

Samenvatting

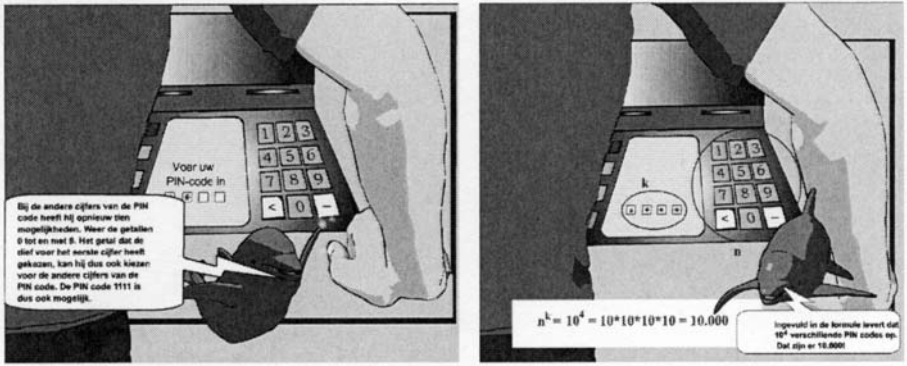
Het observeren van *animated models* kan een effectieve instructiemethode zijn voor het leren oplossen van abstracte problemen. In *animated models* geeft een pedagogische agent uitleg bij een animatie waarin een probleem wordt opgelost. In drie experimenten met 4-vwo-leerlingen is onderzocht hoe zulke *animated models* voor het onderdeel kansberekening geoptimaliseerd kunnen worden. De resultaten van deze onderzoeken geven aan dat geschreven uitleg bij *animated models* effectief kan zijn. Belangrijk is dat de leerling in staat gesteld wordt de karakteristieken van geschreven uitleg volledig te benutten. Dat kan door leerlingen controle te geven over het tempo van ongesegmenteerde *animated models* en door het stimuleren van reflectie. Verder blijkt uit de resultaten dat het effect van ontwerprichtlijnen afhankelijk is van de mate van overeenstemming tussen de controle die leerlingen verwachten en de controle die ze daadwerkelijk kunnen uitoefenen. Zowel de theoretische als de praktische implicaties van de bevindingen worden besproken.

1 Inleiding

In toenemende mate benadrukken onderwijskundige theorieën het leren van complexe cognitieve taken via observerend leren (Van Merriënboer, 1997). De term cognitief modelleren wordt gebruikt wanneer het gaat om het toepassen van het principe van observerend leren op cognitieve vaardigheden. Cognitieve vaardigheden, zoals problemen oplossen, zijn op zichzelf echter niet observeerbaar. De leerling moet de overwegingen afleiden uit de acties van de expert of de expert moet diens overwegingen expliciet maken. Dat kan door deze overwegingen uit te spreken of op te schrijven (Collins, Brown, & Newman, 1989). Wanneer het echter om abstracte concepten of processen gaat kan het uitsluitend uitdrukken in tekst problematisch

zijn. Hier kunnen *animated models* een rol spelen. In een *animated model* wordt een probleem in een aantal stappen opgelost door middel van een animatie waarbij een expert uitleg geeft. In een *animated model* kan de rol van de expert worden overgenomen door een geautomatiseerde pedagogische agent die de leerling wijst op relevante aspecten in de animatie of die laat zien welke fouten vaak gemaakt worden en hoe je die kunt vermijden. De problemen waarvoor *animated models* gebruikt kunnen worden zijn diverse, bijvoorbeeld hoe de gewenste informatie op het internet opgezocht kan worden of problemen op het gebied van kansberekening. Stel dat iemand de kans moet berekenen dat in één keer een juiste pincode geraden kan worden. Een van de stappen om het probleem op te lossen is het bepalen of het om een trekking met of zonder teruglegging gaat. Figuur 1a laat een *animated model* van dit probleem zien. In de animatie staat een persoon voor een pinautomaat waarbij de 10 cijfers van het toetsenbord donkerder gekleurd zijn en knippen. De pedagogische agent (in de vorm van een dolfijn) wijst naar de cijfers en vertelt waarom het hier om een trekking met teruglegging gaat. Figuur 1b laat zien hoe in een *animated model* de kans wordt berekend. Zie Wouters, Paas en Van Merriënboer (2008) voor een uitgebreidere bespreking van *animated models* en de rol van pedagogische agenten hierin.

Animated models kunnen het cognitieve systeem echter overbelasten omdat beginnende leerlingen twee soorten informatie moeten integreren: De animatie en de daarbij behorende tekstuele uitleg. De cognitievebelastingtheorie (CBT of CLT) houdt zich bezig met de vraag hoe informatie zo gepresenteerd kan worden dat de cognitieve capaciteit van de lerende optimaal benut wordt (Paas, Renkl, & Sweller, 2003; Sweller, 1988). Hierbij spelen twee structuren een belangrijke rol. Het werkgeheugen, waar alle bewuste verwerking van informatie plaatsvindt, heeft slechts een beperkte capaciteit die vaak niet voldoende is om de hoeveelheid infor-



Figuur 1. In figuur 1a (links) wordt uitgelegd waarom het een trekking met teruglegging is. Figuur 1b (rechts) laat zien welke formule wordt toegepast.

matie te verwerken waarmee leerlingen te maken krijgen. De tweede structuur, het lange termijngeheugen, is een kennisbasis met een virtueel onbeperkte opslagcapaciteit waarin informatie in de vorm van schema's wordt opgeslagen. In schema's zijn losse informatie-elementen geaggregeerd in een structuur die door het werkgeheugen als één element verwerkt kan worden (Paas et al., 2003).

