006; Rorden & Karnath, 2004). Om beter inzicht te krijgen in de modellen is het dan ook interessant om te kijken naar letseleffecten die zijn gevonden bij de Strooptest.

1.1. Letseleffecten bij de Strooptest

De Strooptest wordt geassocieerd onder meer met de frontale delen van de hersenen (Gruber *et al.*, 2002; Harrison, 2005). Frontaal letsel uit zich in problemen met executieve functies en met aandacht (Busch *et al.*, 2005). Op basis hiervan valt te verwachten dat bij letsel de grootte van het interferentie-effect toeneemt. Dit effect wordt frequent beschreven en is ook in verschillende computermodellen gereproduceerd. Toch is dit effect minder duidelijk dan lang is aangenomen. Meta-analyses van de Strooptest bij ouderen (Verhaeghen & De Meersman, 1998; Verhaeghen & Cerella, 2002; Van der Elst *et al.*, 2006) en bij patiënten met frontaal letsel (Demakis, 2004; Alvarez & Emory, 2006) laten zien dat dit effect niet significant is wanneer het interferentie-effect niet als absolute vertraging wordt uitgedrukt maar als een relatieve score ten op zichte van de controletaak. Neuroimaging technieken laten wel zien dat er zowel bij ouderen (Milham *et al.*, 2002) als bij frontaal letsel (Soeda *et al.*, 2005; Vendrell *et al.*, 1995) en diffuus hersenletsel (Goethals *et al.*, 2004) duidelijke verschillen zijn in hersenactiviteit. Er is dan sprake van algemene vertraging, die zich uit op alle subtaken. Dit betekent echter niet dat het specifieke interferentie-effect niet bestaat. Bij patiënten met multiple sclerose wordt wél een specifiek effect gevonden, ook in de proportionele scores (Vitkovitch, 2002), en ook bij schizofrenie is een interferentie-effect te vinden, hoewel dat bij deze groep verdwijnt als de stimuli één voor één worden aangeboden (Henik & Salo, 2004).

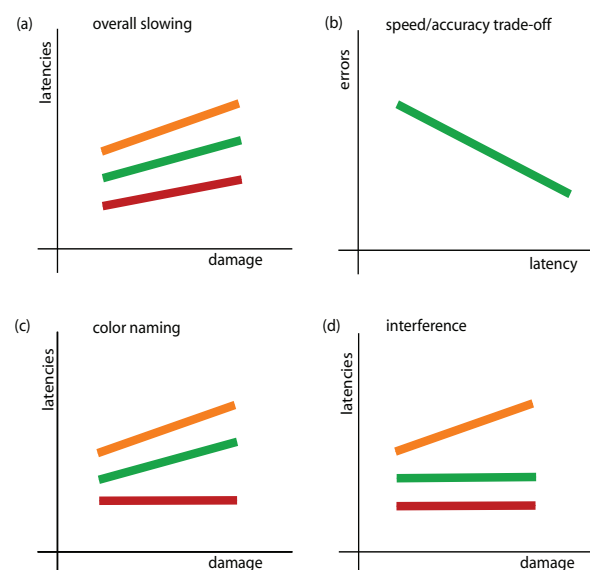
Het lijkt erop dat verschillende groepen patiënten verschillende effecten laten zien. Dit wordt ondersteund door de meta-analyse van Demakis, waarin zowel voor de kleurbenoemingstaak als de incongruente taak een significante heterogeniteit werd gevonden voor patiënten met frontaal letsel. Vendrell *et al.* (1995) vonden bij een andere groep patiënten met frontaal letsel dat een deel van de patiënten meer fouten maakte terwijl een ander deel langzamer was. Ook Stuss *et al.* (2001) onderscheiden duidelijk verschillende groepen, waaronder een groep patiënten die slechter presteert op de beide benoemingstaken maar niet op de woordleestaak. Hoewel er steeds verbanden worden gevonden tussen locaties van letsel en prestaties, zijn deze vaak zeer specifiek. Zo wordt de anterior cingulate cortex in verband gebracht met het monitoren van

conflicten en speelt deze een rol bij de Strooptest (Kerns *et al.*, 2004; Botvinick *et al.*, 1999, 2004; Milham & Banich, 2005). Lesies van verschillende delen van deze anterior cingulate cortex hebben echter weer verschillende effecten (Swick & Jovanovic, 2002). Bovendien wordt ook de moeilijker te lokaliseren integriteit van de witte stof in verband gebracht met verslechterde prestaties (Murphy *et al.*, 2007). Al met al is er veel onderzoek gedaan naar de effecten van hersenletsel op de Strooptest maar zijn de relaties tussen hersenfuncties en gebieden in de hersenen nog lang niet helder.

Voor het bestuderen van letseleffecten in computermodellen van de Strooptest is de onderliggende pathologie dus minder geschikt als uitgangspunt. Verschillende effecten komen echter steeds terug en zijn duidelijk van elkaar te onderscheiden. Genoemd werden al het specifieke interferentie-effect, algemene vertraging en problemen met het benoemen van kleuren. Het verschijnsel dat een deel van de patiënten vertraging laat zien en een ander deel juist fouten laat zich beschrijven als een *speed-accuracy trade-off*, vergelijkbaar met wat gevonden is bij dyslectici (Hendriks, 1997) en bij ouderen (Smith & Brewer, 1995). In dit project wordt gekeken in hoeverre deze vier effecten (grafisch weergegeven in Figuur 1.2) te reproduceren zijn in een computermodel van de Stroop.

1.2. Het ACT-R model van Altmann

De computermodellen die er zijn van de Strooptest verschillen van elkaar op een aantal gebieden. Een deel valt onder de connectionistische modellen, een deel onder de hybride modellen. Kenmerkend voor de laatste categorie is dat er zowel symbolische als sub-symbolische aspecten zijn. Voor het



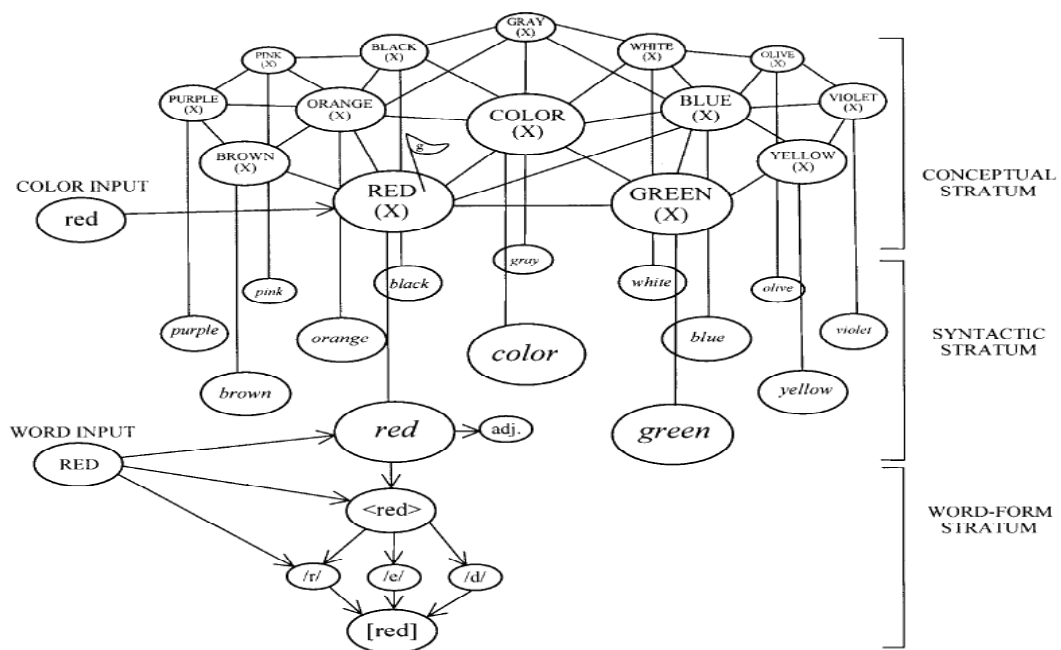
Figuur 1.2: Verschillende letseleffecten bij de Strooptest: (a) algemene traagheid (b) speed-accuracy trade-off (c) kleuren benoemen (d) interferentie

modelleren van letseleffecten gaat de voorkeur uit naar een model waarvan op een abstract niveau de onderdelen te relateren zijn aan hogere cognitieve functies. Zoals ook O'Reilly (2006) aangaf, valt dit voorlopig nog buiten het bereik van de neurale netwerkmodellen. De voorkeur gaat dan ook uit naar een model waarin de hogere cognitieve functies een duidelijke plaats hebben.

