

# Steunvragen voor zelfverklaringen bevorderen de integratie van multipele representaties

K. Berthold, C. Große en A. Renkl

## Samenvatting

Als lerenden de informatie in multipele representaties moeten integreren zijn volgens Roy en Chi (2005) zelfverklaringen bijzonder geschikt om conceptueel begrip te bevorderen. Maar volgens de cognitievebelastingstheorie kan het genereren van zelfverklaringen bij het leren van complex materiaal ook tot overbelasting van het werkgeheugen leiden (Sweller, 2006). Dit roept de vraag op of zelfverklaringen het leren van complexe materialen met multipele representaties kunnen vergemakkelijken. De bevindingen uit drie experimenten waarbij de deelnemers uitgewerkte voorbeelden in de kansrekening bestudeerden, tonen aan dat gevraagde zelfverklaringen bij complexe materialen met multipele representaties inderdaad tot cognitieve overbelasting leiden. De positieve effecten van zelfverklaringen kunnen echter hersteld worden door ondersteunende instructieve maatregelen te nemen, zoals a) met kleurcodes aan elkaar relateren van bij elkaar horende delen uit verschillende representaties (oppervlakte niveau), en b) met steunvragen uitlokken van zelfverklaringen die lerenden helpen om bij elkaar horende delen uit verschillende representaties te integreren (structureel niveau).

## 1 Inleiding

In deze bijdrage worden de belangrijkste bevindingen beschreven uit het project Leren van uitgewerkte voorbeelden: Bevorderen van integratie van multipele representaties. Dit project maakte deel uit van het Duits-Nederlandse Learning Environments, Multi-Media and Affordances (LEMMA) programma. Het onderwijs met multipele externe representaties (MER's), zoals diagrammen, vergelijkingen, tabellen, teksten en grafieken, wordt doorgaans gebruikt om begrip van de leerstof te bevorderen. Ainsworth (2006) benadrukte in haar theoretische analyse van het

leren met MER's dat lerenden de daarin beschikbare informatie moeten integreren om conceptueel begrip te construeren (constructieve functie). Integratie betekent dat lerenden actief conceptuele kennis construeren waarin verschillende soorten informatie uit MER's aan elkaar gerelateerd en samengebracht worden. Empirisch onderzoek heeft echter uitgewezen dat de verwachte positieve effecten van MER's lang niet altijd optreden. Ainsworth, Bibby en Wood (2002) vonden in een van hun empirische studies zelfs negatieve effecten van MER's. Zij vergeleken groepen kinderen die leerden hoe ze schattingen moesten maken met wiskundige representaties, picturale representaties of een combinatie van beide. De enkelvoudige representaties waren succesvol en bevorderden het leerproces, maar de combinatie van beide representaties had een negatief effect. Bovendien verbeterde een maat voor 'representatiecoördinatie' niet over de tijd. Deze bevinding suggereert dat lerenden verschillende representaties niet aan elkaar kunnen relateren of dit niet eens proberen (Ainsworth, 2006). Als het aan elkaar relateren van verschillende representaties niet noodzakelijk is om een taak naar behoren uit te voeren, kunnen vergeefse pogingen om dit toch te doen ook een negatief effect op leeruitkomsten hebben. Suboptimale integratieprocessen lijken in ieder geval ten grondslag te liggen aan het feit dat MER's vaak geen positief effect op leeruitkomsten laten zien.

Het is belangrijk om te merken dat de integratie van MER's een zwaar beroep kan doen op beschikbare cognitieve hulpbronnen (Seufert & Brünken, 2006). Ten eerste induceert het leren met MER's een hoge cognitieve belasting per se (*intrinsieke* belasting). Ten tweede moeten lerenden de corresponderende delen uit MER's op oppervlakeniveau aan elkaar kunnen relateren. Als de representaties van elkaar gescheiden zijn in de ruimte (een vorm waarbij de aandacht verdeeld moet worden; zie Renkl, 2005) moeten de lerenden