De theorie stelt verder dat ontwerpers van instructie rekening moeten houden met drie soorten belasting die leerlingen kunnen ervaren wanneer ze taken uitvoeren (zoals het observeren van animated models). *Intrinsieke cognitieve belasting* heeft betrekking op de complexiteit van de leerstof, dat wil zeggen het aantal informatie-elementen dat tegelijkertijd verwerkt moet worden. Bij het leren van een vreemde taal levert het leren van woorden een lagere intrinsieke belasting op dan het leren van de grammatica omdat in het laatste geval meer informatie-elementen tegelijkertijd in het werkgeheugen aanwezig moeten zijn. Ook de wijze waarop leerstof gepresenteerd wordt kan een cognitieve belasting opleggen. *Ineffectieve cognitieve belasting* ontstaat wanneer informatie zo gepresenteerd wordt dat leerlingen zich bezighouden met cognitieve activiteiten die niet bijdragen tot leren. Allereerst worden animated models sequentieel aangeboden waarbij eerdere stappen verwerkt moeten zijn willen de latere stappen begrepen kunnen worden. Als een leerling een deel van een animated model mist, kan de rest dus onbegrijpelijk

worden (Lowe, 2003). Ten tweede kan een probleem ontstaan wanneer de leerling verschillende informatiebronnen die gelijktijdig gepresenteerd worden moet zoeken, verwerken en integreren (Mayer & Moreno, 1998). In animated models kan dat bijvoorbeeld zijn het gelijktijdig verwerken van de animatie en geschreven tekstuitleg. Richtlijnen die deze bronnen van ineffektieve cognitieve belasting kunnen ondervangen zijn controle, segmentering en het modaliteiteffect (Wouters et al., 2008). *Effectieve cognitieve belasting* ontstaat wanneer de presentatie van informatie aanzet tot cognitieve activiteiten die wél bijdragen tot leren. Het actief verwerken van leerstof door middel van zelfverklaringen, prompts en het voorspellen van een volgende stap tijdens het oplossen van een probleem blijkt het leren te bevorderen (Renkl & Atkinson, 2002; Wouters et al., 2008).

Het doel van het ontwerpen van instructie is de ineffektieve cognitieve belasting te minimaliseren en tegelijkertijd de effectieve cognitieve belasting te maximaliseren op een zodanige wijze dat de beschikbare capaciteit van het werkgeheugen niet overschreden wordt. De onderzoeksvraag is dan ook hoe de effectiviteit van animated models geoptimaliseerd kan worden door factoren die het leren van animated models belemmeren te ondervangen (verlagen van de ineffektieve cognitieve belasting), en factoren die het leren bevorderen te stimuleren (verhogen van de effectieve cognitieve belasting). In drie experimenten die uitgevoerd zijn in het kader van een promotieonderzoek (Wouters, 2007) is

deze onderzoeksvraag nader uitgewerkt.

In Experiment 1 werden twee factoren onderzocht die de oorzaken van ineffektieve cognitieve belasting in animated models kunnen ondervangen. De factor controle geeft aan wie controle heeft over het tempo waarin een animated model gepresenteerd wordt: de leerling of de computer. Als leerlingen controle hebben kunnen zij het tempo van een animated model aanpassen aan hun cognitieve behoeften zoals bijvoorbeeld het pauzeren om informatie beter te bestuderen (Hasler, Kersten & Sweller, 2007; Schwan & Riempp, 2004). De factor structuur geeft aan hoe een animated model aangeboden wordt: ononderbroken of opgesplitst in segmenten waarbij elk segment één stap uit het oplosproces uitwerkt. Segmentering maakt duidelijk welke stappen nodig zijn om een probleem op te lossen en de volgorde waarin die stappen doorlopen moeten worden. Leerlingen controle geven over zulke segmenten kan echter ineffektieve cognitieve belasting genereren omdat zij zich dan ook bezig moeten houden met de interactieve kenmerken (bijvoorbeeld, hoe werken de buttons om tussen en in segmenten te navigeren) van de leeromgeving (Schnotz, Böckheler, & Grzondziel, 1999). Dit vergt cognitieve capaciteit die niet bijdraagt tot leren. Verwacht werd dat leerlingcontrole effectiever zou zijn dan computercontrole bij ononderbroken animated models, terwijl computercontrole effectiever zou zijn dan leerlingcontrole bij gesegmenteerde animated models.

In Experiment 2 werd een andere richtlijn om ineffektieve cognitieve belasting te voorkomen onderzocht, namelijk het modaliteit-effect waarbij visuele informatie begeleid wordt met gesproken tekst (Mayer, 2001). Door geschreven tekst te vermijden wordt het visuele kanaal niet overbelast en kan het werkgeheugen efficiënter gebruikt worden. De *attentional processing*-theorie, stelt bovendien dat gesproken uitleg automatisch meer aandacht krijgt en daardoor beter verwerkt wordt (Foos & Goolkasian, 2005; zie voor een uitgebreidere beschrijving Wouters, Paas, & Van Merriënboer, 2009). Een mogelijke consequentie hiervan zou kunnen zijn dat het onderscheid tussen gesproken en geschreven uitleg opgeheven wordt wanneer

leerlingen gestimuleerd worden extra aandacht te besteden aan de geschreven uitleg. Reflectieprompts waarbij leerlingen vooraf verteld wordt dat ze later het oplosproces in eigen woorden moeten na vertellen kunnen hiervoor gebruikt worden. Verwacht werd dat reflectieprompts eenzelfde cognitieve functie zouden hebben als de door Mayer, Dow en Mayer (2003) gebruikte vraag vooraf (*pre-question*), namelijk dat de taak om later te beschrijven hoe een probleem is opgelost zou leiden tot een actievere en diepere verwerking. In Experiment 2 werden twee hypothesen getoetst. Ten eerste werd verwacht dat zonder de toepassing van reflectieprompts gesproken uitleg effectiever zou zijn dan geschreven uitleg (modaliteit-effect). De tweede hypothese, gebaseerd op de *attentional processing*-theorie, voorspelde dat reflectieprompts bij geschreven uitleg effectief zijn maar niet bij gesproken uitleg.

