

# 2

## Effectief leren van multimediale leerbronnen

**Liesbeth Kester**

Center for Learning Sciences and Technologies,  
Open Universiteit

**Jeroen van Merriënboer**

School of Health Professions Education, Universiteit Maastricht

Er zijn steeds meer mogelijkheden om multimedia in te zetten in de les. Maar is dat altijd effectief? Cruciaal is dat de leerbron aansluit bij de werking van het geheugen. Alleen dan kunnen leerlingen hun weg vinden door de leerstof en zich deze eigen maken. De aansturing van dit leerproces kan verplaatst worden van de leraar of het systeem naar de leerling.

Lange tijd waren gesproken en geschreven teksten de belangrijkste leerbronnen. Technologische ontwikkelingen hebben hier verandering in gebracht. Het is nu relatief eenvoudig om (bewegend) beeld toe te voegen aan tekst waardoor rijke multimediale leerbronnen ontstaan. Maar rijk wil niet automatisch zeggen: effectief. De vraag is met welk multimediaal leermateriaal

leerlingen het hoogste leerrendement behalen. Ofwel: aan welke voorwaarden moeten multimediale leerbronnen voldoen wil de informatie uit die bronnen zich een plek veroveren in ons geheugen? En hoe verschillen die voorwaarden per leerdoel (kennisconstructie, automatiseren)? Ook niet onbelangrijk in het huidige onderwijslandschap is, tot slot, de vraag welke kenmerken

# *Effectieve multimediale leerbronnen voorkomen dat het werkgeheugen overbelast raakt en laten de leerling informatie diep verwerken*

multimediale leerbronnen moeten hebben willen zij een bijdrage kunnen leveren aan het zelfsturend vermogen van leerlingen.

Deze vragen vormen samen het onderwerp van de volgende drie delen, die samen één artikel vormen. Enige kennis van de werking van het geheugen en de mechanismen die het leren bevorderen dan wel belemmeren is hiervoor wel vereist. Daarom begint dit artikel in deel 1 met een beschrijving van hoe het geheugen informatie verwerkt, gevolgd door de voorwaarden waaraan leermiddelen moeten voldoen willen zij hierbij

aansluiten. Deze voorwaarden zijn uitgewerkt in elf kenmerken, specifiek gericht op multimediale leerbronnen. Deel 2 gaat dieper in op hoe effectief leren werkt en hoe informatie duurzaam wordt opgeslagen in het brein. Vervolgens worden de kenmerken beschreven die multimediale leermiddelen moeten hebben om dit proces – het aanleren van complexe vaardigheden – te bevorderen. Deel 3 beschrijft de mogelijkheden van multimediale leerbronnen als het gaat om het ontwikkelen van zelfsturend vermogen.



# Hoe leren wij? En wat betekent dat voor hoe wij leerstof en informatie verwerken?

## De werking van het geheugen

De titel van dit artikel luidt *Effectief leren van multimediale leerbronnen*. Maar wat is effectief leren? Effectief leren betekent dat we de informatie die we tot ons nemen duurzaam opslaan in ons geheugen. Dat vraagt dat we de nieuwe informatie weten te verbinden met bestaande kennis, die we daarmee uitbreiden. Om effectief te kunnen leren moeten de leerbronnen waarmee we werken aansluiten bij de werking van het geheugen.

Ons geheugen bestaat uit drie componenten: het zintuiglijk geheugen, het werkgeheugen en het langetermijngeheugen (Atkinson & Shiffrin, 1968). Het zintuiglijk geheugen is een verlenging van de zintuigen. Dit geheugen houdt informatie die via onze zintuigen binnenkomt kortstondig (500 milliseconden) vast. Het werkgeheugen verbindt het zintuiglijk geheugen en het langetermijngeheugen. Ook het werkgeheugen is vrij vluchtig. Zonder herhaling houdt het informatie zo'n tien seconden vast. Bovendien heeft het een duidelijke limiet: het kan ongeveer zeven verschillende elementen tegelijkertijd actief houden (Miller, 1956). Dit aantal neemt zelfs nog af wanneer het de elementen eerst moet organiseren of relateren voordat het ze kan verwerken (Cowan, 1997). Verder heeft het werkgeheugen aparte verwerkingskanalen voor informatie die via de ogen binnenkomt, zoals beeld en geschreven

tekst, en informatie die via de oren binnenkomt, zoals geluid en gesproken tekst (Baddeley, 1992; 1997; Paivio, 1986).

Het langetermijngeheugen tot slot is de opslagplaats van kennis. Dit deel van ons geheugen houdt grote hoeveelheden kennis voor lange perioden vast. Dat gebeurt in de vorm van cognitieve schema's. Pas als informatie hier belandt, is er sprake van effectief leren.

## Effectief verwerken van informatie uit multimediale leerbronnen

Weten hoe het geheugen werkt is belangrijk voor de makers en gebruikers van (multimediale) leermiddelen. Als je als leraar weet dat het werkgeheugen fungeert als een flessenhals, begrijp je ook dat deze verstopt kan raken. En dat er dan niets meer doorheen kan. Ofwel: een overbelast werkgeheugen blokkeert het leren (Van Merriënboer et al., 2005; Sweller, 1988).

Effectieve multimediale leerbronnen voorkomen dan ook dat het werkgeheugen overbelast raakt door:

- (a) de aandacht van de leerling te richten;
- (b) de complexiteit van het leermateriaal te verkleinen;
- (c) ondersteuning te bieden;
- (d) irrelevante informatie weg te houden;
- (e) een beroep te doen op zowel het visuele als het auditieve systeem.

Hieronder werken we deze vijf punten uit.

## (a) De aandacht van de leerling richten



### Signalering

Signalering houdt in dat de aandacht naar kritische aspecten van het leermateriaal wordt gestuurd.

Dit voorkomt dat leerlingen moeten zoeken naar belangrijke informatie (Boucheix et al., 2013). Signalering leidt tot beter leren en zorgt ervoor dat leerlingen het leermateriaal beter waarderen (Mautone & Mayer, 2001; Tabbers et al., 2004; Sung & Mayer, 2012). Recent zijn verschillende onderzoeken verricht naar dit *signaleringsprincipe*. Zo wordt met behulp van oogbewegingsregistraties zichtbaar gemaakt waar experts op fixeren als zij in het kader van een leertaak een video bekijken. Bijvoorbeeld: een expert wil de bewegingspatronen van vissen bestuderen. Waar let hij dan op als hij een filmpje van een zwemmende vis bekijkt? Waar beginners overweldigd kunnen worden door het complete beeld, weten experts precies hun aandacht te richten op dat wat belangrijk is voor hun leerdoel. Zo kan kennis over hoe een expert kijkt, helpen de aandacht van beginners te sturen naar belangrijke aspecten van het leermateriaal. Ook dit bevordert het leren (Jarodzka et al., 2013; Van Gog et al., 2009).



### Bewegende beelden opsplitsen in betekenisvolle delen

Het opsplitsen van bewegende beelden (bijvoorbeeld video of

animatie) in betekenisvolle delen beïnvloedt het leren positief, helemaal wanneer leerlingen zelf de delen kunnen kiezen (Hassanabadi et al.,

2011). Dit heet het *segmentatieprincipe*. Een goed voorbeeld hiervan zijn cursussen van de NTR Thuisacademie, die opgedeeld worden in tien stappen. Zo loodst de cursus ‘Succesvol solliciteren’ de deelnemer door de verschillende fases van het sollicitatieproces: van oriënteren, via vacatures zoeken, naar brief en CV, sollicitatiegesprek en do’s en don’ts. De deelnemer kan deze stappen in zijn eigen tempo doorlopen. In die zin heeft segmentatie een signaleringsfunctie: het richt de aandacht door de beelden in stukjes op te knippen. Door de hiermee ingevoegde pauzes voorkomt het cognitieve overbelasting (Spanjers et al., 2012). Segmentatie is bij uitstek geschikt voor leerlingen met weinig voorkennis (Khacharem et al., 2012; Spanjers et al., 2011).

## (b) De complexiteit van het leermateriaal verkleinen



### Mate van realiteit aanpassen aan doelgroep

Leertaken die natuurgetrouw zijn, kunnen voor beginners irrelevante details bevatten die cognitieve overbelasting kunnen veroorzaken en dus het leren nadelig beïnvloeden. Volgens het *natuurgetrouwheidsprincipe* hoeven multimediale leermiddelen voor beginners niet natuurgetrouw te zijn, liever niet zelfs (Fulgham, 2008; Gulikers et al., 2005; Scheiter et al., 2009). Naarmate leerlingen meer expertise opdoen, kunnen zij beter omgaan met natuurgetrouwe leerbronnen.



### Bronnen integreren

Als twee naar elkaar verwijzende bronnen geïntegreerd in ruimte en/of in tijd worden gepresenteerd,

verbetert dit het leren. Oogbewegingsregistratiestudies laten zien dat leerlingen bij een gescheiden aanbieding van twee naar elkaar verwijzende bronnen, zoals een illustratie die ver van de bijbehorende tekst staat of een animatie die pas later dan een gesproken tekst verschijnt, geneigd zijn de beelden te negeren en alleen de tekst te verwerken (Johnson & Mayer, 2012; Schmidt-Weigand et al., 2010). Geïntegreerde bronnen daarentegen, zoals een animatie met ondertiteling of een tekst verwerkt in een plaatje, stimuleren een verdere integratie (Johnson & Mayer, 2012). Een meta-analyse van Ginns (2006) ondersteunt dit zogenaamde *verdeelde aandachtprincipe*. Hieruit bleek namelijk dat, zeker voor complex leer-materiaal, een geïntegreerde presentatie van naar elkaar verwijzende bronnen het leren bevordert.



