

Cognitieve stabiliteit en flexibiliteit: verkennend gedragsonderzoek naar
het verband met studieprestaties

Bachelorscriptie Kunstmatige Intelligentie
Daan den Boer

3143996

Begeleiders

Stella Donker
Linda van Ooijen – van der Linden

Inhoud

Abstract.....	3
Inleiding.....	4
Achtergrond en motivatie.....	4
Cognitieve Controle als voorspeller van studiestatistiek	5
Onderzoeksvraag en toegevoegde waarde huidig onderzoek	6
Methode	8
Computertaak	8
Stimulus.....	8
Regel en respons.....	9
Conditie	10
Relatieve Helderheid.....	11
Uitkomsten.....	11
Statistische analyse.....	12
Resultaten	13
Replicatie.....	14
Correlatie met studiestatistiek	15
Discussie.....	16
Replicatie.....	16
Relatie tot studieresultaten	17
Valkuilen huidig onderzoek.....	18
Toekomstig onderzoek.....	19
Link met CKI	21
Referentielijst.....	22

Abstract

Cognitieve controle lijkt belangrijk in alle facetten van het leven. Het flexibel kunnen sturen van ons gedrag maakt het mogelijk ons aan te passen aan onze omgeving. Cognitieve controle wordt veelal gemeten met gedragsonderzoek bij jonge kinderen aangevuld met hersenonderzoek bij jong-volwassenen. Gedragsonderzoek aangevuld met hersenonderzoek (i.e. fMRI-data) heeft al verband aangetoond tussen cognitieve controle en studiestatistiek. Huidig onderzoek onderzoekt dergelijk verband, zonder daarbij gebruik te willen maken van hersenonderzoek. Hiertoe is een taak gerepliceerd waarbinnen gekeken kan worden naar verschillende onderdelen van cognitieve controle, namelijk cognitieve stabiliteit en flexibiliteit. Deze taak werd afgenomen bij (aanstaand) bachelor studenten en de resultaten van deze taak werden gekoppeld aan studiestatistiek, om te kijken of er verband was. Het doel van huidig onderzoek was tweeledig. Het eerste deel bestond uit een gedeeltelijke replicatie van eerder onderzoek. Dat gedeelte is geslaagd, resultaten kwamen overeen met eerder onderzoek. Het resultaat van deze replicatie was van belang voor het tweede doel van huidig onderzoek: om prestaties op de taak te koppelen aan studiestatistiek. In huidig onderzoek is geen verband gevonden tussen beide: resultaten van dit onderzoek, in termen van cognitieve flexibiliteit en stabiliteit, houden geen verband met studiestatistiek in academische context.

Inleiding

Cognitieve controle helpt ons functioneren in het dagelijks leven. De wereld om ons heen verandert continu. Waar nodig passen wij ons gedrag aan op wat er om ons heen gebeurt. Naar links kijken voor je oversteekt is een aangeleerd automatisme, dat vereist weinig controle; ben je echter op vakantie in Engeland dan zal je door middel van *top-down-controle* ervoor moeten zorgen dat je rechts kijkt in plaats van links, alvorens je oversteekt: een vorm van cognitieve controle. Ook in sociale zin passen wij ons gedrag graag aan, om zo geaccepteerd te worden door de mensen om ons heen. Verder vereist het behalen van een diploma een zekere mate van cognitieve controle, aanpassingsvermogen (Veroude et al., 2013).

Deze cognitieve controle, ook wel *executieve functies* (EF), valt o.a. uit te drukken in termen van *cognitieve flexibiliteit* en *cognitieve stabiliteit* (Banich, 2009; Miyake et al., 2000). Cognitieve flexibiliteit manifesteert zich, in relatie tot het behalen van een diploma, bijvoorbeeld in het flexibel om kunnen gaan met planning, het kunnen uitvoeren van meerdere opdrachten binnen dezelfde periode en problemen van verschillende kanten kunnen bekijken (Diamond, 2013). Tegelijkertijd zijn er situaties waarin cognitieve stabiliteit benodigd is: men dient gefocust te blijven op een taak om deze succesvol af te ronden. Daarbij dient men datgene wat af kan leiden te negeren (Goschke et al, 2014).

Schoolrijpheid bij kleuters/peuters wordt sterker geassocieerd met cognitieve controle dan met bijvoorbeeld IQ (Blair et al., 2007). Cognitieve controle blijkt belangrijk voor (academisch) succes op school, niet alleen tijdens de eerste schooljaren, maar tot en met de middelbare school (Bull et al., 2001; Diamond et al., 2007). De middelbare school is er op gericht om kinderen voor te bereiden op de stap naar hoger onderwijs en ook in die fase van het (school)leven speelt cognitieve controle een belangrijke rol. Veel gedragsonderzoek richt zich op de relatie tussen cognitieve controle en schoolprestaties bij kinderen. Er is minder bekend over de verhouding tussen cognitieve controle en schoolprestaties in latere fases van het leven (e.g. jongvolwassenen, studenten; Best et al., 2009). Huidig onderzoek doet een verkennende poging om meer inzicht te krijgen in dit verband, i.e. tussen cognitieve controle en studieprestaties in academische context. Naast een replicatie van een gedeelte van eerder onderzoek naar cognitieve controle in termen van flexibiliteit en stabiliteit (Armbruster et al., 2012) wordt gekeken naar de eventuele link tussen resultaten van gedragsonderzoek en studieprestaties.

Achtergrond en motivatie

Cognitieve controle is een set van algemene controleprocessen die iemand in staat stelt zijn of haar gedachten en gedrag te reguleren (Miyake et al., 2012). “Cognitieve controle maakt het

mogelijk om in gedachten te spelen met ideeën; tijd te nemen om na te denken alvorens te handelen; nieuwe onvoorziene uitdagingen aan te gaan; verleidingen te weerstaan; en gefocust te blijven op een taak” (Diamond, 2013, geparafraseerd). Cognitieve controle wordt doorgaans opgedeeld in een drietal *functies*: inhibitie, werkgeheugen en cognitieve flexibiliteit (Diamond, 2013). Voor deze functies geldt dat ze enerzijds correlatie met elkaar vertonen, anderzijds duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn (Miyake et al., 2000). Bestaand onderzoek naar cognitieve controle bouwt hierop voort en stelt dat zowel cognitieve flexibiliteit als stabiliteit binnen eenzelfde taak te meten zijn en dat daarmee aangetoond kan worden dat onderliggende *neurale correlaten* overlap vertonen (Armbruster et al., 2012; Garner, 2009).

Onderzoek naar cognitieve controle gebeurt op verschillende manieren: zelfrapportage, gedragsonderzoek en hersenonderzoek (e.g. fMRI-scans). Van zelfrapportage is bekend dat daarmee verband aangetoond kan worden met betrekking tot discipline en het behalen van goede cijfers (i.e. *Grade Point Average*; Tangney et al., 2004). Tegenwoordig is het echter wenselijk om dergelijke resultaten aan te vullen met gedragsresultaten en/of scans (i.e. fMRI; Armbruster et al., 2012; Berkman et al., 2013; Veroude et al., 2013). Van cognitieve controle is bekend dat ze haar oorsprong vindt in prefrontale corticale gebieden (pFC), waarbij de *anterior cingulate cortex* (ACC) een centrale rol lijkt te spelen. Voor de ACC geldt dat deze belangrijk is bij het monitoren van conflict en uitkomst. (Botvinick, 2006). Verhoogde activiteit in dit gebied is gelinkt aan betere studiestatistieken (Veroude et al., 2013). Onderzoek toont aan dat er verband is tussen verminderde activiteit in bepaalde gebieden in de pFC en verhoogde cognitieve flexibiliteit (Armbruster et al., 2012).