Van de architectuur voor cognitie ACT-R (Anderson *et al.*, 2004a; Anderson, 2005) zijn de verschillende componenten onder meer op basis van neuroimaging gekoppeld aan gebieden in de hersenen (Anderson *et al.*, 2004b, 2007). Het declaratief geheugen wordt voorgesteld als chunks, brokjes informatie met activatiewaarden en onderlinge associatie. Het procedureel geheugen, gerelateerd aan de basale ganglia, wordt gerepresenteerd in de vorm van productieregels. ACT-R is modulair opgebouwd: er zijn aparte structuren voor *retrieval* en voor diverse sensorische modaliteiten. Tijdens iedere productiecyclus wordt een productieregel waarvan aan de voorwaarden voldaan worden geselecteerd om te vuren; de duur van zo'n cyclus bedraagt standaard 50 ms naar het voorbeeld van de cyclusduur in EPIC en gebaseerd op de corticostriatale-thalamische lus. Overigens stemt deze productieregelfrequentie overeen met de frequentie van alfagolven op een EEG. Wanneer een chunk wordt opgevraagd uit het declaratief geheugen, bepaalt de relatieve activatie van een chunk ten opzichte van andere actieve chunks de kans dat de chunk gekozen wordt en de grootte van de activatie, mits boven de drempelwaarde, de *retrieval*-tijd. ACT-R kent leermechanismen voor het de activatie van chunks, de *utility* van productieregels en voor het leren van nieuwe regels op basis van bestaande.

Van de verschillende Stroopmodellen in ACT-R was dat van Altmann het eerste model waarin de invloed van verschillende *stimulus onset asynchronies* (SOAs) op het interferentie-effect goed werd beschreven. Dit effect treedt op wanneer de kleur- en woordaspecten van een stimulus niet tegelijk maar na elkaar worden aangeboden. Hoe verder in de tijd de presentatie van kleur en woord uit elkaar ligt, hoe kleiner het interferentie-effect. In eerdere connectionistische modellen werd dit nog niet goed gesimuleerd. Hoewel er inmiddels nieuwere versies van de ACT-R architectuur bestaan, is het model voor het gestelde doel nog steeds bruikbaar. De theorie waarop de oude versies gebaseerd was, geldt voor het overgrote deel nog steeds en de meeste veranderingen bestaan uit uitbreidingen. Een bijkomend voordeel van het model van Altmann is dat het online beschikbaar is. Latere Stroopmodellen kijken ook naar variatie in strategieën, en naar *between-trial* effecten zoals *negative priming*. Voor het simuleren van letseleffecten is dat niet direct relevant.

Het model van Altmann is gebaseerd op WEAVER++ (Roelofs, 2003); Altmann noemt zijn kruising van WEAVER++ en ACT-R 'WACT'. Waar ACT-R wortels heeft in de rationele analyse, komt WEAVER++ uit de psycholinguïstiek en werd in eerste instantie voornamelijk gebruikt voor het modelleren van taalproductie (Levelt *et al.*, 1999). Taalkundige informatie is hiërarchisch geordend: het conceptuele striatum bevat concepten, het syntactische striatum bevat lemma's en het woordvormstriatum bevat fonologische informatie (Figuur 1.3). Bij het lezen van woorden zijn er directe associaties tussen het gelezen woord en zowel de lemmalaag als de woordvormlaag. Het benoemen van kleuren daarentegen verloopt altijd via de conceptuele laag.



Figuur 1.3: Hiërarchische structuur van linguïstische informatie (uit Roelofs, 2003)

Dit verklaart waarom het lezen sneller gaat dan het benoemen.

Wanneer zowel een woord als een kleur worden aangeboden, worden deze beide verwerkt. In het syntactische striatum worden dan beide lemma's geactiveerd, wat zorgt voor het interferentie-effect. In het model wordt gewerkt met een episodische kopie, waarvan de activatie in de tijd snel terugloopt. Hierdoor is er minder interferentie als de stimuli verder van elkaar gescheiden zijn. Altmann maakt geen gebruik van ACT-R's mechanisme voor *retrieval time* maar gaat in navolging van Roelofs uit van een ballistische benadering. Een chunk wordt opgehaald, geverifieerd en vervolgens geaccepteerd of verworpen. Als het maximum aantal pogingen nog niet bereikt is, wordt indien nodig een nieuwe poging gedaan. Als het maximum wel bereikt is, wordt de laatst opgehaalde chunk gekozen. In het geval van het Stroopeffect kan dit ook de bij de distractor horende chunk zijn; in dat geval maakt het model een substitutiefout. Bij deze manier van *retrieval* concentreert de verdeling van de *retrieval* tijden zich rond de verschillende pogingen, wat biologisch niet plausibel is. Bij een groot aantal trials middelen de resultaten zich echter uit, wat voor het Stroopmodel resulteert in een bruikbare schatting van de responstijd.

1.3. Aangrijpingspunten in het model

Tot nu toe heeft de benadering van letseffecten in ACT-R modellen zich vooral geconcentreerd op één factor: factor *w*. Deze factor in de activatievergelijking is bepalend voor hoeveel activatie er vanuit een chunk te verspreiden valt. Als een chunk associaties heeft met meerdere andere chunks, wordt de activatie verdeeld. De globale parameter *goal activation* geeft aan hoeveel er te verdelen is. De standaardwaarde hiervoor is 1.0. Conceptueel is deze parameter gerelateerd aan de gelimiteerde capaciteit van het werkgeheugen (Anderson *et al.*, 1996), zoals onder meer beschreven door Baddeley (2003; Repovs & Baddeley, 2006). Door verlaging van de waarde van deze parameter kunnen letseffecten gesimuleerd worden. Kimberg en Farah (1993) deden dit voor een viertal taken waarbij de frontale cortex betrokken is, te weten de *motor sequencing*, de Strooptest, de *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST) en een contextuele geheugentaak. Met dezelfde parameter kon in een model voor zinsbegrip agrammatisme worden gereproduceerd (Stocco & Crescentini, 2005; Crescentini & Stocco, 2005). Ook voor het simuleren van individuele, niet-pathologische, verschillen is deze parameter gebruikt. Het ligt dan ook voor de hand om ook in dit Stroopmodel de *goal activation* te verlagen om zo problemen met het werkgeheugen te simuleren. Een lagere waarde van de *goal activation* zal zorgen voor lagere activatiewaardes, wat weer tot gevolg heeft dat vaker

de 'verkeerde' chunk wordt opgehaald. Omdat de relatieve bijdrage van activatie vanuit andere chunks kleiner wordt, heeft ruis ('noise') een groter effect. Dat problemen met het werkgeheugen slechtere prestaties op de Strooptest kunnen verklaren komt ook naar voren uit het onderzoek naar de effecten van traumatisch hersenletsel (McAllister *et al.*, 2004; Busch *et al.*, 2005).