### Toenemende complexiteit

Onderzoek toont aan dat een ordening van leertaken of het aanbieden van ingewikkelde informatie van simpel naar complex, overbelasting van het werkgeheugen voorkomt (Clarke et al., 2005; Limniou & Whitehead, 2010; Musallam, 2010; Mayer et al., 2002; Pollock et al., 2002). Conform dit *volgordeprincipe* starten beginners met een simpele taak, terwijl een gevorderde leerling kan instappen bij een complexere taak. Het is voor elk niveau wel belangrijk om vast te stellen of de leerling de stof voldoende beheerst alvorens verder te gaan met een volgend niveau (Ayres, 2006). Daarbij speelt naast de taakuitvoering (prestatie) ook de mate van mentale inspanning gedurende de taakuitvoering een belangrijke rol. Iemand die goed presteert met weinig mentale inspanning, kan een complexere volgende taak aan dan iemand die dezelfde goede

prestatie haalt met veel mentale inspanning (Salden et al., 2004).



### Leerling bepaalt het tempo

Als leerlingen zelf het presentatietempo van een video of een dynamische animatie kunnen bepalen, geeft dat hen de ruimte om de nieuwe informatie te verwerken. Dat voorkomt cognitieve overbelasting. Het *in-je-eigen-tempo-principe* is bevestigd in experimenten met animaties en gesproken tekst, tekst en diagrammen, en animaties met een tijdlijn-schuifbalk (Mayer & Moreno, 2003; Mayer & Chandler, 2001; Tabbers, 2002; Höffler & Schwartz, 2011; Hatsidimitris & Kalyuga, 2013).

## (c) Ondersteuning bieden



### Samenwerken

Onderzoek wijst uit dat het beter is om complexe taken aan groepen toe te bedelen dan aan individuen. Complexe taken overschrijden namelijk al gauw de werkgeheugencapaciteit van een individu, terwijl groepen de taakbelasting kunnen verdelen. Zij werken bijvoorbeeld met de Jigsaw-methode, waarbij elk groepslid een stukje informatie krijgt om het probleem op te lossen. Samen leggen de leerlingen de complete puzzel. Zo leveren de individuen in de groep een betere prestatie dan wanneer ze het complete vraagstuk alleen hadden moeten oplossen (Kirschner et al., 2009). Dit *samenwerkenprincipe* is bevestigd in verschillende studies. Kirschner en collega's (2011) vergeleken de leeruitkomsten van leerlingen die – alleen of in een groep – voorbeelden bestudeerden (een lage cognitieve belasting) of

problemen oplossen (een hoge cognitieve belasting). Zij vonden dat leerlingen als individu beter leerden van voorbeelden terwijl ze in groepen beter leerden van probleemoplossen.



### **Uitvoeringsbeperkingen voor beginners**

Zelfs het uitvoeren van simpele taken in een lage natuurgetrouwe omgeving kan cognitieve overbelasting veroorzaken. Het blijven immers wel realistische taken die een gecoördineerde uitvoering van verschillende vaardigheden vereisen. Een oplossing hiervoor biedt het *zijwieltjesprincipe*, dat stelt dat beginners alleen gewenste acties moeten uitvoeren en dat ongewenste acties geblokkeerd of voorkomen moeten worden (Dufresne et al., 1992). Een metafoor voor deze zogenaamde uitvoeringsbeperkingen zijn de zijwieltjes op kinderfietsen waardoor kinderen niet met hun fiets om kunnen vallen (Carroll, 2000).



### **Van voorbeelden naar zelf doen**

Veel studies laten zien dat een opbouw van het materiaal waarbij leerlingen allengs minder begeleiding nodig hebben goed werkt. Volgens deze *afnemende begeleidingsstrategie* beginnen leerlingen met het bestuderen van voorbeelden, waarna zij vervolgens aanvullende taken maken en eindigen met een zelfstandige taakuitvoering (Renkl, Atkinson & Grosse, 2004). Zij leren zo meer dan wanneer zij direct zelfstandig een taak moeten uitvoeren (Atkinson et al., 2000; Sweller et al., 1998). Het principe van het aanvullen, de *aanvulstrategie*, blijkt bovendien erg effectief in het bevorderen van transfer: het toepassen van het geleerde in nieuwe situaties

(Van Merriënboer, 1990; Van Merriënboer & de Croock, 1992).

## **(d) Irrelevante informatie weghouden**



### **Geen overbodige of overtollige informatie**

Verleidelijke maar overbodige details als achtergrondmuziek en niet-essentiële videoclips hebben een negatieve invloed op het leren (*overbodigheidsprincipe*, Rey, 2012). Dat geldt ook voor overtollige informatie, ofwel informatie die 'dubbelop' is (*redundantieprincipe*, Sweller et al., 1998). Leerlingen moeten dan zelf uitzoeken dat informatie uit verschillende bronnen hetzelfde is en dat is een cognitief veel-eisend proces dat niet bijdraagt aan leren, zo blijkt uit verschillende studies (Lee & Kalyuga, 2011; Liu et al., 2012; Moussa-Inaty et al., 2012). Het redundantieprincipe is een opmerkelijk principe omdat het in strijd is met de gangbare opvatting dat het presenteren van dezelfde informatie op een iets andere manier geen of juist een positief effect op leren heeft (baat het niet dan schaadt het niet).

## **(e) Een beroep doen op zowel het visuele als het auditieve systeem**



### **Beeld en geluid combineren**

Onderzoek wijst uit dat een audiovisuele presentatie, bijvoorbeeld een diagram met een gesproken verklarende tekst, in beter leren resulteert dan wanneer dezelfde informatie alleen in visuele vorm wordt gepresenteerd, zoals een diagram met een geschreven verklarende tekst (Leahy et al., 2003). Dat komt omdat een audiovisuele



presentatie het werkgeheugen, met een kanaal voor auditieve informatie en een kanaal voor visuele informatie, optimaal benut. Een meta-analyse van Ginns (2005) en recentere studies van Schmidt-Weigand et al. (2010) en Kühl et al. (2011) ondersteunen dit zogenaamde modaliteitsprincipe. Uit deze studies bleek verder dat hoe complexer het leermateriaal is, hoe sterker het modaliteitsprincipe tot uitdrukking komt. Ook laat onderzoek zien dat het modaliteitsprincipe vooral opgaat voor leermateriaal waarin een leersysteem of een docent het tempo bepaalt in plaats van de leerling zelf. Seufert en collega's (2009) vonden aanwijzingen dat het modaliteitsprincipe met name geldt voor leerlingen met weinig voorkennis.

Als we deze elf kenmerken vertalen naar eigenschappen van effectieve multimediale leerbronnen, dan ziet dat er als volgt uit.

Effectieve multimediale leerbronnen:

- sturen de aandacht naar belangrijke aspecten van de informatie middels signalering;
- combineren beeld en geluid;
- splitsen bewegende beelden op in betekenisvolle delen;
- bieden de mogelijkheid bewegende beelden te pauzeren en voor- en achteruit te spoelen;

- bevatten geen overbodige of overvullige (dubbele) informatie;
- bieden naar elkaar verwijzende bronnen geïntegreerd aan;
- bevatten voldoende imitatietaken en aanvullende taken om een leerling naar een zelfstandige taakuitvoering te brengen;
- voorzien in taken van verschillende complexiteitsniveaus, waarbij ze leerlingen het juiste instapniveau helpen kiezen;
- bieden meer en minder natuurgetrouwe leertaken aan, afgestemd op de doelgroep. Voor beginners liever een tekstuele casus in een webgebaseerde omgeving. Gevorderde leerlingen kunnen een leertaak uitvoeren in een realistische omgeving, denk aan een volledig uitgeruste operatiekamer waarin zij een robot behandelen die precies zo reageert als een mens;
- voorkomen of blokkeren ongewenste acties bij beginners door middel van uitvoeringsbeperkingen.
- ondersteunen het samenwerkend leren als het gaat om een complexe leertaak. Denk aan de vorm van een project waarin leerlingen met verschillende rollen samenwerken om de taak tot een goed einde te brengen. Het Jigsaw-model werkt hier goed.

