

Hypermedialeren: de invloed van instructieontwerp, leerlingkenmerken en ondersteuning

M. Opfermann, K. Scheiter en P. Gerjets

Samenvatting

Hypermedialeeromgevingen worden gekenmerkt door een hoge mate van leerlingcontrole. Aan de ene kant kan deze leerlingcontrole zorgen voor meer interesse en motivatie bij de leerlingen, wordt het makkelijker om adaptieve instructie te geven, en kan het de mogelijkheid geven om informatie actief en constructief te verwerken door de leerling de keus te geven om verschillende inhoud en verschillende representaties in verschillende volgordes te bekijken. Aan de andere kant kunnen leerlingen gemakkelijker overdonderd worden en gedesoriënteerd raken door de vele keuzes die ze hebben. Dit artikel geeft een overzicht van vier studies die de invloed onderzochten van instructieontwerp en individuele leerlingkenmerken op deze trade-off tussen voor- en nadelen van hypermedialeren. Een uitgebreide versie van de cognitievebelastingstheorie die aangepast is aan de specifieke kenmerken van leerlinggecontroleerde instructie heeft als raamwerk gediend om de studies uit te voeren. De studies laten het volgende zien: 1) instructieontwerpprincipes die afgeleid zijn van multimedialetheorieën zijn niet zomaar geschikt voor het ontwerp van hypermedialeeromgevingen, 2) een hoge mate van leerlingcontrole in vergelijking met een lage mate leidt slechts mondjesmaat tot betere leerprestaties met langere leertijden tot gevolg, 3) individuele leerlingkenmerken zoals epistemologische opvattingen en attitudes ten aanzien van het domein, hebben invloed op het wel of niet baat hebben bij hypermedialeren, en 4) ondersteuning kan zelfs nadelig zijn als het leerlingen overweldigt of wanneer het interfereert met reeds bestaande (metacognitieve) vaardigheden.

1 Inleiding

In hypermedialeeromgevingen kunnen leerlingen op een flexibele manier informatie op-

vragen in verschillende representatievormen (bijv. geschreven en gesproken tekst, video's, animaties en geluiden). Deze controle van de leerling kan zorgen voor meer interesse en motivatie bij de leerlingen, het kan het makkelijker maken om adaptieve instructie te geven, en het kan de mogelijkheid geven om informatie actief en constructief te verwerken door de leerling de keus te geven om verschillende inhoud en verschillende representaties in verschillende volgordes te bekijken (Scheiter & Gerjets, 2007). Toch hebben uitgebreide reviewstudies die naar de effectiviteit van leerlinggecontroleerde hypermedia gekeken hebben deze voordelen niet empirisch kunnen bevestigen (Dillon & Gabbard, 1998). Hoewel de effectiviteit deels vergroot kan worden door sommige met hypermedialeeromgevingen geassocieerde gebruikersproblemen op te lossen, blijft een hoge variatie in leerprestaties bestaan. Dit komt doordat leeruitkomsten in leerlinggecontroleerde instructie niet alleen afhangen van het ontwerp van de leeromgeving, maar ook van individuele leerlingkenmerken zoals de motivatie van de leerlingen of hun voorkennis.

Gerjets en Hesse (2004) hebben een raamwerk ontwikkeld om de interactie tussen instructieontwerp en leerlingkenmerken te analyseren. Ze hebben de cognitievebelastingstheorie (CLT; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) aangepast aan de specifieke eigenschappen van leerlinggecontroleerde instructie. In de CLT gaat men er vanuit dat er een één-op-één relatie is tussen het instructieontwerp en de cognitieve belasting die wordt veroorzaakt door dat ontwerp. Dit betekent dat een slecht ontwerp verondersteld wordt cognitieve processen op te roepen die niet effectief zijn (bijv. visueel zoeken) en die leiden tot ineffektieve belasting (*extraneous load*) wat interfereert met leren, terwijl een goed instructieontwerp tot effectieve cognitieve processen kan leiden (bijv. elaboraties) wat effectieve belasting (*germane load*) op-

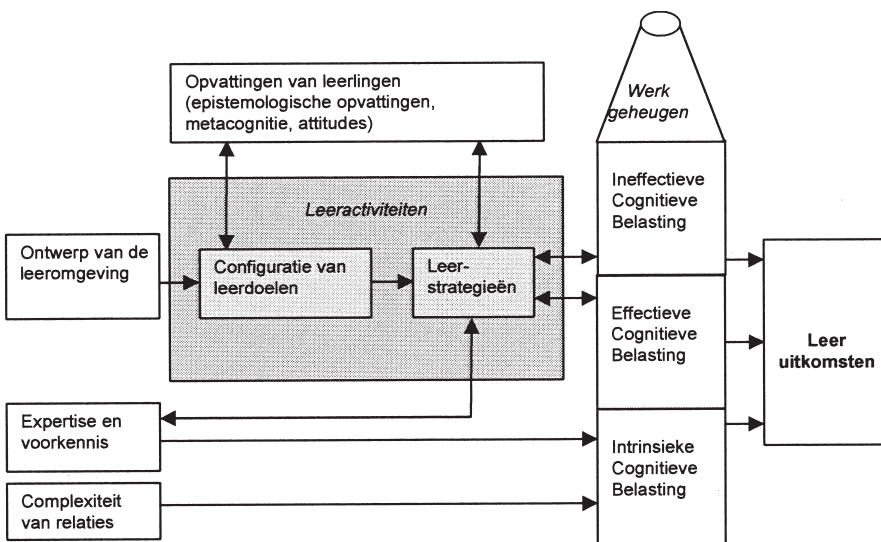
levert die geassocieerd wordt met schema-constructie (Sweller et al., 1998). Naast voorkennis of expertise wordt geen rekening gehouden met andere modererende variabelen in deze oorzakelijke verklaring van leeruitkomsten.

In hun aanpassing van de CLT stellen Gerjets en Hesse (2004) dat, wanneer er sprake is van leerlingcontrole, de relatie tussen instructieontwerp en cognitieve belasting minder bepalend wordt, omdat het gemodereerd wordt door leerlingactiviteiten door gebruik te maken van de informatie die leerlingen aangeboden krijgen, wat vervolgens weer afhangt van individuele leerlingkenmerken (Figuur 1). Dit betekent dat ineffektieve en effectieve cognitieve belasting en dus prestatie niet direct en alleen afhangen van het instructieontwerp, maar dat ze worden verondersteld te worden bepaald door leeractiviteiten waaronder de doelen van de leerlingen en hun strategieën vallen. Deze leeractiviteiten worden op hun beurt beïnvloed aan de ene kant door het instructieontwerp van de leeromgeving en aan de andere kant door leerlingkenmerken, die verder onderverdeeld kunnen worden in expertise van de leerlingen (voorkennis) en hun denkbeelden zoals epistemologische opvattingen, attitudes en metacognitieve variabelen. Samengevat, de doelen die een leerling zichzelf stelt en de strate-

gieën die hij of zij laat zien in een bepaalde leeromgeving hangen af van de leeromgeving zelf (bijv. de combinatie van representatievormen of de mate van leerlingcontrole), de voorkennis en ervaring die de leerling bezit, en de attitude van de leerling ten aanzien van leren, zijn of haar opvattingen over wat leren is in het algemeen en specifiek in het domein dat geleerd moet worden, en zijn of haar metacognitieve vaardigheden.

Op basis van deze uitgebreide versie van de CLT zijn vier onderzoeksvragen geformuleerd. Vraag 1 gaat over het ontwerp van hypermediale leeromgevingen, vraag 3 gaat over de rol van de individuele leerlingkenmerken en vraag 2 en 4 gaan over de interactie tussen deze twee factoren.

- 1) Studie 1: Kunnen multimedia ontwerp-principes gebruikt worden voor hypermedia ontwerp?
- 2) Studie 2: Welk niveau van leerlingcontrole is het meest geschikt voor leerlingen met verschillende niveaus van voorkennis?
- 3) Studie 3: Welke invloed hebben leerlingkenmerken naast voorkennis op leren met hypermedia?
- 4) Studie 4: Hoe kan leren met hypermedia verbeterd worden door metacognitieve ondersteuning en hoe interacteert deze ondersteuning met de vereiste metacognitieve vaardigheden?



Figuur 1. Leeractiviteiten en opvattingen van leerlingen als modererende variabelen tussen instructieontwerp, cognitieve belasting en leeruitkomsten (De figuur is een aangepaste versie van Gerjets & Hesse, 2004).