In het Stroopmodel bepaalt de globale parameter *retrieval attempts* (modelspecifiek, geen ACT-R parameter) hoe vaak bij retrieval van een verkeerde chunk opnieuw geprobeerd wordt. Bij zo'n nieuwe poging verandert de activatie van targets en distractors nauwelijks, alleen door ruis. De kans dat de target chunk wordt opgehaald is dan ook bij iedere volgende poging ongeveer gelijk en de cumulatieve kans zal een binomiale verdeling benaderen. Door vaker te mogen proberen, zal het aantal fouten afnemen maar ook de responstijd toenemen. Dit lijkt op de trade-off tussen snelheid en nauwkeurigheid zoals die in de literatuur beschreven is. Omdat de parameter *retrieval attempts* zo modelspecifiek is, is er niet zoals bij *goal activation* een duidelijke koppeling met cognitieve mechanismen of delen van de hersenen. Op vergelijkbare taken waar zich een dergelijke trade-off voordoet, zijn de verhoudingen te beïnvloeden door instructie. Van de Strooptest is bekend dat bij mensen met een lage werkgeheugencapaciteit de volgorde waarin zij een 0%- en 75%-congruente reeks stimuli aangeboden krijgen, bepaalt of er fouten óf vertraging te vinden zijn (Kane & Engle, 2003).

Stuss *et al.* (2001) beschrijven een groep patiënten waarbij de slechtere prestaties op de incongruente taak verklaard kunnen worden door problemen met het benoemen van kleuren. Zij presteren ook slechter op de kleurbenoemingstaak, maar geven geen verschil op de woordleestaak. De relatieve vertraging van de incongruente taak ten opzichte van de controletaak kleurbenoemen laat echter geen verschil zien. Het ACT-R model verklaart de verschillen tussen het lezen van woorden en het benoemen van kleuren op basis van verschillende *pathways*. Ingrijpen op een punt dat wel voorkomt in de kleurbenoemingstaak maar niet in de woordleestaak zou dus voor het gewenste letseffect moeten kunnen zorgen. Puur de relatieve vaardigheid in benoemen en lezen kan de effecten niet geheel verklaren. Men zou dan immers verwachten dat slechte lezers minder interferentie laten zien. Protopapas (2007) vond echter juist een negatieve correlatie: slechte lezers vertonen ook een grotere interferentie. Het letseffect van problemen met kleuren benoemen zal dus moeten komen van een specifiek probleem en niet van een algemeen verschil in vaardigheid.

Het meest typische letseffect blijft toch de specifieke verhoging van de interferentie. Er zijn

verschillende manieren om interferentiescores te berekenen; meestal wordt de incongruente taak daarbij vergeleken met de kleurbenoemingstaak. De taakinformatie speelt hierbij een belangrijke rol. Bij het uitvoeren van de Strooptest moet een proefpersoon (of computermodel) bijhouden of hij moet lezen of benoemen. Voor de controletaken kost dit minder moeite dan op de incongruente taak. Net als bij antisaccadetaken en dichotisch luisteren wordt bij de Strooptest als de taakinformatie niet goed bijgehouden wordt de gewoonlijke, habituele respons gegeven. Dit *goal neglect* mechanisme is een ander mechanisme dan conflictoplossing (Kane & Engle, 2003). In het neuralenetwerkenmodel van Cohen *et al.* is dit gemodelleerd door verlaging van de invloed van taakinformatie. Ook in het ACT-R model wordt bijgehouden wat de taak is. Er zijn associaties van ‘Stroop’ naar de kleurenlemma’s en van ‘naming’ naar de kleurconcepten. Deze associaties dragen bij aan de activatie. Verkleining van deze associaties zou kunnen leiden tot een met *goal neglect* vergelijkbaar verschijnsel.

Vier verschillende aangrijpingspunten in het model zijn dus de *goal activation*, het maximum aantal *retrieval attempts*, de kleurverwerking en de taakinformatie. In dit project wordt gekeken wat er gebeurt als hierin aanpassingen (‘letsels’) worden aangebracht.

2. Methode

Er is gekeken naar de kwalitatieve effecten op de prestaties op de verschillende onderdelen van de Strooptest bij aanpassing van het ACT-R model van Altmann op de aangrijpingspunten *goal activation*, het maximum aantal *retrieval attempts*, de kleurverwerking en de taakinformatie. Het oorspronkelijke model is hierbij zoveel mogelijk intact gelaten. De verschillende punten zijn apart van elkaar onderzocht, waarbij telkens gekeken is naar een oplopende mate van beschadiging. Voor dit onderzoek niet-relevante onderdelen van het model zijn uitgeschakeld.

2.1. Model en parameters

Er is gebruik gemaakt van het ACT-R model van Altmann. Dit model bevat alle combinaties van taak (lezen of benoemen) en congruentie (neutraal, congruent of incongruent) plus de combinatie van kleuren met semantisch aan kleur verwante woorden (‘lawn’). Alleen de onderdelen ‘NNeut’ (benoemen, neutrale woorden, kleuren), ‘Rneut’ (lezen, kleurwoorden, neutrale kleur) en ‘Ninc’ (benoemen, kleurwoorden, incongruente kleuren) waren van belang, de overige zijn uitgeschakeld. Deze drie onderdelen worden verder aangeduid als respectievelijk *Color*, *Word* en *Inc*. In de literatuur komt ook *Color-Word* voor als aanduiding voor de incongruente taak; dit scheidt echter verwarring

Tabel 2.1: Modelparameters – standaardinstellingen

Parameter	Waarde
SOA	0
Trials	100
SNoise	0.33
TNoise	0.0205
Weak links	4.9
Regular links	6.9
Strong links	8.9
Goal activation	1.0
Color links	8.9
Task links	6.9
Retrieval times	3

met het berekenen van verschillscores, daarom is hier gekozen voor *Inc*. De waarde van de *stimulus onset asynchrony* is op 0 gesteld. Het model is uitgevoerd in de stand-alone versie voor Windows van ACT-R 4.0.

Aparte variabelen zijn toegevoegd voor *goal activation*, *color link strength* en *task link strength*. De *goal activation* wordt ingesteld door middel van de ACT-R functie ‘sgp’ (‘set global parameters’). Als *color links* zijn aangemerkt de associaties tussen kleuren en concepten, bijvoorbeeld tussen ‘red-color’ en ‘red-concept’. Als *task links* zijn aangemerkt de associaties tussen taakinformatie en bijbehorende lemma’s of concepten. Het oorspronkelijke model kende slechts drie soorten associaties: zwak, normaal en sterk. De *color links* vielen onder de sterke associaties vanwege de perceptuele aard en de *task links* onder de normale associaties. Informatie over de toegevoegde variabelen is verwerkt in de output van het model.

Voor alle parameters zijn telkens de standaardinstellingen uit het oorspronkelijke model aangehouden, op de expliciet gewijzigde parameters na (Tabel 2.1). Voor iedere verschillende instelling zijn Monte-Carlosimulaties uitgevoerd met $n = 100$.

2.2. Gemeten en afgeleide waarden

Gemeten variabelen voor iedere Monte-Carlosimulatie zijn per conditie de responstijd (‘latency’) in ms met de bijbehorende standaarddeviatie, het percentage fouten en de gemiddelde activatiewaarden van targets en distractors. Op basis van deze gemeten waarden zijn voor de responstijden verschillscores en proportiescores berekend op dezelfde manier als onder andere in het onderzoek van Stuss *et al.* Verschilsscores zijn berekend als $Color - Word$, $Inc - Color$ en $Inc - Word$. Proportiescores zijn berekend als $(Color - Word) / Word$, $(Inc - Color) / Color$ en $(Inc - Word) / Word$. Om de targetactivatie met de distractoractivatie te vergelijken is ook de relatieve activatie berekend ($targetactivatie / distractoractivatie$). Een overzicht van de gemeten en afgeleide variabelen wordt gegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Uitkomstmaten – gemeten en afgeleide variabelen

Gemeten variabelen:	Afgeleide variabelen:
Responstijd (ms)	Verschilcores
Inc	Color – Word
Color	Inc – Color
Word	Inc – Word
Fouten (%)	Proportiescores
Inc	(C-W)/W
Color	(I-C)/C
Word	(I-W)/W
Standaarddeviatie	Relatieve activatie
Inc	(TA/DA)
Color	Inc
Word	Color
Target activatie	Word
Inc	
Color	
Word	
Distractor activatie	
Inc	
Color	
Word	

Waar nodig is de statistische significantie van de verschillen berekend met behulp van de relevante statistische toetsen.