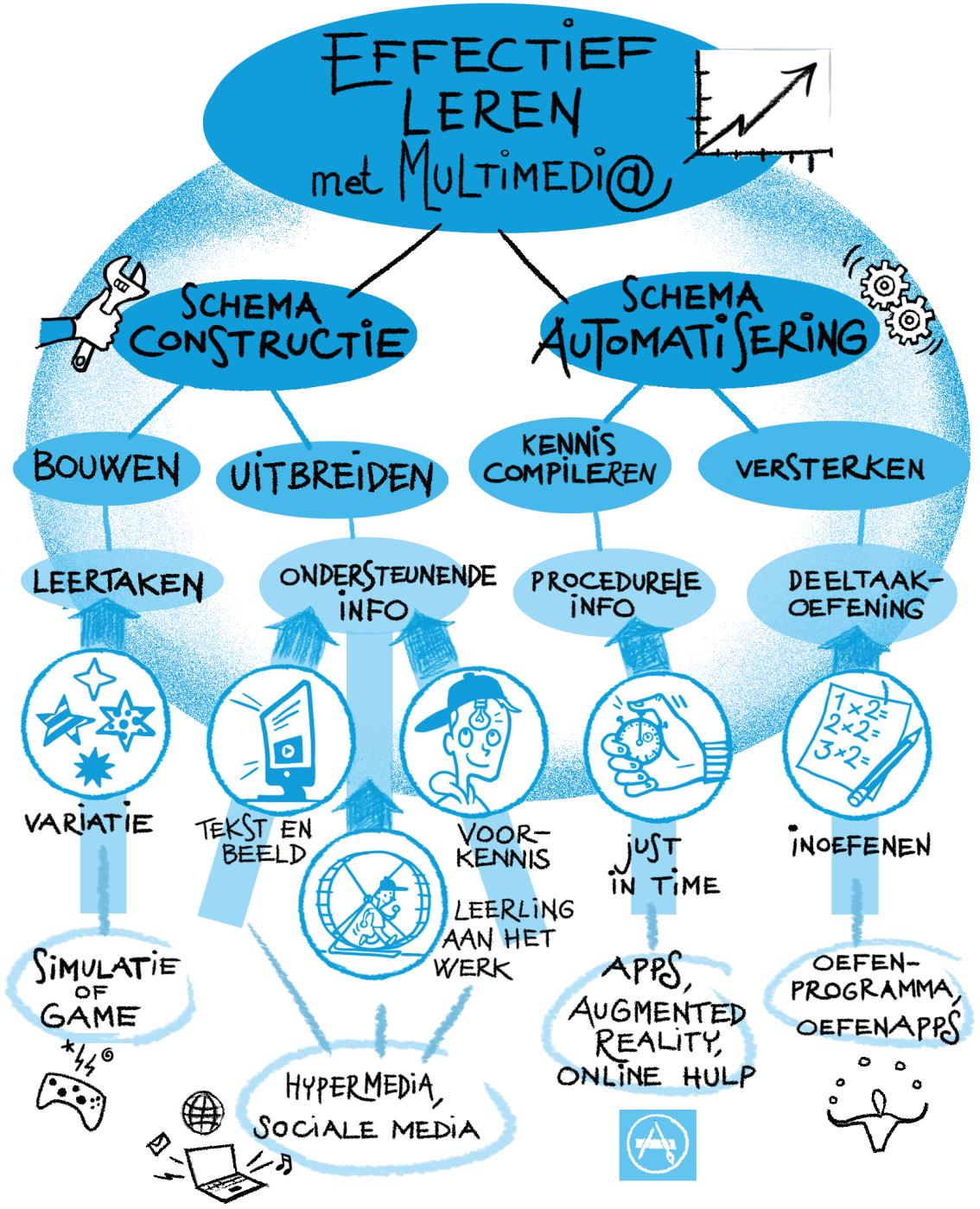
### Samengevat:

Om informatie effectief te kunnen verwerken, moet deze op een manier aangeboden worden die aansluit bij de werking van het geheugen. Alleen dan kan een leerling informatie selecteren voor verdere verwerking, deze organiseren en integreren in zijn bestaande kennis. Om te voorkomen dat het werkgeheugen overbelast raakt kunnen multimediale leerbronnen (a) de aandacht van

de leerling richten, (b) de complexiteit van het materiaal verkleinen, (c) ondersteuning bieden, (d) irrelevante informatie weghouden en (e) een beroep doen op zowel het visuele als het auditieve systeem.

Deze punten zijn te vertalen in elf kenmerken, die als handvatten kunnen dienen voor de makers en gebruikers van multimediale leerbronnen.





# Van effectieve verwerking naar effectief leren

Wanneer een multimediale leerbron is afgestemd op de werking van ons geheugen kan effectief leren plaatsvinden. Effectief leren als in: diepe verwerking van het leermateriaal. Effectief leren leidt tot expertise en expertise in een bepaald domein resulteert in steeds rijkere en geavanceerdere schema's in het langetermijngeheugen. Expertise is dus niet zozeer het vermogen om te kunnen redeneren met een groot aantal elementen, want dit kan niet met ons beperkte werkgeheugen; het is de beschikking hebben over rijke en geavanceerde schema's. In een notendop bevatten deze schema's declaratieve kennis en procedurele kennis. Declaratieve kennis stelt ons in staat de wereld om ons heen te begrijpen en samen met procedurele kennis stelt het ons ook in staat in de wereld om ons heen te handelen.

Twee complementaire processen leiden tot expertiseontwikkeling, namelijk schema-constructie en schema-automatisering. *Schemaconstructie* is een (vaak) bewust proces dat resulteert in steeds complexere schema's die ontstaan door steeds meer elementen of schema's te koppelen. Deze schema's bevatten kennis en zorgen voor een sterke vermindering in de belasting van het werkgeheugen omdat het werkgeheugen schema's, ongeacht hun complexiteit, verwerkt als één element. Dus: wat voor de één een grote hoeveelheid elementen is, is voor een andere, meer ervaren persoon maar één element, omdat deze de afzonderlijke elementen al in een schema heeft ondergebracht.

Hierdoor kan het voorkomen dat nieuwe informatie voor iemand met veel relevante expertise goed te begrijpen is, terwijl het voor een ander, met een beperkte voorkennis, niet begrijpelijk is.

*Schema-automatisering* treedt op wanneer leerlingen herhaaldelijk en succesvol een bepaald cognitief schema toepassen. Ook schema-automatisering vermindert de belasting op het werkgeheugen. Geautomatiseerde schema's hebben een directe koppeling met gedrag (denk aan blind typen – wie dat kan is zich niet meer bewust van de sturing van zijn vingers op het toetsenbord) en zijn actief buiten het werkgeheugen om. Hierdoor belasten ze het werkgeheugen niet.

De vraag is nu hoe multimediale leerbronnen deze twee processen kunnen bevorderen. Hieronder worden achtereenvolgens schema-constructie en schema-automatisering uitgewerkt, waarbij het gaat om inzicht in de mechanismen die hierbij een rol spelen en hoe deze vertaald kunnen worden in multimediale leermiddelen.

## Schemaconstructie: bouwen en uitbreiden

Om schema's te (re)construeren moet een leerling algemene informatie uit een reeks specifieke voorbeelden destilleren (generaliseren). Aan de hand van de rode draad bouwt hij generieke schema's, die toepasbaar zijn op meerdere situaties. Voldoet een generiek schema niet voor een specifieke situatie, dan kan hij details toevoegen om het wel toepasbaar te maken (discrimineren).

Dit proces van bouwen middels generalisatie en discriminatie heet *inductie* (Holland et al., 1989). Het is een bewust uitgevoerd, strategisch en gecontroleerd proces (*mindful abstraction*, Perkins & Salomon, 1989).

Met deze voorkennis is een leerling vervolgens in staat nieuwe informatie te begrijpen (in welk schema hoort dit thuis?) en te structureren (integreren in het schema). Dit proces van uitbreiden heet *elaboratie* (Willoughby et al., 1997). Effectieve multimediale leerbronnen stellen leerlingen in staat om generieke en/of specifieke schema's te bouwen en deze vervolgens uit te breiden. Schema's bouwen doen leerlingen door aan verschillende *leertaken* te werken. Schema's uitbreiden doen ze door middel van het verwerken van *ondersteunende informatie*. Hieronder werken we beide begrippen uit, waarbij we beschrijven welke kenmerken belangrijk zijn voor de effectiviteit ervan.

### Bouwen middels leertaken

Leertaken stellen leerlingen in staat betekenisvolle taken uit te voeren in een realistische context. Voorbeelden zijn een projectkamer, een gesimuleerd kantoor, een fysieke simulator zoals een nagebouwde cockpit, een *serious game* of een stage bij een bedrijf. De leerlingen leren hier vaardigheden zoals probleemoplossen en redeneren, maar doen ook routinevaardigheden op. Door aan verschillende leertaken te werken, construeren leerlingen schema's middels generalisatie en discriminatie (inductie), waardoor ze in staat zijn de vaardigheden op termijn zelfstandig uit te voeren. Simulaties of *serious games* zijn uitermate geschikt om leerlingen alle aspecten van een levensechte taakuitvoering te laten integreren en coördineren.

Wat maakt multimediale leertaken effectief?



### Variatie

Variatie is het sleutelwoord als het gaat om effectiviteit: leertaken moeten voldoende van elkaar verschillen om generalisatie en discriminatie mogelijk te maken. Dit heet het *variatieprincipe*. Het gaat dan om de dimensies die ook in de werkelijkheid variëren, zoals de condities die gelden voor taakuitvoering, de presentatie van een taak, of de duidelijkheid van bepalende karakteristieken. Verschillende studies laten zien dat een grote mate van variatie tussen leertaken tot een sterkere transfer leidt (Quilici & Mayer, 1996; Paas & Van Merriënboer, 1994; Corbalan et al., 2009). Met name generalisatie (het vormen van algemene, abstracte schema's) helpt leerlingen de verworven vaardigheden toe te passen in nieuwe situaties.

Een speciale vorm van variatie is contextuele interferentie. Hierbij verschilt de volgorde waarin taken worden aangeboden. Een oefenschema met een lage contextuele interferentie biedt bloksgewijs eerst het ene type taak aan, vervolgens het andere en zo verder (AAA BBB CCC). Een oefenschema met een hoge contextuele interferentie biedt de taken van een verschillend type in willekeurige volgorde aan (DEC AAB EDC). Het kost leerlingen op deze manier meer moeite om een vaardigheid aan te leren, maar het leerresultaat is beter omdat ze gestimuleerd worden te generaliseren. Er is dus meer transfer omdat leerlingen beter in staat zijn om nieuwe taken, die ze niet eerder geoefend hebben, uit te voeren (De Croock & Van Merriënboer, 2007; de Croock et al., 1998; Helsdingen et al., 2011a, 2011b; Olina et al., 2006; Van Merriënboer et al., 2002).