Tabel 1

Overzicht van onderzoeksvragen, steekproefgrootte (N), design en belangrijkste resultaten van Studies 1-4

Studie	Onderzoeksvraag	N	Design	Belangrijkste resultaten
1	Kunnen multimedia ontwerpprincipes (i.e., multimediaprincipe, redundantieprincipe, modaliteitsprincipe) gebruikt worden voor hypermedia ontwerp?	118	Zes condities met een laag niveau van leerlingcontrole (Wiskunde alleen; + geschreven tekst; + gesproken tekst; + geschreven tekst en animatie; + gesproken tekst en animatie; + geschreven tekst, gesproken tekst en animatie)	<ul style="list-style-type: none"> - Omgekeerd multimedia effect - Redundantie-effect - Geen modaliteiteffect
2	Welk niveau van leerlingcontrole is het meest geschikt voor leerlingen met verschillende niveaus van voorkennis?	196	Leerlinggecontroleerd (laag vs. hoog) * voorkennis (n = 118 leerlingen in de conditie met een laag niveau van leerlingcontrole zijn identiek aan die in Studie 1)	<ul style="list-style-type: none"> - Hoog niveau van leerlingcontrole vergroot de effectiviteit ten koste van leertijd - Geen interacties met voorkennis
3	Welke invloed hebben leerlingkenmerken naast voorkennis op leren met hypermedia?	37	Clusteranalyse volgens diverse leerlingkenmerken. Clusters worden gebruikt om leeruitkomsten en strategieën van informatiegebruik te voorspellen.	<ul style="list-style-type: none"> - Leerlingen verschillen in hun attitudes t.a.v. wiskunde en epistemologische opvattingen clusteren lidmaatschap geschikt om verschillen in procedurele kennis te voorspellen
4	Hoe kan leren met hypermedia verbeterd worden door metacognitieve ondersteuning en hoe interacteert deze ondersteuning met de vereiste metacognitieve vaardigheden?	145	Metacognitief modelleren * metacognitief stimuleren * metacognitieve strategiebeschikbaarheid (laag/hoog)	<ul style="list-style-type: none"> - Metacognitief modelleren belemmert leren - Geen positieve effecten van metacognitief stimuleren - Geen interacties met metacognitieve strategiebeschikbaarheid

Alle resultaten die in de vier studies gerapporteerd worden, zijn significant op een significantieniveau van 5%, tenzij anders aangegeven. Zie voor details van Studie 1 en 2 Gerjets, Scheiter, Opfermann, Hesse en Eysink (2009). Studie 3 en 4 zijn nog niet gepubliceerd. Een overzicht van de studies is gegeven in Tabel 1.

2 Studie 1: Kunnen multimedia ontwerpprincipes gebruikt worden voor hypermedia ontwerp?

2.1 Theorie

In de literatuur over hypermedia missen vaak concrete ontwerpaanbevelingen die voorschrijven hoe informatie in verschillende representatievormen en verschillende modaliteiten gepresenteerd zou moeten worden. Als oplossing voor dit probleem is recentelijk voorgesteld om bestaande theorieën over het

leren met multimedia zoals de *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML; Mayer, 2005) of de cognitievebelastingstheorie (CLT; Sweller et al., 1998) te gebruiken als theoretische onderbouwing voor het ontwerpen van hypermedia (Dillon & Jobst, 2005). Deze aanbeveling is gebaseerd op de schijnbare overeenkomst tussen multimedia en hypermedia systemen, die beide bestaan uit combinaties van verbale representaties en plaatjes. De CTML reikt een aantal empirisch gevalideerde principes aan die aanbevelingen geven over hoe zulke combinaties ontworpen dienen te worden. Mayer (2005) beveelt onder andere het volgende aan: a) gebruik meerdere representaties door geschreven of gesproken tekst te verrijken met plaatjes of animaties (multimediaprincipe), b) verdeel informatie over verschillende modaliteiten door gesproken tekst in plaats van geschreven tekst aan plaatjes toe te voegen (modaliteitsprincipe), en c) vermijd het dubbelop geven

van informatie, bijvoorbeeld door geen geschreven tekst toe te voegen aan een identieke, gesproken tekst (redundantieprincipe).

De mate waarin deze ontwerpaanbevelingen valide zijn voor hypermedialeren is nog niet bewezen. Hoewel hypermedialeeromgevingen multimedia-elementen bevatten, suggereren de verschillen tussen multimedia en hypermedia wat betreft de hoeveelheid leerlingcontrole dat een simpele transfer tussen de twee niet zo simpel is als gesuggereerd door Dillon en Jobst (2005). Er zijn ten minste twee belangrijke aspecten waar rekening mee gehouden dient te worden bij het toepassen van multimedialeertheorieën op hypermedia. Ten eerste moeten representaties en hun combinaties niet alleen zo ontworpen worden dat ze het leren bevorderen, maar ook zo dat ze leerlingen boeien; in andere woorden, ze moeten aantrekkelijk zijn juist voor die leerlingen die profijt zullen hebben bij het verwerken van de representaties. Ten tweede zijn de hiervoor genoemde multimedia ontwerpprincipes vaak getest onder tijdsrestricties, waarbij beperkingen in werkgeheugen-capaciteit evident worden. Het zou kunnen zijn dat het geven van extra tijd aan de leerling om de instructie te verwerken door de leerling meer controle te geven zou kunnen compenseren voor slecht instructieontwerp. Als bijvoorbeeld meer tijd beschikbaar is zodat leerlingen stukken tekst kunnen herlezen of animaties nogmaals kunnen bekijken zonder het gevaar dat ze belangrijke informatie in de representatie die ze op dat moment niet bekijken missen, dan zou geschreven tekst net zo effectief kunnen zijn als gesproken tekst. Zo suggereren resultaten van Tabbers, Martens, en Van Merriënboer (2004) dat er geen modaliteiteffect is als leerlingen de snelheid van een animatie kunnen controleren.

Studie 1 is ontworpen om te onderzoeken of het multimediaprincipe, het modaliteitsprincipe en het redundantieprincipe stand houden in een leerlingecontroleerde hypermedialeeromgeving. Als dit het geval is, dan kan geconcludeerd worden dat een aanpassing van CLT naar leerlingecontroleerde scenarios zoals gesuggereerd door Gerjets en Hesse (2004) onnodig is, omdat dezelfde resultaten gevonden worden onafhankelijk van het gegeven niveau van leerlingcontrole.

2.2 Methode

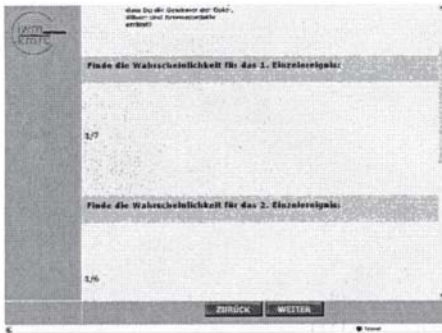
De deelnemers aan het onderzoek waren 118 leerlingen van verschillende Duitse middelbare scholen met een gemiddelde leeftijd van 16,5 jaar. Om de validiteit van multimedia-ontwerpprincipes voor hypermedialeren te onderzoeken, zijn zes experimentele condities ontworpen, die werden gekenmerkt door verschillende combinaties van verbale en pictoriale informatie die de hiervoor genoemde multimediaontwerpprincipes wel of niet volgden (Figuur 2). De hypermedialeeromgeving betrof kennis over vier verschillende probleemcategorieën uit het domein van de kansrekening. De omgeving bestond uit een vragenlijst over persoonsgegevens, een korte technische instructie, een leerfase waarin experimenteel gemanipuleerd werd, en een natoets. In de leerfase werd elk van de vier verschillende probleemcategorieën uitgelegd aan de hand van twee uitgewerkte voorbeelden. Volgens Jacobson (2008) zijn uitgewerkte voorbeelden bevorderlijk voor leren als studenten de mogelijkheid hebben om verschillende voorbeelden tegen elkaar af te zetten en te vergelijken, een strategie die uitermate geschikt is voor hypermedia leeromgevingen vanwege hun hoge niveau van leerlingcontrole.

Het format waarin de uitgewerkte voorbeelden gepresenteerd werden, werd gevarieerd door hun representatievorm en de modaliteit te manipuleren (Figuur 2). Alle zes de condities van de leeromgeving bevatten de wiskundige informatie voor elke oplossingsstap. De *wiskundige* conditie bevatte alleen deze wiskundige informatie. De *plus geschreven tekst*-conditie bevatte naast de wiskundige informatie geschreven uitleg van de oplossingsstappen. In de *plus gesproken tekst*-conditie, was dezelfde uitleg gepresenteerd in audio. De *plus geschreven en gesproken tekst*-conditie bevatte redundante verbale informatie gepresenteerd in beide modaliteiten. In de *plus geschreven tekst en animatie*- en de *plus gesproken tekst en animatie*-condities werd de geschreven of gesproken tekst aangevuld met abstracte animaties. De animaties representeerden relevante objecten door knikkers die uit een vaas getrokken werden om het proces van random selectie van elementen te illustreren, wat de kern is van

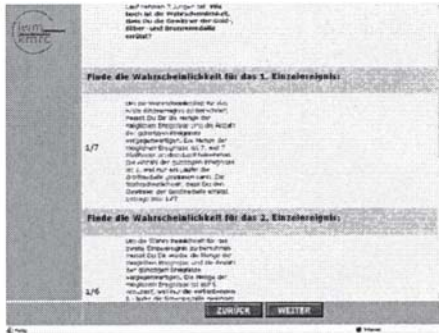
kansrekening. De animaties gaven dus een uitleg van de oplosprocedure op een ander abstractieniveau dan de voorbeelden die verbonden waren aan een concrete probleemsituatie. Daarnaast gaven de animaties informatie over aspecten die niet expliciet genoemd werden in de voorbeelden en die dus niet redundant was.

