

Leren met multipele representaties in computer-gebaseerde leeromgevingen

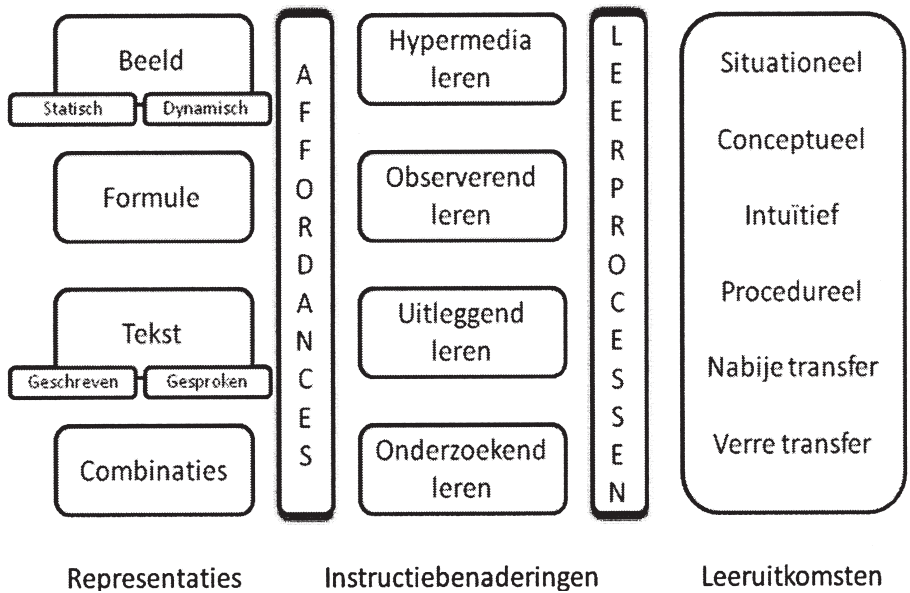
T. de Jong, T. H. S. Eysink en J. van Merriënboer

1 Inleiding

Multimediale toepassingen hebben de mogelijkheden om leermateriaal aan te bieden vergroot ten opzichte van de meer traditionele presentatievormen als lezingen en schriftelijk materiaal. In computerondersteunde multimediale toepassingen kunnen verschillende representaties (visuele representaties zoals tekst, grafieken, formules, diagrammen, animaties, etc., en auditieve representaties) op een dynamische en geïntegreerde wijze worden aangeboden. Meer nog dan in schriftelijk materiaal komt dan de vraag naar voren wat de meest geschikte representaties of combinaties van representaties zijn. Deze vraag stond centraal in een door de Programmaraad Onderwijsonderzoek van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO/PROO) en de Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ondersteund aandachtsgebied waarover in dit themanummer verslag wordt gedaan. Op vier plekken (Twente, Heerlen, Freiburg en Tübingen) is een serie onderzoeken verricht waarin telkens het gebruik van (combinaties van) representaties centraal stond. Deze vier series onderzoeken deelden het domein waarover geleerd werd (combinatoriek), de introductie op het domein, en de verschillende meetinstrumenten voor het meten van kennis en procesmaten (o.a. voor verschillende vormen van cognitieve belasting). Ze verschilden hierin dat in elk van deze series onderzoeken een andere instructiebenadering centraal stond, namelijk a) hypermedia leren, b) observerend leren, c) uitleggend leren, en d) onderzoekend leren. Dit zijn vier in de onderzoeksliteratuur veel voorkomende instructiebenaderingen met elk een eigen theoretische achtergrond. Deze opzet zorgde ervoor dat naast de vergelijkingen tussen verschillende (combinaties van) representaties binnen elk van de series van onderzoeken er ook een vergelijking tussen deze vier instructiebenaderingen gemaakt kon worden.