2.3. Deelexperimenten

In het eerste deelexperiment is voor de *goal activation* de standaardwaarde van 1.0 telkens met 0.1 verlaagd om een indruk te krijgen van de bijdrage van deze parameter. Waarden tussen 0.5 en 1.0 zijn getest. Vervolgens zijn de gegevens bij een waarde van 0.7 en 1.0 nader bekeken en met elkaar vergeleken.

In een tweede deelexperiment is de invloed van het maximum aantal *retrieval attempts* bekeken voor het bereik van 3 tot 25. De standaardwaarde voor deze parameter is 3. De *speed-accuracy* trade-off wordt vermeld bij verschillende patiëntengroepen; telkens geldt hierbij wel dat de scores afwijken van gezonde proefpersonen, zij het vaak niet tegelijkertijd op fouten en responstijd. Daarom zijn de verschillende instellingen voor het aantal *retrieval attempts* gecombineerd met een tot 0.7 verlaagde *goal activation*.

In het derde deelexperiment is ingegrepen in de associatie tussen kleur en concept (bijvoorbeeld tussen de chunks ‘green-color’ en ‘green-concept’). Deze associatie staat voor de perceptuele component van het herkennen van kleuren en heeft daarom in het ACT-R model een sterke associatiewaarde (standaard 8.9). Deze waarde is telkens met 1.0 verlaagd tot een waarde van 4.9.

In het vierde deelexperiment is gekeken naar de invloed van de taakinformatie op de prestaties.

In het ACT-R model worden de associaties tussen ‘stroop’ en de beide kleurenlemma’s ‘green-lemma’ en ‘red-lemma’ expliciet op een normale associatiewaarde van 6.9 gezet. Hetzelfde geldt voor de associaties tussen ‘naming’ en de concepten ‘green-concept’ en ‘red-concept’. In dit deelexperiment zijn deze waarden telkens met 1.0 verlaagd, tot een waarde van 1.9.

2.4. Analyse

Bij de analyse van de resultaten is vooral aandacht besteed aan kwalitatieve effecten. Bij de bestudeerde letseffecten gaat het om verschillende verschijnselen waarbij ook de mate van beschadiging van geval tot geval kan verschillen en kwantitatieve gegevens zijn waar ze beschikbaar zijn soms tegenstrijdig. Doel was daarom te beschrijven hoe het model zich gedraagt bij wijziging op de gekozen aangrijpingspunten. Hiervoor zijn de gemeten en afgeleide uitkomstmaten geanalyseerd. Van de drie subtaken *Color*, *Word* en *Inc* is niet alleen gekeken hoe de uitkomstmaten zich per subtaak gedroegen maar ook hoe deze zich bij vergelijking van de subtaken tot elkaar verhielden.

Voor de responstijd levert het model per subtaak een gemiddelde waarde en een standaarddeviatie op basis van de waarde per trial (presentatie van één stimulus). Hierbij tellen alleen correct beantwoorde trials mee, wat gebruikelijk is bij versies van de Strooptest waarbij één stimulus tegelijk aangeboden wordt. Het aantal fouten wordt uitgedrukt in een percentage. Omdat het hier gaat om een categorische variabele (een antwoord is goed óf fout) is er een standaarddeviatie hierop niet van toepassing. Een dergelijke waarde zou wél berekend kunnen worden bij de vergelijking van verschillende steekproeven. Echter is bekend dat de fouten niet normaal verdeeld zijn. Bij ieder deelexperiment is gekeken naar het verloop van de responstijd met de bijbehorende standaarddeviatie en het verloop van het percentage fouten bij een steeds grotere afwijking van de standaardwaarden. Bij het tweede deelexperiment zijn de fouten en de responstijd tegen elkaar uitgezet.

De berekende verschilcores geven op een eenvoudige manier inzicht in hoe de scores op de verschillende subtaken zich tot elkaar verhouden. Hierbij geldt het verschil tussen de incongruente taak en de kleurbenoemingstaak als een maat voor de interferentie. Omdat het aantal fouten bij beide controletaken zonder beschadiging of bij een kleine afwijking nagenoeg nihil is, zijn alleen verschilcores berekend voor de responstijd. Per verschilcore is de standaardfout van het verschil berekend. Gekeken is naar het verloop van de verschilcores en hun significantie.

De proportiescores laten zien hoe de responstijden op de verschillende subtaken zich tot elkaar

Tabel 3.1: Responstijden en fouten bij verschillende waarden voor de parameter *goal activation*

Goal activation		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
Responstijd (sd)	<i>Inc</i>	546 (214)	588 (219)	566 (207)	638 (254)	743 (259)	786 (260)
	<i>Color</i>	410 (30)	419 (63)	434 (89)	441 (77)	506 (150)	552 (193)
	<i>Word</i>	257 (29)	259 (29)	260 (36)	267 (45)	284 (73)	293 (93)
Fouten (%)	<i>Inc</i>	14	17	12	24	40	46
	<i>Color</i>	0	0	1	1	4	10
	<i>Word</i>	0	0	0	0	4	9

verhouden. De verhouding tussen incongruente taak en kleurbenoemingstaak geldt hierbij als maat voor de relatieve interferentie. Ook bij deze scores is naar het verloop gekeken. In combinatie met de verschillen maken deze proportiescores het mogelijk onderscheid te maken tussen algemene vertraging, vertraging op de benoemingstaken en specifieke toename van het interferentie-effect.

De activaties van targets en distractors geven inzicht in de werking van het model. Zij bepalen immers de kans dat de correcte chunk opgehaald wordt uit het geheugen. Naast de absolute waarden en het verloop daarvan is de verhouding van de waarden ten opzichte van elkaar bekeken.

Tot slot zijn de vier deelexperimenten met elkaar vergeleken.

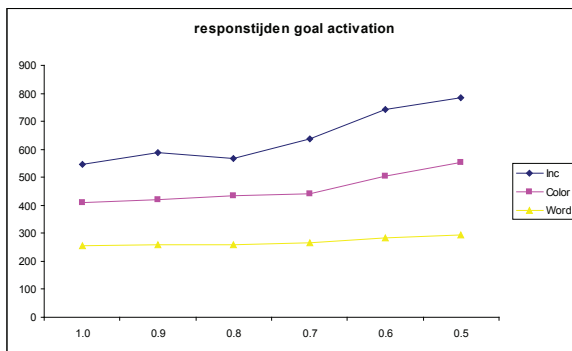
3. Resultaten

3.1. Goal activation

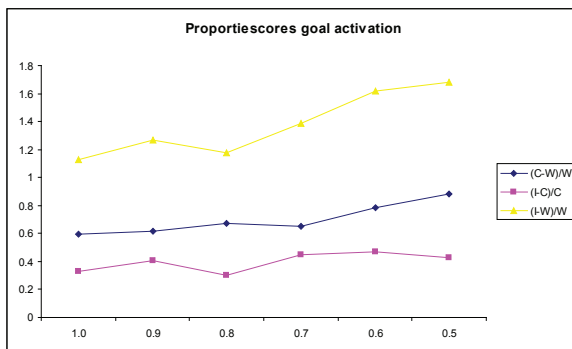
Verlaging van de *goal activation* heeft tot gevolg dat de responstijd op alle subtaken toeneemt (Figuur 3.1). Dit gaat gepaard met een groter percentage fouten op de incongruente taak, en bij verdere verlaging ontstaan ook duidelijk fouten op de controletaken. De standaarddeviaties van de responstijden nemen voor alle subtaken toe (Tabel 3.1).

De verschillen laten zien dat de verschillen tussen de subtaken groter worden naarmate de *goal activation* wordt verlaagd. Bij alle geteste waarden blijven de verschillen significant. De proportiescores laten zien dat het de subtaak woordbenoemen wat achter blijft bij de andere twee subtaken. De verhouding tussen *Color* en *Inc*, vaak gebruikt als maat voor de interferentie, verandert nauwelijks (Figuur 3.2).