## **Uitbreiden middels ondersteunende informatie**

Ondersteunende informatie helpt de leerling zijn leertaken uit te voeren. Het is informatie over het domein (wat is dit, hoe is dit georganiseerd, hoe werkt dit) inclusief domeinspecifieke systematische probleemaanpakken. Deze specificeren de verschillende fasen van een probleemoplosproces en geven de leerling vuistregels om deze fasen te doorlopen. Zo leert hij effectief problemen op te lossen en te redeneren in een bepaald domein.

Traditionele leerbronnen voor ondersteunende informatie zijn tekstboeken, leraren en realia (levensechte zaken: in een les over honden neemt de leraar zijn hond mee). Tekstboeken bevatten een beschrijving van de theorie. Leraren bespreken in hun les de belangrijkste punten uit de theorie, demonstreren mogelijke probleemaanpakken of presenteren er expertvoorbeelden van, en geven feedback op hoe de leerlingen hun taken hebben uitgevoerd. Realia tot slot illustreren de theorie.

Multimediale leerbronnen als hypermedia-omgevingen (zoals Wikipedia) en sociale media nemen deze functies van traditionele leerbronnen (gedeeltelijk) over. Zij presenteren de theorie en de realia op een zeer interactieve manier en leggen de probleemaanpakken uit middels expertvoorbeelden op video. Sociale media kunnen gericht zijn op het delen en bediscussiëren van ondersteunende informatie met anderen.

Wat maakt multimediale ondersteunende informatie effectief?



### **Combinatie tekst en (bewegend) beeld**

Aanbieden van informatie via een combinatie van tekst en beeld zet

verschillende cognitieve processen in werking, resulterend in rijkere cognitieve schema's. Dit komt het onthouden en begrijpen van de stof ten goede (Mayer, 2009). Dit *multimediaprincipe* is ruimschoots onderzocht en bevestigd (Mayer, 2009). Maar er zijn wel kanttekeningen bij te maken. Onderzoek laat namelijk ook zien dat de effectiviteit afhangt van factoren als de leerinhoud (De Westelinck et al., 2005; Corradi et al., 2012), het type plaatjes (Sung & Mayer, 2012) en het type taak (Van Genuchten et al., 2012). Het toevoegen van plaatjes aan tekst leidt dan ook niet altijd tot beter leren. Soms is het presenteren van alleen tekst effectiever (Rasch & Schnotz, 2009).

Wanneer bewegend beeld wordt ingezet (in casu animaties en video's van processen en mechanismen die gedurende de tijd veranderen) kan dit het proces van uitbreiding bevorderen (Ainsworth & Van Labeke, 2004). Dit geldt in het bijzonder als ze betrekking hebben op (mense-lijke) beweging (bijvoorbeeld Imhof et al., 2012), zoals een animatie van hoe iemand een band plakt, een wond hecht of een machine bedient. Dit heet het *dynamische visualisatieprincipe*.



### **Activatie voorkennis**

Leerlingen die aangemoedigd worden na te denken over wat ze al weten van een onderwerp, kunnen nieuwe informatie beter opnemen in bestaande schema's en deze beter begrijpen en onthouden. Dit is het *voorkennisactivatieprincipe* (De Grave et al., 2001). Verschillende voorkennis-activatiestrategieën zijn effectief gebleken, bijvoorbeeld probleemanalyse (De Grave et al., 2001; Schmidt et al., 1989), perspectiefneming (Anderson et al., 1983; Goetz et al., 1983), brain-

stormen (Machiel-Bongaerts et al., 1993, 1995) en *concept mapping* (Gurlitt et al., 2012, 2006; Gurlitt & Renkl, 2008).

De voorkennis van leerlingen kan op verschillende manieren worden geactiveerd, bijvoorbeeld via verbale instructies, plaatjes of animaties. Zo kan een animatie van de in- en uitstroom van bloed door het hart de voorkennis van een leerling op dit vlak activeren, maar een serie plaatjes kan dat ook. Welke vorm het beste gekozen kan worden, hangt af van de doelgroep. Uit onderzoek blijkt dat leerlingen die al meer van een onderwerp weten hun voorkennis beter activeren met statische plaatjes, terwijl leerlingen die nog weinig van een onderwerp weten hun voorkennis beter activeren met animaties (Wetzels, 2009; Kalyuga, 2008; Schnotz & Rasch, 2005). Leerlingen met veel voorkennis zijn in staat statische plaatjes mentaal te animeren. Ze activeren dus hun eigen kennis over de beweging en dit vergemakkelijkt de integratie van nieuwe informatie in bestaande informatie. Kortom: het mentaal animeren van plaatjes is het meest effectief, maar vereist meer voorkennis.



### Leerling aan het denken zetten

Bij het leren van multimediale leerbronnen zijn leerlingen geneigd achterover te leunen, zoals bij het kijken naar de televisie. Dit leidt tot een oppervlakkige verwerking van nieuwe informatie, terwijl voor betekenisvol leren een diepe verwerking nodig is. Om dit te bewerkstelligen moeten leerlingen actief aan de slag met, bijvoorbeeld, het zelf-verklaren van de nieuwe informatie. Renkl (1999) introduceerde dit *zelf-verklaringsprincipe* in de context van het leren van voorbeelden, maar onderzoek laat zien dat het ook opgaat voor leren

van hypermedia (Berthold et al., 2009; Cho & Jonassen, 2012; Johnson & Mayer, 2010). Effectieve multimediale leerbronnen zetten de leerling aan het denken, met vragen die hem aanzetten de stof voor zichzelf uit te leggen. De effectiviteit van deze zogenaamde zelf-verklaringsprompts hangt af van factoren als: voorkennis (Leppink et al., 2012; Roelle & Berthold, in druk; Yeh et al., 2010) en het type prompt (Nokes et al., 2011).

### Schema-automatisering: kenniscompilatie en versterking

Het tweede proces dat leidt tot expertise-ontwikkeling is schema-automatisering. Leerlingen automatiseren de schema's die zij hebben geconstrueerd door middel van twee stappen: *kenniscompilatie* en *versterking*.

*Kenniscompilatie* heeft betrekking op het vormen van procedures. Een voorbeeld is het leren van de procedure voor opbellen: pak de telefoon; toets tien cijfers in; druk op het groene hoorntje; wacht tot er opgenomen wordt; zeg je naam. Wanneer een kind leert telefoneren staat de ouder er eerst naast om stap voor stap instructie te geven. Na een tijdje hoeft dat niet meer: het kind doet het 'automatisch' goed, ofwel: de stappen van de procedure zijn gecombineerd in één schema. Op basis van dit schema kunnen weer specifieke schema's ontstaan, zoals 'opa en oma opbellen'. Ook dit is kenniscompilatie. Het gecombineerde schema bestaat uit het schema 'opbellen' inclusief het nummer van opa en oma. Kenniscompilatie gaat dus over het vormen van schema's die iemands gedrag direct sturen. Dit noemen we procedurele kennis: iets kunnen zonder dat je bewust weet hoe je het moet doen.

De tweede stap is het *versterken* van de schema's. De zeer specifieke schema's die ontstaan door kenniscompilatie zijn in eerste instantie zwak. Vergelijk het met een zogenoemd olifantenpaadje: als iemand één keer het voetpad door de berm afsnijdt leidt dat nog niet tot een pad – als dat honderd keer gebeurt wel. Zo werkt het ook in het geheugen: door kenniscompilatie ontstaat een geheugenspoor, dat door herhaaldelijk gebruik een sterk geheugenpad wordt. Hoe vaker een leerling het schema succesvol inzet, hoe sterker het wordt en hoe groter de kans is dat hij het snel en op de juiste manier kan inzetten. Versterking van de schema's vereist lange perioden van training om volledige automatisering te bereiken (Palmeri, 1999). Denk aan het oefenen van de tafels van vermenigvuldiging. Het resultaat is dat leerlingen routinevaardigheden 'op de automatische piloot' kunnen uitvoeren.

Multimediale leerbronnen die insteken op schema-automatisering bieden mogelijkheden voor kenniscompilatie door middel van *procedurele informatie*. Voor het versterken van schema's kunnen leerlingen *deltaoefeningen* uitvoeren. Hieronder werken we beide uit.

### **Kenniscompilatie middels procedurele informatie**

Het doel van procedurele informatie is leerlingen kennis te laten opdoen die noodzakelijk is voor het uitvoeren van routinevaardigheden. Het gaat om 'hoe doe je dat'-instructies die vaak de vorm hebben van 'als ... dan'-regels. Verder gaat het om informatie die nodig is om deze instructies te begrijpen, vaak de definities van elementen uit deze instructies. Als leerlingen de spanning van een object in een

elektrische schakeling moeten meten met een voltmeter, kan de 'hoe doe je dat'-instructie bijvoorbeeld luiden: 'Schakel de voltmeter parallel met het object waarvan je de spanning wilt meten'. Noodzakelijke informatie die nodig is om deze instructie te begrijpen is de definitie van een voltmeter, bij voorkeur geïllustreerd met een plaatje ervan.

Traditionele leerbronnen voor procedurele informatie zijn de leraar, *job aids* en *learning aids*. De leraar geeft procedurele informatie wanneer hij meekijkt over de schouders van de leerlingen en aanwijzingen geeft bij het uitvoeren van de routinevaardigheden ('Nee, je moet dit instrument op deze manier vasthouden', 'Kijk, je moet nu deze optie selecteren'). *Job aids* en *learning aids* zijn bijvoorbeeld posters met veelgebruikte softwarecommando's die aan de muren van het computerlokaal hangen, de gebruiksaanwijzing die naast een machine ligt, of de handleiding met veiligheidsmaatregelen voor stagiaires bij een bedrijf.