cognitieve hulpbronnen aanspreken voor visuele zoekprocessen. Dit kan een hoge cognitieve belasting veroorzaken die niet direct relevant is voor het leerproces (*niet-effectieve* cognitieve belasting). Een voorbeeld van het aan elkaar relateren van representaties op oppervlakteniveau vinden we wanneer lerenden het vermenigvuldigingsteken van de rekenkundige vergelijking in Figuur 1 moeten afbeelden op de takken van het boomdiagram (Seufert & Brünken, 2004). Ten derde moeten lerenden de corresponderende onderdelen van MER's op een structureel niveau integreren om de leerstof te begrijpen (Seufert & Brünken, 2004). Dit verhoogt de *effectieve* cognitieve belasting die het rechtstreeks gevolg is van leerprocessen, die door diepere verwerking tot beter begrip leiden. Een voorbeeld van het integreren van MER's op een structureel niveau vinden we wanneer lerenden het vermenigvuldigingsteken van de rekenkundige vergelijking in Figuur 1 structureel integreren met de takken van het boomdiagram om zo de onderliggende structuur te begrijpen: Het vermenigvuldigingsteken staat voor de inclusie van alle mogelijke combinaties die worden gerepresenteerd door de 20 takken van het boomdiagram.

Tegen deze achtergrond beogen de in deze bijdrage gepresenteerde studies te analyseren hoe lerenden geholpen kunnen worden bij het integreren van externe representaties op zowel oppervlakte als structureel niveau en hoe hierbij de potenties van MER's om tot diep begrip te leiden het beste kunnen worden aangewend.

## 2 Het optimistische standpunt: zelfverklaringen bevorderen de integratie van MER's

Roy en Chi (2005) concludeerden op basis van een recente overzichtsstudie naar zelfverklaringen dat deze verklaringen bijzonder geschikt lijken te zijn als externe representaties op een structureel niveau geïntegreerd moeten worden. Maar een directe empirische toets die een positief effect aantoonde van zelfverklaringen op de integratie van externe representaties ontbreekt nog.

Zelfverklaringen zijn uitgebreid geanalyseerd door Chi en haar collega's (zie Chi, 2000, voor een samenvatting). Zij beschrijft zelfverklaringen als uitingen waarmee deelnemers de inhoud van de leerstof tijdens het

### 5. Example Task: Mountainbike III

You and your friend take part in a two-day mountain bike course. Each day of the course the instructor brings along 5 helmets, each one of a different colour (orange, silver, brown, red, and green). The helmets are handed out randomly and given back to the instructor at the end of the day.

What is the probability that you and your friend get the red and the green helmet on the first day of the course (it does not matter who gets which colour)?

acceptable outcomes  $\frac{2}{5}$   
 possible outcomes me

friend  $\frac{1}{4}$

The probability is  $\frac{2}{20}$ .

os  
ob  
or  
or  
og  
so  
sb  
sr  
sg  
bo  
bs  
br  
bg  
ro  
rs  
rb  
rg  
go  
gs  
gb  
gr

These were your answers:

It is without replacement.

The number of the possible outcomes changes.

Why do you calculate the total possible outcomes by multiplying?

Each of the [ ] initial events ([ ] helmets) can occur in combination with [ ] other events ([ ] remaining helmets). Therefore, in the tree diagram, each of the [ ] blue initial branches forks into [ ] further blue branches.

Thus, there are [ ] times [ ] branches. Thereby, all possible combinations (os, ob, or, ...) are included.

Figuur 1. Schermafbeelding van de leeromgeving in experiment 3 voor de conditie Multipepe-Representatie Oplossingen / Integratiehulp / Steunvragen voor Zelfverklaringen.

leren aan zichzelf uitleggen. Aanvankelijk werd de term zelfverklaringen alleen gebruikt voor mondelinge uitingen, maar tegenwoordig wordt de term ook gehanteerd voor schriftelijke uitingen om iets dat geleerd wordt uit te leggen (Schworm & Renkl, 2007). Veel studies hebben positieve effecten van zelfverklaringen op leerprocessen en leeruitkomsten aangetoond. Positieve effecten zijn vooral gevonden bij het leren van uitgewerkte voorbeelden (zie Atkinson, Renkl, & Merrill, 2003; Renkl, 2005; Schworm & Renkl, 2007), maar ook voor andere instructiemethoden en voor verschillende domeinen, doelgroepen en contexten (Roy & Chi, 2005).