De zes condities werden geïmplementeerd met een relatief laag niveau van leerlingcon-

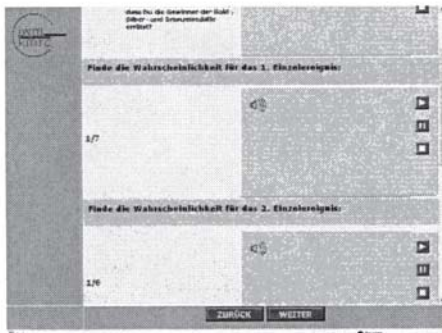
trole, waarin leerlingen konden beslissen of ze de dynamische representatievormen wilden afspelen of niet (bijv. animaties, gesproken tekst), of ze gepresenteerde informatie over wilden slaan of niet, en of ze de snelheid van informatie wilden aanpassen of niet. Ze konden echter niet beslissen over hoe ze verschillende representatievormen konden combineren en ze konden ook de volgorde van de voorbeelden niet bepalen. Wanneer leerlingen



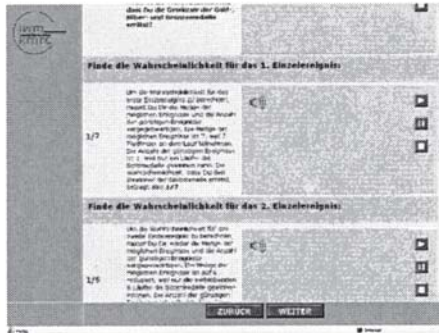
(a) Alleen wiskundige informatie



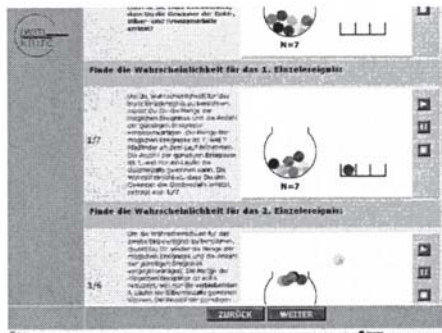
(b) plus geschreven tekst



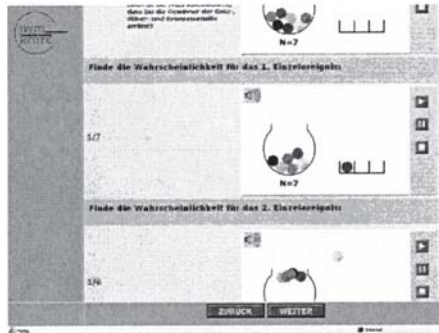
(c) plus gesproken tekst



(d) plus geschreven tekst en gesproken tekst



(e) plus geschreven tekst en animatie



(f) plus gesproken tekst en animatie

Figuur 2. Experimentele condities met een laag niveau van leerlingcontrole (Studies 1 en 2).

in de condities het gevoel hadden dat ze voldoende geleerd hadden, konden ze doorgaan met de natoets. Er waren geen tijdsbeperkingen voor het leren of probleemoplossen.

De effectiviteit en efficiëntie (als een geïntegreerde score van effectiviteit en leertijd, zie hieronder) waren de afhankelijke variabelen. Leerlingen moesten 42 toetsvragen beantwoorden die conceptuele, procedurele, intuïtieve, en situationele kennis maten (De Jong & Ferguson-Hessler, 1996). De 12 items voor conceptuele kennis gingen over het begrip van feiten, concepten en principes. Procedurele kennis (12 items) ging over de vaardigheid om (*near* en *far transfer*) problemen op te lossen. De 13 items die intuïtieve kennis maten, betroffen de intuïties van leerlingen over het juist zijn van stellingen die gerelateerd waren aan conceptuele kennis. Ten slotte, de 5 items die situationele kennis maten, bepaalden het begrip van leerlingen van structurele probleemkenmerken zodat ze probleemstructuren in een situationeel model kunnen representeren. De resulterende effectiviteitscores werden gerelateerd aan de leertijd die nodig was om de uitgewerkte voorbeelden te bestuderen om zo de efficiëntiescores voor elke conditie te bepalen. Dit werd gedaan door de efficiëntiemaat van Paas en Van Merriënboer (1993) aan te passen en de efficiëntie als volgt te berekenen:

$$(1) E = (z_{\text{prestatie}} - z_{\text{leertijd}}) / \sqrt{2}.$$

Een negatieve score betekent dat de relatieve investering van leertijd de prestatie overschrijdt (dit is lage efficiëntie) en een positieve score staat voor hoge prestaties in vergelijking met de tijd die genomen is voor leren (dit is hoge efficiëntie).

2.3 Resultaten

Er waren geen verschillen tussen de experimentele condities voor de ruwe scores van de leerprestatiematen (dit is de effectiviteit). De efficiëntiescores lieten echter een omgekeerd multimedia-effect zien waarbij de condities zonder animaties hoger scoorden dan de condities met animaties. De *wiskundige* conditie deed het beter dan de conditie *plus geschreven tekst en animatie* op alle maten met uitzondering van de *far-transferkennis*. Tevens

scoorde deze conditie hoger op efficiëntie in vergelijking met de conditie *plus gesproken tekst en animatie* wat betreft conceptuele kennis, *near-transferkennis* en situationele kennis. De conditie *plus geschreven tekst en animatie* scoorde hoger dan de conditie *plus geschreven tekst en animatie* op alle efficiëntiematen. Ook resulteerde de *plus geschreven tekst*-conditie in efficiëntere prestatie in vergelijking met de conditie *plus gesproken tekst en animatie* voor alle maten met uitzondering van de intuïtieve kennis.

Er was een redundantie-effect zoals bleek uit de lagere efficiëntiescores voor de conditie *plus geschreven tekst en gesproken tekst* in vergelijking tot de conditie *plus geschreven tekst* voor zowel *near-* en *far-transferkennis* als situationele kennis. Op dezelfde manier liet de redundante conditie mindere prestaties zien dan de *wiskundige* conditie voor *near-transferkennis* en situationele kennis. Er waren geen andere significante verschillen tussen de experimentele condities. Het belangrijkste resultaat was dat in geen enkel geval de conditie die gesproken tekst bevatte, beter scoorde dan een conditie met geschreven tekst. Er was dus geen aanwezigheid voor de aanwezigheid van een modaliteiteffect.

Een extra analyse van de frequente waarin de dynamische representaties opgehaald werden laat zien dat de dynamische representaties slechts in kleine mate gebruikt zijn. Gemiddeld werd slechts 7,8% van de gesproken tekstbestanden afgespeeld in de *plus gesproken tekst*-condities en slechts iets meer (10,3%) in de *plus geschreven en gesproken tekst*-conditie. Van de animaties werd slechts 14,4% afgespeeld in de *plus gesproken tekst en animatie*-conditie, terwijl 67,2% afgespeeld werd in de *plus geschreven tekst en animatie*-conditie.

2.4 Discussie

Als de multimediaontwerpprincipes valide zouden zijn voor hypermedialeren, dan is te verwachten dat de aanwezigheid van een specifieke representatievorm (bijv. gesproken in plaats van geschreven tekst bij animaties) automatisch een leeropbrengst zou hebben opgeleverd die overeenkomt met deze principes (dit is, betere prestaties voor de eerste vorm in vergelijking met de tweede). Er is in

deze studie echter slechts zwak bewijs gevonden voor de validiteit van deze principes voor hypermedialeren. De bevinding dat zowel het multimediaprincipe als het modaliteitsprincipe niet kon worden bevestigd kan het best verklaard worden door het feit dat geen van de representaties die verantwoordelijk zijn voor de betreffende effecten in voldoende mate geselecteerd waren door de leerlingen. De representaties, met een uitzondering daargelaten, lijken dan ook niet uitnodigend om ze af te spelen. Leerlingen bekeken vaak animaties als aanvulling op geschreven tekst – een combinatie die volgens het modaliteitsprincipe (Mayer, 2005) ineffectief is; toch scoorden ze niet slechter dan leerlingen die animaties bestudeerden die een combinatie vormden met gesproken tekst. Het kan dus zijn dat multimedia-ontwerpregels niet toepasbaar zijn voor het ontwerp van hypermedialeeromgevingen, omdat representaties die deze ontwerpregels volgen leerlingen niet voldoende uitnodigen om ze op te halen. Een alternatieve verklaring zou kunnen zijn dat de mogelijkheid om het tempo van de instructiematerialen te bepalen de potentiële problemen die geassocieerd zijn met het verdelen van je aandacht tussen tekst en andere bronnen van informatie al voldoende verminderd hebben, waardoor de multimedia ontwerp-regels minder belangrijk worden (Tabbers et al., 2004). In dat geval is het niet zozeer het ontwerp van de representaties en hun combinaties wat de effectiviteit van hypermedialeren beïnvloedt, maar de manier waarop, afhankelijk van de mate van leerlingcontrole, de leerlingen toegang hebben tot die representaties.