Echter, recent gedragsonderzoek heeft ook aangetoond dat individuen verschillen in hun cognitieve flexibiliteit en stabiliteit (Müller et al., 2007; Miyake et al., 2000). Dergelijk onderscheid werd meestal met verschillende taken onderzocht, e.g. *Stroop task* (Macleod, 1991) en *Wisconsin Card Sorting Task* (Stuss et al., 2000) voor respectievelijk cognitieve stabiliteit en flexibiliteit. Ook bestaat de mogelijkheid om individuele verschillen in cognitieve stabiliteit en flexibiliteit binnen één taak te bekijken (Armbruster et al., 2012). Huidig onderzoek beperkt zich tot gedragsonderzoek en repliceert de taak van Armbruster et al. om deze individuele verschillen te onderzoeken, in relatie tot studiestatistieken.

Cognitieve Controle als voorspeller van studiestatistieken

Cognitieve controle gemeten in termen van ACC-activiteit is ook gelinkt aan studiestatistieken bij (bachelor-)studenten (Veroude et al., 2013; Hirsch et al., 2010). Activiteit in de prefrontale cortex houdt verband met zowel cognitief flexibel als stabiel gedrag (Armbruster et al., 2012). Het behalen van een universitair diploma vereist cognitieve controle (Veroude et al., 2013).

Hierboven genoemd gedragsonderzoek houdt zich bezig met cognitieve controle en schoolprestatieken bij jonge kinderen. Het blijft een open vraag of gedragsmetingen ook in latere

levensfasen (i.e. studietijd) van waarde kunnen zijn, m.b.t. het voorspellen van studieprestaties. Recent onderzoek (Veroude et al., 2013) heeft zich gericht op het verband tussen cognitieve controle en studieprestaties van jongvolwassenen, waarbij gedragsonderzoek werd aangevuld met hersenonderzoek. Daarbij werd in het bijzonder gekeken naar cognitieve stabiliteit en flexibiliteit, twee belangrijke onderdelen van cognitieve controle. Cognitieve stabiliteit (*inhibitieve controle*) is van belang bij het onderdrukken van afleidingen, een vaardigheid die in alle fasen van het leven van pas komt, zo ook tijdens de studie jaren. Cognitieve flexibiliteit maakt het (o.a.) mogelijk om flexibel om te gaan met ideeën en 'buiten de box te denken': als een manier van probleemoplossen niet werkt, is er een andere en betere manier om dit probleem aan te pakken? Ook dit aspect van cognitieve controle lijkt van groot belang (juist) tijdens de studie jaren, waar er verwacht wordt meer en meer een eigen denkwijze te vormen, problemen zelf op te lossen. Huidig onderzoek doet, zoals eerder genoemd, een verkennende poging verband aan te tonen tussen deze twee aspecten van cognitieve controle en studieprestaties. Een tweetal onderzoeken in het bijzonder heeft hiertoe aanleiding gegeven.

In het eerste onderzoek is door Armbruster et al. (2012) aangetoond dat er binnen één computertaak gekeken kan worden naar zowel cognitieve flexibiliteit als stabiliteit. Daarbij introduceerden zij een nieuwe waarde, de *spontane switch-rate* (SSR, cf. *Methode*). De onderzoekers toonden ook aan dat cognitief flexibeler personen, i.e. personen met een hogere SSR, minder activiteit vertoonden in de bepaalde prefrontale gebieden (waaronder de ACC). Ook gold dat zij sneller afgeleid raakten, i.e. minder nauwkeurig scoorden op een bepaalde testconditie (distractor inhibitie conditie). De SSR leek daarnaast verband te houden met het feit dat aan individuele verschillen in cognitieve flexibiliteit en stabiliteit inderdaad een gemeenschappelijk prefrontaal neurale netwerk ten grondslag ligt.

Het tweede onderzoek van Veroude et al. (2013) vond een verband tussen hersenactiviteit in de ACC tijdens cognitieve controle en studieprestaties bij bachelorstudenten. Cognitieve controle werd gemeten m.b.v. een tweetal gedragstaken (STROOP en Go/NoGo), terwijl fMRI-metingen werden gedaan. Er werd een positieve correlatie gevonden tussen gemiddelde cijfers en activiteit in de ACC.

Onderzoeksvraag en toegevoegde waarde huidig onderzoek

Uit de eerder genoemde onderzoeken blijkt dat schoolprestaties (i.e. functioneren op bijvoorbeeld de peuter- en basisschool) verband houden met cognitieve controle. In het geval van studieprestaties (i.e. tijdens universitaire opleiding) werden gedragsresultaten aangevuld met fMRI-data om dit verband aan te kunnen tonen (Veroude et al., 2013). Armbruster et al. (2012) toonden aan dat binnen eenzelfde taak gekeken kan worden naar zowel cognitieve stabiliteit als cognitieve flexibiliteit, doorgaans beschouwd als twee van de drie *functies* van cognitieve controle (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013). Om meer te weten te komen over het

mogelijk verband tussen cognitieve stabiliteit, cognitieve flexibiliteit en studieprestaties bouwt huidig onderzoek hierop voort. Huidig onderzoek beperkt zich tot het mogelijke verband tussen gedragsonderzoek en studieprestaties. Om dit verband te onderzoeken is gebruik gemaakt van de taak uit het onderzoek van Armbruster et al. (2012), deze taak maakt het mogelijk om naar zowel cognitieve stabiliteit als cognitieve flexibiliteit te kijken. Daarnaast introduceren de onderzoekers een nieuwe score, de *spontane switch rate* (Cf. *Methode*). Die score kan van belang zijn voor de koppeling met studieprestaties, omdat deze een maat geeft om cognitieve flexibiliteit in uit te drukken (Armbruster et al., 2012).

Huidig onderzoek doet dus een verkennende poging om het verband aan te tonen tussen cognitieve stabiliteit en flexibiliteit en studieprestaties. Om daartoe te komen is het doel van dit onderzoek tweeledig. Ten eerste is geprobeerd de taak uit het onderzoek van Armbruster et al. (2012) te repliceren, omdat daarmee zowel cognitieve stabiliteit als flexibiliteit gemeten kunnen worden. Er zal in het bijzonder gekeken worden naar de resultaten die betrekking hebben op de spontane switch rate, omdat deze van belang zouden kunnen zijn voor het tweede deel van huidig onderzoek: wetend dat prestaties op de taak verband houden met cognitieve stabiliteit en –flexibiliteit, zal er gekeken worden of er een verband is tussen prestaties op de taak en studieprestaties.

Dit levert de volgende hoofdvraag op: *Is er een verband tussen taakprestaties en studieprestaties?* Om deze vraag te kunnen beantwoorden dient eerst een tweetal andere vragen beantwoord te worden: *Lukt het om de resultaten van eerder onderzoek hier te repliceren en in het bijzonder, houdt ook hier de spontane switch rate verband met cognitieve flexibiliteit en stabiliteit?*

Methode

Aan dit onderzoek namen 25 mensen deel, waarvan 10 van het mannelijk geslacht. De gemiddelde leeftijd van de participanten was 22 jaar (*18 – 25 jaar, SD 1,65*). Alle participanten werd gevraagd van tevoren een formulier en een ‘informed consent’ te ondertekenen, waarin ze hun toestemming gaven om de resultaten te mogen gebruiken. Geen van de deelnemers gaf aan (aantoonbare) neurologische of psychiatrische aandoeningen te hebben (gehad). Werving van participanten bestond voornamelijk uit het uitdelen van flyers en/of actief benaderen van studenten in en rondom het psychologie lab van de universiteit Utrecht.