In Experiment 3 werd onderzocht of een afwisseling tussen het observeren van een animated model waarin een probleem wordt opgelost en het zelfstandig oplossen van een probleem tot effectieve cognitieve belasting en dus hogere leerresultaten leidt. Dit idee is gebaseerd op onderzoek naar het leren van motorische vaardigheden waaruit bleek dat het eerst observeren van een handeling leidde tot een mentale representatie die daarna door zelf oefenen kon worden verfijnd (Wulf & Shea, 2002). De hypothese die getoetst werd was dat eerst observeren en daarna dat probleem zelfstandig oplossen tot betere leerresultaten zou leiden dan de omgekeerde volgorde. De vraag is echter of leerlingen uit zichzelf overgaan tot de veronderstelde leeractiviteiten. In toenemende mate wordt vanuit de CBT belang gehecht aan de motivationele aspecten van leren (Paas et al., 2003). Controle door de leerling wordt genoemd als een methode om leerlingen te motiveren tot relevante leeractiviteiten (Kinzie, 1990). In Experiment 3 werd daarom ook de hypothese onderzocht of een negatief leereffect zou optreden wanneer leerlingen een mate van controle verwachtten die ze feitelijk niet konden uitvoeren. Wanneer leerlingen niet de controle kunnen uitoefenen die ze verwacht hadden, zullen ze gaan uitzoeken waarom dat het geval is. Ze gebruiken dan cognitieve capaci-

teit die beter gebruikt had kunnen worden voor activiteiten die bijdragen tot leren (effectieve cognitieve belasting).

In de rest van het artikel worden eerst de opzet van de drie experimenten beschreven. Daarna worden in het kort de resultaten van de drie experimenten beschreven. De discussieparagraaf gaat in op de gevolgen van deze resultaten voor theorie en praktijk.

2 Experimenten

2.1 Opzet van de experimenten

De drie experimenten vonden plaats binnen het domein kansberekening. De deelnemers, in alle experimenten 4-vwo-leerlingen, kregen in totaal acht problemen die opgelost moesten worden.

Een voorbeeld van zo'n probleem is:

De bank geeft aan iedereen met een rekening een pasje om geld op te nemen. Bij dat pasje hoort een 4-cijferige pincode. Deze code wordt door de bank willekeurig samengesteld. Elk cijfer van die code kan bestaan uit de getallen 0 tot en met 9. Wat is de kans dat een dief in één keer de correcte pincode intoetst?

In de experimenten 1 en 2 werden de problemen opgelost in animated models die door de leerlingen geobserveerd moesten worden. De animated models duurden ongeveer 2 minuten. De pedagogische agent (een blauwe dolfijn) was voortdurend zichtbaar en had als taak de aandacht van de leerling te richten (door met zijn vin te wijzen) op het onderdeel in de animatie waarop de uitleg betrekking had (zie Figuur 1a). In experiment 3 werd het zelfstandig oplossen van problemen in combinatie met het observeren van animated models geïntroduceerd.

De elektronische leeromgeving was ontwikkeld in Flash MX en bestond uit vier onderdelen (vragenlijst, voorkennistoets, instructiefase en assessment) die na elkaar werden doorlopen. Leerlingen konden zelf bepalen hoe lang ze over een onderdeel deden.

Elk experiment begon met een demografische vragenlijst waarin leerlingen gevraagd werd naar leeftijd, geslacht, het profiel dat ze volgden, de wiskundevakken die ze volgden, en wat ze van kansberekening vonden.

De voorkennistoets die volgde op de demografische vragenlijst bestond uit 8 open vragen en 4 meerkeuzevragen over kansberekening.

De instructiefase bestond uit een korte inleiding in de theorie van kansberekening waarin concepten zoals randomisatie, individuele gebeurtenissen en dergelijke werden uitgelegd. Deze introductie was in alle experimenten en voor alle condities hetzelfde. Hierna volgde een uitleg waarin voor elke conditie werd beschreven hoe ze met de leeromgeving moesten omgaan. In alle experimenten moesten de 8 problemen worden doorlopen. Hoe dat gebeurde wordt voor de afzonderlijke experimenten beschreven. In elk experiment werd na elk probleem gevraagd met de 1-item Paas-schaal aan te geven hoeveel mentale inspanning het bestuderen van een animated model kostte (Paas, 1992). Deze schaal loopt van 1 (*heel, heel weinig inspanning*) tot 9 (*heel, heel veel inspanning*).