De gemeten activatiewaarden van targets en distractors nemen bij verlaging van de *goal activation* af. De activatie van de targets verschilt niet tussen de incongruente taak en de neutrale benoemingstaak. De distractoractivatie neemt alleen af op de incongruente taak; op de taak *Color* neemt de activatie juist iets toe. De verhouding tussen targets en distractors laat het volgende beeld zien: op de *Color* taak hebben de targets bij de standaardinstellingen een 2.5 keer



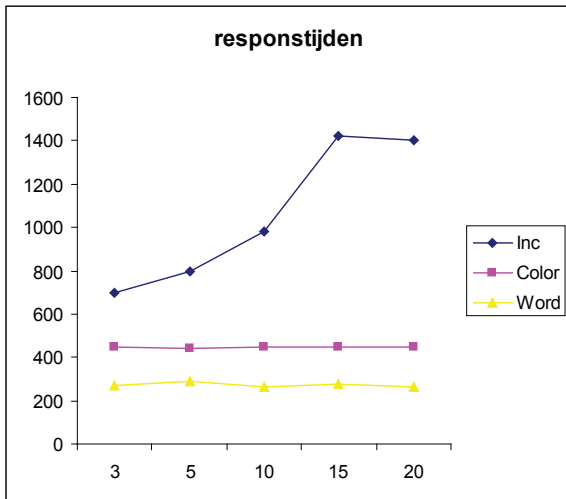
Figuur 3.1: Effect van *goal activation* op de responstijden



Figuur 3.2: Effect van *goal activation* op de proportiescores

Tabel 3.2: Vergelijking van *goal activation* 1.0 en 0.7

Goal activation	1	0.7	verschil	
Responstijd (sd)				
<i>Inc</i>	546 (214)	638 (254)	92	p = 0.006
<i>Color</i>	410 (30)	441 (77)	31	p = 0.0002
<i>Word</i>	257 (29)	267 (45)	10	p = 0.06
Fouten (%)				
<i>Inc</i>	14	24	10	
<i>Color</i>	0	1	1	
<i>Word</i>	0	0	0	
Activatie targets				
<i>Inc</i>	3.55	2.48		
<i>Color</i>	3.46	2.47		
Activatie distractors				
<i>Inc</i>	3.11	2.47		
<i>Color</i>	1.42	1.45		



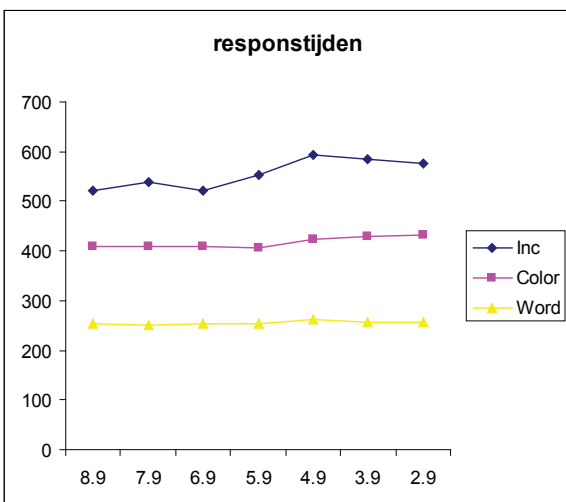
Figuur 3.3: Effect van *retrieval attempts* op de responstijden

zo grote waarde als de distractors. Bij verlaging van de *goal activation* neemt de relatieve activatie snel af; toch blijven de targets sterker geactiveerd dan de distractors. Op de *Inc* taak is een ander beeld te zien: bij de standaardinstellingen hadden de targets een slechts iets grotere activatie dan de distractors. Naarmate de *goal activation* en daarmee de target en distractor activatie afnemen verschuift deze verhouding in het voordeel van de distractors. Bij een lage *goal activation* krijgen de distractors zelfs een iets hogere activatie dan de targets.

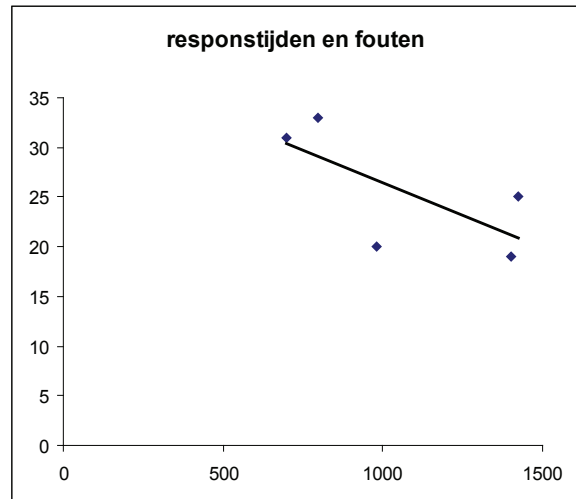
Uit paarsgewijze vergelijking van de simulaties met de standaardinstellingen en met een *goal activation* van 0.7 blijkt dat de responstijden op de beide benoemingstaken significant verschillen maar de responstijden op de woordleestaak niet (Tabel 3.2).

3.2. Retrieval attempts

Bij verhoging van het maximum aantal *retrieval attempts* neemt de responstijd voor de subtaak *Inc* toe. De tijden voor *Color* en *Word* blijven nagenoeg



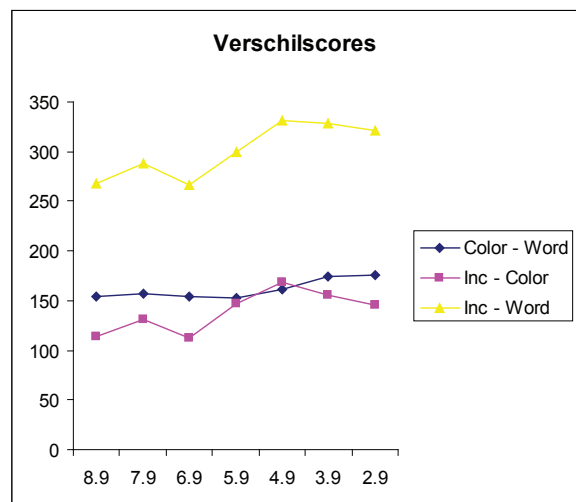
Figuur 3.5: Effect van kleur-concept associaties op de responstijden



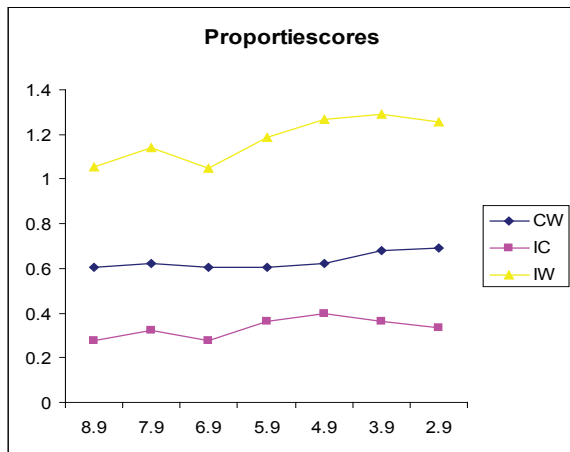
Figuur 3.4: Verband tussen fouten en responstijd op de *Inc* subtaak

gelijk, respectievelijk rond de 450 en 270 ms, bij een *goal activation* van 0.7 (Figuur 3.3). Ook de standaarddeviaties veranderen bij deze subtaken nauwelijks. Bij de standaardwaarde voor het aantal *retrieval attempts* worden op de *Color* en *Word* taken nauwelijks fouten gemaakt. Verhoging van het maximum aantal heeft voor deze subtaken dan ook nauwelijks invloed; de extra pogingen worden niet benut omdat de correcte chunk al gevonden is, in tegenstelling tot de incongruente taak. Bij de incongruente subtaak valt op dat de standaarddeviatie van de responstijd zeer veel groter wordt. Terwijl de responstijd verdubbelt, verzesvoudigt de standaarddeviatie. Tegelijk neemt het percentage fouten af, echter niet tot het niveau van het model met de standaardinstellingen.