3 Studie 2: Welk niveau van leerlingcontrole is het meest geschikt voor leerlingen met verschillende niveaus van voorkennis?

3.1 Theorie

Hoewel vaak gesuggereerd wordt dat een hoge mate van leerlingcontrole goede leerprestaties oproept, is er steeds meer bewijs dat leerlingcontrole alleen goed werkt voor leerlingen met hoge voorkennis, terwijl leerlingen met lage voorkennis beter presteren in

een systeemgecontroleerde instructie (zie Chen, Fan, & Macredie, 2006, en Scheiter & Gerjets, 2007 voor reviews van de betreffende literatuur). Sommige auteurs hebben dan ook geconcludeerd dat hypermedia alleen geschikt is voor studenten die meer kunnen (cf. leerlingcontroleprincipe van Clark & Mayer, 2003; Spiro & Jehng, 1990).

Er zijn ten minste drie verschillende verklaringen voor de modererende rol van voorkennis in hypermedialeren. Ten eerste is gesuggereerd dat beschikbare voorkennis de selectie van informatie op zo een manier stuurt dat het aangepast is aan de behoeften van de leerlingen en aan de relevantie van de informatie (Alexander & Jetton, 2003; Gall & Hannafin, 1994). Ten tweede is bekend uit onderzoek naar tekstbegrip dat leerlingen met hoge voorkennis meer leren van minder coherente informatiepresentaties, terwijl leerlingen met lage voorkennis een coherente representatie nodig hebben om een tekst betekenisvol te kunnen maken (bijv. McNamara, Kintsch, Songer, & Kintsch, 1996). Hulpmiddelen die zorgen voor coherentie zijn afwezig in hypermedialeeromgevingen, waar gebruikers de linkstructuur moeten interpreteren om een coherente representatie van de inhoud te maken, waardoor het mogelijk is dat hypermedia slechts geschikt is voor leerlingen met veel voorkennis. Een derde verklaring kan afgeleid worden van de CLT (Sweller et al., 1998), die aangeeft dat leerlingen met een laag voorkennisniveau hoge intrinsieke belasting ervaren. Bijkomende navigatievereisten die voortkomen uit leerlingcontrole kunnen zorgen voor meer ineffectieve belasting, die als die opgeteld wordt bij de al hoog zijnde niveaus van intrinsieke belasting een grote kans hebben om te resulteren in cognitieve overbelasting. Aan de andere kant ervaren leerlingen met veel voorkennis minder intrinsieke belasting en zijn zij minder vatbaar voor nadelige effecten van ineffectieve belasting. Daarnaast hebben ze meer cognitieve reserves beschikbaar die gewijd kunnen worden aan processen die geassocieerd worden met effectieve mentale belasting (bijv. elaboreren en het vergelijken van verschillende hypermedia inhoud, Gerjets, Scheiter, & Schuh, 2008).

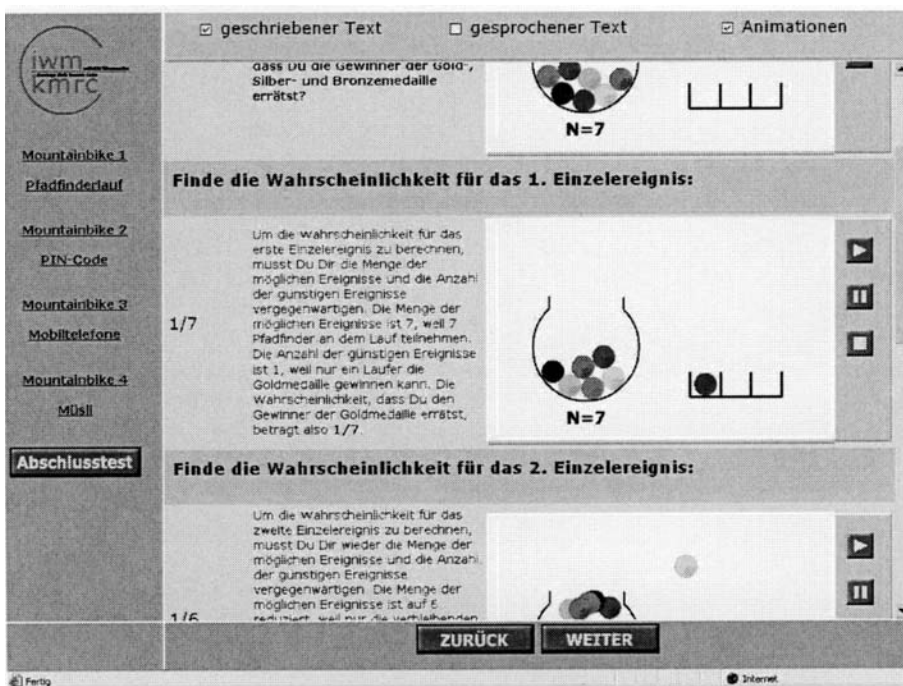
Studie 2 onderzocht of de hierboven ge-

noemde voordelen van leerlingcontrole wat betreft het uitnodigen tot constructieve mentale activiteiten en dus effectief en efficiënt leren, duidelijker wordt voor leerlingen met een hoog voorkennisniveau dan voor leerlingen met weinig voorkennis.

3.2 Methode

Voor studie 2 zijn de gegevens van de leerlingen die in Studie 1 geleerd hadden met één van de zes condities met een laag niveau van leerlingcontrole samengenomen, waardoor één enkele conditie met een laag niveau van leerlingcontrole gerealiseerd werd. De data van deze geaggregeerde conditie zijn vergeleken met een conditie met een hoog niveau van leerlingcontrole, waarvoor 78 leerlingen extra werden onderzocht, die afkomstig waren uit dezelfde populatie als in Studie 1 met een gemiddelde leeftijd van 16,6 jaar.

Verschillen tussen de twee condities hadden alleen betrekking op het ontwerp van de leerfase. Waar leerlingen in de condities met lage leerlingcontrole lineair gestuurd werden door de omgeving (zie Studie 1), konden de leerlingen in de conditie met een hoog niveau van leerlingcontrole de volgorde bepalen waarin ze de voorbeelden wilden bestuderen door op de hyperlinks in het linker navigatiemenu te klikken (Figuur 3). Verder konden de leerlingen in de conditie met een hoog niveau van leerlingcontrole kiezen in welke representatievorm (dit waren geschreven / gesproken tekst, een animatie of elke mogelijke combinatie van deze vormen) ze de voorbeelden wilden ophalen door op één of meer van de drie radiobuttons die bovenaan elke pagina van elk uitgewerkt voorbeeld stond te klikken. De afhankelijke variabelen waren identiek aan die van Studie 1.



Noot. De navigatie aan de linkerkzijde zorgt ervoor dat leerlingen voorbeelden op een niet-lineaire manier kunnen selecteren; een lineaire navigatie wordt mogelijk gemaakt door de knoppen volgende (*weiter*) en terug (*zurück*) onderaan de pagina; met de *radio buttons* bovenaan de pagina kunnen leerlingen geschreven tekst (*geschriebener Text*), gesproken tekst (*gesprochener Text*) en animaties (*Animationen*) selecteren. In het gegeven voorbeeld staat wiskundige informatie in de linkerkolom, geschreven tekst in de middelste kolom en een animatie in de rechterkolom.

Figuur 3. Experimentele condities met een hoog niveau van leerlingcontrole (Studies 2, 3 en 4)

3.3 Resultaten

Voor de vergelijking van de (geaggregeerde) condities met een laag niveau van leerlingcontrole met de conditie met een hoog niveau van leerlingcontrole werd de voorkennis van de leerlingen bepaald door een voortoets die gebruikt werd als continue factor in de analyse om te bepalen of deze een modererend effect had op leerlingcontrole. Wat betreft effectiviteit scoorden leerlingen met een hoog niveau van leerlingcontrole alleen beter op items die vroegen naar intuïtieve kennis dan leerlingen met een laag niveau van leerlingcontrole, onafhankelijk van hun voorkennis. Dit effect draaide om voor de efficiëntiematen waar de analyse een sterk effect liet zien ten gunste van de conditie met een laag niveau van leerlingcontrole voor alle metingen met uitzondering van intuïtieve kennis. Ook hier was geen interactie met voorkennis. Verder werd net als in Studie 1 gevonden dat leerlingen weinig gebruik maakten van de mogelijkheid om informatie in verschillende representatievormen te bekijken en om vrij te navigeren in de leeromgeving.