Een probleem van zelfverklaringen is dat veel lerenden niet van nature geneigd zijn om ze te gebruiken: zij spreken hun cognitieve hulpbronnen niet zo maar aan om begrip van de leerstof te vergroten (Renkl, 1997). Het gebruik van steunvragen (prompts) is een bewezen aanpak om het gebruik van zelfverklaringen te bevorderen. Steunvragen zijn vragen of hints die productieve leerprocessen teweeg brengen. Ze worden zo ontworpen dat oppervlakkige vormen van verwerking van de leerstof worden tegengegaan (Pressley, Wood, Woloshyn, Martin, King, & Menke, 1992). Wij zien steunvragen als *strategy activators* (Reigeluth & Stein, 1983), omdat zij leiden tot leerprocessen waartoe de lerenden in principe in staat zijn, maar die zij van nature niet of in onvoldoende mate ondernemen. Omdat lerenden in principe in staat zijn om de leeractiviteiten zelfstandig uit te voeren, kunnen de steunvragen hen naar deze activiteiten leiden zonder de noodzaak om hen bewust te laten reflecteren op wat zij aan het doen zijn. Atkinson et al. (2003) deden onderzoek met een computergebaseerde leeromgeving met uitgewerkte voorbeelden in het domein van de kansrekening en toonden aan dat steunvragen die op principes gebaseerde zelfverklaringen uitlokten tot verhoogde leeruitkomsten leidden (soortgelijke bevindingen bij het gebruik van steunvragen voor zelfverklaringen worden gerapporteerd door Conati & VanLehn, 2000, en Schworm & Renkl, 2007).

Steunvragen die lerenden aanmoedigen om zelfverklaringen te geven kunnen dus een effectieve cognitieve belasting tot gevolg

hebben (goede belasting of *germane load*; Kalyuga, in druk), mits de lerenden in staat zijn om adequate verklaringen te geven (Renkl, 1997). Maar studenten kunnen ook over onvoldoende voorkennis beschikken om adequate verklaringen te geven. In dat geval kan het vragen om zelfverklaringen juist tot niet-effectieve cognitieve belasting leiden (slechte belasting of *extraneous load*).

### 3 Het pessimistische standpunt: zelfverklaringen leiden tot cognitieve overbelasting

Vanuit de cognitieve belastingstheorie wordt wel geclaimd dat steunvragen voor zelfverklaringen bij het leren van complexe instructiematerialen tot een cognitieve belasting kunnen leiden die de capaciteit van het werkgeheugen te boven gaat (bijv. Sweller, 2006). Gerjets, Scheiter en Catrambone (2006) bestudeerden in het domein van de kansberekening bijvoorbeeld de effecten van het geven van steunvragen voor zelfverklaringen bij molaire uitgewerkte voorbeelden (inclusief een 'holistische' formule) en modulaire uitgewerkte voorbeelden (opgebouwd uit een aantal afzonderlijke eenheden die ook geïsoleerd beschouwd kunnen worden). De resultaten lieten een hogere prestatie zien voor de modulaire uitgewerkte voorbeelden, maar steunvragen voor zelfverklaringen hadden een negatief effect op prestatie als zij gecombineerd werden met deze modulaire voorbeelden. Met het oog op dit resultaat suggereert Sweller (2006) dat het advies om studenten additionele leeractiviteiten te laten verrichten bij het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden wellicht heroverwogen moet worden als het om complexe leerstof gaat. Het zou volgens hem beter zijn om alle gedetailleerde verklaringen tijdens de initiële instructie te geven en het presenteren van aanvullende verklaringen tijdens het bestuderen van de uitgewerkte voorbeelden te minimaliseren.

Ook Kalyuga (in druk) waarschuwt dat complexe instructiematerialen, die gekarakteriseerd worden door een hoge mate van interactiviteit tussen elementen in relatie tot de voorkennis van de student, gepaard kunnen

gaan met een hoge intrinsieke belasting om de instructie te begrijpen. Intrinsieke belasting omvat het beroep dat op de capaciteit van het werkgeheugen gedaan wordt door de complexiteit van het instructiemateriaal (Seufert & Brünken, 2006) en door de mate waarin relevante elementen van dit instructiemateriaal met elkaar interacteren (Kalyuga, in druk).