Voor het verzamelen van de benodigde studieresultaten gaven de participanten toestemming in het genoemde formulier, waarin gesteld stond dat resultaten uit Osiris zouden worden opgevraagd, geanonimiseerd en gebruikt. Voor studenten van buiten de faculteit psychologie gold dat deze zelf hun resultaten aanleverden, daar toegang tot hun resultaten in Osiris niet zonder meer mogelijk was.

Er is gekozen om te middelen over de twee laatst behaalde cijfers. Hierbij ging het om een tentamen- en opdrachtcijfer (*cf. Discussie*).

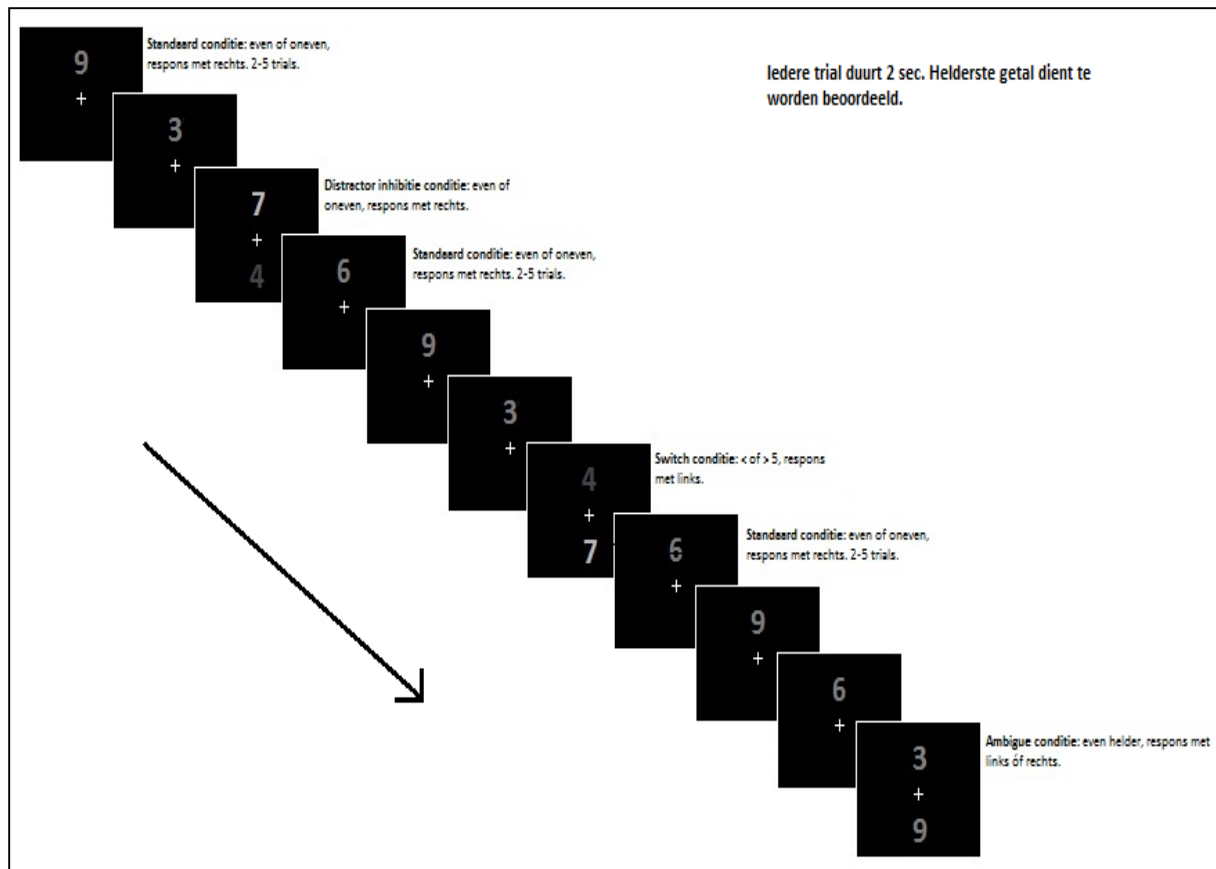
Computertaak

De taak is geprogrammeerd in *OpenSesame* en afgenomen op lab-pc's van de faculteit psychologie aan de Universiteit Utrecht. Het betrof een replicatie van de taak uit eerder onderzoek (Armbruster et al., 2012).

De taak bestond uit een viertal condities: de standaard conditie als baseline, de distractor inhibitie conditie om te kijken naar cognitieve stabiliteit, de switch conditie om te kijken naar cognitieve flexibiliteit en de ambigue conditie om de *spontane switch rate* (SSR) te meten (zie figuur 1). Elke conditie leverde dus andere resultaten op die van belang waren voor dit onderzoek (*Cf. Conditie*). Het experiment bestond uit 180 trials, elk met een duur van 2 seconde, waarbij de stimulus voor 900 milliseconde zichtbaar was. In 144 trials (80%) betrof het de standaard conditie, de overige 36 (20%) trials was evenredig verdeeld over de drie niet-standaard condities.

Stimulus

Elke trial bestond in elk geval uit een wit fixatiepunt, tegen een zwarte achtergrond weergegeven. Daarboven was altijd een getal zichtbaar, grijs van kleur. In een aantal trials verscheen ook onder het fixatiepunt een getal, eveneens grijs van kleur (*Cf. Relatieve helderheid* voor verdere uitleg).



Figuur 1. Schematische weergave van de taak. In dit voorbeeld dient respons op het keyboard met rechts te worden gegeven voor de standaardregel (i.e. getal boven even of oneven) en met links voor alternatieve regel (i.e. getal onder $<$ of $>$ 5). Verdeling van respons met links/rechts is over alle participanten gebalanceerd. Na 2-5 standaard condities volgt altijd een niet-standaard conditie (i.e. distractor inhibitie, switch of ambigue conditie). In de standaard conditie verschijnt alleen bovenaan een getal, even of oneven. In niet-standaard condities verschijnt een tweede getal, onderaan. Dan bepaalt de relatieve helderheid van de twee getallen welke regel dient te worden toegepast. Distractor inhibitie conditie: standaardregel toepassen. Switch conditie: alternatieve regel toepassen. De ambigue conditie geeft geen externe cue over welke regel moet worden toegepast: de participant 'bepaalt' zelf welke regel hij toepast.

Regel en respons

Tijdens de taak diende de participant altijd een van de volgende twee regels toe te passen:

- 1) standaardregel: is het getal boven het fixatiepunt *even of oneven*?
- 2) alternatieve regel: is het getal onder het fixatiepunt $<$ of $>$ 5?

Aan de hand van de stimulus (*Cf. Relatieve helderheid*) werd voor de participant duidelijk welke conditie het betrof en daarmee welke regel moest worden toegepast. Participanten gaven respons door het indrukken van een toets op het toetsenbord. Respons geven bestond uit: *O-toets/P-toets* voor *even/oneven* met de rechterhand, *Q-toets/W-toets* voor $</>$ 5 met de linkerhand. Het gebruik van linker- en rechterhand is over alle participanten gebalanceerd.