3.4 Discussie

Een hoog niveau van leerlingcontrole leidde tot betere natoetsprestaties, wat voornamelijk teruggevoerd kon worden op meer intuïtieve kennis. Verder onderzoek is nodig om dit resultaat te repliceren en de relatie tussen hoge niveaus van leerlingcontrole en intuïtieve kennis verder te onderzoeken. In tegenstelling tot het leerlingcontroleprincipe van Clark en Mayer (2003) trad het hiervoor genoemde effect op voor alle leerlingen onafhankelijk van hun voorkennisniveau. Het lijkt er dus op dat voor specifieke leerdoelen een hoog niveau van leerlingcontrole aan te raden is, in ieder geval als er geen tijdslimiet gesteld is voor het leren. Een reden waarom leerlingcontrole een positief effect had op het leren voor alle studenten zou kunnen zijn dat de hypermedialeeromgeving die gebruikt is in deze studie een zeer gestructureerde omgeving was die slechts een beperkt aantal links en niveaus van informatiediepte had (cf. Shapira & Niederhauser, 2004), wat zou kunnen verklaren waarom zelfs leerlingen met een laag voorkennisniveau in staat waren profijt te hebben van diverse leerlingcontrole-opties.

Dit proces vereiste echter meer tijd die besteed moest worden aan de hypermedialeeromgeving, wat de conditie met een hoog niveau van leerlingcontrole inefficiënt maakt. Voorts kan het een probleem geweest zijn dat de leerlingen niet bekend waren met de opties behorende bij de leerlingcontrole. Het trainen van leerlingen om de opties behorende bij de leerlingcontrole te gebruiken zouden de efficiëntie van de leerlinggecontroleerde hypermedialeeromgeving substantieel kunnen verbeteren. Een andere optie zou kunnen zijn om niet alle representaties en controle-opties vanaf het begin beschikbaar te maken voor de leerlingen, maar om een *fading-in* methode te gebruiken waarbij rekening gehouden wordt met de bekendheid van de leerlingen met de leeromgeving. Wat nog steeds onderzocht moet worden is of de leerlingen die meer gevorderd zijn – niet alleen met betrekking tot hun domeinspecifieke voorkennis maar ook met betrekking tot hun bekendheid met de leeromgeving en de daarbij te maken keuzes – ook efficiënter zijn, zelfs als er sprake is van een hoog niveau van leerlingcontrole.

Ten slotte, gegeven dat voorkennis de effecten van leerlingcontrole niet modereerde, lijkt het de moeite waard de modererende rol te onderzoeken van andere leerlingkenmerken dan voorkennis, zoals gesuggereerd is in het uitgebreide CLT-model van Gerjets en Hesse (2004). Dit was het doel van Studie 3.

4 Studie 3: Welke invloed hebben leerlingkenmerken naast voorkennis op leren met hypermedia?

4.1 Theorie

Volgens het uitgebreide CLT-model beïnvloeden individuele leerlingkenmerken naast voorkennis de strategieën van leerlingen om informatie te gebruiken, wat op hun beurt de leerprestaties weer beïnvloedt. In overeenstemming met deze redeneerlijn lieten Scheiter, Gerjets, Vollmann en Catrambone (2009) zien dat groepen leerlingen met meer gunstige eigenschappen (i.e. hogere voorkennis, complexere epistemologische opvattingen, positievere attitudes ten aanzien van wiskunde, beter cognitief en metacognitief strategiegebruik) geneigd zijn meer aangepast infor-

matiegebruik te laten zien, dat ze minder cognitieve belasting rapporteerden, en dat ze hogere leeropbrengsten lieten zien dan leerlingen met minder gunstige eigenschappen. Interessant genoeg, ondanks het feit dat sommige groepen leerlingen hetzelfde niveau van voorkennis hadden, varieerden ze desondanks sterk in termen van leeropbrengsten. Dit kon verklaard worden door hun verschil in metacognitieve vaardigheden, attitudes ten aanzien van het domein en epistemologische opvattingen.

Metacognitieve vaardigheden verwijzen naar de vaardigheden van leerlingen om doelen te stellen, om de informatie te bepalen die geschikt is om die doelen te bereiken, en om de vooruitgang naar deze doelen te monitoren; ze kunnen gezien worden als noodzakelijke voorwaarden om controle uit te oefenen over instructie (Azevedo, 2005). Studenten met een positievere houding ten aanzien van het domein zijn tevens meer gemotiveerd, waarderen het onderwerp, hebben plezier als ze er mee werken, en hebben voldoende vertrouwen in hun vaardigheden in het domein (Tapia & Marsh, 2004). Dit heeft tot gevolg dat ze meer betrokken zijn bij de taak en meer investeren in het leren (bijv. tijd; Lawless & Kulikowich, 1996). Ten slotte, epistemologische opvattingen (*epistemological beliefs*, EB's) verwijzen naar de opvattingen die leerlingen hebben met betrekking tot kennis en de verwerving daarvan. Leerlingen met naïeve EB's hebben de neiging te denken dat kennis absoluut is en uiteindelijk ook bekend, dat kennisverwerving als een geordend proces optreedt, of dat leren in een *quick-or-non fashion* optreedt (cf. Schraw, 2001). Leerlingen met verfijndere EB's geloven dat kennis en de vaardigheid om te leren niet aangeboren is maar verworven kan worden gedurende de ontwikkeling, of dat het in twijfel trekken van autoriteiten op een bepaald gebied een legitieme manier is om nieuwe kennis te verwerven of bestaande kennis te veranderen. Om te verklaren waarom leerlingen met complexere EB's het beter zouden doen in hypermedia leeromgevingen dan leerlingen met meer simplistische opvattingen, wordt verondersteld dat de leerlingen met complexere EB's meer bereid zijn om te investeren in het vergelijken en contrasteren

van verschillende bronnen van informatie, in het reflecteren op de validiteit van informatie, en in het vinden van zoveel mogelijk informatie om hun leerdoelen te bereiken (Bendixen & Hartley, 2003; Jacobson & Spiro, 1995).

Studie 3 is ontworpen om de resultaten gevonden door Scheiter et al. (2009) te repliceren in een hypermedialeeromgeving met een hoger niveau van leerlingcontrole en een grotere keuze in representaties. In de studie van Scheiter et al. mochten de leerlingen kiezen tussen verschillende soorten verbale uitleg voor wiskundige oplossingsprocedures (i.e. diverse oplossingsbenaderingen uitgelegd in meer of minder detail), maar kregen ze geen interactieve multimedia elementen (bijv. gesproken tekst, animaties) en konden ze niet, zoals in de huidige studie, zelf verschillende representatievormen combineren.

4.2 Methode

De deelnemers waren 37 middelbare scholieren met een gemiddelde leeftijd van 15,9 jaar. Eén week voorafgaande aan de eigenlijke studie moesten de leerlingen een vragenlijst over leerlingkenmerken invullen die bestond uit zes schalen: 1) algemene EB's (bijv. "Absolute kennis bestaat en zal uiteindelijk bekend worden"), 2) wiskundegerelateerde EB's (bijv. "In de wiskunde is iets of goed of fout"), 3) cognitieve en 4) metacognitieve wiskundegerelateerde strategieën (bijv. "Als ik wiskunde doe, probeer ik datgene wat ik leer te relateren aan datgene wat ik al weet"), 5) attitudes ten aanzien van wiskunde (bijv. "Ik geloof dat het leren van wiskunde mij helpt met probleemoplossen in andere gebieden"), en 6) attitudes ten aanzien van computers (bijv. "Computers maken de maatschappij onpersoonlijk"). De schalen zijn uit reeds gepubliceerde vragenlijsten genomen, vertaald, korter gemaakt en vervolgens gevalideerd met een andere groep proefpersonen voorafgaande aan Studie 3. De leeromgeving was identiek aan de hypermedialeeromgeving met een hoog niveau van leerlingcontrole zoals gebruikt in Studie 2. Natoetsscores (i.e., effectiviteit), representatiekeuzes, en leertijd waren afhankelijke variabelen. Uit praktische overwegingen is de natoets inge-

kort tot 19 items waarvan in Studie 1 en 2 aangetoond was dat ze een gemiddelde moeilijkheidsgraad hadden. Representatiekeuzes en leertijden voor de verschillende representatievormen zijn gebruikt om de strategieën van leerlingen om informatie te gebruiken te beschrijven.