Modernere leerbronnen die procedurele informatie kunnen presenteren zijn bijvoorbeeld apps op tablets en smartphones, *augmented reality*-omgevingen en online hulpsystemen. Dit soort leerbronnen presenteren de procedurele informatie uit zichzelf of op verzoek van de leerling. Een *augmented reality*-omgeving kan procedurele informatie geven als een leerling naar een bepaalde display of controlepanel in de echte omgeving kijkt. Een online hulpsysteem geeft advies precies op het moment dat de leerling dit nodig heeft tijdens het werken aan een leertaak.

Wat maakt multimediale procedurele informatie effectief?





### Just-in-time

Procedurele informatie die hoort bij een bepaalde vaardigheid moet actief zijn in het werkgeheugen

op het moment dat een leerling de vaardigheid uitvoert. Alleen dan kan kenniscompilatie optreden (van Merrienboer & Kirschner, 2013). De beste manier om dit te bewerkstelligen is door de procedurele informatie precies op het juiste moment (het *just-in-time-principe*) aan te bieden, ofwel op verzoek van een leerling ofwel sprake van een leraar die aanwijzingen geeft tijdens de taakuitvoering – denk aan de chirurg die de arts in opleiding tijdens een operatie op het juiste moment uitlegt hoe hij een instrument het beste gebruikt. *Augmented reality*-systemen die gebruik maken van sensoren, bijvoorbeeld GPS voor locatiebepaling, kunnen deze taak van de leraar gedeeltelijk overnemen (Ternier et al., 2012).

Om ervoor te zorgen dat de procedurele informatie in het werkgeheugen beschikbaar is tijdens de taakuitvoering, kan een leerling deze informatie ook van tevoren uit het hoofd leren. Mayer en Moreno (2003) noemen dit ook wel het *pretraining effect*. In een overzichtsartikel laten zij zien dat leerlingen betere resultaten behalen wanneer ze eerst leren uit welke componenten een bepaald systeem bestaat alvorens ze leren hoe het systeem werkt (Devolder et al., 2009).

### Versterking middels deeltaakoefeningen

Wie de tafels van vermenigvuldiging goed kent kan beter rekenen. Door bepaalde routinematige kennis en vaardigheden te oefenen verstevigen leerlingen hun basis, hun geautomatiseerde

schema's, waardoor ze in staat zijn de vaardigheden op termijn geheel geautomatiseerd uit te voeren. Multimediale leerbronnen die gericht zijn op vaardighedenontwikkeling in de vorm van deeltaakoefeningen, hebben dikwijls het karakter van op 'stampen' gericht computerondersteund onderwijs, al dan niet in de vorm van een app.

Wat maakt multimediale deeltaakoefeningen effectief?



### Inoefening

Iemand leert beter autorijden als hij apart leert schakelen. Het inoefenen van een routinevaardigheid als schakelen in een auto heeft positieve effecten op leren en het uitvoeren van de hele taak. Leerlingen leren 'op de automatische piloot' te schakelen. En dat gebeurt zonder bewuste verwerking en laat daarmee het werkgeheugen onbelast. Hierdoor komt er capaciteit vrij voor de niet-routinematige vaardigheden zoals probleemoplossen en redeneren (het inschatten van lastige verkeerssituaties). Uit onderzoek blijkt dat inoefening effectief is mits het gebeurt in de context van de hele taak (Carlson et al., 1989, 1990). Leerlingen hebben dus een relevante cognitieve context nodig om de routines te kunnen plaatsen. Dat blijkt ook uit een meta-analyse van Wickens en collega's (2013) die vonden dat inoefening effectief is wanneer het plaatsvindt ná kennismaking met de hele taak, maar niet als het plaatsvindt tijdens kennismaking met de hele taak.



**Samengevat:**

Kenmerkend voor effectieve multimediale leerbronnen is dat ze leerlingen aanzetten tot een diepe verwerking van het leermateriaal. Dat gebeurt middels twee complementaire processen die ervoor zorgen dat het werkgeheugen minder belast wordt: schemaconstructie en schema-automatisering. Er ontstaat expertise: de beschikking hebben over rijke en geavanceerde schema's, oftewel declaratieve en procedurele kennis.

Schemaconstructie houdt in dat leerlingen cognitieve schema's bouwen en uitbreiden. Dat gebeurt respectievelijk door middel van gevarieerde leertaken en ondersteunende informatie, op een manier die de voorkennis van de leerling activeert en de leerling aan het denken zet. In de informatie worden tekst

en beeld gecombineerd. Heeft de doelgroep weinig voorkennis dan werken statische plaatjes het beste. Heeft de doelgroep veel voorkennis dan werken dynamische visualisaties het beste.

Schema-automatisering treedt op als een leerling een schema herhaaldelijk en met succes toepast. Wat hiervoor nodig is, is kenniscompilatie en versterking. Multimediale leerbronnen die hierop insteken bieden respectievelijk procedurele informatie en deeltaakoefening. Procedurele informatie leert de leerling hoe hij routinevaardigheden uit moet voeren. Via deeltaakoefeningen oefent een leerling deze routinevaardigheden in, zodat hij deze 'op de automatische piloot' kan uitvoeren.



# AANSTURING DOOR:



GEDEELDE  
CONTROLE



ONTWIKKELINGS-  
PORTFOLIO

LERAAR

OF

COMPUTER

GEPERSONALISEERD

SYSTEM

OF

INTELLIGENTE TUTOR

LEERLING

# Hoe kunnen multimediale bronnen zelfsturend leren ondersteunen?

De voorgaande delen gingen over hoe multimediale leerbronnen effectief leren kunnen bevorderen. Effectief als in: hoe zorg je ervoor dat nieuwe informatie beklijft in het geheugen? Er zijn verschillende voorwaarden behandeld waaraan multimediale leerbronnen moeten voldoen om dit leerproces te ondersteunen. Dit deel gaat in op een ander aspect, namelijk de aansturing van dit leerproces. Die kan bij de leraar liggen, of bij een multimediale leeromgeving, maar hij kan ook in meerdere of mindere mate bij de leerling gelegd worden. In het hedendaagse onderwijs is veel aandacht voor zelfsturend leren. De vraag is hoe multimediale leerbronnen een bijdrage kunnen leveren aan de ontwikkeling van het zelfsturend vermogen van leerlingen. Om deze vraag te beantwoorden, ontleden we eerst het proces van zelfsturing.

## Zelfsturing

Zelfsturing houdt in dat een leerling de regie voert over zijn eigen leerproces. En zoals een filmregisseur de controle heeft over elke afzonderlijk scène en tegelijk de voortgang van de film in de gaten houdt, zo moet een leerling zich bewust zijn van hoe hij de afzonderlijke taken uitvoert (*zelfregulerend leren*: begrijp ik dit concept, moet ik bepaalde delen van de tekst over dit onderwerp nog eens bestuderen?) én hoe het complete leertraject verloopt (*zelfsturend leren*: maak ik voldoende voortgang, welke taken helpen me vooruit te

komen?). Beide processen reguleren en sturen het cognitieve systeem en maken er tegelijkertijd deel van uit (Veenman et al., 2006; Jossberger et al., 2010).

## Inzicht in de delen: zelfregulerend leren

Zelfregulerend leren kent drie fasen: de voorbereidingsfase, de uitvoeringsfase en de reflectiefase (Zimmerman, 2000, 2006). In de voorbereidingsfase oriënteert de leerling zich op de taak: hij analyseert de leertaak, stelt duidelijke doelen, maakt een plan en selecteert strategieën om zijn doelen te bereiken. Zo identificeert en vermijdt hij eventuele obstakels op weg naar het doel (Ertmer & Newby, 1996; Zimmerman, 2000, 2006).

In de uitvoeringsfase monitort de leerling de taakuitvoering en past deze zo nodig aan. In deze fase is hij zich steeds bewust van wat hij aan het doen is, wat hij van plan was, en welke stappen hij nog moet zetten om zijn doel te bereiken. Als de leerling erachter komt dat het proces anders verloopt dan verwacht past hij zijn plan aan. In de reflectiefase tot slot beoordeelt en evalueert de leerling de taakuitvoering. Hij bekijkt de effectiviteit en efficiëntie van zijn plan en van de gebruikte strategieën (Ertmer & Newby, 1996; Zimmerman, 2000, 2006). Deze procesevaluatie stelt de leerling in staat te leren van zijn ervaringen. De inzichten die hieruit voortvloeien kan hij gebruiken in toekomstige leersituaties (Ertmer & Newby, 1996; Fowler, 2008).

## Inzicht in het geheel: zelfsturend leren

Bij zelfsturend leren neemt en krijgt de leerling de verantwoordelijkheid voor zijn leertraject op de lange termijn. Dat betekent: hij bepaalt zijn leerbehoefte en stelt daarbij leerdoelen, hij identificeert leerbronnen, kiest en gebruikt leerstrategieën en evalueert tot slot zijn leeruitkomsten (Knowles, 1975). Dit doet de leerling met of zonder de hulp van anderen en op basis van de procesevaluatie die onderdeel is van zelfregulerend leren. Zelfsturend leren is dus veelomvattend en begint met eigen verantwoordelijkheid: de leerling moet de controle over zijn leerproces willen en kunnen nemen (Brockett, 2006; Brockett & Hiemstra, 1991; Van Hout-Wolters et al., 2000).

## Hoe kunnen multimediale leerbronnen zelfsturing ondersteunen?

Zelfsturing vraagt nogal wat van een leerling: hij moet als het ware boven de stof staan om te overzien wat er goed gaat en wat er beter kan om zijn leerdoel te kunnen bereiken. Daarvoor moet hij zichzelf kunnen beoordelen én de controle hebben over het leerproces. Leerlingen kunnen zichzelf bijvoorbeeld beoordelen door te werken met een *elektronisch portfolio*. Hun eigen leerproces controleren kunnen leerlingen leren door geleidelijk meer verantwoordelijkheid hiervoor op zich te nemen. Van leraar of systeem verschuift de controle via *gedeelde controle* richting de leerling.