Conditie

Voor alle condities gold dat zowel responstijden als correctheid van respons (nauwkeurigheid) werden bijgehouden. Telkens werd een blok van 2-5 standaard condities aangeboden, waarna een niet-standaard conditie volgde.

De standaard conditie gold als baseline en werd in 80% van alle trials aangeboden. In deze conditie werd van de participant gevraagd om steeds de *standaardregel* toe te passen. De stimulus bestond in dit geval uit een getal dat boven het fixatiepunt werd weergegeven. De resultaten van deze conditie werden gebruikt om de andere condities tegen af te zetten.

De niet-standaard condities leverden alle drie andere inzichten op m.b.t. cognitieve stabiliteit en flexibiliteit. Deze condities werden in de overige 20% van alle trials aangeboden, verdeeld over de drie condities, i.e. de distractor inhibitie conditie, de switch conditie en de ambigue conditie.

Bij de distractor inhibitie conditie werd gekeken naar cognitieve stabiliteit, i.e. het onderdrukken van afleidende stimulus en doorgaan met toepassen van de standaardregel (i.e. *even of oneven*). Doel van deze conditie is om te kijken of de participant zich (makkelijk) laat afleiden. De stimulus bestond in dit geval uit een getal boven én onder het fixatiepunt, waarbij het getal boven het fixatiepunt beoordeeld diende te worden en het getal onder het fixatiepunt genegeerd.

Bij de switch conditie is gekeken naar cognitieve flexibiliteit, i.e. het snel en nauwkeurig kunnen switchen van regel en respons omdat de stimulus daar aanleiding toe geeft. Doel van deze conditie is om te kijken hoe cognitief flexibel de participant is in termen van *switchen* van regel en of dat ten koste gaat van responstijd en nauwkeurigheid. Ook bij deze conditie gold dat er twee getallen zichtbaar waren, boven en onder het fixatiepunt. In dit geval diende de participant de alternatieve regel toe te passen, i.e. $</> 5$.

Uit de ambigue conditie kwam de *spontane switch rate* (SSR) naar voren. Hierbij werd geen externe cue gegeven m.b.t. welke regel diende te worden toegepast: de participant 'bepaalde' zelf welke regel hij toepaste (*standaard of alternatieve regel*). Naast responstijd en nauwkeurigheid, leverde deze conditie dus nog een derde waarde op: de SSR, het aantal keer dat de participant er vrijwillig voor koos om te switchen. Bleef de participant de standaardregel toepassen, dan gold dit als een *niet switch*; koos de participant ervoor om de alternatieve regel toe te passen, dan gold dit als een *switch*. De verhouding tussen deze twee leverde de SSR op. Omdat een niet-standaardconditie (dus ook ambigue conditie) steeds volgde op een standaard conditie, was altijd duidelijk of er *geswitched* werd.

Zowel de getallen binnen de trials als de verschillende condities werden in een pseudowillekeurige volgorde aangeboden, i.e. voor de participant lijkt de volgorde willekeurig, de volgorde is echter wel voor elke participant hetzelfde. Voorafgaande aan de test kregen de

participanten een 5-minuten durende instructie en een set oefentrials om vertrouwd te raken met de verschillende condities (behalve de ambigue conditie, cf. *Discussie*). Tijdens de taak kregen participanten geen feedback; aan het einde van de taak werden alleen hun totale nauwkeurigheid en hun gemiddelde responstijd getoond. Participanten kregen geen monetaire beloning voor deelname aan de taak. Wel gold voor een groot aantal participanten (psychologiestudenten) dat hun deelname beloond werd met een aantal proefpersoonuren.

Relatieve Helderheid

Tijdens de taak is gebruik gemaakt van grijstinten om de relatieve helderheid binnen de stimulus te realiseren. Helderheid van de getallen bepaalde welke regel de participant diende toe te passen. Hiertoe is tijdens het programmeren van de taak van waardes gebruik gemaakt uit het interval [60;195], afhankelijk van de conditie en bijbehorende stimuli. Zo'n waarde representeert een helderheid (in termen van grijstinten) waarbij een lagere waarde correspondeert met een op het scherm minder heldere stimulus (grijzer); hoe hoger deze waarde hoe helderder (witter) de stimulus.

Bij de standaard conditie gold dat het getal boven het fixatiepunt een constante grijswaarde had (127). Bij de niet-standaard condities gold dat de grijswaardes varieerden. Bij de distractor inhibitie conditie was het bovenste getal helderder (de grijswaarde willekeurig gekozen uit interval [169;195]) dan het onderste getal (grijswaarde: 255 – grijswaarde bovenste getal). Bij de switch conditie was het onderste getal helderder (de grijswaarde willekeurig gekozen uit interval [169;195]) dan het bovenste getal (grijswaarde: 255 – grijswaarde onderste getal). Bij de ambigue conditie waren de grijswaarden van beide getallen nagenoeg gelijk, zo dat het met het blote oog onmogelijk zou zijn om onderscheid in helderheid waar te nemen. De grijswaarde van het onderste getal werd gekozen uit het vastgestelde interval [117;137], rondom de middelste grijswaarde van het bovenste getal [127].

Uitkomsten

Voor alle condities gold dat gedurende de taak responstijden (in milliseconde) en nauwkeurigheid (in %) werden bijgehouden. Ook is per participant de *switch cost* (in milliseconde) uitgerekend: het verschil tussen gemiddelde responstijd bij de standaard conditie en gemiddelde responstijd bij de switch conditie: een weergave van de *performance cost* van het switchen. Daarnaast werd bij de ambigue conditie ook nog de spontane switch rate berekend. Voor de spontane switch rate gold dat gekeken werd naar het aantal keer dat de participant er voor koos om de *alternatieve regel* toe te passen, zonder dat de stimulus daar aanleiding toe gaf. Een ambigue conditie volgde altijd op een standaard conditie. Indien de participant ervoor koos om bij de ambigue conditie de *standaardregel* toe te passen, i.e. het

bovenste getal te beoordelen, dan gold dit als *non-switch*. Werd er echter voor gekozen om de het onderste getal te beoordelen dan gold dit als *switch*. De verhouding tussen deze *switch /non-switch* en het totaal aantal ambigue condities leverde de *spontane switch rate* op (in %).

Het bijhouden van de responstijden en nauwkeurigheid per participant was van belang om te kunnen kijken of de replicatie succesvol was. Ook gaf dit een beeld van zowel de *overall performance* als de *performance per conditie*, voor elke participant. De switch cost is berekend om te onderzoeken of de spontane switch rate daadwerkelijk iets zegt over hoe cognitief flexibel iemand is, i.e. of er een negatieve correlatie is. Ook voor de spontane switch rate gold dat deze onderdeel was van de replicatie. Daarnaast is deze waarde gebruikt om het verband tussen de taak en studieprestaties in termen van gemiddeld cijfer te onderzoeken (cf. *Resultaten en Discussie*).