Hierna kregen de deelnemers 12 transfertaken aangeboden. Een voorbeeld van een transfertaak is:

In de rubriek TE KOOP van een popblad zie je dat een kaartje voor een spectaculair concert van je favoriete groep wordt aangeboden. Helaas zijn de laatste 2 cijfers van het telefoonnummer waar je nadere inlichtingen kunt krijgen niet leesbaar. Je wilt de kaart erg graag en besluit om de laatste 2 getallen te raden. Wat is de kans dat je de juiste getallen in één keer goed hebt?

Na elke transfertaak werd gevraagd aan te geven hoeveel mentale inspanning het oplossen van het probleem kostte.

Scoring

Voor elke taak van de voorkennistoets en elke transfertaak leverde een goed antwoord 1 punt op en elk fout antwoord 0 punten. Rekenfouten werden genegeerd en deelpunten werden niet toegekend. De maximale score was in beide gevallen 12 punten. De mentale inspanningscores na elk probleem en na elke transfertaak werden opgeteld en gedeeld door respectievelijk 8 en 12. Van alle onderdelen werden de begin- en eindtijden gelogd door de computer.

Analyse

In alle experimenten werden de volgende afhankelijke variabelen gebruikt: Instructietijd, mentale inspanning tijdens instructie, transferscore, mentale inspanning tijdens transfer, en transfertijd. Vooraf werd gecontroleerd of de groepen verschilden in instructietijd, transfertijd en de score op de voorkennistoets.

2.1 Experiment 1

Het eerste experiment bestond uit twee deelexperimenten. In experiment 1a ($N = 60$) werden leerlingen op basis van toeval ingedeeld in een van de vier condities die gevormd werden door de factor controle (leerling vs. computer) en de factor structuur (ononderbroken vs. segmenten). In alle condities werd gesproken uitleg gegeven bij de animated models. Bij gesegmenteerde animated models was het oplosproces opgesplitst in een aantal stappen. Elk segment representeerde een stap in dat oplosproces. De segmenten waren samengesteld met behulp van wiskundedocenten van de participerende scholen en enigszins bijgesteld na een kleine pilot. De ononderbroken animated models werden afgespeeld zonder indicaties die naar de verschillende stappen in het oplosproces wezen. Leerlingen die controle hadden over ononderbroken animated models konden deze op elk willekeurig moment pauzeren. Bij gesegmenteerde animated models konden ze navigeren tussen segmenten en pauzeren binnen segmenten. Wanneer de computer controle

had over de ononderbroken animated models werden deze zonder pauze afgespeeld, terwijl bij de gesegmenteerde versie een animated model na elk segment 3 seconden pauzeerde en het scherm grijs kleurde. Hypothese 1 was dat leerlingcontrole effectiever zou zijn dan computercontrole bij ononderbroken animated models. Hypothese 2 voorspelde dat computercontrole effectiever zou zijn dan leerlingcontrole bij gesegmenteerde animated models. Tabel 1 toont de belangrijkste resultaten.

Een tweewegs-ANCOVA werd uitgevoerd met voorkennisscore en instructietijd als covariaten. Het gevonden interactie effect en de daarna uitgevoerde post-hoc test (LSD) bevestigden alleen hypothese 2: Gesegmenteerde animated models zijn effectiever wanneer de computer de controle uitvoert dan wanneer de leerling de controle uitvoert. Leerlingen met controle over ononderbroken animated models wachtte relatief lang nadat ze op de pauze knop hadden gedrukt ($M = 16$ seconden). Op dat moment ziet de leerling wel de visuele informatie maar hoort niet de uitleg erbij. Dit geldt niet voor geschreven uitleg.

Experiment 1b ($N = 78$) gebruikte dezelfde opzet als 1a alleen waren de animated models voorzien van geschreven uitleg. Tabel 2 toont de belangrijkste resultaten. De voorafgaande analyse toonde geen verschillen tussen de condities in voorkennis, instructietijd en transfertijd. Daarom werd een tweewegs-ANOVA uitgevoerd. De hypothesen konden niet bevestigd worden.

Tabel 1

Gemiddelden (M), standaarddeviaties (SD) en adjusted means (AM) van Transferscore, Mentale Inspanning tijdens Instructie, Voorkennisscore en Instructietijd in experiment 1a

	Transferscore			Mentale inspanning tijdens instructie			Voorkennisscore		Instructietijd	
	M	SD	AM	M	SD	AM	M	SD	M	SD
Leerlingcontrole										
Segmenten	3,00	1,41	3,08-	2,04	1,00	2,01	6,00	1,68	1.917	485
Ononderbroken	4,93	2,73	4,36	2,15	1,22	2,37	6,53	1,59	1.560	138
Computercontrole										
Segmenten	4,35	2,26	4,82+	2,29	1,19	2,13	5,05	2,30	1.769	224
Ononderbroken	3,80	2,36	3,95	2,50	1,87	2,48	5,46	1,50	1.653	265

Noot: + presteert beter dan -

Tabel 2

Gemiddelden (*M*) en standaarddeviaties (*SD*) van Transferscore en Mentale Inspanning tijdens Instructie in experiment 1b

	Transferscore		Mentale inspanning tijdens instructie	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Leerlingcontrole				
Segmenten	4,50	2,55	2,06	1,16
Ononderbroken	5,36	2,97	2,05	1,17
Computercontrole				
Segmenten	4,71	2,63	2,20	1,72
Ononderbroken	4,05	2,30	2,15	1,75