Voor de theoretische achtergrond van het project werd geput uit verschillende bronnen. Twee van deze theoretische gezichtspunten nemen de representaties als uitgangspunt; twee andere theorieën vinden hun oorsprong meer in algemene ideeën over menselijke cognitie. De representatietheorieën betreffen het werk over *computational effectiveness*, waarvoor met name het werk van Larkin en Simon (1987) representatief is en *multimedia design*-theorieën waarvoor verwezen kan worden naar het werk van Ainsworth (2006). De op cognitieve theorieën gestoelde concepties zijn de *dual coding*-theorie (Paivio, 1986) en de cognitievebelastingstheorie (Chandler & Sweller, 1991; Van Merriënboer & Sweller, 2005). De theorie van multimedialeren (Mayer, 2001, 2005, 2009) combineert verschillende elementen. De genoemde theorieën zijn in de verschillende onderzoeken vaak in combinatie gebruikt. Voor deze aanpak is gekozen omdat het onderzoek in realistische situaties (als onderdeel van het normale curriculum van leerlingen zowel in Nederland als in Duitsland) is uitgevoerd en er daarom, ook in controlecondities, gestreefd is naar een optimaal ontwerp van het onderwijs. Toch kunnen over (onderdelen van) de gebruikte theorieën conclusies worden getrokken.

De in dit themanummer opgenomen hoofdstukken doen verslag van de vier verschillende series onderzoeken en een overkoepelend project uit het aandachtsgebied. Figuur 1 geeft een schematisch overzicht. Elk van de vier series onderzoeken richtte zich op een vergelijking van verschillende (combinaties van) representaties: beeld (plaatjes, animaties), formules, gesproken en/of geschreven tekst, en combinaties hiervan. De veronderstelling hierbij was dat verschillende representaties verschillende *affordances* boden voor aan instructiebenaderingen verbonden leerprocessen. Het overkoepelende project betrof voornamelijk een vergelijking van de verschillende instructiebenaderingen



Figuur 1. Schematisch overzicht van het onderzoeksproject.

op effectiviteit, efficiëntie en leerprocessen. In alle onderzoeken werd op dezelfde manier een serie van verschillende leeruitkomsten gemeten. In het artikel van Eysink en De Jong in dit themanummer worden deze verschillende kennisvormen besproken. De in dit themanummer opgenomen manuscript geven een overzicht van elk onderzoek; voor details betreffende afzonderlijke studies kunnen andere artikelen worden geraadpleegd (Berthold, Eysink, & Renkl, 2009; Berthold & Renkl, 2009; Eysink & de Jong, ingediend; Eysink, De Jong, Berthold, Kolloffel, Opfermann, & Wouters, 2009; Gerjets, Scheiter, Opfermann, Hesse, & Eysink, 2009; Kolloffel, Eysink, & De Jong, 2010; Kolloffel, Eysink, De Jong, & Wilhelm, 2009; Schwonke, Renkl, & Berthold, in druk; Wouters, Paas, & Van Merriënboer, 2008, 2009, in druk, ingediend).

verschillende inhouden en het kiezen van verschillende representaties. Er wordt verondersteld dat deze *learner control* de interesse en motivatie van leerlingen gunstig beïnvloedt en het actief en constructief verwerken van informatie bevordert. De cognitieve theorie van multimedia leren van Mayer (2005) is met name relevant voor deze vorm van leren. In een eerste studie werd gekeken of principes uit de theorie standhielden in realistische leersituaties waar leerlingen zelf controle over sequentie en timing van leren hebben. In een onderzoek werden zes condities vergeleken in verschillende combinaties van verbale en beeldende informatie die al dan niet het multimedia principe (combineer gesproken of geschreven tekst met plaatjes of animaties), het modaliteitsprincipe (voeg gesproken tekst toe aan plaatjes) en het redundantieprincipe (vermijd het dupliceren van informatie) volgden. De resultaten bevestigden Mayers theorie niet, er was sprake van een tegengesteld multimedia effect (het toevoegen van animaties verlaagde de scores van de leerlingen), er was slechts gedeeltelijk sprake van een redundantie-effect en er waren geen indicaties voor een modaliteitseffect. Deze resultaten zouden kunnen worden toegeschreven aan het feit dat in de leeromgeving in het huidige onderzoek veel leerlingcontrole was, ter-