Statistische analyse

De resultaten werden per participant in een Excel-bestand opgeslagen. Voor de statistische analyse is alle data in SPSS ingevoerd. Hierbij is een maximum significantiedrempel van 5% aangehouden. Per participant zijn, per conditie, het gemiddelde en standaardfout in responstijd en nauwkeurigheid (*error rates*) berekend. Een *Repeated measures ANOVA* is uitgevoerd om het effect van taakconditie op responstijd en nauwkeurigheid aan te tonen. Responstijden en nauwkeurigheid golden als afhankelijke variabelen en de taakcondities als *within-subject factor*. Daarbij is een Greenhouse-Geisser correctie toegepast. Post hoc *t* testen zijn uitgevoerd om het verschil tussen verschillende condities te tonen. Voor *multiple comparisons* is een Bonferroni-gecorrigeerd significantiedrempel aangehouden. Bij het berekenen van correlatie is gebruik gemaakt van Pearson's correlatie coëfficiënt.

Resultaten

Zie tabel 1 voor de beschrijvende statistiek. Voor vergelijking met het onderzoek van Armbruster et al. (2012), zie figuur 2 & 3. Hoewel zowel de responstijden (RT) als error rates (ER) van huidig onderzoek in bijna alle gevallen (behalve ER bij ambigue conditie) absoluut hoger bleken, is een vergelijkbare trend te zien met eerder onderzoek (cf. *Replicatie*).

	<i>RT (msec)</i>		<i>Error Rates (%)</i>	
	Mean	SE	Mean	SE
Standaard conditie	736.8	27.1	6.3	0.7
Distractor inhibitie conditie	1121.8	45.6	13.2	2.4
Switch conditie	1156.4	34.1	9.4	1.5
Ambigue conditie	1370.5	51.2	16.7	2.8

Tabel 1. Beschrijvende statistiek. Elke participant kreeg 180 trials aangeboden: 144 maal de standaard conditie en 12 per niet standaard conditie.

Binnen huidig onderzoek is gekeken naar het effect van taakconditie op RT en ER. Uit de Repeated measure ANOVA met Greenhouse-Geisser correctie bleek dat taakconditie een significant effect had op de RT ($F(1.772, 40,764) = 73.265, p < 0.001$) en ER ($F(1.762, 40.521) = 4.755, p < 0,05$). Voor de niet standaard condities gold dat zowel de RT als de ER hoger lagen dan bij de standaard conditie (zie Tabel 1). In niet alle gevallen was dit verschil significant.

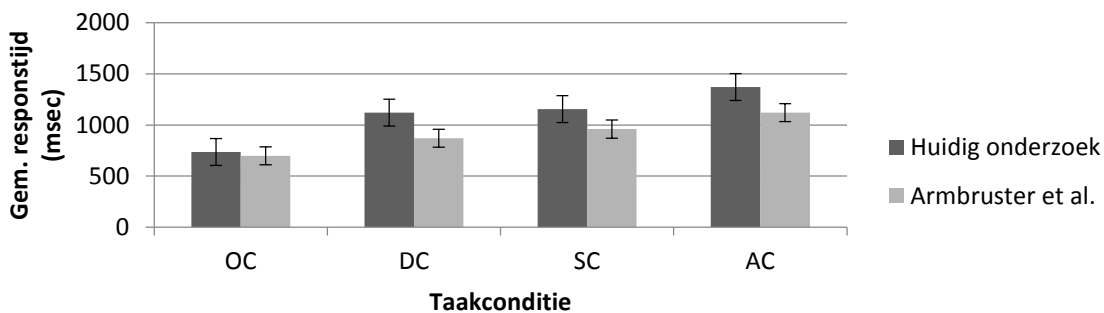
Post hoc t testen (Bonferroni-gecorrigeerd significantiedrempel voor multiple comparisons, $p = 0.05/7 = 0.007$) van RT lieten zien dat er alleen tussen de distractor inhibitie conditie en switch conditie géén significant verschil was. Vergeleken met de standaard conditie gold dat RT bij alle niet standaard condities significant hoger waren: distractor vs. standaard ($T(23) = 12.7, p < 0.001$), switch vs. standaard ($T(23) = 15.9, p < 0.001$) en ambigue vs. standaard ($T(23) = 12.9, p < 0.001$). Voor de ambigue conditie gold ook hogere RT t.o.v. distractor inhibitie conditie en switch conditie: distractor vs. ambigue ($T(23) = -4.1, p < 0.001$) en switch vs. ambigue ($T(23) = -5,5, p < 0.001$).

Post hoc t testen (Bonferroni-gecorrigeerd significantiedrempel voor multiple comparisons, $p = 0.05/7 = 0.007$) van ER lieten zien dat alléén tussen de standaard conditie en ambigue conditie het verschil significant was. Wanneer ambigue conditie vergeleken werd met standaard conditie, bleek de ER bij ambigue conditie significant hoger ($T(23) = 3.7, p = 0.001$). Voor distractor inhibitie conditie en switch conditie gold een trend richting hogere ER t.o.v.

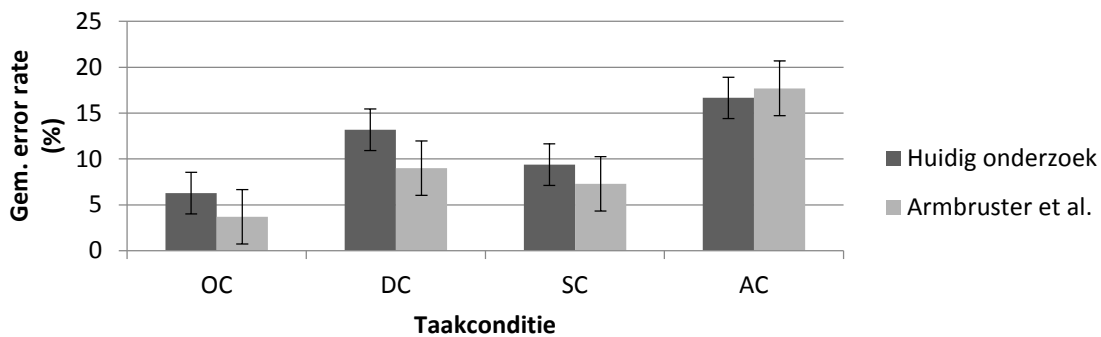
standaard conditie: distractor vs. standaard ($T(23) = 2.8, p = 0.011$) en switch vs. standaard ($T(23) = 2.4, p = 0.028$). Voor switch vs. distractor ($T(23) = -1.3, p = 0.191$), distractor vs. ambigue, ($T(23) = -0.8, p = 0.426$) en voor switch vs. ambigue ($T(23) = -2.4, p = 0.23$) golden geen significante verschillen.

Replicatie

Figuur 2 & 3 tonen de resultaten van huidig onderzoek naast die van het onderzoek van Armbruster et al. Hierbij is duidelijk een vergelijkbare trend te zien in zowel responstijden als error rates per taakconditie.

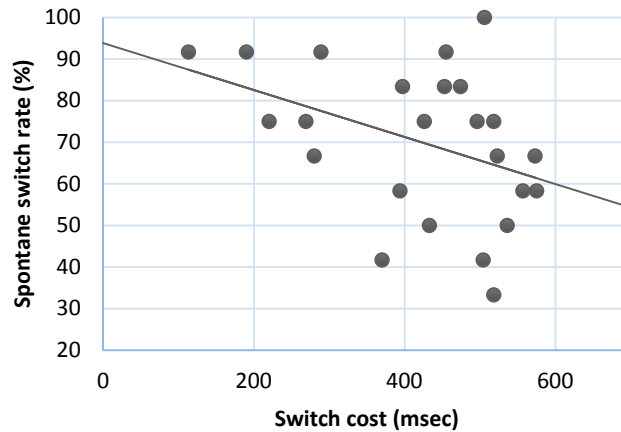


Figuur 2. Gemiddelde responstijden (in msec) per taakconditie van huidig onderzoek vs. Armbruster et al. (2012). Taakcondities: Standaard conditie (OC), distractor inhibitie conditie (DC) switch conditie (SC) en ambigue conditie (AC).