### Elektronisch ontwikkelingsportfolio

Elektronische ontwikkelportfolios ondersteunen leerlingen en leraren

bij het beoordelen van de taakuitvoering en het selecteren van geschikte leertaken. Ze administreren de voortgang van een leerling, maken overzichten en samenvattingen, detecteren discrepanties tussen verschillende beoordelaars en geven verticale (dat wil zeggen: op algemene prestatie) en horizontale (prestatie op onderdelen) beoordelingen (Kicken et al., 2009a, 2009b; Van Merriënboer & Van der Vleuten, 2012). Dat gaat via scoringsrubrieken die zich niet beperken tot een kwantitatieve waardering van een bepaalde prestatie, maar ook kunnen bestaan uit reflecties, rapportages, gesproken boodschappen, foto's, en videofragmenten. Het is aan te bevelen dat een ontwikkelingsportfolio gedurende de hele opleiding dezelfde scoringsrubrieken en standaarden hanteert. Hierdoor is de leerling van meet af aan op de hoogte van alle relevante standaarden voor zijn taakuitvoering. Een leerling die werkt met een elektronisch ontwikkelingsportfolio leert dus zijn eigen prestaties op bepaalde taken te beoordelen. Die beoordeling bespreekt hij vervolgens met de leraar. In deze gesprekken reflecteren zij samen op de voortgang en beslissen zij met welk doel en welke taak verder te gaan. Zo doet de leerling ervaring op met zelfsturing.



### Gedeelde controle

Als een leerling zelfsturend leert, betekent dit dat hij zelf de controle uitoefent over de instructie en het leermateriaal, en zo een voor hem optimaal leertraject kan vaststellen. Om meer controle bij de leerling te leggen, is het beter om deze niet in één keer over te geven maar geleidelijk te verplaatsen naar de leerling.

De controle over instructie en leermateriaal ligt meestal bij de leraar. Een multimediale leeromgeving, zoals een gepersonaliseerd systeem of een intelligent tutorsysteem, kan deze rol van de leraar als beoordelaar en verstrekker van nieuwe leertaken overnemen. Zo'n systeem kan daarbij leertaken dynamisch selecteren op basis van leerlingkarakteristieken, zoals accuratesse, snelheid en geleverde mentale

inspanning bij een eerdere taak (Camp et al., 2001; Kalyuga & Sweller, 2005; Salden et al., 2004; Van Merriënboer & Luursema, 1996) en taakkenmerken, zoals moeilijkheidsgraad en ondersteuning. Recente studies laten zien dat dergelijke omgevingen betere leeruitkomsten genereren dan die waarin iedere leerling dezelfde leertaak krijgt in dezelfde volgorde (Corbalan et al., 2008; Salden et al., 2006).

**Figuur 1:** Verhouding tussen zelfregulerend leren en zelfsturend leren. Beide processen spelen zich op verschillende niveaus af en vullen elkaar aan (Brand-Gruwel et al., 2014).



De controle kan dus zowel beginnen bij de docent als bij een gepersonaliseerd systeem en van daaruit overgedragen worden aan de leerling. Dat werkt het beste via *gedeelde controle*. Daarbij maakt de leraar of het systeem op basis van voorafgaande prestaties een voorselectie van geschikte taken, en is het de leerling die de uiteindelijke keuze maakt (Corbalan et al., 2011). Een typische verschuiving zou er zo uit kunnen zien: eerst krijgen leerlingen gepersonaliseerde leertaken toebedeeld, vervolgens kiezen ze zelf – met behulp van een taakselectie-advies – leertaken uit een set van gepersonaliseerde leertaken en tot slot kiezen ze geheel zelfstandig een geschikte leertaak.

De leerling ontwikkelt zo zelfbeoordelings- en taakselectievaardigheden (van Merriënboer & Kirschner, 2013) en verwerft daarmee vaardigheden op het vlak van zelfregulerend en zelfsturend leren (Corbalan et al., 2008). De docent of het systeem ondersteunt en begeleidt de leerling gedurende dit verschuivingsproces, waarbij het zaak is deze steun tijdig te laten afnemen (Taminiau, 2013). Ondersteuning en begeleiding is namelijk redundant (ofwel: ineffectief) op het moment dat een student een taak zelfstandig kan uitvoeren (zie het redundantieprincipe op pagina 20).

#### **Samengevat:**

In het hedendaags onderwijs is veel aandacht voor vaardigheden op het vlak van zelfregulerend en zelfsturend leren. Zelfregulerend leren speelt zich af op het microniveau van taakuitvoering, zelfsturend leren speelt zich af op het macroniveau van taaksequenties. De uitkomsten van het zelfregulerend leerproces ('hoe heb ik deze taak volbracht') bieden aanknopingspunten voor het zelfsturend leerproces ('wat heb ik nodig om verder te komen op mijn leertraject').

Multimediale leerbronnen die zelfsturing ondersteunen stellen leerlingen in staat controle uit te oefenen over instructie en leermateriaal.

Met elektronische ontwikkelportfolio's doen leerlingen ervaringen op met vaardigheden voor zelfsturend en zelfregulerend leren. Effectief zijn leeromgevingen die de aansturing geleidelijk verplaatsen van controle door de leraar/het systeem via gedeelde controle naar controle door de leerling.



## Liesbeth Kester

Auteur

liesbeth.kester@ou.nl

Liesbeth Kester is bijzonder hoogleraar Multimediale Educatie bij de Open Universiteit. Haar Veringa-leerstoel wordt gefinancierd door de Stichting ter Bevordering van het Afstands-onderwijs, in samenwerking met de NTR. Haar onderzoek is gericht op effectieve leerarrangementen voor videogebaseerde lessen.



## Jeroen van Merriënboer

Auteur

j.vanmerrienboer@  
maastrichtuniversity.nl

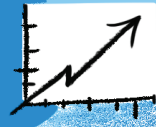
Jeroen van Merriënboer is hoogleraar Leren en Instructie en programmadirecteur onderwijsonderzoek en onderwijsontwikkeling bij Universiteit Maastricht. Hij is auteur van het bekroonde boek *The four-component instructional design model. Training complex cognitive skills*, waarvan recentelijk een laatste versie is verschenen: *Ten steps to complex learning*.



EFFECTIEF  
VERWERKEN  
VAN MULTIMEDI@



EFFECTIEF  
LEREN  
met MULTIMEDI@



SCHEMA  
CONSTRUCTIE



SCHEMA  
AUTOMATISERING



BOUWEN

UITBREIDEN

KENNIS  
COMPILEREN

VERSTERKEN

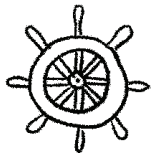
LEERTAKEN

ONDERSTEUNENDE  
INFO

PROCEDURELE  
INFO

DEELTAAK-  
OEFENING

AANSTURING DOOR:



LEERAAR

COMPUTER

LEERLING

# Wat we weten over effectief leren van multimediale leerbronnen

- Om informatie effectief te kunnen verwerken en duurzaam op te slaan moet deze op een manier aangeboden worden die aansluit bij de werking van het geheugen.
- Effectieve multimediale leerbronnen zorgen er dus voor dat het werkgeheugen niet overbelast raakt, door (a) de aandacht van de leerling te richten, (b) de complexiteit van het materiaal te verkleinen, (c) ondersteuning te bieden, (d) irrelevante informatie weg te houden en (e) een beroep te doen op zowel het visuele als het auditieve systeem.
- Effectieve multimediale leerbronnen stellen leerlingen vervolgens in staat het leermateriaal diep te verwerken. Dit houdt in dat de leerling (kennis)schema's (re)construeert en automatiseert. Multimediale leerbronnen bevorderen dit met respectievelijk gevarieerde leertaken en ondersteunende informatie, en procedurele informatie en deeltaak-oefeningen.
- De aansturing van deze leerprocessen ligt vaak bij de leraar of bij het gepersonaliseerde systeem. Om meer controle bij de leerling te leggen (zelfsturend leren) kan deze het beste geleidelijk worden overgedragen, via gedeelde controle en het gebruik van elektronische ontwikkelportfolio's.

## Meer weten?

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

Anderson, R.C., Pichert, J.W. & Shirey, L.L. (1983). Effects of the reader's schema at different points in time. *Journal of Educational Psychology, 75*, 271-279.

Atkinson, R.K., Derry, S.J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research, 70*, 181-214.

Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K.W. Spence & J.T.I. Spence, *The psychology of learning and motivation* (deel 2, pp. 89-195). New York, NY: Academic Press.

Ayres, P. (2006). Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in a mathematical domain. *Applied Cognitive Psychology, 20*, 287-298.

Baddeley, A.D. (1992). Working memory. *Science, 255*, 556-559.

Baddeley, A.D. (1997). *Human memory: Theory and practice* (Red.). Hove, Verenigd Koninkrijk: Psychology Press.

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, 37*, 345-363.

Boucheix, J.M., Lowe, R.K., Kemala-Putri, D. & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction, 25*, 71-84.

Brand-Gruwel, S., Kester, L., Kicken, W. & Kirschner, P.A. (2014). Learning Ability Development in Flexible Learning Environments. In J.M. Spector, D.M. Merrill, J. Elen & M.J. Bishop (Red.),

*Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. \*\*). New York, NY: Springer.