4

2 Overzicht van de verschillende hoofdstukken

Opfermann, Scheiter en Gerjets onderzochten hypermedia leren. In dit soort omgevingen hebben leerlingen een grote controle over de route door het materiaal. Leerlingen krijgen opties voor het selecteren en sequenteren van

wijl in het oorspronkelijk onderzoek dit niet het geval was. Onderzoek suggereert dat de voordelen van leerlingcontrole zich voornamelijk manifesteren bij leerlingen met een hoog niveau voorkennis. In een experiment werd de invloed van leerlingcontrole en de interactie hiervan met voorkennis onderzocht. Er werd gebruik gemaakt van een hypermedialeeromgeving waarin uitgewerkte voorbeelden van problemen uit de combinatoriek werden aangeboden. Twee experimentele condities, één met een hoge mate van leerlingcontrole (*learner control*) en één met een laag niveau, werden met elkaar vergeleken voor leerlingen met verschillende niveaus van voorkennis. De resultaten geven aan dat een hoge mate van leerlingcontrole positief uitwerkte voor kennisacquisitie, en dan met name voor het verwerven van intuïtieve kennis (wat een niet goed articuleerbare vorm van conceptuele kennis is). De benodigde tijd voor leren ging echter wel omhoog bij een grotere mate van leerlingcontrole. Tegen de verwachting in werd het effect van leerlingcontrole niet gemedieerd door de voorkennis van de participanten in het onderzoek. In een volgend onderzoek werd naar andere (cognitieve en niet cognitieve) leerlingkenmerken gekeken, maar er werden geen relaties met leeruitkomsten gevonden. In een vierde studie werd getracht op verschillende manieren cognitieve en metacognitieve strategieën die nodig zijn om succesvol om te gaan met een hoge mate van leerlingcontrole te ondersteunen. Deze ingrepen (onder andere modelleren van metacognitieve vaardigheden) bleken niet erg succesvol. Een mogelijke verklaring is dat in een omgeving waarin veel controle mogelijk is het tegelijk aanleren van nieuwe strategieën te veel vroeg van de deelnemers in het onderzoek.

In de bijdrage van Wouters, Paas en Van Merriënboer staat observerend leren centraal. Er werd geleerd van een virtueel karakter (in dit geval een dolfijn) dat uitleg gaf bij geanimeerde modellen. Deze geanimeerde modellen laten aan de hand van concrete uitgewerkte voorbeelden zien hoe problemen in de combinatoriek kunnen worden opgelost. In drie experimenten met vwo-4-leerlingen is onderzocht hoe zulke geanimeerde modellen

voor het onderdeel kansberekening geoptimaliseerd kunnen worden. Eerst werd gekeken naar het leereffect bij variaties in de structuur van de geanimeerde modellen (opgesplitst in segmenten of niet), de controle over het tempo van de modellen (door de leerling of door de computer) en wanneer de pedagogische agent geschreven (in tekstballonnen) of gesproken uitleg gaf. Vervolgens werd onderzocht of het al dan niet toepassen van reflectie prompts (aansporingen om na te denken over de geanimeerde modellen) tot een diepere verwerking leidde. Hierbij werd weer gekeken naar situaties waarin het virtuele karakter geschreven of gesproken uitleg gaf. Ook werd gekeken of leerlingen beter leerden wanneer het bestuderen van geanimeerde modellen werd afgewisseld met het zelfstandig oplossen van problemen. Tot slot werd onderzocht of leerlingen beter presteerden wanneer ze zelf de volgorde van de problemen mochten selecteren of wanneer de volgorde voor hen bepaald werd. De resultaten van deze onderzoeken geven aan dat geschreven uitleg bij geanimeerde modellen effectief kan zijn; dit in tegenstelling tot wat op basis van de multimediatheorie (Mayer, 2001, 2005, 2009) verwacht kon worden. Belangrijk is dat de leerling in staat gesteld wordt de karakteristieken van geschreven uitleg volledig te benutten. Dat kan door leerlingen optimale controle te geven over het tempo van geanimeerde modellen maar ook met reflectie prompts. Ook blijkt uit de resultaten dat het effect van ontwerprijlijnen afhankelijk kan zijn van de mate van overeenstemming tussen de controle die leerlingen verwachten en de controle die ze daadwerkelijk kunnen uitoefenen.