Figuur 3. Gemiddelde error rates (in %) per taakconditie van huidig onderzoek vs. Armbruster et al. (2012). Taakcondities: Standaard conditie (OC), distractor inhibitie conditie (DC) switch conditie (SC) en ambigue conditie (AC).

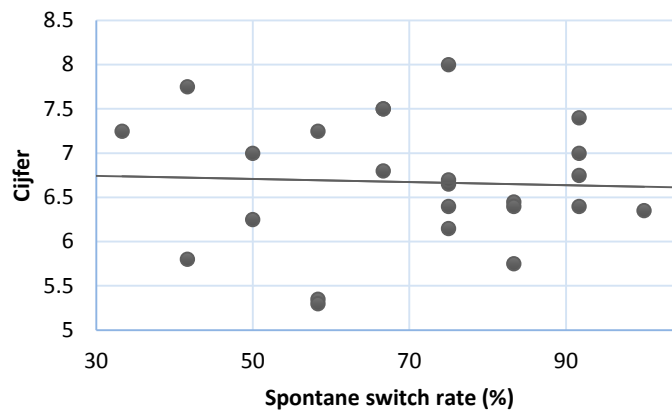
Kijkend naar de SSR en switch cost (verschil in mean RT tussen switch taak en standaard taak), blijkt er een trend richting negatieve correlatie van $r = -0.40, p = 0.052$ (zie figuur 4). Wanneer SSR vergeleken wordt met RT bij switch taak gold een significante negatieve correlatie, $r = -0.55, p = 0.005$. In het geval van distractor inhibitie taak is geen correlatie gevonden tussen ER en SSR, $r = 0.12, p = 0.957$.



Figuur 4. *Negatieve correlatie tussen switch cost en spontane switch rate. Ieder stip correspondeert met een proefpersoon*

Correlatie met studieprestaties

Wat betreft de resultaten m.b.t. studieprestaties is gekeken naar mogelijk verband tussen de spontane switch rate (SSR) en *gemiddeld cijfer* (GC). De waarde van GC varieerde van 5,3 tot 8,0 (mean: 6.7, sd: 0.7). Er is geen significante correlatie gevonden tussen SSR en GC, $r = -0.45$, $p = 0.834$ (zie figuur 5).



Figuur 5. *Geen correlatie tussen spontane switch rate en gemiddeld cijfer.*

De ER bij de distractor inhibitie taak vertoonde geen correlatie met GC, $r = -0.05$, $p = 0.814$. Ook tussen RT bij distractor inhibitie taak en GC werd geen significante correlatie gevonden, $r = 0.309$, $p = 0.14$. Wel was er significant resultaat wat betreft correlatie tussen SSR en nauwkeurigheid bij AT ($r = 0.727$, $p < 0.001$). Tussen SSR en RT bij de ambigue taak bestaat een negatieve correlatie ($r = -0.567$, $p = 0.004$). Hetzelfde gold voor de relatie tussen SSR en gemiddelde responstijd bij de switch taak, negatieve correlatie $r = -0.554$, $p = 0.005$. *Overall*

performance van participanten, zowel in responstijden als in nauwkeurigheid, vertoonde geen significante correlatie met GC, met $r = -0,373$, $p = 0,073$ voor RT en $r = 0,370$, $p = 0,075$ voor ER.

Discussie

Het doel van huidig onderzoek was om een taak uit eerder onderzoek te repliceren en daarna te kijken naar een verband tussen cognitieve controle en studieresultaten.

Replicatie

Een deel van de resultaten van het onderzoek van Armbruster et al. (2012) is in het huidige onderzoek gereproduceerd. Uit analyse bleek taakconditie een significant effect te hebben op responstijden (RT). Het switchen van taak of het onderdrukken van afleiding resulteerden in significant hogere responstijden, vergeleken met het uitvoeren van de standaard conditie. De ambigue conditie leverde hogere responstijden op vergeleken met alle andere condities. Dit is in lijn met de resultaten van Armbruster et al. (2012). In huidig onderzoek werd tussen de distractor inhibitie conditie en switch conditie geen significant verschil in RT gevonden, waar dat bij eerder onderzoek wel het geval was. Uit deze resultaten valt op te maken dat de ambigue conditie de meeste tijd vroeg om te beoordelen. Dit was te verwachten aangezien er bij deze conditie geen externe cue gegeven werd m.b.t. welke regel toegepast diende te worden.

Error rates (ER) vertoonden in huidig onderzoek grotere verschillen (t.o.v. RT) wanneer deze vergeleken werden met onderzoek van Armbruster et al. (2012). Alleen de ER van de ambigue conditie bleken significant hoger dan de standaard conditie. Bij eerder onderzoek lag ER van distractor inhibitie conditie significant hoger t.o.v. de standaard conditie. Beide onderzoeken vertoonden een trend richting hogere ER bij switch conditie t.o.v. standaard conditie.

De *spontane switch rate* (SSR) vertoonde in huidig onderzoek een trend richting negatieve correlatie met *switch cost* in responstijden ($r = -0.40$, $p = 0.052$ in huidig onderzoek; $r = -0.53$, $p = 0.05$ bij Armbruster et al., 2012). Daarnaast was er een negatieve correlatie tussen SSR en responstijden bij de switch conditie. Hieruit kan opgemaakt worden dat deze score niet slechts voortkwam uit een visuele voorkeur voor en van de twee stimuli (i.e. getal boven of onder fixatiepunt), maar daadwerkelijk het gevolg was van *hogere level cognitieve- en gedragsneiging tot flexibiliteit* (Armbruster et al., 2012). Voor huidig onderzoek was dit van belang aangezien er is gekeken naar het verband tussen cognitieve controle (in termen van cognitieve stabiliteit en cognitieve flexibiliteit) en studieresultaten. Daarbij was de SSR een nieuwe en mogelijk relevante score om studenten in te schalen op het spectrum cognitief stabiel-flexibel.

De SSR zoals geïntroduceerd in eerder onderzoek (Armbruster et al., 2012), blijkt dus ook in huidig onderzoek een relevante score m.b.t. cognitieve flexibiliteit. Studenten die tijdens het uitvoeren van de taak een hogere SSR vertoonden, scoorden inderdaad beter, i.e. sneller, op de switch conditie. De aanname dat flexibeler personen ook sneller afgeleid raken (Armbruster et al., 2012), kwam op basis van resultaten in huidig onderzoek niet naar voren. Studenten met een hogere SSR maakten niet meer fouten bij de distractor inhibitie taak (i.e. geen negatieve correlatie).

De replicatie van het onderzoek van onderzoek van Armbruster et al. (2012) is voor huidig onderzoek geslaagd. Een vergelijkbare trend is zichtbaar voor zowel de RT als ER bij de verschillende taakcondities. Ook blijkt taakconditie in huidig onderzoek op zowel RT als ER een significant effect te hebben. Daarnaast is er de negatieve correlatie tussen de SSR en switch cost, waarmee opnieuw is aangetoond dat de SSR daadwerkelijk iets zegt over cognitieve flexibiliteit. Dit is van belang voor het tweede doel van dit onderzoek, waarin gekeken wordt naar het verband tussen taak- en studieprestaties.