De verschillen en proportiescores laten een bijbehorend beeld zien. De verschillen tussen *Inc* en *Color* en tussen *Inc* en *Word* worden groter, de verschillen van *Color* en *Word* blijven gelijk. Bij de proportiescores gebeurt hetzelfde. De activaties van targets en distractors veranderen niet door



Figuur 3.6: Effect van kleur-concept associaties op de verschilsscores



Figuur 3.7: Effect van kleur-concept associaties op de proportiescores

aanpassing van het aantal *retrieval attempts*.

Wanneer de gemeten responstijden op de incongruente taak worden uitgezet tegen het bijbehorende percentage fouten, is te zien dat een langere responstijd gepaard gaat met een lager percentage fouten (Figuur 3.4). Een hogere nauwkeurigheid gaat samen met een lagere snelheid, er is dus een trade-off te zien tussen snelheid en nauwkeurigheid.

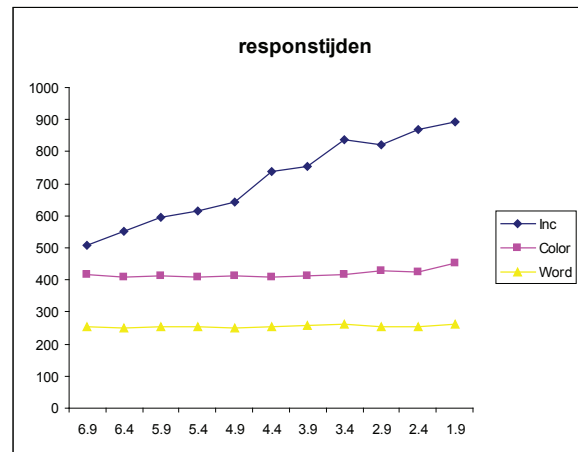
3.3. Color-concept associaties

Bij verlaging van de associaties tussen kleuren en concepten verandert er weinig. De responstijd op de beide kleurbenoemingstaken neemt iets toe; de grootte van dit effect is echter klein (Figuur 3.5). Het aantal fouten verandert niet; in dit model treedt de interferentie immers op in de lemmalaag en daar is niet ingegrepen. Ook de standaarddeviatie op de *Color* taak neemt iets toe.

Aan de verschillen is te zien dat het interferentie-effect gemeten als $Inc - Color$ iets toeneemt. Ook de verschillen tussen *Inc* en *Word* nemen toe. Voor $Color - Word$ is het effect kleiner dan voor de andere maten (Figuur 3.6).

De proportiescores laten zien dat de verhouding tussen de responstijden op de subtaken verandert. De verschillen tussen de incongruente taak en de woordleestaak nemen toe. De verhouding tussen *Inc* en *Color* schommelt wat, maar laat geen duidelijke trend zien (Figuur 3.7).

Bij aanpassing van de links tussen kleuren en concepten blijven de gemeten activaties van targets en distractors nagenoeg gelijk. De aangebrachte veranderingen in de conceptuele laag werken niet door in de activaties op de lemmalaag. In ACT-R speelt bij verspreiding van activatie over chunks de specifieke waarde van de activatie van de bronchunks immers geen rol. In de lemmalaag treden dan ook geen veranderingen op. De langere responstijden worden dan ook verklaard door iets vertraagde retrieval van de kleurconcepten.



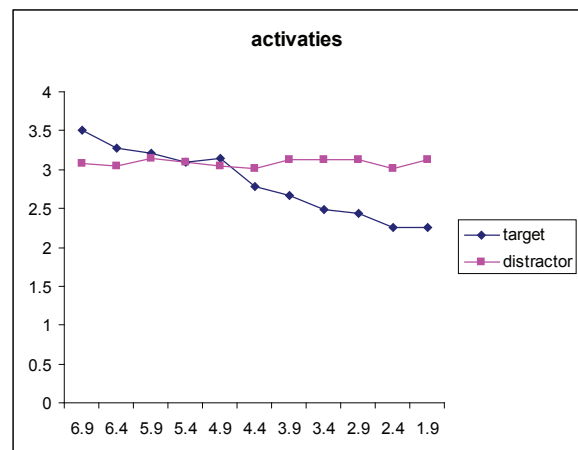
Figuur 3.8: Effect van taakinformatie op responstijd

3.4. Taakinformatie

Verlaging van de associatiewaarden voor de taakinformatie geeft een toename van de responstijd op de incongruente taak terwijl de responstijd op de controletaken nauwelijks verandert (Figuur 3.8). De standaarddeviatie van de responstijd op de incongruente taak neemt eerst toe en vervolgens weer af. Het aantal fouten op de incongruente taak neemt vrijwel lineair toe als de activatie van de taakinformatie verlaagd wordt, tot percentages ruim boven 50%.

De verschillen laten het volgende beeld zien: de verschillen tussen de *Color* en *Word* subtaken veranderen nauwelijks door aanpassing van de invloed van de taakinformatie. Dit is in overeenstemming met dat de afzonderlijke responstijden nauwelijks veranderen. De verschillen $Inc - Color$ en $Inc - Word$ daarentegen nemen duidelijk toe. Uit de proportiescores komt hetzelfde naar voren. Bij een lagere activatie van de taakinformatie wordt de responstijd op de incongruente taak disproportioneel langer. Hier is dus sprake van het specifieke interferentie-effect.

De activatiewaarden van de targets en distractors voor de incongruente subtaak geven inzicht in het



Figuur 3.9: Effect van taakinformatie op activatie van targets en distractors voor de incongruente taak

mechanisme achter dit effect. De taakinformatie heeft invloed op de activatie van de targets maar niet op die van de distractors. Bij de standaardinstellingen zorgt de taakinformatiecomponent ervoor dat de activatie van de targets hoger ligt dan die van de distractors. Bij een lagere associatiewaarde neemt deze invloed echter af en daalt de target activatie onder de distractor activatie (Figuur 3.9). Dit zorgt voor meer foute *retrievals* en daarmee een langere responstijd en meer fouten.

4. Discussie

Aanpassing van het ACT-R model laat bij de vier deelexperimenten duidelijk verschillende effecten zien. Dit stemt overeen met de veronderstelling dat er bij letseffecten op de Strooptest meerdere mechanismen betrokken zijn en dat de tegenstrijdige bevindingen in de literatuur als het gaat om letseffecten deels verklaard kunnen worden vanuit de heterogeniteit van de letsels. Het is interessant om te bekijken hoe de gevonden effecten verklaard kunnen worden vanuit de ACT-R theorie.

Acht modules binnen ACT-R zijn gekoppeld aan bijbehorende hersengebieden. Een aantal hoort bij perceptie en motorische activiteit: modaliteitsspecifieke modules voor visuele en auditieve perceptie en voor vocale en manuele motorische activiteit. De overige modules zijn algemener van aard. De *retrieval* module is gekoppeld aan de prefrontale cortex, waaronder delen van Brodmann Areas 45 en 46. De *problem state* module, of imaginaire module, is in verband gebracht met de pariëtale cortex. De *goal* module hoort bij de anterior cingulate cortex, en de basale ganglia, in het bijzonder de nucleus caudatus, bij de procedurele module (Anderson *et al.*, 2007). Voor dit project waren voornamelijk *retrieval*, *problem state* en *goal* interessant. De bijbehorende hersengebieden zijn alle gekoppeld aan de Strooptest (Harrison *et al.*, 2005).

4.1. Ingrenen in het model

Het model maakt geen gebruik van perceptieve of motorische componenten; ingrijpen in de *color naming pathway* was daarom enigszins gekunsteld. Ook *retrieval* in dit model volgt niet de standaard ACT-R theorie maar gaat uit van WEAVER. Overigens zijn er voordelen van een op een accumulatoremodel gebaseerde *retrieval* (Van Maanen & Van Rijn, 2006). Ingrijpen in het *retrieval* deel in dit model bestond uit aanpassing van het maximum aantal pogingen. De *goal* module is aangepast door middel van de parameter *goal activation* die de te verspreiden activatie reguleert. Het model maakt geen gebruik van een expliciete imaginaire buffer, het slechter bijhouden van de *problem state* is daarom gemodelleerd door middel van de taakinformatie. De aangebrachte veranderingen zijn dan ook te relateren aan verschillende ACT-R modules.