Leren door het genereren van uitleg in combinatie met uitgewerkte voorbeelden is het thema in de bijdrage van Berthold, Große en Renkl. Het zelf genereren van uitleg (*self explanation*) wordt in de literatuur vaak gezien als een uitstekende manier om conceptueel begrip te verwerven in situaties waarin meerdere representaties worden aangeboden. Echter, volgens de cognitievebelastingstheorie zou het zelf genereren van uitleg in omgevingen waarin complexe domeinen met behulp van meerdere representaties worden aangeboden de cognitieve capaciteit van leer-

lingen kunnen overstijgen. In het hoofdstuk van Berthold e.a. worden drie experimenten besproken waarin deze tegenstelling centraal stond. In een eerste experiment werd gevonden dat door het systeem gegenereerde uitleg superieur was aan het zelf genereren van uitleg die gestimuleerd werd door open geformuleerde prompts. In een tweede experiment werden daarom ook prompts aangeboden die domein specifiek waren en die bedoeld waren leerlingen te helpen bij het zelf genereren van uitleg. Deze gerichte prompts werden vergeleken met het soort open prompts uit het eerste experiment. De gerichte prompts bleken inderdaad conceptueel begrip te bevorderen; leerlingen die deze prompts ontvingen scoorden beter dan leerlingen die open prompts ontvingen. Deze leerlingen scoorden op hun beurt weer hoger dan leerlingen die geen prompts ontvingen. In de eerste twee experimenten werd telkens gebruik gemaakt van ondersteuning voor het verbinden van meerdere representaties door met behulp van kleurcoderingen aan te geven welke onderdelen van verschillende representaties met elkaar gerelateerd waren. In een derde experiment werd deze ondersteuning voor relateren van representaties, evenals de vorm van de prompts, gevarieerd en werd cognitieve belasting gemeten. De gerichte prompts en de ondersteuning voor het relateren van representaties hadden beide een (additief) effect op conceptueel begrip. Cognitieve belasting werd verhoogd door de prompts maar verlaagd door de ondersteuning voor relateren. De verschillende onderzoeken tonen aan dat het geven van ondersteuning voor het relateren van meerdere representaties en het geven van gericht prompts voor het genereren van zelfuitleg maatregelen zijn die leren in complexe op meerdere representaties gebaseerde leeromgevingen effectief kunnen maken.

In de bijdrage van Kolloffel, Eysink en De Jong wordt onderzoek gerapporteerd over onderzoekend leren. Uitgangspunt van onderzoekend leren is dat leerlingen principes zelf onderzoeken en op basis van experimenten hun kennis opbouwen. In dit onderzoek zijn computersimulaties gebruikt voor het onderzoeken van situaties uit de combinatoriek. Onderzocht is of de manier waarop informatie in deze simulaties gerepresenteerd wordt

(bijvoorbeeld diagrammen, formules, tekst) invloed heeft op de kennisconstructie en leerprestaties van leerlingen. In een eerste experiment is onderzocht hoe de leerstof het best gerepresenteerd kan worden. Boomdiagrammen, wiskundige vergelijkingen, tekst en combinaties van deze vormen werden met elkaar vergeleken. Het bleek dat een combinatie van tekst en vergelijkingen leidt tot de beste leerresultaten en relatief lage cognitieve belasting. In het tweede (individueel leren) en derde (samenwerkend leren) experiment gebruikten leerlingen een 'tool' in de leeromgeving om zelf een representatie van het domein te construeren. Wederom werd onderzocht welke rol de representatievorm van de tool (in dit geval concept map, wiskundig, tekstueel) had op leerresultaten. Uit het tweede experiment kwam naar voren dat representatievorm een indirect effect op leerresultaten heeft. De resultaten van het derde onderzoek laten zien dat het effect van samenwerking op zichzelf sterker is dan de andere effecten.