Relatie tot studieresultaten

Uit huidig onderzoek kwam geen verband naar voren tussen resultaten op de gedragstaak en studieresultaten. Eerder onderzoek (Veroude et al., 2013), waarbij het verband tussen cognitieve controle en studieresultaten aangetoond werd aan de hand van fMRI-resultaten, vond ook geen correlatie tussen gedragsresultaten en studieprestaties. Een belangrijk verschil met dat onderzoek is dat in huidig onderzoek gebruik wordt gemaakt van een taak waarbij een nieuwe maat voor cognitieve flexibiliteit (spontane switch rate; Armbruster et al., 2012) geïntroduceerd werd om te kunnen kijken naar het verband tussen cognitieve controle en studieresultaten.

Onderzoek bij kinderen (Bull et al., 2001, Blair et al., 2007, Diamond et al., 2007) heeft al aangetoond dat met behulp van cognitieve taken schoolprestaties voorspeld kunnen worden. Daarbij konden voorspellingen worden gedaan over o.a. reken- en taalvaardigheid a.d.h.v. gedragstaken. Uit huidig onderzoek bleek dat in academische context niet mogelijk. Belangrijk verschil met huidig onderzoek is dat het hier studenten betreft en er dus gekeken wordt naar presteren in academische context. Voor het meten van reken- en taalvaardigheid bij kinderen kan gebruik gemaakt worden van standaardtests. Dergelijke tests maken het makkelijk om resultaten te vergelijken en daarmee verschillen aan te tonen. Voor huidig onderzoek is gebruik gemaakt van cijfers behaald tijdens een wetenschappelijke opleiding (studenten kwamen daarbij van verschillende opleidingen). Dergelijke resultaten laten zich mogelijk minder makkelijk een-op-een vergelijken, waardoor een verband met een taak zoals gebruikt in huidig onderzoek, minder duidelijk is. In het verlengde daarvan, mag aangenomen worden dat presteren in academische context een complexere aangelegenheid is dan presteren op reken-

en taalvaardigheid op school dat is. Waar bij basisonderwijs inderdaad basisvaardigheden aangeleerd worden als rekenen en taal, wordt van een student van wetenschappelijk onderwijs verwacht dat hij 'alles' wat hij tot dan toe heeft geleerd, te gebruiken om nóg meer en complexere vaardigheden te leren. Dat zou een verklaring kunnen zijn voor het ontbreken van enig verband tussen gedragsonderzoek en studieprestaties in huidig onderzoek.

Wat verder opvalt, is dat een hogere SSR in huidig onderzoek niet correleert met een hogere ER bij de distractor inhibitie taak, i.e. cognitief flexibeler personen lijken niet sneller afgeleid. Dit is niet in lijn met eerder onderzoek (Armbruster et al., 2012). Binnen huidig onderzoek is het niet mogelijk is om hierover verdere conclusies te trekken. Verder onderzoek zou eventueel kunnen uitwijzen of bij universitair studenten, bijvoorbeeld een hogere mate van cognitieve flexibiliteit niet betekent dat dit als gevolg heeft dat iemand sneller afgeleid raakt.

Uit zowel huidig als eerder onderzoek (Armbruster et al., 2012) komt naar voren dat de SSR verband houdt met iemands gedrag in termen van cognitieve flexibiliteit en stabiliteit. Er is in huidig onderzoek echter geen link gevonden tussen taakprestaties (o.a. in termen van SSR) en presteren in academische context. Daarmee kan op basis van huidig onderzoek geen conclusie getrokken worden over het verband tussen cognitieve controle en studieprestaties.

Valkuilen huidig onderzoek

Van het initiële plan om de taak af te nemen bij aanstaand eerstejaars psychologiestudenten bleef helaas weinig over. Aangezien het geheel vrijwillige deelname betrof, was ik afhankelijk van de bereidwilligheid van deze aanstaand eerstejaars of er voldoende participanten zouden zijn. Dit bleek niet het geval, met als gevolg dat de toelating tot het onderzoek versoepeld werd. In eerste instantie heb ik zoveel mogelijk geprobeerd aan te vullen met eerstejaars studenten; uiteindelijk is het overgrote deel van de participanten tweede- of derdejaars student gebleken.

Een bijkomend probleem hiervan is dat het verzamelen van studieresultaten ingewikkelder werd. Resultaten van aanstaand eerstejaars waren eenvoudig voorhanden geweest, namelijk resultaten die behaald werden tijdens de matchingsweek, in de vorm van een tentamen- en een opdrachtcijfer. Uiteindelijk is ervoor gekozen om daar wel mee te werken (voor de eerste drie participanten gold dat ze aan de matchingsweek hadden deelgenomen) en bij de overige participanten te kijken naar een recent tentamen- en opdrachtcijfer. Dat houdt in dat de resultaten van de gedragstaak vergeleken zijn met recent behaalde cijfers.

Een ander punt betreft de oefensessie voorafgaande aan de taak, i.e. het al dan niet meenemen van de ambigue conditie in de uitleg en oefensessie. Er is bewust gekozen om dat

niet te doen: laat *vrijwillig switchen* echt vrijwillig zijn in plaats van enigszins gepland dan wel gecontroleerd omdat participanten de conditie als zijnde ambigu herkennen. Gezien de relatief hoge SSR (gemiddeld 70%) t.o.v. de lage *non-switch-rate* (gemiddeld 13%) bestaat achteraf de vraag of dat een realistische verdeling is. Maakt de opstelling van de huidige taak dat er een voorkeur is voor *switch* boven *non-switch*? Van eerder onderzoek (Armbruster et al., 2012) is niet met zekerheid bekend of ambigue conditie onderdeel was van de oefentaak. Omdat ook daar het spontaan switchen gemeten werd, lijkt het aannemelijk dat voor dezelfde aanpak gekozen is. Toch valt niet uit te sluiten dat het niet hebben kunnen oefenen van AC van invloed is geweest op de resultaten.

Het beoordelen van correctheid bij de ambigue conditie gebeurt in huidig onderzoek door te kijken of er tijdig, i.e. binnen 2 seconden, een respons gegeven wordt. Voor de ambigue conditie geldt een gemiddelde van 16% foutieve respons over de hele groep. Deze waarde is hoger (significant hoger dan ER bij de standaard conditie) dan bij andere condities. Dit is in lijn met eerder onderzoek (Armbruster et al., 2012), al is het verschil tussen ambigue conditie en andere condities daar wel groter. Een mogelijk nadelig effect van het niet opnemen van ambigue conditie in de oefentaak zou kunnen zijn dat vaak de eerste ambigue conditie respons te laat, i.e. niet binnen 2 seconden, was (9/23). Misschien was de onduidelijkheid in dat geval toch te groot.

Het doel van huidig onderzoek was tweeledig. Het eerste deel bestond uit een gedeeltelijke replicatie van het onderzoek van Armbruster et al. (2012). Dat gedeelte van huidig onderzoek is geslaagd. Resultaten vertoonden duidelijk een vergelijkbare trend en de *spontane switch rate* bleek ook hier samen te hangen met cognitieve flexibiliteit. Dat laatste was vooral van belang om te kunnen kijken naar het tweede doel van dit onderzoek: mogelijk verband aantonen tussen deze prestaties op de taak en studiestatistiek. In huidig onderzoek is geen verband gevonden tussen beide. Gedragsresultaten bij deze taak (en daarmee de *spontane switch rate*) lijken op basis van huidig onderzoek niet te volstaan om iets te kunnen zeggen over presteren in academische context.