Alleen bij het experiment met gesproken uitleg kon de hypothese bevestigd worden dat bij gesegmenteerde animated models controle door de computer effectiever is dan controle door de leerling. Uit de gerapporteerde data van de transferscores blijkt wel een tendens in de richting van de hypothesen. Uitgebreider onderzoek met meer proefpersonen is hiervoor noodzakelijk. In beide experimenten werden geen verschillen gevonden in de gerapporteerde mentale inspanningsmaat. De gebruikte inspanningsmaat maakt geen onderscheid tussen intrinsieke, effectieve en ineffectieve cognitieve belasting. Het is mogelijk dat er compensatie heeft plaatsgevonden die niet door de gebruikte 1-itemschaal kan worden gemeten. Bijvoorbeeld wanneer proefpersonen controle krijgen over gesegmenteerde animated models kan dit leiden tot een verhoging van ineffectieve cognitieve belasting terwijl de effectieve cognitieve belasting gelijk blijft. Wanneer de computer de controle heeft over de gesegmenteerde animated models zal dit niet tot extra ineffectieve cognitieve belasting leiden, maar wellicht wel tot een verhoging van effectieve cognitieve belasting. Uiteindelijk kan dit leiden tot een zelfde score op de mentale inspanningsmaat terwijl de distributie over de verschillende typen cognitieve belasting verschillend kan zijn. In de Discussie zullen we op dit punt terugkomen.

2.2. Experiment 2

Experiment 2 onderzocht het effect van reflectieprompts wanneer leerlingen animated models met gesproken of geschreven uitleg kregen. In de condities met reflectieprompts werd *vooraf* verteld dat later naverteld moest worden hoe een probleem was opgelost. Leerlingen ($N = 96$) werden op basis van toeval verdeeld over vier condities die gevormd werden door de factoren modaliteit (uitleg bij animated models was geschreven of gesproken) en reflectieprompts (leerlingen werden wel of niet aangespoord te reflecteren op de animated models). Hypothese 1 luidde dat zonder de toepassing van reflectieprompts gesproken uitleg effectiever zou zijn dan geschreven uitleg (modaliteiteffect). De tweede hypothese voorspelde dat reflectieprompts bij geschreven uitleg effectief zouden zijn maar niet bij gesproken uitleg. Tabel 3 toont de belangrijkste resultaten. Een tweewegs-ANCOVA werd uitgevoerd met instructietijd en voorkennisscore als covariaten.

Het gevonden interactie effect en de daarna uitgevoerde post-hoc test (Bonferonni) bevestigde alleen hypothese 2: reflectieprompts zijn effectief bij geschreven uitleg maar niet bij gesproken uitleg (Wouters, Paas & Van Merriënboer, 2009). Wanneer geen reflectieprompts werden aangeboden bij de condities met gesproken en geschreven uitleg werd een tendens in de richting van het modaliteiteffect gevonden ($p = 0,058$). Proefpersonen in de conditie met reflectieprompts en geschreven uitleg presteerden even goed als proefpersonen in de conditie zonder reflectieprompts met gesproken uitleg wat mogelijk een indicatie kan zijn dat de reflectieprompts het modaliteiteffect kunnen opheffen.

2.3 Experiment 3

In experiment 3 werden twee hypothesen onderzocht. Hypothese 1 luidde dat eerst observeren en daarna hetzelfde probleem zelfstandig oplossen effectiever zou zijn dan de omgekeerde volgorde of twee keer observeren. Hypothese 2 voorspelde een negatief leereffect wanneer leerlingen meer controle verwachtten dan ze feitelijk hadden. Om deze hypothesen te toetsen werden leerlingen ($N = 90$) op basis van toeval verdeeld over zes condities die gevormd werden door de

Tabel 3

Gemiddelden (*M*), standaarddeviaties (*SD*) en *adjusted means* (*AM*) van *Transferscore*, *Mentale Inspanning* tijdens *Instructie*, *Voorkennisscore* en *Instructietijd* in experiment 2

	Transferscore			Mentale inspanning tijdens instructie			Voorkennisscore		Instructietijd	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>AM</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>AM</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Geschreven uitleg										
Reflectie-prompts	5,12	2,06	5,26+	2,83	1,26	5,12	5,76	2,20	2.103	380
Geen reflectie-prompts	4,54	1,50	4,00-	2,76	1,08	4,54	7,00	1,85	1.681	220
Gesproken uitleg										
Reflectie-prompts	4,16	2,39	4,29	2,26	0,95	4,16	5,76	2,06	2.145	389
Geen reflectie-prompts	4,79	2,26	4,99	2,53	1,07	4,79	5,70	1,57	1.639	220

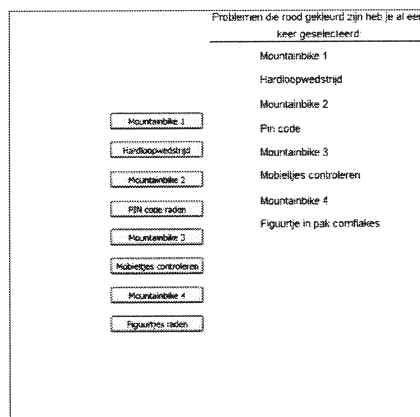
Noof: + presteert beter dan -

factor instructiemethode (een animated model observeren en daarna hetzelfde probleem zelf oplossen vs. eerst een probleem oplossen en daarna een animated model observeren vs. twee keer eenzelfde animated model observeren) en de factor illusie van controle (illusie [leerlingen dachten ten onrechte dat ze controle hadden over de volgorde waarin problemen geselecteerd werden] vs. geen illusie [leerlingen dachten dat ze controle hadden over de volgorde waarin problemen geselecteerd werden en hadden dat ook daadwerkelijk]).