Zowel de algemene vertraging als het specifieke interferentie-effect waren goed te simuleren. Bij de trade-off tussen snelheid en nauwkeurigheid is het de vraag of dit één onderliggende factor heeft. Uit onderzoek naar leesproblemen komt naar voren dat *accuracy* en *fluency* aparte factoren zijn die beide verband houden met Stroopinterferentie (Protopapas, 2007). Bij de fouten speelt bovendien dat de meeste fouten op de Strooptest snel opgemerkt worden en gecorrigeerd. Bij foute antwoorden is er in de cingulate cortex andere activiteit te zien dan bij goede antwoorden (Critchley, 2003). Deze *error monitoring* is onder andere bij patiënten met schizofrenie afwijkend. Taylor (2007) geeft een overzicht van de achterliggende theorie en recente ontwikkelingen in het onderzoek. In het Stroopmodel speelt *error monitoring* geen rol en is het mechanisme achter foute antwoorden vereenvoudigd. Toch kunnen afwijkingen hierin bijdragen aan een verklaring waarom bepaalde groepen alleen in het aantal fouten en niet in de responstijd van gezonde controles verschillen. Dat dit verschijnsel niet alleen bij mensen voorkomt, blijkt uit onderzoek bij chimpansees. Hierin werd een interferentie-effect gevonden in het aantal fouten maar geen verschil in responstijd (Beran *et al.*, 2007).

Er is niet ingegrepen in het procedurele deel aangezien er geen aanwijzingen zijn dat de letseffecten bij de Strooptest verband houden met letsel aan de basale ganglia. De cyclusduur van een productiecycclus in ACT-R bedraagt standaard 50 ms, net als in EPIC. Effecten van ouderdom zijn in EPIC gesimuleerd door de cyclustijd te vergroten tot 56.5 ms (Meyer *et al.*, 2001). Ditzelfde is in ACT-R gedaan in een model van een rijnsimulator (Salvucci *et al.*, 2004).

4.2. Belang van modelleren van letseffecten

Bij het bestuderen van letseffecten is het lastig dat niet alle letsels goed te lokaliseren zijn. Zo komt bij traumatisch hersenletsel naast focale lesies ook diffuse axonale beschadiging voor. Ook interacteren de delen van de hersenen met elkaar, wat er bijvoorbeeld in kan resulteren dat een niet-frontale lesie gepaard gaat met veranderingen in de bloeddorstrooming in de frontale hersenen. Om de verschijnselen op de Strooptest te verklaren grijpt men dan vaak terug op constructen als algemene vertraging, werkgeheugen en aandacht, die op hun beurt weer onder te verdelen zijn en in factoren uiteenvallen. Simulatie van deze verschijnselen draagt bij aan inzicht in wat er hier aan de hand is en welke mechanismen hier een rol in spelen.

Voor een '*unified theory of cognition*' zoals Newell beschreven heeft, is het echter van belang de verschillende componenten weer met elkaar in verband te brengen. Op de geformuleerde criteria voor zo'n theorie scoort ACT-R op de meeste punten goed; op

het punt van de relatie met de menselijke hersenen blijft ACT-R echter in een aantal opzichten nog achter bij connectionistische modellen. (Anderson & Lebiere, 2003). Met behulp van neuroimaging technieken als fMRI is hierin vooruitgang geboekt. Modelleren van letseffecten, zoals in dit project gedaan voor de Strooptest, is een aanvullende manier om sterke en zwakke punten van ACT-R modellen en de ACT-R architectuur te vinden.

5. Referenties

- Altmann, E. & Davidson, D. (2001), 'An integrative approach to Stroop: Combining a language model and a unified cognitive theory', *Proceedings of the 23rd annual meeting of the Cognitive Science Society*, 21–26.
- Alvarez, J. A. & Emory, E. (2006), 'Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review', *Neuropsychol Rev* 16(1), 17–42.
- Anderson, J. (2005), 'Human symbol manipulation within an integrated cognitive architecture', *Cognitive Science* 29(3), 313–341.
- Anderson, J. R.; Bothell, D.; Byrne, M. D.; Douglass, S.; Lebiere, C. & Qin, Y. (2004a), 'An integrated theory of the mind.', *Psychol Rev* 111(4), 1036–1060.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (2003), 'The Newell Test for a theory of cognition.', *Behav Brain Sci* 26(5), 587–601; discussion 601–648.
- Anderson, J. R.; Qin, Y.; Jung, K. & Carter, C. S. (2007), 'Information-processing modules and their relative modality specificity', *Cognit Psychol* 54(3), 185–217.
- Anderson, J. R.; Qin, Y.; Stenger, V. A. & Carter, C. S. (2004b), 'The relationship of three cortical regions to an information-processing model', *J Cogn Neurosci* 16(4), 637–653.
- Anderson, J. R.; Reder, L. M. & Lebiere, C. (1996), 'Working memory: activation limitations on retrieval', *Cognit Psychol* 30(3), 221–256.
- Baddeley, A. (2003), 'Working memory: looking back and looking forward', *Nat Rev Neurosci* 4(10), 829–839.
- Beran, M.; Washburn, D. & Rumbaugh, D. (2007), 'A Stroop-like effect in color-naming of color-word lexigrams by a chimpanzee (*Pan troglodyte*)', *J Gen Psychol* 134(2), 217–228.
- Botvinick, M.; Nystrom, L. E.; Fissell, K.; Carter, C. S. & Cohen, J. D. (1999), 'Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex', *Nature* 402(6758), 179–181.
- Botvinick, M.M.; Cohen, J.D. & Carter, C.S. (2004), 'Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update', *Trends Cogn Sci* 8(12), 539–546.
- Busch, R.M.; McBride, A.; Curtiss, G. & Vanderploeg, R.D. (2005), 'The components of executive functioning in traumatic brain injury', *J Clin Exp Neuropsychol* 27(8), 1022–1032.
- Butler, M.; Retzlaff, P. & Vanderploeg, R. (1991), 'Neuropsychological test usage', *Professional psychology, research and practice* 22(6), 510–512.
- Cohen, J.; Servan-Schreiber, D. & McClelland, J. (1992), 'A parallel distributed processing approach to automaticity', *The American Journal of Psychology* 105(2), 239–269.
- Cohen, J.; Usher, M. & McClelland, J. (1998), 'A PDP approach to set size effects within the Stroop task: Reply to Kanne, Balota, Spieler, and Faust (1998)', *Psychological Review* 105, 188–194.
- Crescentini, C. & Stocco, A. (2005), 'Agrammatism as a failure in the lexical activation process', *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Critchley, H. D.; Mathias, C. J.; Josephs, O.; O'Doherty, J.; Zanini, S.; Dewar, B.; Cipolotti, L.; Shallice, T. & Dolan, R. J. (2003), 'Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence.', *Brain*, 126, 2139–2152
- Damasio, H.; Grabowski, T.; Frank, R.; Galaburda, A. M. & Damasio, A. R. (1994), 'The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient.', *Science* 264(5162), 1102–1105.
- Demakis, G. J. (2004), 'Frontal lobe damage and tests of executive processing: a meta-analysis of the category test, Stroop test, and trail-making test.', *J Clin Exp Neuropsychol* 26(3), 441–450.
- van der Elst, W.; Van Boxtel, M.; Van Breukelen, G. & Jolles, J., 'The Stroop Color-Word test: influence of age, sex, and education; and normative data for a large sample across the adult age range', *Assessment*, 2006, 13, 62–79
- Goethals, I.; Audenaert, K.; Jacobs, F.; Lannoo, E.; de Wiele, C. V.; Ham, H.; Otte, A.; Oostra, K. & Dierckx, R. (2004), 'Cognitive neuroactivation using SPECT and the Stroop Colored Word Test in patients with diffuse brain injury.', *J Neurotrauma* 21(8), 1059–1069.
- Gruber, S. A.; Rogowska, J.; Holcomb, P.; Soraci, S. & Yurgelun-Todd, D. (2002), 'Stroop performance in normal control subjects: an fMRI study.', *Neuroimage* 16(2), 349–360.
- Harlow, J. M. (1999), 'Passage of an iron rod through the head. 1848.', *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 11(2), 281–283.
- Harrison, B. J.; Shaw, M.; Yücel, M.; Purcell, R.; Brewer, W. J.; Strother, S. C.; Egan, G. F.; Olver, J. S.; Nathan, P. J. & Pantelis, C. (2005), 'Functional connectivity during Stroop task performance.', *Neuroimage* 24(1), 181–191.
- Hendriks, A. (1997), 'Strategic Control in Developmental Dyslexia', *Cognitive Neuropsychology* 14(3), 321–366.
- Henik, A. & Salo, R. (2004), 'Schizophrenia and the stroop effect.', *Behav Cogn Neurosci Rev* 3(1), 42–59.
- Herd, S. A.; Banich, M. T. & O'Reilly, R. C.