Eysink en De Jong, ten slotte, presenteren een vergelijking van de verschillende instructiebenaderingen op leerprocessen en leeruitkomsten. Een vergelijking op leeruitkomsten (die een meta-analyse over delen van de hierboven gerapporteerde onderzoeken betrof) laat zien dat de twee instructiebenaderingen die leerlingen zelf informatie laten genereren (uitleggend en onderzoekend leren) effectiever zijn dan de twee instructiebenaderingen die zich richten op de manier waarop het leer materiaal is gepresenteerd. De resultaten laten echter ook zien dat dit zelf genereren van informatie resulteert in minder efficiënt leren omdat er meer tijd nodig is om de leerresultaten te bereiken. Het tweede experiment heeft de vier instructiebenaderingen vergeleken op het niveau van leerprocessen. Resultaten laten zien dat uitleggend leren en onderzoekend leren in vergelijking tot de andere twee benaderingen leiden tot: a) meer leerprocessen in het algemeen, b) meer transformatieve processen, en c) meer elaboratieprocessen die karakteristiek zijn voor betekenisvol leren. Deze resultaten sluiten aan bij de resultaten van het eerste experiment en kunnen verklaren waarom deze twee benaderingen leiden tot hogere effectiviteit van leren.

3 Conclusies

Uit de onderzoeken kan een aantal algemene conclusies getrokken worden, zowel voor de theorieën die ten grondslag lagen aan de onderzoeken, het gebruik van representaties als de verschillende instructiebenaderingen.

Ten eerste lieten de onderzoeken met de vier instructiebenaderingen zien dat een aantal multimedia principes van Mayer (2001) niet altijd stand houdt in complexe leeromgevingen. Mayer heeft zijn principes opgesteld naar aanleiding van onderzoek in eenvoudige leeromgevingen (waarin multimedia een combinatie kan zijn van een plaatje met een tekst), waarin een simpel en afgebakend onderwerp in een zeer korte periode aangeboden werd (vaak slechts een paar minuten). De principes zijn vervolgens gegeneraliseerd en worden veelvuldig toegepast in complexe leeromgevingen. Uit de onderzoeken uitgevoerd binnen dit aandachtsgebied blijkt nu dat dat niet terecht is en dat het volgen van deze principes zelfs tot mindere leeropbrengsten kan leiden. De tweede conclusie die getrokken kan worden naar aanleiding van de resultaten van de onderzoeken is dat het lastig blijkt te zijn om de verschillende aspecten van cognitieve belasting apart te meten. Gebaseerd op de cognitievebelastingtheorie is in het onderzoek een onderscheid gemaakt tussen intrinsieke belasting, extrinsieke belasting, effectieve belasting en algehele belasting. Ondanks dat op basis van de theorie verschillen te verwachten waren op de afzonderlijke typen belasting werden deze verschillen niet of nauwelijks gevonden. Leerlingen konden blijkbaar het onderscheid niet maken en de vraag rijst of de afzonderlijke aspecten überhaupt wel onderscheiden kunnen worden, praktisch maar ook theoretisch (zie ook Schnotz & Kürschner, 2007).

Meer specifiek kan uit de verschillende onderzoeken een aantal richtlijnen worden gedestilleerd. In zijn algemeenheid kan gezegd worden dat leerlingen hulp nodig hebben wanneer meerdere representaties aangeboden worden. Deze hulp kan bestaan uit hulp bij het integreren van meerdere representaties, en door representaties te selecteren in plaats van de keuze aan de leerling over te laten. Uit het onderzoek blijkt dat bij onderzoekend leren een combinatie van tekst en

formules (en vermijden van boomdiagrammen) het meest effectief is en bij uitleggend leren een combinatie van formules en boomdiagrammen in plaats van alleen formules of alleen boomdiagrammen. Bij hypermedia leren is het beter één representatie in plaats van meerdere aan te bieden. Wat betreft *learner control* kan geconcludeerd worden dat deze in een observerend leeromgeving het beste volledig gegeven kan worden aan de leerling en dat bij het geven van controle bij hypermedia leren alleen vrijheid aan leerlingen gegeven moet worden die dat aankunnen.