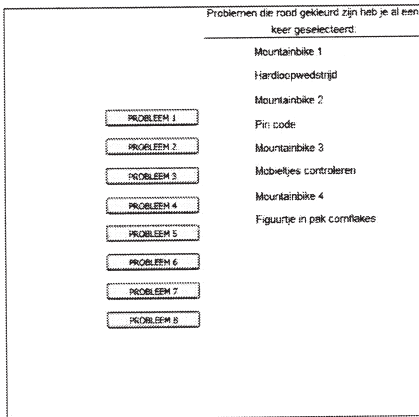
De factor illusie van controle werd als volgt gerealiseerd. De leerlingen kregen een scherm waarop 8 knoppen onder elkaar geplaatst waren. Met elke knop kon een probleem geselecteerd worden. Vooraf werd aan alle leerlingen meegedeeld dat ze alle acht knoppen moesten doorlopen (en dus 8 problemen), maar dat ze zelf de volgorde mochten bepalen waarin ze dat deden. Hiermee werden verwachtingen bij de leerlingen gewekt (namelijk dat ze zelf problemen konden selecteren). Rechtsboven in het scherm stonden alle problemen genoemd. Wanneer een leerling een probleem verwerkt had, werd dat probleem rood gekleurd. Zoals te zien in Figuur 2 hadden de knoppen betekenisvolle namen in de conditie *zonder de illusie van controle*. Wanneer een leerling de knop met opschrift pincode selecteerde, werd het pincodeprobleem gepresenteerd.

In de conditie *met de illusie van controle* hadden de knoppen opschriften variërend van Probleem 1 tot en met Probleem 8 (zie Figuur 2). De leerlingen in deze conditie dachten dat ze controle hadden over de selectie van problemen, maar in werkelijkheid werden de problemen in een vaste volgorde gepresenteerd (namelijk de volgorde in de rechterbovenhoek van Figuur 3). Het maakte dus niet uit of de leerling de eerste keer de 4^e knop of de 7^e knop selecteerde: in beide gevallen kregen ze hetzelfde probleem (mountainbiketocht 1).

Uit Tabel 4 blijkt een hoofdeffect van de factor illusie van controle op transfer. De leerlingen die dachten dat ze controle hadden



Figuur 2. Probleemselectie scherm voor condities zonder Illusie van controle.



Figuur 3. Probleemselectie scherm voor condities met Illusie van controle.

maar dat in feite niet hadden, presteerden slechter dan de leerlingen die deze controle wel hadden. De verschillen werden echter niet teruggevonden in de gerapporteerde mentale inspanning. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat gebruikte schaal geen onderscheid kan maken tussen verschillende type mentale inspanning. In de discussieparagraaf komen we hier op terug. De eerste hy-

Tabel 4

Gemiddelden (*M*), standaarddeviaties (*SD*) en adjusted means (*AM*) van Transferscore, Mentale Inspanning tijdens Instructie, Voorkennisscore en Instructietijd in experiment 2

	Transferscore		Mentale inspanning tijdens instructie	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Illusie van controle				
Studie-oefenen	4,12-	2,32	3,25	1,78
Oefenenstudie	5,12-	2,82	4,00	2,54
Studie-studie	3,72-	1,97	3,00	1,09
Geen illusie van controle				
Studie-oefenen	6,05+	2,84	2,80	0,97
Oefenenstudie	5,19+	2,93	4,00	1,89
Studie-studie	5,12+	2,53	3,85	1,80

Noof: + presteert beter dan -

pothese kon niet worden bevestigd. Wellicht hadden de leerlingen voldoende voorkennis ($M = 7,57$) om de problemen eerst zelfstandig op te lossen (zie Wouters, Paas, & Van Merriënboer, in druk).

3 Discussie en conclusie

In deze bijdrage werd onderzocht hoe de effectiviteit van animated models geoptimaliseerd kan worden door factoren die het leren van animated models belemmeren (ineffectieve cognitieve belasting) te ondervangen en factoren die het leren bevorderen (effectieve cognitieve belasting) te stimuleren. In experiment 1 werd in 2 deelexperimenten (gesproken resp. geschreven uitleg) onderzocht of de factoren controle en structuur gebruikt konden worden om ineffectieve cognitieve belasting te verminderen. Voorspeld werd dat ononderbroken animated models effectiever zouden zijn bij controle door de leerling en gesegmenteerde animated models meer baat zouden hebben bij controle door de computer. Alleen bij gesproken uitleg werd gevonden dat bij gesegmenteerde animated models computer controle effectiever was dan leerling controle.

In experiment 2 werd onderzocht of een actieve verwerking van leerstof door middel van reflectieprompts tot een effectieve cognitieve belasting zou leiden en dus tot betere resultaten. Dit werd onderzocht in relatie tot het modaliteiteffect. De hypothese dat reflectieprompts effect hebben bij geschreven uitleg maar niet bij gesproken uitleg kon bevestigd worden. Het modaliteiteffect kon niet aangetoond worden. In experiment 3 werd onderzocht onder welke voorwaarden een actieve verwerking van leerstof tot effectieve cognitieve belasting zouden leiden en dus tot betere resultaten. Het eerst observeren en daarna zelfstandig oplossen van problemen leidde niet tot betere resultaten vergeleken met eerst het probleem zelfstandig oplossen en daarna de oplossing observeren of tweemaal observeren. Wel werd een negatief leereffect gevonden wanneer proefpersonen dachten dat ze controle hadden terwijl ze dat in werkelijkheid niet hadden.