- (2006), 'Neural mechanisms of cognitive control: an integrative model of stroop task performance and fMRI data.', *J Cogn Neurosci* 18(1), 22–32.
- Juvina, I.; Taatgen, N. & Dickinson, D. (2007), 'Cognitive control as alternation of activation and suppression in the Stroop task.', *Submitted to the Cognitive Science conference*
- Kane, M. & Engle, R. (2003), 'Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference', *Journal of Experimental Psychology: General* 132(1), 47–70.
- Kanne, S. M.; Balota, D. A.; Spieler, D. H. & Faust, M. E. (1998), 'Explorations of Cohen, Dunbar, and McClelland's (1990) connectionist model of Stroop performance.', *Psychol Rev* 105(1), 174–187.
- Kerns, J. G.; Cohen, J. D.; MacDonald, A. W.; Cho, R. Y.; Stenger, V. A. & Carter, C. S. (2004), 'Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control.', *Science* 303(5660), 1023–1026.
- Kimberg, D. & Farah, M. (1993), 'A unified account of cognitive impairments following frontal lobe damage: the role of working memory in complex, organized behavior.', *J Exp Psychol Gen* 122(4), 411–428.
- Levelt, W.; Roelofs, A. & Meyer, A. (1999), 'A theory of lexical access in speech production', *Behavioral and Brain Sciences* 22(01), 1–38.
- Lovett, M. (2005), 'A strategy-based interpretation of Stroop', *Cognitive Science* 29(3), 493–524.
- van Maanen, L. & van Rijn, H. (2006), 'An accumulator model account of semantic interference in memory retrieval', *proceedings of the 7th International Conference on Cognitive Modeling*, 322–327.
- MacLeod, C. M. (1991), 'Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review.', *Psychol Bull* 109(2), 163–203.
- McAllister, T. W.; Flashman, L. A.; Sparling, M. B. & Saykin, A. J. (2004), 'Working memory deficits after traumatic brain injury: catecholaminergic mechanisms and prospects for treatment — a review.', *Brain Inj* 18(4), 331–350.
- Meyer, D. E.; Glass, J. M.; Mueller, S. T.; Seymour, T. L. & Kieras, D. E. (2001), 'Executive-process interactive control: A unified computational theory for answering 20 questions (and more) about cognitive ageing' *European Journal of Cognitive Psychology* 13, 123–164.
- Milham, M. & Banich, M. (2005), 'Anterior cingulate cortex: An fMRI analysis of conflict specificity and functional differentiation', *Human Brain Mapping* 25(3), 328–335.
- Milham, M.; Erickson, K.; Banich, M.; Kramer, A.; Webb, A.; Wszalek, T. & Cohen, N. (2002), 'Attentional control in the aging brain: insights from an fMRI study of the Stroop task', *Brain Cogn* 49(3), 277–296.
- Murphy, C. F.; Gunning-Dixon, F. M.; Hoptman, M. J.; Lim, K. O.; Ardekani, B.; Shields, J. K.; Hrabe, J.; Kanellopoulos, D.; Shanmugham, B. R. & Alexopoulos, G. S. (2007), 'White-matter integrity predicts Stroop performance in patients with geriatric depression.', *Biol Psychiatry* 61(8), 1007–1010.
- Müller, N. G. & Knight, R. T. (2006), 'The functional neuroanatomy of working memory: contributions of human brain lesion studies.', *Neuroscience* 139(1), 51–58.
- O'Reilly, R. C. (2006), 'Biologically based computational models of high-level cognition.', *Science* 314(5796), 91–94.
- Phaf, R.; Van der Heijden, A. & Hudson, P. (1990), 'SLAM: a connectionist model for attention in visual selection tasks.', *Cognit Psychol* 22(3), 273–341.
- Protopapas, A.; Archonti, A. & Skaloumbakas, C. (2007), 'Reading ability is negatively related to Stroop interference.', *Cognit Psychol* 54(3), 251–282.
- Rabin, L. A.; Barr, W. B. & Burton, L. A. (2005), 'Assessment practices of clinical neuropsychologists in the United States and Canada: a survey of INS, NAN, and APA Division 40 members.', *Arch Clin Neuropsychol* 20(1), 33–65.
- Ratiu, P.; Talos, I.; Haker, S.; Lieberman, D. & Everett, P. (2004), 'The tale of Phineas Gage, digitally remastered.', *J Neurotrauma* 21(5), 637–643.
- Repovs, G. & Baddeley, A. (2006), 'The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology.', *Neuroscience* 139(1), 5–21.
- Roelofs, A. (2003), 'Goal-referenced selection of verbal action: modeling attentional control in the Stroop task.', *Psychol Rev* 110(1), 88–125.
- Rorden, C. & Karnath, H. (2004), 'Using human brain lesions to infer function: a relic from a past era in the fMRI age' *Nat Rev Neurosci* 5(10), 813–819
- Salvucci, D. D.; Chavez, A. K. & Lee, F. J. (2004), 'Modeling effects of age in complex tasks: a case study in driving', *Proceedings of the 26th Annual Conference of the Cognitive Science Society*.
- Smith, G. & Brewer, N. (1995), 'Slowness and age: speed-accuracy mechanisms.', *Psychol Aging* 10(2), 238–247.
- Soeda, A.; Nakashima, T.; Okumura, A.; Kuwata, K.; Shinoda, J. & Iwama, T. (2005), 'Cognitive impairment after traumatic brain injury: a functional magnetic resonance imaging study using the Stroop task.', *Neuroradiology* 47(7), 501–506.
- Stocco, A. & Crescentini, C. (2005), 'Syntactic comprehension in agrammatism: A computational model.', *Brain & Language* 95(1), 127–128.
- Stroop, J. (1935), 'Studies of inference in serial verbal reactions', *Journal of Experimental Psychology* 47, 1207–1211.
- Stuss, D. T.; Floden, D.; Alexander, M. P.; Levine, B. & Katz, D. (2001), 'Stroop performance in focal lesion patients: dissociation of processes and frontal lobe lesion location.', *Neuropsychologia*

39(8), 771–786.

Swick, D. & Jovanovic, J. (2002), 'Anterior cingulate cortex and the Stroop task: neuropsychological evidence for topographic specificity.', *Neuropsychologia* 40(8), 1240–1253.

Taylor, S. F.; Stern, E. R. & Gehring, W. J. (2007), 'Neural systems for error monitoring: recent findings and theoretical perspectives.', *Neuroscientist* 13(2), 160–172.

Vendrell, P.; Junqué, C.; Pujol, J.; Jurado, M. A.; Molet, J. & Grafman, J. (1995), 'The role of prefrontal regions in the Stroop task.', *Neuropsychologia* 33(3), 341–352.

Verhaeghen, P. & Cerella, J. (2002), 'Aging, executive control, and attention: A review of meta-analyses', *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 26(7), 849–857.

Verhaeghen, P. & De Meersman, L. (1998), 'Aging and the Stroop effect: a meta-analysis.', *Psychol Aging* 13(1), 120–126.

Vitkovitch, M.; Bishop, S.; Dancy, C. & Richards, A. (2002), 'Stroop interference and negative priming in patients with multiple sclerosis.', *Neuropsychologia* 40(9), 1570–1576.