4.3 Resultaten

Omdat verondersteld werd dat de samenstelling van meerdere leerlingkenmerken en hun interactie in plaats van de individuele eigenschappen invloed hebben op zowel de strategieën om informatie te selecteren als prestatie, werd een clusteranalyse uitgevoerd om groepen leerlingen te identificeren met verschillende leerlingkenmerkprofielen. De clusteranalyse leverde twee groepen leerlingen op. Leerlingen in Cluster 1 hadden een positievere houding ten aanzien van wiskunde (i.e., ze hadden meer plezier in wiskunde, waardeerden het meer, waren gemotiveerder en hadden meer zelfvertrouwen dan de leerlingen in Cluster 2). Tegelijkertijd geloofden de studenten in Cluster 1 sterker dat kennis in wiskunde zeker is en dat vaardigheden in dit domein geleerd in plaats van aangeboren zijn. Verder waren er geen verschillen tussen de twee clusters. Vervolgens werden de clusters gebruikt als voorspellende variabele in een multi-pele regressieanalyse om te toetsen of ze zowel een invloed op strategieën in informatiegebruik laten zien als een directe invloed op leeropbrengsten. Extra analyses werden uitgevoerd om te toetsen of strategieën om informatie te gebruiken als intermediair fungeren tussen leerlingkenmerken en leeropbrengsten. De analyses lieten zien dat leerlingkenmerken (i.e., lidmaatschap van de groep leerlingen) een direct effect hadden op procedurele kennis; leerlingen in Cluster 1 scoorden beter dan leerlingen in Cluster 2. Wat betreft strategieën om informatie te gebruiken gebruikten leerlingen in Cluster 2 de dynamische visualisaties minder vaak; dit was echter het enige effect van leerlingkenmerken op deze variabele. Er was geen effect wat betreft de tijd die besteed werd in de leerfase. Verder was geen enkele variabele met betrekking tot het gebruik van informatie gerelateerd aan procedurele kennis. Er was dus geen aanwij-

zing voor een intermediair effect, maar eerder voor een directe relatie tussen leerlingkenmerkprofielen en prestatie.

4.4 Discussie

In tegenstelling tot de studie van Scheiter et al. (2009) waren er slechts een paar leerlingkenmerken die geschikt waren om verschillende groepen leerlingen te onderscheiden. Waar in de studie van Scheiter et al. cognitieve en metacognitieve strategieën sterk bijdroegen aan de differentiatie van leerlinggroepen, hadden deze variabelen in de huidige studie geen effect. Een verklaring voor dit resultaat zou kunnen zijn dat in de huidige studie een jongere steekproef van deelnemers gebruikt is in vergelijking met de eerdere studie waarin studenten deelnamen. Omdat de beschikbaarheid van cognitieve en metacognitieve strategieën sterk leeftijdsafhankelijk is en vooral ontwikkelt gedurende de jongvolwassenheid (Siegler, 1996) kan verondersteld worden dat de beschikbaarheid van strategieën in de jongere leeftijdsgroep nog niet voldoende varieerde tussen leerlingen aangezien de differentiatie pas later in de cognitieve ontwikkeling plaatsvindt. Daarom is het mogelijk dat alle deelnemers in de huidige studie gekarakteriseerd worden door een redelijk laag niveau van strategiebeschikbaarheid. Over dit mogelijke gebrek aan strategiebeschikbaarheid ging Studie 4. Helaas kan op basis van de huidige data ook een andere verklaring niet uitgesloten worden, namelijk dat met name voor deze jongere leerlingen maten waarin zij zelf hun leerlingkenmerken aan moesten geven, zelfs minder valide zijn als indicator voor de *beschikbaarheid* van strategieën dan dat ze voor volwassenen zijn waardoor er weinig differentiatie tussen leerlingen optreedt. Dit probleem bij het gebruik van zelfrapportage om beschikbaarheid van strategieën te meten is de laatste tijd uitgebreid bediscussieerd in de literatuur (cf. Azevedo, 2008; Zimmerman, 2008); uit praktische overwegingen was het echter niet mogelijk andere methoden (bijv. hardop denken) te gebruiken in de huidige studies, omdat de studies in de klas uitgevoerd zijn.

Net zoals in de studie van Scheiter et al. (2009) droegen EB's en vooral attitude ten aanzien van wiskunde sterk bij aan het diffe-

rentiëren tussen leerlingen en verklaarden ze verschillen in prestatie wat betreft probleemoplossen. In beide studies was zowel de relatie tussen leerlingkenmerken en strategieën in het gebruik van informatie zoals dat uit de logfiles naar voren kwam als de relatie tussen strategieën in het gebruik van informatie en prestatie zwak tot afwezig. Een verklaring voor dit resultaat zou kunnen zijn dat de strategieën in het gebruik van informatie gemeen zijn op een grofmazig niveau. De metingen gaven geen informatie over hoe de studenten de geselecteerde voorbeelden cognitief verwerken. Daarom zouden in de toekomst laboratoriumstudies aangevuld moeten worden met fijnmazigere metingen die verkregen kunnen worden door hardopdenktechnieken, oogbewegingenregistraties of combinaties van beide (cf. Van Gog, Paas, & Van Merriënboer, 2005).

5 Studie 4: Hoe kan leren met hypermedia verbeterd worden door metacognitieve ondersteuning en hoe interacteert deze ondersteuning met de vereiste metacognitieve vaardigheden?

5.1 Theorie

Om de resultaten van Studie 3 te kunnen verklaren werd verondersteld dat middelbare scholieren nog niet de cognitieve en metacognitieve strategieën ontwikkeld hebben die nodig zijn om om te gaan met de vereisten die aan de leerling opgelegd worden door een hoog niveau van leerlingcontrole. Het is belangrijk naar de rol van de beschikbaarheid van strategieën te kijken wanneer de effectiviteit van hypermedialeren onderzocht wordt. Als dat niet gedaan wordt, dan kan dat leiden tot de onterechte conclusie dat “the environments are inherently ineffective, when in fact what is needed is to foster students’ self-regulation while using these powerful but complex learning environments” (Azevedo, 2005, p. 203). In overeenstemming met deze uitspraak heeft Azevedo meerdere studies uitgevoerd waarin hij laat zien dat hypermedialeren gefaciliteerd kan worden door *adaptive scaffolds* te geven die bestaande cognitieve en metacognitieve strategieën acti-

veren (zie ook Bannert, 2003; Jacobson, Maouri, Mishra, & Kolar, 1996). Studie 4 had als doel de effectiviteit van twee instructiemethodes te evalueren die ontworpen waren om metacognitieve processen gedurende het leren met hypermedia te ondersteunen. Hun effectiviteit is onderzocht voor leerlingen met verschillende niveaus van zelfgerapporteerde metacognitieve strategieën om de veronderstelling te toetsen dat ze in het bijzonder nuttig zijn voor leerlingen die kennis over metacognitieve strategieën missen of die niet in staat zijn om diepe cognitieve activiteiten (spontaan) uit te voeren.

5.2 Methode

De deelnemers in Studie 4 waren 145 leerlingen van verschillende Duitse middelbare scholen met een gemiddelde leeftijd van 16,1 jaar. De studie was gebaseerd op een 2x2x2-design met metacognitief modelleren, het bewust maken van de voor- en nadelen van de diverse representaties, en de beschikbaarheid van metacognitieve strategieën als *between-subject*-factoren.

De metacognitieve modelleervideo, die aan de leerlingen getoond werd voordat ze de uitgewerkte voorbeelden bestudeerden, lieten activiteiten van een typisch ‘goede’ leerling zien, die in een hypermedia leeromgeving werkte. In de video was het beeldscherm met de muisbewegingen te zien en konden de leerlingen luisteren naar het model dat haar redeneerproces verbaliseerde. Deze redeneerprocessen benadrukten dat het model de inhoud en de representaties uitkoos op basis van haar behoefte en vooruitgang in het leren. Het bewust maken van de leerling wat betreft voor- en nadelen van de diverse representaties was als volgt geïmplementeerd. Voor elk uitgewerkt voorbeeld konden deelnemers de representatievorm of combinatie van representatievormen kiezen waarin het voorbeeld en de bijbehorende oplossingsstappen getoond werden. In de twee condities waarin leerlingen bewust gemaakt werden van de voor- en nadelen, konden de deelnemers die een bepaalde vorm wilden kiezen een screenshot ophalen dat begeleid werd door korte gesproken uitleg over de mogelijke voor- en nadelen van de betreffende representatie. Expliciete aanbevelingen om de ene of

de andere representatie of combinatie van representaties te kiezen werden niet gegeven. Van het metacognitieve modelleren werd verondersteld dat het de metacognitieve strategieën die nieuw waren voor de leerlingen illustreerde of dat het het toepassen van reeds bestaande strategieën stimuleerde. Daarentegen moest het bewust worden van de voor- en nadelen van de representaties de leerlingen metacognitieve kennis geven die nodig is om tot een onderbouwde keuze te kunnen komen (cf. *representational literacy*, Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1996). De vragenlijst met leerlingkenmerken, de hypermedialeeromgeving en de natoets waren identiek aan de materialen van Studie 3.

5.3 Resultaten

Een 2x2x2-MANOVA is uitgevoerd met na-toetsscores voor conceptuele, situationele en procedurele kennis als afhankelijke variabelen en het wel of niet bewust maken van de voor- en nadelen van representaties, het wel of niet metacognitief modelleren, en het wel of niet aanwezig zijn van metacognitieve strategieën als onafhankelijke variabelen. De laatste factor werd bepaald door een *median split* toe te passen op de scores van de bijbehorende schaal met leerlingkenmerken om leerlingen met een laag niveau van strategiebeschikbaarheid te onderscheiden van leerlingen met een hoog niveau. In tegenstelling tot onze verwachting lieten de resultaten zien dat leerlingen die de metacognitieve modelleervideo te zien kregen minder goed scoorden op procedurele kennis dan leerlingen die deze video niet te zien kregen. Voor het wel of niet bewust maken van de voor- en nadelen van de diverse representaties en voor de interactie hiervan met het modelleren werden geen significante resultaten gevonden. Terwijl de interacties met de beschikbaarheid van strategieën niet statistisch significant waren, ondersteunden de resultaten wel het idee dat zowel modelleren als het bewust maken van de voor- en nadelen van representaties nauwelijks effect had op leerlingen met een laag niveau van metacognitieve strategieën. Leerlingen met een hoog niveau leken echter te lijden onder beide instructiemethodes.