Een additionele niet-effectieve cognitieve belasting die veroorzaakt wordt door een suboptimaal ontwerp (bijv. MER's presenteren in een vorm waarbij de lerende de aandacht moet verdelen) kan onvoldoende cognitieve hulpbronnen overlaten om te leren. Dit zal vooral het geval zijn als het materiaal ook al een hoge intrinsieke cognitieve belasting veroorzaakt, omdat de totale belasting dan de beschikbare capaciteit van het werkgeheugen overschrijdt. De beschikbare cognitieve hulpbronnen kunnen onvoldoende zijn om het vereiste niveau van intrinsieke belasting plus de (effectieve) belasting die veroorzaakt wordt door cognitieve activiteiten gericht op betekenisvol leren te dragen. In dit geval is het verlagen van de niet-effectieve belasting door optimalisering van het instructiemateriaal noodzakelijk om leren mogelijk te maken. Een effectief en vanuit cognitief oogpunt optimaal instructieontwerp garandeert voldoende hulpbronnen om de intrinsieke belasting op te vangen, reduceert de niet-effectieve cognitieve belasting zo veel als mogelijk, en gebruikt de overblijvende capaciteit (mits beschikbaar) voor effectieve belasting. De ontwerper van instructie moet er echter rekening mee houden dat in sommige situaties toegevoegde effectieve cognitieve activiteiten extra hulpbronnen vereisen die de beschikbare capaciteit van het werkgeheugen te boven gaan. Als studenten met weinig voorkennis bijvoorbeeld complex instructiemateriaal met MER's bestuderen en tegelijkertijd steunvragen voor zelfverklaringen moeten beantwoorden is het goed mogelijk dat hun cognitieve capaciteiten overschreden worden, met negatieve effecten op het leren.

Concluderend kan gesteld worden dat het optimistische standpunt suggereert dat steunvragen voor zelfverklaringen vooral geschikt zijn om conceptueel begrip te bevorderen als verschillende soorten informatie in MER's

geïntegreerd moeten worden. Het pessimistische standpunt stelt echter dat het geven van steunvragen voor zelfverklaringen een cognitieve belasting kan veroorzaken die de beschikbare capaciteit van het werkgeheugen te boven gaat, vooral bij het leren van complexe leerstof zoals materiaal dat MER's bevat. Dit roept de vraag op of steunvragen voor zelfverklaringen het leren van MER's daadwerkelijk kunnen faciliteren, vooral omdat zij doorgaans gepaard gaan met een hoge intrinsieke cognitieve belasting. Dit is een belangrijke onderzoeksvraag maar ook een belangrijke praktische vraag: het antwoord bij het ontwerpen van leeromgevingen geeft aan of het opnemen van steunvragen voor zelfverklaringen het potentieel van MER's vergroot omdat het de integratie van verschillende soorten informatie bevordert of, in tegenstelling, juist verkleint omdat het tot cognitieve overbelasting leidt. Deze bijdrage aan het themanummer bestudeert de onderzoeksvraag aan de hand van een beschrijving van de resultaten van drie experimenten, die elk de effecten van steunvragen voor zelfverklaringen bij het leren van MER's bestuderen.

## 4 Experimenten

De drie experimenten zijn uitgevoerd in het domein van de kansberekening, een domein dat door veel studenten als erg moeilijk ervaren wordt. Dit domein leent zich goed voor het gebruik van verschillende externe representaties. Doorgaans worden twee oplossingsmethoden gebruikt: rekenkundige oplossingen (gebaseerd op een formule) en picturale oplossingen (gebaseerd op een boomdiagram). De MER's werden in alle drie de experimenten ingebed in modulaire uitgewerkte voorbeelden (d.w.z., de kansen van de *enkelvoudige* selecties worden bepaald en vermenigvuldigd, zie Renkl, 2005). Conceptueel begrip werd gemeten als belangrijkste afhankelijke variabele. Daarbij ging het vooral om het begrijpen waarom bepaalde oplossingsprocedures zijn zoals ze zijn. De studenten moesten bijvoorbeeld uitleggen waarom breuken met elkaar vermenigvuldigd moeten worden. De meting van conceptueel begrip op de test zegt iets over de kwaliteit

van het integreren van representaties, omdat de verklaring voor de vermenigvuldigingsregel eenvoudig kan worden afgeleid wanneer de picturale en rekenkundige representaties op de juiste wijze met elkaar geïntegreerd worden (i.e., het vermenigvuldigingsteken van de rekenkundige vergelijking staat voor de inclusie van alle mogelijke combinaties zoals gerepresenteerd door de takken van het picturale boomdiagram).