Brockett, R.G. (2006). Self-directed learning and the paradox of choice. *International Journal of Self-directed Learning*, 3(2), 27-33.

Brockett, R.G. & Hiemstra, R. (1991). *Self-direction in adult learning: Perspectives on theory, research, and practice*. Londen, Verenigd Koninkrijk: Routledge.

Camp, G., Paas, F., Rikers, R. & Merriënboer, J.J.G. van (2001). Dynamic problem selection in air traffic control training: A comparison between performance, mental effort and mental efficiency. *Computers in Human Behavior*, 17, 575-595.

Carlson, R.A., Khoo, H. & Elliot, R.G. (1990). Component practice and exposure to a problem-solving context. *Human Factors*, 32, 267-286.

Carlson, R.A., Sullivan, M.A. & Schneider, W. (1989). Component fluency in a problem solving context. *Human Factors*, 31, 489-502.

Carroll, J.M. (2000). *Making use: Scenario-based design of human-computer interactions*. Cambridge, MA: MIT Press.

Cho, Y.H. & Jonassen, D.H. (2012). Learning by self-explaining causal diagrams in high-school biology. *Asia Pacific Education Review*, 13(1), 171-184.

Clarke, T., Ayres, P. & Sweller, J. (2005). The impact of sequencing and prior knowledge on learning mathematics through spreadsheet applications. *Educational Technology, Research and Development*, 53, 15-24.

Corbalan, G., Kester, L. & Merriënboer, J.J.G. van (2008). Selecting learning tasks: Effects of adaptation and shared control on efficiency and task involvement. *Contemporary Educational Psychology*, 33, 733-756.

Corbalan, G., Kester, L. & Merriënboer, J.J.G. van (2009). Combining shared control with variability over surface features: Effects on transfer test performance and task involvement. *Computers in Human Behavior*, 25, 290-298.

Corbalan, G., Kester, L. & Merriënboer, J.J.G. van (2011). Learner-controlled selection of tasks with different surface and structural features: Effects on transfer and efficiency. *Computers in Human Behavior*, 27, 76-81.

Corradi, D., Elen, J. & Clarebout, G. (2012). Understanding and enhancing the use of multiple representations in chemistry education. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 780-795.

Cowan, N. (1997). *Attention and memory: An integrated framework*. Oxford, Verenigd Koninkrijk: Oxford University Press.

Croock, M.B.M. de & Merriënboer, J.J.G. van (2007). Paradoxical effects of information presentation formats and contextual interference on transfer of a complex cognitive skill. *Computers in Human Behavior*, 23, 1740-1761.

Croock, M.B.M. de, Merriënboer, J.J.G. van & Paas, F. (1998). High versus low contextual interference in simulation-based training of troubleshooting skills: Effects on transfer performance and invested mental effort. *Computers in Human Behavior*, 14, 249-267.

Devolder, P., Pynoo, B., Voet, T., Adang, L., Vercruysse, J. & Duyck, P. (2009). Optimizing physicians' instruction of PACS through e-learning: Cognitive load theory applied. *Journal of Digital Imaging*, 22(1), 25-33.

Dufresne, R.J., Gerace, W.J., Thibodeau-Hardiman, P. & Mestre, J.P. (1992). Constraining novices to perform expertlike problem analyses: Effects on schema acquisition. *The Journal of the Learning Sciences*, 2, 307-331.

Ertmer, P.A. & Newby, T.J. (1996). The expert learner: Strategic, self-regulated, and reflective. *Instructional Science*, 24, 1-24.

Fowler, J. (2008). Experiential learning and its facilitation. *Nurse Education Today*, 28, 427-433.

Fulgham, S.M. (2008). *The effects of varying levels of support through worked examples on achievement in software application training* (masterscriptie, Texas Tech University, Verenigde Staten).

Genuchten, E. van, Scheiter, K. & Schüler, A. (2012). Examining learning from text and pictures for different task types: Does the multimedia effect differ for conceptual, causal, and procedural tasks? *Computers in Human Behavior*, 28, 2209-2218.

Ginns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning and Instruction*, 4, 313-331.

Ginns, P. (2006). Integrating information: A meta-analysis of the spatial contiguity and temporal contiguity effects. *Learning and Instruction*, 16, 511-525.

Goetz, E.T., Schallert, D.L., Reynolds, R.E. & Radin, D.I. (1983). Reading in perspective: What real cops and pretend burglars look for in a story. *Journal of Educational Psychology*, 75, 500-510.

Gog, T. van, Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P. & Paas, F. (2009). Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behavior*, 25, 785-791.

Grave, W.S. de, Schmidt, H.G. & Boshuizen, H.P.A. (2001). Effects of problem-based discussion on studying a subsequent text: A randomized trial among first year medical students. *Instructional Science*, 29, 33-44.

Gulikers, J.T.M., Bastiaens, Th.J. & Martens, R.L. (2005). The surplus value of an authentic learning environment. *Computers in Human Behavior*, 21, 509-521.

Gurlitt, J., Dummel, S., Schuster, S. & Nückles, M. (2012). Differently structured advance organizers lead to different initial schemata and learning outcomes. *Instructional Science*, 40, 351-369.

Gurlitt, J. & Renkl, A. (2008). Are high-coherent concept maps better for prior knowledge activation? Differential effects of concept mapping tasks on high school vs. university students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24, 407-419.

Gurlitt, J., Renkl, A., Motes, M. & Hauser, S. (2006). How can we use concept maps for prior knowledge activation – different mapping-tasks lead to different cognitive processes. In S.A. Barab, K.E. Hay & D.T. Hickey (Red.), *Proceedings of the 7th International Conference of the Learning Sciences* (pp. 217-221). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Hassanabadi, H., Robotjazi, E.S. & Savoji, A.P. (2011). Cognitive consequences of segmentation and modality methods in learning from instructional animations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 30, 1481-1487.

Hatsidimitris, G. & Kalyuga, S. (2013). Guided self-management of transient information in animations through pacing and sequencing strategies. *Educational Technology Research and Development*, 61(1), 91-105.

Helsdingen, A.S., Van Gog, T. & Merriënboer, J.J.G. van (2011a). The effects of practice schedule on learning a complex judgment task. *Learning and Instruction*, 21, 126-136.

Helsdingen, A.S., Gog, T. van & Merriënboer, J.J.G. van (2011b). The effects of practice schedule and critical thinking prompts on learning and transfer of a complex judgment task. *Journal of Educational Psychology*, 103, 383-398.

Höffler, T.N. & Schwartz, R. (2011). Effects of pacing and cognitive style across dynamic and non-dynamic representations. *Computers and Education*, 57, 1716-1726.



Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E. & Thagard, P.R. (Eds.) (1989). *Induction: Processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.

Hout-Wolters, B.H.A.M. van, Simons, P.R.J. & Volet, S.E. (2000). Active learning: Self-directed learning and independent work. In P.R.J. Simons, J. van der Linden & T. Duffy (Eds.), *New Learning* (pp. 21-36). Dordrecht: Kluwer.

Imhof, B., Scheiter, K., Edelmann, J. & Gerjets, P. (2012). How temporal and spatial aspects of presenting visualizations affect learning about locomotion patterns. *Learning and Instruction, 22*, 193-205.

Jarodzka, H., Gog, T. van, Dorr, M., Scheiter, K. & Gerjets, P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction, 25*, 62-70.

Johnson, C.I. & Mayer, R.E. (2010). Adding the self-explanation principle to multimedia learning in a computer-based game-like environment. *Computers in Human Behavior, 26*, 1246-1252.

Johnson, C.I. & Mayer, R.E. (2012). An eye movement analysis of the spatial contiguity effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 18*, 178-191.

Jossberger, H., Brand-Gruwel, S. & Wiel, M. van de & Boshuizen, H.P.A. (2010). The Challenge of Self-Directed and Self-Regulated Learning in Vocational Education: A Theoretical Analysis and Synthesis of Requirements. *Journal of Vocational Education & Training, 62*, 415-440.

Kalyuga, S. (2008). Relative effectiveness of animated and static diagrams: An effect of learner prior knowledge. *Computers in Human Behavior, 24*, 852-861.

Kalyuga, S. & Sweller, J. (2005). Rapid dynamic assessment of expertise to improve the efficiency of adaptive e-learning. *Educational Technology, Research and Development, 53*, 83-93.

Khacharem, A., Spanjers, I., Zoudji, B., Kalyuga, S. & Ripoll, H. (2012). Using segmentation to support the learning from animated soccer scenes: An effect of prior knowledge. *Psychology of Sport and Exercise*, 14, 154-160.

Kicken, W., Brand-Gruwel, S., Merriënboer, J.J.G. van & Slot, W. (2009a). Design and evaluation of a development portfolio: How to improve students' self-directed learning skills. *Instructional Science*, 37, 453-473.

Kicken, W., Brand-Gruwel, S., Merriënboer, J. J.G. van & Slot, W. (2009b). The effects of portfolio-based advice on the development of self-directed learning skills in secondary vocational education. *Educational Technology, Research and Development*, 57, 439-460.

Kirschner, F., Paas, F. & Kirschner, P.A. (2009). Individual and group-based learning from complex cognitive tasks: Effects on retention and transfer efficiency. *Computers in Human Behavior*, 25, 306-314.

Kirschner, F., Paas, F., Kirschner, P.A. & Janssen, J. (2011). Differential effects of problem-solving demands on individual and collaborative learning outcomes. *Learning and Instruction*, 21, 587-599.

Knowles, M.S. (1975). *Self-directed learning*. Chicago, IL: Follett publishing company.

Kühl, T., Scheiter, K., Gerjets, P. & Edelman, J. (2011). The influence of text modality on learning with static and dynamic visualizations. *Computers in Human Behavior*, 27, 29-35.