5.4 Discussie

In tegenstelling tot onze verwachtingen kon leren met een hypermedialeeromgeving niet ondersteund worden door metacognitief modelleren of het bewust maken van de leerling wat betreft de voor- en nadelen van de representaties. Het was zelfs zo dat deze instructiemethoden interfereerden met bestaande metacognitieve strategieën, ondanks het feit dat deze strategieën niet erg verfijnd zullen zijn geweest voor de onderzochte leeftijdsgroep (cf. Siegler, 1996). Soortgelijke effecten zijn ook gevonden door anderen (bijv. Hartz, Winter, & Fries, 2009). Het is goed mogelijk dat het cognitief teveel van de leerlingen vereiste toen ze de strategieën wilden inzetten die hen nog maar net getoond waren in een leeromgeving met een hoog niveau van leerlingcontrole, terwijl ze gelijktijdig uit moesten vinden of en hoe deze nieuwe strategieën gerelateerd waren aan reeds bestaande, waarschijnlijk geautomatiseerde strategieën. Een mogelijke verklaring voor dit interferentie-effect kan gebaseerd worden op het feit dat beide interventies kort aangeboden werden wat de leerlingen meer verward kan hebben dan dat het geschikt was om de ontwikkeling van strategieën passend bij hypermedialeren te stimuleren. In tegenstelling tot de instructiemethoden die Azevedo (2005) geïmplementeerd heeft, bestonden onze interventies niet uit een uitgebreide training van strategieën, maar gaven ze alleen een korte demonstratie van hun toepassing zonder meer informatie te geven over waarom deze strategieën ingezet zouden moeten worden en hoe. Er zou waarschijnlijk dus meer tijd besteed moeten worden om de leerlingen te leren hoe verschillende strategieën in een gegeven context toegepast kunnen worden en hoe ze geselecteerd zouden moeten worden zodat ze overeenkomen met de vereiste metacognitieve vaardigheden van de leerlingen (bv., door *scaffolding* of training, Shapiro, 2008).

6 Samenvatting en discussie

In deze bijdrage zijn vier studies gepresenteerd waarin de effectiviteit van hypermedialeren is onderzocht in het kader van een uitgebreide versie van CLT (Gerjets & Hesse,

2004). Zie Tabel 1 voor een overzicht van de onderzoeksvragen en de resultaten. In overeenstemming met het uitgebreide CLT-model liet Studie 1 zien dat ontwerpprincipes die in eerste instantie ontwikkeld zijn voor systeemgestuurde instructie niet zomaar één op één te transfereren zijn naar leerlinggestuurde scenarios. Er is minder bewijs voor een directe relatie tussen kenmerken van instructieontwerp en leeruitkomsten dan verondersteld wordt in de CLT (Sweller et al., 1998) of de CTML (Mayer, 2005). Leeruitkomsten in hypermedialeeromgevingen hangen af van de manier waarop leerlingen gebruik maken van de controle die aan hen wordt gegeven. Dit wordt met name duidelijk als leerlingen veel controle krijgen, dus als er sprake is van een hoog niveau van leerlingcontrole. Studie 2 liet zien dat een hoog niveau van leerlingcontrole geschikt was om leeruitkomsten te verbeteren, hoewel dit ten koste ging van leertijd. In tegenstelling tot eerdere resultaten gebeurde dit onafhankelijk van de voorkennis van de leerlingen, wat suggereert dat tenminste voor de huidige materialen andere leerlingkenmerken dan voorkennis de effectiviteit van hypermedialeren modereert. Ondersteuning voor deze veronderstelling is gevonden in Studie 3, waarin de groep leerlingen die gunstigere kenmerken hadden (bijv. positievere attitudes ten aanzien van het domein) meer procedurele kennis lieten zien. In tegenstelling tot het uitgebreide CLT-model werd dit effect niet gemedieerd door het strategiegebruik van de leerlingen. Bovendien speelden cognitieve en metacognitieve strategieën in dit verband geen rol, hoewel eerder onderzoek een sterke invloed van deze variabelen op hypermedialeren aangetoond heeft. Mogelijkerwijs zien we in onze bevindingen de algemene moeilijkheden terug die een rol spelen bij de relatie tussen data over zelfregulerend leren verkregen door zelfrapportage en het daadwerkelijke gedrag van de leerlingen zoals recent bediscussieerd door Zimmerman (2008). Helaas konden de mogelijke problemen met betrekking tot de gebruikte methoden om de data te verkrijgen om praktische redenen niet voorkomen worden. Desalniettemin kan een alternatieve verklaring voor het kleine effect van zelfgerapporteerde metacognitieve strategieën op

leeruitkomsten zijn, dat als gevolg van de relatieve lage leeftijd van de deelnemers deze strategieën nog niet voldoende ontwikkeld waren om leeruitkomsten te kunnen beïnvloeden. Daarom is in Studie 4 de effectiviteit van twee korte interventiemethodes geëvalueerd die tot doel hadden deze strategieën over te brengen en bestaande strategieën te stimuleren. Echter, met tegenvallende resultaten. Met name het modelleren van metacognitieve strategieën ondersteunde het leren niet.

Gezien het feit dat deze resultaten verkregen zijn met slechts een specifieke verzameling materialen (uitgewerkte voorbeelden in het domein van de kansrekening) en een specifieke steekproef van leerlingen (Duitse middelbare scholieren van rond de 16 jaar) is er een zekere beperking met betrekking tot algemene conclusies die getrokken kunnen worden. Toch dragen de studies bij aan het idee dat bepaalde kenmerken van hypermedia die mogelijk effectief zijn voor leren op hetzelfde moment ook schadelijk kunnen zijn. Deze *trade-off* kan, afhankelijk van welke kenmerken een leerling bezit, verschillen. Hoewel het niet helemaal eenduidig is, ondersteunt het het model van Gerjets en Hesse aangezien het laat zien dat er andere variabelen dan voorkennis en instructieontwerp zijn die leeruitkomsten kunnen beïnvloeden. Ondersteuning voor de belangrijke rol van leerlingkenmerken anders dan voorkennis komt ook van andere studies die gerapporteerd worden in de literatuur (zie Scheiter & Gerjets, 2007). Wat echter nog altijd onduidelijk is, is hoe deze kenmerken leeruitkomsten beïnvloeden, aangezien noch de huidige studie noch eerdere studies overtuigend bewijs hebben gevonden voor de veronderstelling dat strategieën van leerlingen om informatie te gebruiken als mediërende factoren fungeren. We geloven echter dat dit gebrek aan bewijs deze algemene veronderstelling niet tegensprekt; het suggereert eerder dat de manieren die tegenwoordig gebruikt worden om strategieën van informatiegebruik te identificeren problematisch zijn. Dat betekent dat simpele indicatoren die gedefinieerd zijn op een observeerbaar niveau gebaseerd op logfiledata informatie kunnen verschaffen over het strategische gedrag van leerlingen op een manier die niet afleidt of stoort, maar dat

deze data te grofmazig is om betekenisvol te zijn. Bovendien moet logfiledata geïnterpreteerd worden in het licht van een bepaalde instructiebenadering (bijv. het leren met uitgewerkte voorbeelden, Jacobson, 2008) om te voorspellen of bepaald gedrag meer leerwinst oplevert. Een onderzoeker zou in het gunstigste geval dus in staat moeten zijn om vooraf te zeggen welke selectie en volgorde van informatie bijvoorbeeld gunstig zou zijn voor leren (cf. Gerjets et al., 2008; Spiro & Jehng, 1990). Ondanks deze moeilijkheden kan de analyse van het gebruik van informatie nuttig zijn om verder inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van hypermedia voor leren zoals aangetoond is in verschillende studies (bijv. Lawless, Mills, & Brown, 2002; Lawless & Kulikowich, 1996; McGregor, 1999).

7 Toekomstig onderzoek

Verder onderzoek zou moeten bekijken hoe strategieën waarvan bewezen is dat ze belangrijk zijn in de context van een bepaalde instructiebenadering beïnvloed worden door kenmerken van het instructieontwerp (bijv. verschillende controlekenmerken) en leerlingkenmerken en hoe deze variabelen interacteren in een gegeven leercontext. Om deze complexe interactie tussen variabelen te onderzoeken zouden meer verfijnde manieren van data-analyse gebruikt moeten worden, zoals mediatieanalyses of *structural equation modeling*, die beter dan bijvoorbeeld een simpele variantie-analyse de diverse onderlinge relaties tussen variabelen kunnen verklaren.