Toekomstig onderzoek

Huidig onderzoek heeft geen verband aan kunnen tonen tussen cognitieve controle en presteren in academische context. Daarbij is cognitieve controle op basis van twee eigenschappen gemeten: cognitieve flexibiliteit en stabiliteit. Beide zijn binnen één taak te meten, zoals ook in huidig onderzoek is gebeurd. Huidig onderzoek heeft gekeken naar het eventuele verband tussen cognitieve controle en studiestatistiek. Daarbij is gekeken naar recente studieresultaten (van een vak). Vervolgonderzoek zou zich kunnen focussen op meer longitudinaal onderzoek, waarbij dus over een langere periode studie- en taakprestaties naast

elkaar gelegd kunnen worden. Zoals ook bij bijvoorbeeld Veroude et al. (2013), zou dergelijk onderzoek kunnen kijken naar de prestaties over een heel studiejaar. Daarnaast kan het interessant zijn om te onderzoeken of participanten over een langere periode constant scoren op de taak. Daarmee kan gekeken worden of cognitieve flexibiliteit en stabiliteit, zoals gemeten met behulp van de in huidig onderzoek gebruikte taak, varieert of juist stabiel blijft. Uiteindelijk kan dan op meerdere momenten gekeken worden naar het eventueel verband tussen cognitieve flexibiliteit en stabiliteit en studieprestaties.

Link met CKI

"AI can have two purposes. One is to use the power of computers to augment human thinking, just as we use motors to augment human or horse power. Robotics and expert systems are major branches of that. The other is to use a computer's artificial intelligence to understand how humans think. In a humanoid way. If you test your programs not merely by what they can accomplish, but how they accomplish it, then you're really doing cognitive science; you're using AI to understand the human mind."

Herbert Simon: Thinking Machines, from Doug Stewart's Interview, June 1994, Omni Magazine.

Hoewel de 'C' inmiddels verdwenen is uit de naam van de studie, stond deze er ooit niet voor niets in. Onderdeel van het vakgebied der Kunstmatige Intelligentie (KI) blijft in mijn ogen onderzoek doen naar de (menselijke) cognitie. Met dit in het achterhoofd is de link tussen een toegepast cognitief psychologisch onderzoek en 'al-dan-niet-C-KI' eigenlijk meteen gelegd.

Een voorlopig belangrijk doel van de KI is het pogen te benaderen van menselijk intelligentie in een kunstmatig systeem. Dat intelligentie als begrip te vaag en veelomvattend is maakt het misschien aannemelijker om te zeggen dat een doel is: delen van de menselijke intelligentie toe te passen in een kunstmatig systeem. Mooier nog is het, in de huidige context, om niet te spreken van menselijke intelligentie, maar het te hebben over onze *cognitieve vermogens*.

Binnen dit onderzoek is geprobeerd om een onderdeel van deze cognitieve vermogens, cognitieve controle, te koppelen aan studiestatistiek. Met andere woorden: kun je cognitieve controle op een mooie manier meten in termen van flexibiliteit en stabiliteit? Zo ja: zegt een dergelijke mate van flexibiliteit (of stabiliteit) dan misschien ook iets over het vermogen om studie gerelateerde kennis te vergaren en toe te passen, kortom: te studeren? Huidig onderzoek toont aan dat het nog moeilijk is om een direct verband aan te tonen, zonder dat we verder kijken dan enkel resultaten op een cognitieve gedragstaak.

Dergelijk onderzoek biedt inzicht in hoe wij wel (of niet) functioneren. Hoewel huidig onderzoek geen nieuwe verbanden aan het licht brengt, is het wel weer een poging om de verschillende onderdelen van de menselijke cognitie te ontwaren. Veel van wat er in die zoektocht ontdekt wordt kan worden toegepast bij het *eerste doel van kunstmatige intelligentie*, zoals in bovenstaande quote beschreven. Op die manier maken we steeds complexere systemen of programma's mogelijk. En misschien komen we dan ooit écht toe aan wat Simon het *tweede doel van kunstmatige intelligentie* noemt: "[...] using AI to understand the human mind".

Referentielijst

- Armbruster, D. J., Ueltzhöffer, K., Basten, U., & Fiebach, C. J. (2012). Prefrontal cortical mechanisms underlying individual differences in cognitive flexibility and stability. *Journal of cognitive neuroscience*, 24(12), 2385-2399.
- Banich, M. T. (2009). Executive function: the search for an integrated account. *Current Directions in Psychological Science*, 18(2), 89-94.
- Berkman, E. T., & Falk, E. B. (2013). Beyond brain mapping using neural measures to predict real-world outcomes. *Current Directions in Psychological Science*, 22(1), 45-50.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29(3), 180-200.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child development*, 78(2), 647-663.
- Botvinick, M. M. (2007). Conflict monitoring and decision making: reconciling two perspectives on anterior cingulate function. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(4), 356-366.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science (New York, NY)*, 318(5855), 1387.
- Garner, J. K. (2009). Conceptualizing the relations between executive functions and self-regulated learning. *The Journal of Psychology*, 143(4), 405-426.
- Goschke, T., & Bolte, A. (2014). Emotional modulation of control dilemmas: The role of positive affect, reward, and dopamine in cognitive stability and flexibility. *Neuropsychologia*, 62, 403-423.
- Hirsh, J. B., & Inzlicht, M. (2010). Error-related negativity predicts academic performance. *Psychophysiology*, 47(1), 192-196.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological bulletin*, 109(2), 163.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: four general conclusions. *Current directions in psychological science*, 21(1), 8-14.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.
- Muhle-Karbe, P. S., De Baene, W., & Brass, M. (2014). Do tasks matter in task switching? Dissociating domain-general from context-specific brain activity. *NeuroImage*, 99, 332-341.
- Müller, J., Dreisbach, G., Brocke, B., Lesch, K. P., Strobel, A., & Goschke, T. (2007). Dopamine and cognitive control: the influence of spontaneous eyeblink rate, DRD4 exon III polymorphism and gender on flexibility in set-shifting. *Brain research*, 1131, 155-162.
- Simon, H. (1994). Thinking Machines, from Doug Stewart's Interview. *Omni Magazine*.
- Stuss, D. T., Levine, B., Alexander, M. P., Hong, J., Palumbo, C., Hamer, L., & Izkawa, D. (2000). Wisconsin Card Sorting Test performance in patients with focal frontal and posterior brain damage: effects of lesion location and test structure on separable cognitive processes. *Neuropsychologia*, 38(4), 388-402.
- Tangney, J. P., Baumeister, R. F., & Boone, A. L. (2004). High self-control predicts good adjustment, less pathology, better grades, and interpersonal success. *Journal of personality*, 72(2), 271-324.
- Urlings-Strop, L. C., Stijnen, T., Themmen, A. P., & Splinter, T. A. (2009). Selection of medical students: a controlled experiment. *Medical Education*, 43(2), 175-183.
- Veroude, K., Jolles, J., Croiset, G., & Krabbendam, L. (2013). Changes in neural mechanisms of cognitive control during the transition from late adolescence to young adulthood. *Developmental cognitive neuroscience*, 5, 63-70.

- Veroude, K., Jolles, J., Knežević, M., Vos, C. M. P., Croiset, G., & Krabbendam, L. (2013). Anterior cingulate activation during cognitive control relates to academic performance in medical students. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(3), 100-106.