#### 4.1 Experiment 1

Experiment 1 (Große & Renkl, 2006) onderzoekt in hoeverre het aanbieden van multipelerepresentatie-oplossingen voor kansberekeningsproblemen (rekenkundige vergelijkingen en picturale boomdiagrammen) het conceptueel begrip van de studenten bevordert, in vergelijking met monorepresentatie-oplossingen (rekenkundige vergelijkingen of picturale boomdiagrammen). Bovendien voor instructieve verklaringen en open steunvragen voor zelfverklaringen het effect op het leren bestudeerd. De deelnemers waren 170 leraren in opleiding, afkomstig van een onderwijsuniversiteit (gemiddelde leeftijd is 22 jaar). De studie was opgezet als een 2 x 3 factorieel experiment (zie Tabel 1) met als factoren: a) vorm van de oplossing (multipelerepresentatie vs. monorepresentatie) en b) instructieve ondersteuning (instructieve verklaringen vs. open steunvragen voor zelfverklaringen vs. geen ondersteuning).

De instructiematerialen bevatten twee paar voorbeelden (vier voorbeelden in totaal). Elk voorbeeld kon met twee verschillende methoden worden opgelost (rekenkundige vergelijking of picturaal boomdiagram). Elk paar bevatte twee structureel identieke problemen die ook een aantal oppervlaktekenmerken deelden om de gelijkenis zichtbaar te maken voor de studenten. De eerste factor, vorm van de oplossing, verwijst naar het aantal aangeboden oplossingen (*multipelerepresentatie vs. monorepresentatie*). In de condities met multipelerepresentatie-oplossingen werden de twee nagenoeg identieke voorbeelden van elk paar opgelost met verschillende methoden (d.w.z.,

het picturale boomdiagram in het ene voorbeeld en de rekenkundige vergelijking in het andere voorbeeld). De deelnemers konden dus leren dat een gelijksoortig probleem opgelost kan worden met twee verschillende methoden. In de condities met monorepresentatie-oplossingen werden de twee voorbeelden van elk paar opgelost met dezelfde methode: De twee voorbeelden van het ene paar bevatten een picturaal boomdiagram en de twee voorbeelden van het andere paar bevatten een rekenkundige vergelijking. Dus ook in de condities met monorepresentaties werden de twee verschillende oplossingsmethoden gedemonstreerd, maar zij werden niet aangeboden als onderling verwisselbaar. Elke oplossingsmethode werd dus onafhankelijk van de experimentele conditie twee keer aangeboden aan elke student. De volgorde van de probleemtipes en oplossingsmethodes werd gevarieerd in elke groep om volgorde-effecten te voorkomen.

De tweede factor, instructieve ondersteuning, verwijst naar de hulp die de studenten ontvingen (*instructieve verklaringen vs. open steunvragen voor zelfverklaringen vs. geen ondersteuning*). Voor de condities met multipelerepresentatie-oplossingen richtten de instructieve verklaringen en open steunvragen voor zelfverklaringen zich vooral op de overeenkomsten tussen de picturale en rekenkundige oplossingen en op de voordelen en nadelen van deze methoden in relatie tot de verschillende probleemtipes. De studenten in de groep met de steunvragen voor zelfverklaringen werd bijvoorbeeld gevraagd om de volgende vraag voor een voorbeeldpaar schriftelijk te beantwoorden: “Welke overeenkomsten en verschillen zie je tussen de twee oplossingsmethoden?” De instructieve verklaringen kunnen gezien worden als de

Tabel 1  
Opzet van experiment 1

Groep	Instructieve verklaringen	Open steunvragen voor zelfverklaringen	Geen ondersteuning
Multipelerepresentatie oplossingen	<i>n</i> = 28	<i>n</i> = 28	<i>n</i> = 28
Mono-representatie oplossingen	<i>n</i> = 26	<i>n</i> = 29	<i>n</i> = 31

antwoorden op de steunvragen voor zelfverklaringen. De steunvragen voor zelfverklaringen en de instructieve verklaringen voor de condities met mon-representatie-oplossingen richtten zich op een enkele oplossing maar waren verder ruwweg equivalent aan de steunvragen en verklaringen voor de condities met multipelerepresentatie-oplossingen, met betrekking tot het aantal behandelde aspecten en met betrekking tot de tijd die nodig was om ze te verwerken (zoals eerder vastgesteld in proefstudies).