Uit de vergelijking van de vier instructiebenaderingen blijkt dat de invloed van de gebruikte instructiebenadering veel groter is dan de invloed van de gebruikte representatievormen. De studie waarin de vier instructiebenaderingen vergeleken zijn op leerprocessen laat een tweedeling in de instructiebenaderingen zien. De twee instructiebenaderingen waarin van leerlingen verwacht werd dat ze zelf (een deel van de) kennis genereerden (door de stof aan zichzelf uit te leggen in de 'uitleggende' leeromgeving of door conclusies te trekken uit zelf bedachte experimenten in de 'onderzoekende' leeromgeving) riepen zowel meer als kwalitatief betere leerprocessen op dan de instructiebenaderingen waarin de leerlingen de kennis op een specifieke manier aangeboden kregen (in verschillende representaties in de hypermedialeeromgeving of door animaties in de observerend leeromgeving). De studie waarin de vier instructiebenaderingen vergeleken zijn op leeropbrengsten laat zien dat uitleggend leren de meest effectieve instructiebenadering was, op de voet gevolgd door onderzoekend leren. Hypermedia leren en observerend leren waren het minst effectief. Dit resultaat was consistent over verschillende kennistypen heen. Daarnaast bleek echter ook dat de hoeveelheid tijd die leerlingen in de leeromgeving doorbrachten sterk verschilde tussen instructiebenaderingen. Zo bleek hypermedialeren de meest efficiënte manier van leren te zijn, terwijl het 'effectief-uitleggendleren' uitermate inefficiënt was. Observerend leren en onderzoekend leren vielen daar tussenin. Vanuit de praktijk gezien is dit een relevant resultaat. Bij de keuze voor een instructiebenadering zal een afweging gemaakt moeten worden tussen effectiviteit en efficiënt-

tie, waarbij onderzoekend leren de instructie-benadering is die leidt tot goede leeropbrengsten op een efficiënte wijze.

Ten slotte zal Harskamp in zijn nabeschouwing nader ingaan op zijn reflectie op de bijdragen in dit themanummer.

Noot

Dit onderzoek werd mogelijk gemaakt door subsidies van de NWO (PROO) onder projectnummers 411-02-160, 411-02-161, 411-02-162 en 411-02-163 en de DFG 1040/11-1, GE992/3-1 en GE992/3-2.

Literatuur

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction, 16*, 183-198.

Berthold, K., Eysink, T. H. S., & Renkl, A. (2009). Assisting self-explanation prompts are more effective than open prompts when learning with multiple representations. *Instructional Science*, DOI 10.1007/s11251-008-9051-z.

Berthold, K., & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology, 101*, 70-87.

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*, 293-332.

Eysink, T. H. S., & Jong, T. de. (ingediend). Learning processes in multimedia learning environments.

Eysink, T. H. S., Jong, T. de, Berthold, K., Kolloffel, B., Opfermann, M., & Wouters, P. (2009). Learner performance in multimedia learning arrangements: an analysis across instructional approaches. *American Educational Research Journal, 46*, 1107-1149.

Gerjets, P., Scheiter, K., Opfermann, M., Hesse, F. W., & Eysink, T. H. S. (2009). Learning with hypermedia: The influence of representational formats and different levels of learner control on performance and learning behavior. *Computers in Human Behavior, 25*, 360-307.

Kolloffel, B., Eysink, T. H. S., & Jong, T. de. (2010). The influence of learner-generated domain re-

presentations on learning combinatorics and probability theory. *Computers in Human Behavior, 26*, 1-11.

Kolloffel, B., Eysink, T. H. S., Jong, T. de, & Wilhelm, P. (2009). The effects of representational format on learning combinatorics from an interactive computer-simulation. *Instructional Science, 37*, 503-517.

Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science, 11*, 65-99.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 31-49). Cambridge: Cambridge University press.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.

Merriënboer, J. J. G. van, & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review, 17*, 147-177.

Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.

Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review, 19*, 469-508.

Schwonke, R., Renkl, A., & Berthold, K. (in druk). How multiple external representations are used and how they can be made more useful. *Applied Cognitive Psychology*.

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., Paas, F., & Merriënboer, J. J. G. van. (ingediend). The effect of pacing and structure of animated models on transfer and efficiency.