Veel hypermediastudies hebben gekeken naar hoe leren in leerlinggecontroleerde instructie vergemakkelijkt kan worden, ofwel door het proces te ondersteunen (bijv. voorbeschouwingen en overzichten geven om navigatieproblemen te verminderen) of door de vaardigheden van de leerling die nodig zijn om met de complexiteit van een hypermedia leeromgeving om te kunnen gaan te verbeteren (bijv. door metacognitieve strategieën te trainen, Azevedo, 2005). Wat ontbreekt is voldoende begrip over hoe deze twee benaderingen met elkaar interacteren en welke van deze benaderingen het meest geschikt is om leren van hypermediagebaseerde instructie te

verbeteren. Als eenmaal bekend is wat de relatieve invloed is van verbeterd instructieontwerp en vereiste vaardigheden van de leerling, dan moeten we ons afvragen welke van de twee benaderingen zijn vruchten afwerpt op de langere termijn. Met andere woorden, kunnen we verwachten dat op een bepaald moment alle beschikbare hypermedia omgevingen goed ontworpen zijn? Met de snelle ontwikkeling van het internet, waar miljoenen gebruikers bijdragen aan een grote verscheidenheid aan informatiebronnen, is dit zeer onwaarschijnlijk. Gegeven het feit dat leerlingen getraind kunnen worden en kunnen leren hoe ze effectief om moeten gaan met slecht ontworpen hypermedia omgevingen, zou de tweede benadering op de langere termijn haalbaarder zijn. Als dit het geval is, zou onderzoek zich moeten richten op het ontwikkelen van (kosten-)effectieve grootschalige interventies die op klasniveau geïmplementeerd kunnen worden in plaats van op interventies waarvoor individuele training of tutoringssessies nodig zijn (bijv. Azevedo, 2005). Eén manier om dit te doen is computergebaseerde intelligente cognitieve tutors te gebruiken die geautomatiseerd individuele feedback kunnen geven aan leerlingen (cf. McNamara & Shapiro, 2005).

Noot

Dit artikel rapporteert onderzoek dat is gefinancierd door de Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG 1040/11-1) in een aandachtsgebied dat mede is gefinancierd door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

Literatuur

- Alexander, P. A., & Jetton, T. L. (2003). Learning from traditional and alternative texts: New conceptualization for an information age. In A. Graesser, M. Gernsbacher & S. Goldman (Eds.), *Handbook of discourse processes* (pp. 199-241). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Azevedo, R. (2005). Using hypermedia as a metacognitive tool for enhancing student learning? The role of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 40, 199-209.

- Azevedo, R. (2008). The role of self-regulated learning about science with hypermedia. In D. H. Robinson & G. Schraw (Eds.), *Recent innovations in educational technology that facilitate student learning* (pp. 127-157). Charlotte, NC: Information Age Publishing.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13-25.
- Bendixen, L. D., & Hartley, K. (2003). Successful learning with hypermedia: The role of epistemological beliefs and metacognitive awareness. *Journal of Educational Computing Research*, 28, 15-30.
- Chen, S. Y., Fan, J.-P., & Macredie, R. D. (2006). Navigation in hypermedia learning systems: Experts vs. novices. *Computers in Human Behavior*, 22, 251-266.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2003). *E-Learning and the science of instruction*. San Francisco: Jossey-Bass/Pfeiffer.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1996). Looking at technology in context: A framework for understanding technology and education research. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 807-840). New York: Simon & Schuster Macmillan.
- Dillon, A., & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control, and style. *Review of Educational Research*, 68, 322-349.
- Dillon, A., & Jobst, J. (2005). Multimedia learning with hypermedia. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 569-588). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Gall, J. E., & Hannafin, M. J. (1994). A framework for the study of hypertext. *Instructional Science*, 22, 207-232.
- Gerjets, P., & Hesse, F. W. (2004). When are powerful learning environments effective? The role of learning activities and of students' conceptions of educational technology. *International Journal of Educational Research*, 41, 445-465.
- 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, 360-370.
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Schuh, J. (2008). Information comparisons in example-based hypertext environments: Supporting learners with processing prompts and an interactive comparison tool. *Educational Technology, Research & Development*, 56, 73-92.
- Gog, T. van, Paas, F., & Merriënboer, J. J. G. van. (2005). Uncovering expertise-related differences in troubleshooting performance: Combining eye movement and concurrent verbal protocol data. *Applied Cognitive Psychology*, 19, 205-221.
- Horz, H., Winter C., & Fries, S. (2009). Differential benefits of instructional prompts. *Computers in Human Behavior*, 25, 818-828.
- Jacobson, M. (2008). A design framework for educational hypermedia systems: Theory, research, and learning emerging scientific conceptual perspectives. *Educational Technology Research and Development*, 56, 5-28.
- Jacobson, M. J., Maouri, C., Mishra, P., & Kolar, C. (1996). Learning with hypertext learning environments: Theory, design, and research. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 5, 239-281.
- Jacobson, M. J., & Spiro, R. J. (1995). Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: An empirical investigation. *Journal of Educational Computing Research*, 12, 301-333.
- Jong, T. de, & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31, 105-113.
- Lawless, K. A., & Kulikowich, J. M. (1996). Understanding hypertext navigation through cluster analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 14, 385-399.
- Lawless, K. A., Mills, R., & Brown, S. W. (2002). Children's hypermedia navigational strategies. *Journal of Research on Computing in Education*, 34, 274-284.
- Mayer, R. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- McGregor, S. K. (1999). Hypermedia navigation profiles: Cognitive characteristics and information processing strategies. *Journal of Educational Computing Research*, 20,
- McNamara, D. S., Kintsch, E., Songer, N. B., & Kintsch, W. (1996). Are good texts always bet-

ter? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction*, 14, 1-43.

McNamara, D. S., & Shapiro, A. M. (2005). Multimedia and hypermedia solutions for promoting metacognitive engagement, coherence, and learning. *Journal of Educational Computing Research*, 33, 1-29.

Paas, F. G. W. C., & Merriënboer, J. J. G. van. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35, 737-743.

Scheiter, K., & Gerjets, P. (2007). Learner control in hypermedia environments. *Educational Psychology Review*, 19, 285-307.

Scheiter, K., Gerjets, P., Vollmann, B., & Catrambone, R. (2009). The impact of learner characteristics on information utilization strategies, cognitive load experienced, and performance in hypermedia learning. *Learning and Instruction*, 19, 387-401.

Schraw, G. (2001). Current themes and future directions in epistemological research: A commentary. *Educational Psychology Review*, 13, 451-464.

Shapiro, A. (2008). Hypermedia design as learner scaffolding. *Educational Technology Research and Development*, 56, 29-44.

Shapiro, A. M., & Niederhauser, D. S. (2004). Learning from hypertext: Research issues and findings. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (pp. 605-622). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds. The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.

Spiro, R. J., & Jehng, J.-C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix & R. J. Spiro (Eds.), *Cognition, education, and multimedia* (pp. 163-205). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

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

Tabbers, H. K., Martens, R. L., & Merriënboer, J. J. G. van. (2004). Multimedia instructions and

cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 71-81.

Tapia, M., & Marsh, G. E. (2004). An instrument to measure mathematics attitudes. *Academic Exchange Quarterly*, 8, 16-21.

Zimmerman, B. J. (2008). Investigating self-regulation and motivation: Historical background, methodological developments, and future prospects. *American Educational Research Journal*, 45, 166-183.

Manuscript aanvaard: 1 september 2009

Auteurs

Maria Opfermann is werkzaam aan de Universiteit Duisburg-Essen in Duitsland, en **Katharina Scheiter** en **Peter Gerjets** zijn beide werkzaam aan het Knowledge Media Research Center in Tübingen, Duitsland.

Correspondentieadres: Maria Opfermann, Instructional Psychology, School of Education, Duisburg-Essen University, P.O. Box 45117 Essen. E-Mail: maria.opfermann@uni-due.de.

Abstract

Hypermedia learning: The impact of instructional design, learner characteristics, and instructional support

Hypermedia learning environments are characterized by a high level of learner control. On the one hand, it has been argued that this learner control may increase students' interest and motivation, facilitate adaptive instruction, and provide affordances for active and constructive information processing by offering options for selecting among different contents, sequencing them, and choosing among different representations for their display. On the other hand, learners might easily get overwhelmed and disoriented by the multiple options offered to them. The present paper gives an overview on four studies, which investigated the impact of instructional design and individual learner characteristics on this trade-off between the advantages and disadvantages of

hypermedia learning. An augmented version of the Cognitive Load Theory that had been adapted to the specifics of learner-controlled instruction served as a framework for conducting the studies. These studies showed that 1) instructional design principles derived from multimedia learning theories are not necessarily apt to inform the design of hypermedia environments, 2) a high compared to a low level of learner control improved learning only to a small extent and at the cost of prolonged learning times, 3) individual learner characteristics such as epistemological beliefs and attitudes towards the domain have an impact on whether learners benefit from hypermedia learning, and 4) additional instructional support can even be harmful when it overwhelms learners or interferes with already existing (metacognitive) skills.