De resultaten van dit project werden niet

ondersteund door verschillen in de gerapporteerde mentale inspanning. Mogelijkerwijs is de mentale inspanningsmaat niet sensitief genoeg. Zoals eerder vermeld is het mogelijk dat de richtlijnen verschillende effecten hebben op de cognitieve belasting. In experiment 2 werd bijvoorbeeld geconstateerd dat reflectieprompts effectief waren bij geschreven uitleg. Zo kan de reflectieprompt bij geschreven uitleg geleid hebben tot een hogere effectieve cognitieve belasting, maar tegelijkertijd tot een lager intrinsieke cognitieve belasting doordat de leerling het materiaal beter begreep. De afwezigheid van reflectieprompts bij geschreven uitleg kan noch tot een verhoging van effectieve cognitieve belasting noch tot een verlaging van intrinsieke belasting hebben geleid. Al met al kan dit er voor zorgen dat er geen verschil in mentale inspanning gevonden is. Dezelfde argumentatie gaat op voor de bevindingen in experiment 1 en experiment 3. Dit kan een indicatie zijn dat de cognitievebelastingtheorie verder uitgebreid moet worden met methoden om inzicht te krijgen in de distributie van de verschillende soorten cognitieve belasting. Deze specifieke informatie over het gebruik van cognitieve capaciteit kan ook gebruikt worden voor sturing *tijdens* het leerproces.

Traditioneel heeft de cognitievebelastingtheorie zich meer gericht op instructeurs of leeromgevingen die beslissing nemen met betrekking tot het leren dan op leerlingen die zulke beslissingen nemen. Desondanks zijn er situaties, bijvoorbeeld wanneer de voorkennis toeneemt, waarin een prominere rol van de leerling op zijn plaats is. In de traditionele interpretatie van CBT wordt verondersteld dat een ontwerprichtlijn een specifieke (leer)activiteit bij de lerende stimuleert. In deze opvatting is het patroon van effectieve en ineffektieve belasting volledig bepaald door de gebruikte ontwerprichtlijn(en). Fisher en Ford (1998) stellen dat de toewijzing van inspanning aan leeractiviteiten ook gestuurd wordt door motivationele processen zoals persoonlijke doelen en interesses. Om deze reden hebben Gerjets en Scheiter (2003) een uitbreiding van CBT voorgesteld waarin de doelstellingen van de leerling en hun leerstrategie als intermediair functioneert tussen de ontwerprichtlijnen en het patroon van cogni-

tieve belasting. De resultaten van experiment 3 suggereren dat ook de verwachtingen (en teleurstellingen wanneer verwachtingen niet uitkomen) van leerlingen met betrekking tot controle in het uitgebreide model moet worden ondergebracht.

De resultaten van experiment 2 ondersteunen andere onderzoeksbevindingen die er op wijzen dat het modaliteiteffect onder bepaalde voorwaarden niet effectief is (Tabbers, Martens, & Van Merriënboer, 2004). In experiment 2 presteerde de conditie waarin geschreven uitleg en reflectieprompts gebruikt werden, even goed als de conditie waarin gesproken uitleg en geen reflectieprompts gebruikt werden. Lezers van geschreven teksten kunnen zowel de tijdsdimensie (hoe lang ze kijken naar bepaalde woorden) als de ruimtedimensie (naar welke woorden ze kijken) bepalen (Rickheit, Strohner, & Müsseler, 1987). Wanneer lezers expliciet aangezet worden om aandacht te schenken aan geschreven tekst, krijgen ze ook de mogelijkheid om te bepalen welk deel van de tekst (ruimtedimensie) ze willen lezen en voor hoe lang (tijdsdimensie) ze dat doen. Deze aandacht kan gegenereerd worden door leerlingen controle te geven, maar ook door ze te stimuleren extra aandacht te schenken aan de tekst (reflectieprompts). Mogelijkerwijs zijn er condities (tempo bepalen door deelnemer, reflectieprompts) die effectieve cognitieve belasting genereren waardoor het modaliteiteffect niet langer optreedt.

De resultaten van de experimenten hebben ook praktische gevolgen voor ontwerpers van educatieve multimedia. Zoals gezegd kan geschreven uitleg bij visuele informatie even effectief zijn als gesproken uitleg. Dit biedt mogelijkheden in situaties waarin het gebruik van gesproken uitleg niet haalbaar is. Animaties met geschreven uitleg en reflectieprompts zijn even effectief als animaties met gesproken uitleg en zouden dus toegepast kunnen worden in het onderwijs aan slecht-horenden en doven. Daarnaast brengt het ontwikkelen en distribueren van animaties met gesproken uitleg (bijvoorbeeld kosten voor het vinden en opnemen van een geschikte stem, luidsprekers en/of koptelefoon) hogere kosten met zich mee dan animaties met geschreven uitleg.

De resultaten geven ook richting aan toekomstig onderzoek. Hoewel er een negatief leereffect verondersteld wordt wanneer leerlingen meer controle verwachten dan ze feitelijk krijgen aangeboden, is in deze experimenten niet gemeten wat die verwachtingen waren. Ook is niet gekeken naar het effect op motivatie wanneer ze meer controle verwachten dan ze feitelijk krijgen. In vervolgonderzoek kunnen instrumenten ontwikkeld en gebruikt worden om deze effecten te meten.