Leahy, W., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). When auditory presentations should and should not be a component of multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 17, 401-418.

Lee, C.H. & Kalyuga, S. (2011). Effectiveness of on-screen pinyin in learning Chinese: An expertise reversal for multimedia redundancy effect. *Computers in Human Behavior*, 27, 11-15.

Leppink, J., Broers, N.J., Imbos, T., Vleuten, C.P.M. van der & Berger, M.P.F. (2012). Self-explanation in the domain of statistics: An expertise reversal effect. *Higher Education*, 63, 771-785.

Limniou, M. & Whitehead, C. (2010). Online general pre-laboratory training course for facilitating first year chemical laboratory use. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 5, 39-55.

Liu, T.C., Lin, Y.C., Tsai, M.J. & Paas, F. (2012). Split-attention and redundancy effects on mobile learning in physical environments. *Computers and Education*, 56, 172-181.

Machiels-Bongaerts, M., Schmidt, H.G. & Boshuizen, H.P.A. (1993). Effects of mobilizing prior knowledge on information processing: Studies of free recall and allocation of study time. *British Journal of Psychology*, 84, 481-498.

Machiels-Bongaerts, M., Schmidt, H.G. & Boshuizen, H.P.A. (1995). The effect of prior knowledge activation on text recall: An investigation of two conflicting hypotheses. *British Journal of Educational Psychology*, 65, 409-423.

Mautone, P.D. & Mayer, R.E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 93, 377-389.

Mayer, R.E. (2009). *Multimedia learning* (tweede editie). New York, NY: Cambridge University Press.

Mayer, R.E. & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Experimental Psychology*, 93, 390-397.

Mayer, R.E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 43-52.

Mayer, R.E., Mathias, A. & Wetzell, K. (2002). Fostering understanding of multimedia messages through pre-training: Evidence for a two-stage

theory of mental model construction. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8, 147-154.

Merriënboer, J.J.G. van (1990). Strategies for programming instruction in high school: Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, 6, 265-285.

Merriënboer, J.J.G. van & Croock, M.B.M. de (1992). Strategies for computer-based programming instruction: Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, 8, 365-394.

Merriënboer, J.J.G. van & Kirschner, P.A. (2013). *Ten steps to complex learning* (tweede herziene uitgave). New York, NY: Routledge.

Merriënboer, J.J.G. van & Luursema, J.J. (1996). Implementing instructional models in computer-based learning environments: A case study in problem selection. In T.T. Liao (Red.), *Advanced educational technology: Research issues and future potential* (pp. 184-206). Berlijn, Duitsland: Springer Verlag.

Merriënboer, J.J.G. van, Schuurman, J.G., de Croock, M.B.M. & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12, 11-37.

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.

Merriënboer, J.J.G. van & Vleuten, C.P. van der (2012). Technology-based assessment in the integrated curriculum. In M.C. Mayrath, J. Clarke-Midura, D.H. Robinson & G. Schraw (Red.), *Technology-based assessments for 21st century skills* (pp. 245-370). Greenwich, CT: Information Age Publishing.

Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97.

Moussa-Inaty, J., Ayres, P.L. & Sweller, J. (2012). Improving listening skills in English as a foreign language by reading rather than listening: A cognitive load perspective. *Applied Cognitive Psychology*, 26, 391-402.

Musallam, R. (2010). *The effects of using screencasting as a multimedia pre-training tool to manage the intrinsic cognitive load of chemical equilibrium instruction for advanced high school chemistry students* (masterscriptie, University of San Francisco, Verenigde Staten).

Nokes, T.J., Hausmann, R.G.M., VanLehn, K. & Gershman, S. (2011). Testing the instructional fit hypothesis: The case of self-explanation prompts. *Instructional Science*, 39, 645-666.

Olina, Z., Reiser, R.A., Huang, X., Lim, J. & Park, S. (2006). Problem format and presentation sequence: Effects on learning and mental effort among US high school students. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 299-309.

Paas, F. & Merriënboer, J.J.G. van (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.

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

Palmeri, T.J. (1999). Theories of automaticity and the power law of practice. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 543-551.

Perkins, D.N. & Salomon, G. (1989). Are cognitive skills context-bound? *Educational Researcher*, 18, 16-25.

Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61-86.

Quilici, J.L. & Mayer, R.E. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, 88, 144-161.

Rasch, T. & Schnotz, W. (2009). Interactive and non-interactive pictures in multimedia learning environments: Effects on learning outcomes and learning efficiency. *Learning and Instruction, 19*, 411-422.

Renkl, A. (1999). Learning mathematics from worked-out examples: Analyzing and fostering self-explanations. *European Journal of Psychology of Education, 14*, 477-488.

Renkl, A., Atkinson, R.K. & Grosse, C.S. (2004). How fading worked solution steps works – A cognitive load perspective. *Instructional Science, 32*, 59-82.

Rey, G.D. (2012). A review of research and a meta-analysis of the seductive details effect. *Educational Research Review, 7*, 216-237.

Roelle, J. & Berthold, K. (in druk). The expertise reversal effect in prompting focused processing of instructional explanations. *Instructional Science*. DOI 10.1007/s11251-012-9247-0

Salden, R.J.C.M., Paas, F. & Merriënboer, J.J.G. van (2006). A comparison of approaches to learning task selection in the training of complex cognitive skills. *Computers in Human Behavior, 22*, 321-333.

Salden, R.J.C.M., Paas, F., Broers, N.J. & Merriënboer, J.J.G. van (2004). Mental effort and performance as determinants for the dynamic selection of learning tasks in air traffic control training. *Instructional Science, 32*, 153-172.

Scheiter, K., Gerjets, P., Huk, T., Imhof, B. & Kammerer, Y. (2009). The effects of realism in learning with dynamic visualizations. *Learning and Instruction, 19*, 481-494.

Schmidt, H.G., Volder, M.L. de, Grave, W.S. de, Moust, J.H.C. & Patel, V.L. (1989). Explanatory models in the processing of science text: The role of prior knowledge activation through small-group discussion. *Journal of Educational Psychology, 81*, 610-619.

Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A. & Glowalla, U. (2010). A closer look at split visual attention in system- and self-paced instruction in multimedia learning. *Learning and Instruction, 20*, 100-110.

Schnotz, W. & Rasch, T. (2005). Enabling, facilitating, and inhibiting effects of animations in multimedia learning: Why reduction of cognitive load can have negative results on learning. *Educational Technology, Research and Development, 53*, 47-58.

Seufert, T., Schütze, M. & Brünken, R. (2009). Memory characteristics and modality in multimedia learning: An aptitude-treatment-interaction study. *Learning and Instruction, 19*, 28-42.

Spanjers, I.A.E., Gog, T. van, Wouters, P. & Merriënboer, J.J.G. van (2012). Explaining the segmentation effect in learning from animations: The role of pausing and temporal cueing. *Computers and Education, 59*, 274-280.

Spanjers, I.A.E., Wouters, P. Gog, T. van & Merriënboer, J.J.G. van (2011). An expertise reversal effect of segmentation in learning from animated worked-out examples. *Computers in Human Behavior, 27*, 46-52.

Sung, E. & Mayer, R.E. (2012). Affective impact of navigational and signaling aids to e-learning. *Computers in Human Behavior, 28*, 473-483.

Sweller, 1988: Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science, 12*(2): 257-285.

Sweller, J., Merriënboer, J.J.G. van & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*, 251-296.

Tabbers, H.K. (2002). *The modality of text in multimedia instructions. Refining the design guidelines* (masterscriptie, Open Universiteit).

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*(1), 71-82.



Taminiau, E.M.C. (2013). *Advisory models for on-demand learning* (masterscriptie, Open Universiteit).

Ternier, S., De Vries, F., Börner, D. & Specht, M. (2012). Mobile augmented reality with audio, supporting fieldwork of Cultural Sciences students in Florence. In G. Eleftherakis, M. Hinchey & M. Holcombe (Red.), *Software Engineering and Formal Methods - Proceedings of 10th International Conference, SEFM 2012* (pp. 367-379). Heidelberg, Duitsland/Dordrecht: Springer.

Veenman, M.V.J., Van Hout-Wolter, B.H.A.M. & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition & Learning*, 1, 3-14.

Westelinck, K. de, Valcke, M., Craene, B. de & Kirschner, P. (2005). The cognitive theory of multimedia learning in the social sciences knowledge domain: Limitations of external graphical representations. *Computers in Human Behavior*, 21, 555-573.

Wetzels, S. (2009). *Individualised strategies for prior knowledge activation* (masterscriptie, Open Universteit).

Wickens, C.D., Hutchins, S., Carolan, T. & Cumming, J. (2013). Part task training and increasing difficulty training strategies: A meta-analysis approach. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 55, 461-470.

Willoughby, T., Wood, E., Desmarais, S., Sims, S. & Kalra, M. (1997). Mechanisms that facilitate the effectiveness of elaboration strategies. *Journal of Educational Psychology*, 89, 682-685.

Yeh, Y.F., Chen, M.C., Hung, P.H. & Hwang, G.J. (2010). Optimal self-explanation prompt design in dynamic multi-representational learning environments. *Computers and Education*, 54, 1089-1100.

Zimmerman, B.J. (2000). Attaining self-regulation. A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich & M. Zeidner (Red.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13-39). San Diego, CA: Academic Press.

Zimmerman, B.J. (2006). Development and adaptation of expertise: The role of self-regulatory processes and beliefs. In K.A. Ericsson, N. Charness, P.J. Feltovich & R.R. Hoffman (Red.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 683-703). New York, NY: Cambridge University Press.