Ook de generaliseerbaarheid van de resultaten naar andere vormen van leren met multimedia kan een onderwerp van vervolgonderzoek zijn. Kansberekening heeft een sterk procedureel karakter, dat wil zeggen een aantal opeenvolgende stappen moet ondernomen worden om het probleem op te lossen. Andere studies naar leren met multimedia gebruiken problemen met een oorzaak-gevolgkarakter. In de studies van Mayer (2001), bijvoorbeeld, leren studenten over het ontstaan van onweer of over de werking van een fietspomp. Het is belangrijk om te onderzoeken of de rol van aandacht en verwachtingen met betrekking tot controle ook bij dit soort multimedia gevonden wordt.

Twee van de drie significante effecten in deze serie experimenten waren interactie-effecten. Eenzelfde tendens is gerapporteerd in andere studies (Wouters, Tabbers, & Paas, 2007). Mogelijkerwijs verwijst dit naar een nieuwe focus binnen de CBT en theorieën met betrekking tot multimediaal leren waarbij niet alleen gekeken wordt of ontwerprichtlijnen effectief zijn, maar ook onder welke voorwaarden dat gebeurt. Vervolgonderzoek waarbij de effecten van combinaties van ontwerprichtlijnen bestudeerd worden kunnen niet alleen de CBT verder ontwikkelen, maar kunnen ook praktische waarde hebben voor het ontwerpen van effectieve multimediale leeromgevingen.

Noot

Dit onderzoeksproject is gesubsidieerd door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Projectnummer: 411-02-163.

Literatuur

- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Fisher, F. L., & Ford, J. K. (1998). Differential effects of learner effort and goal orientation on two learning outcomes. *Personnel Psychology, 51*, 397-420.
- Foos, P. W., & Goolkasian, P. (2005). Presentation format effects in working memory: The role of attention. *Memory & Cognition, 33*, 499-513.
- Gerjets, P., & Scheiter, K. (2003). Goal configurations and processing strategies as moderators between instructional design and cognitive load: Evidence from hypertext-based instruction. *Educational Psychologist, 38*, 33-41.
- Hasler, B. S., Kersten, B., & Sweller, J. (2007). Learner control, cognitive load and instructional animation. *Applied Cognitive Psychology, 21*, 713-729.
- Kinzie, M. B. (1990). Requirements and benefits of effective interactive instruction: Learner control, self-regulation, and continuing motivation. *Educational Technology Research and Development, 38*, 5-21.
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction, 13*, 157-176.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., Dow, G. T., & Mayer, S. (2003). Multimedia learning in an interactive self-explaining environment: What works in the design of agent-based microworlds. *Journal of Educational Psychology, 95*, 806-812.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology, 90*, 312-320.
- Merriënboer, J. J. G. van. (1997). *Training complex cognitive skills*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educa-*

tional Psychology, 84, 429-434.

Paas, F. Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38, 1-4.

Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2002). Learning from examples: Fostering self-explanations in computer-based learning environments. *Interactive Learning Environments*, 10, 105-119.

Rickheit, G., Strohner, H., & Müsseler, J. (1987). Recalling oral and written discourse. *Journal of Educational Psychology*, 79, 438-444.

Schnotz, W., Böckheler, J., & Grzondziel, H. (1999). Individual and cooperative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology and Education*, 14, 245-265.

Schwann, S., & Riempp, R. (2004). The cognitive benefits of interactive videos: Learning to tie nautical knots. *Learning and Instruction*, 14, 293-305.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.

Tabbers, H. K., Martens, R. L., & Merriënboer, J. J. G. van. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 71-81.

Wouters, P. (2007). *How to optimize cognitive load for learning from animated models*. Dissertation. Open Universiteit Nederland, Heerlen, Nederland.

Wouters, P., Paas, F. & Merriënboer, J. J. G. van. (2008). How to optimize learning from animated models: A review of guidelines based on cognitive load. *Review of Educational Research*, 78, 645-675.

Wouters, P., Paas, F. & Merriënboer, J. J. G. van. (2009). Observational learning from animated models: Effects of modality and reflection on transfer. *Contemporary Educational Psychology*, 34, 1-8.

Wouters, P., Paas, F. & Merriënboer, J. J. G. van. (in druk). Observational learning from animated models: Effects of studying-practicing alternation and illusion of control on transfer. *Instructional Science*.

Wouters, P., Tabbers, H. K., & Paas, F. (2007). Interactivity in video-based models. *Educational Psychology Review*, 27, 327-342.

Wulf, G., & Shea, C. H. (2002). Principles derived

from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 185-211.

Manuscript aanvaard: 9 oktober 2009

Auteurs

Pieter Wouters is werkzaam aan de Universiteit Utrecht, **Fred Paas** aan de Erasmus Universiteit Rotterdam en **Jeroen van Merriënboer** aan de Universiteit Maastricht.

Correspondentieadres: Pieter Wouters, Universiteit Utrecht, Departement Informatica, Postbus 80.089, 3508 TB Utrecht. E-mail: p.j.m.wouters@cs.uu.nl.

Abstract

Learning to solve problems with animations

Observing animated models can be an effective instructional method for learning to solve abstract problems. In an animated model a pedagogical agent provides explanatory text for an animation in which a problem is solved. In three experiments with pre-university students (in Dutch: vwo 4) we investigated how such animated models for the domain of probability calculation could be further optimized. The results indicate that written explanations in animated models can be effective. It is important that students are enabled to take full advantage of the characteristics of written explanations. This can be realized by allowing students the control over continuous animated models and by stimulating reflection on animated models. In addition, the results reveal that the effectiveness of design guidelines is contingent on the alignment between the control that students expect and the control that they can actually employ. Theoretical as well as practical implications are discussed.