Een 2 x 3-ANOVA (voor vorm van de oplossing: *multipelerepresentatie* vs. *monorepresentatie*; en voor instructieve ondersteuning: *instructieve verklaringen* vs. *open steunvragen voor zelfverklaringen* vs. *geen ondersteuning*) toonde een hoofdeffect op leren in het voordeel van de multipelerepresentatie-oplossingen aan (gemiddeld tot sterk effect,  $\eta^2 = 0,10$ ). Noch het hoofdeffect van instructieve ondersteuning noch de interactie tussen beide factoren bereikte het significantieniveau. Geplande contrasten lieten echter zien dat voor het bereiken van conceptueel begrip instructieve verklaringen superieur waren aan open steunvragen voor zelfverklaringen als geleerd werd met multipelerepresentaties ( $\eta^2 = 0,10$ ; gemiddeld tot sterk effect). Er werd een exploratieve post-hoc-analyse uitgevoerd om de groep met multipelerepresentaties/open steunvragen voor zelfverklaringen te vergelijken met de groep multipelerepresentaties/geen ondersteuning. Deze analyse liet zien dat steunvragen voor zelfverklaringen zelfs een negatief effect op het bereikte conceptueel begrip hadden als zij werden gecombineerd met multipelerepresentaties ( $\eta^2 = 0,11$ ; gemiddeld tot sterk effect). Deze resultaten ondersteunen de veronderstelling vanuit cognitievebelastingstheorie dat het vragen om zelfverklaringen bij complex instructiemateriaal (zoals materiaal dat MER's bevat) tot cognitieve overbelasting kan leiden. Steunvragen die worden aangeboden om zelfverklaringen uit te lokken kunnen dus ineffectief zijn en zelfs een negatief effect op het bereiken van conceptueel begrip veroorzaken.

## 4.2 Experiment 2

Een proefstudie voorafgaand aan experiment 2 (zie Berthold, Eysink, & Renkl, 2009) be-

vestigde dat studenten problemen ondervinden met steunvragen voor zelfverklaringen die zijn toegevoegd aan complexe materialen die MER's bevatten. De proefstudie vergeleek de effecten van open steunvragen voor zelfverklaringen (vragen als "Waarom bereken je het totaal aantal acceptabele uitkomsten door vermenigvuldigen?") met experimentele materialen over kansberekening. Het bleek dat studenten grote moeilijkheden hadden met het juist beantwoorden van de open steunvragen voor zelfverklaringen. Zij konden dikwijls geen correcte verklaringen geven. Mogelijk zouden studenten meer baat kunnen hebben bij instructiemaatregelen die meer ondersteuning geven dan open steunvragen kunnen bieden (cf. Roy & Chi, 2005). Steunvragen die een of andere vorm van instructieve ondersteuning bieden (zie Koedinger & Aleven, 2007) leveren een veelbelovend uitgangspunt. Een voordeel van het geven van hulp of informatie is dat studenten correcte informatie ontvangen die doelmatig wordt gecommuniceerd. Zodoende worden fouten en dwalingen (om nog maar te zwijgen over compleet falen) aanmerkelijk gereduceerd.

In experiment 2 (Berthold et al., 2009) werden acht uitgewerkte voorbeelden uit het domein van de kansberekening met multipelerepresentatie-oplossingen aangeboden in een computergebaseerde leeromgeving. De taken die de basis vormden voor de acht uitgewerkte voorbeelden waren in het projectteam van LEMMA gezamenlijk ontworpen. De effecten van drie experimentele condities werden onderzocht: a) gerichte steunvragen voor zelfverklaringen die studenten expliciet hielpen om de informatie uit MER's op een structureel niveau te integreren, b) open steunvragen voor zelfverklaringen, en c) geen steunvragen voor zelfverklaringen. De deelnemers waren 62 psychologiestudenten (gemiddelde leeftijd is ongeveer 25 jaar). In alle condities was een integratiehulp opgenomen om niet-effectieve cognitieve belasting als gevolg van het verdelen van de aandacht over meerdere informatiebronnen te voorkomen (Renkl, 2005). De integratiehulp gebruikte kleurcodering en knippen om studenten te laten zien welke elementen uit de verschillende representaties op een oppervlakteniveau



met elkaar correspondeerden (zie Figuur 1). De integratiehulp hielp studenten bij het integreren van de rekenkundige informatie (bijv. het vermenigvuldigingsteken) en de picturale informatie (bijv. de takken van het boomdiagram). Door de studenten te helpen bij het identificeren van de corresponderende delen in de verschillende representaties wordt cognitieve capaciteit vrijgemaakt, die vervolgens gebruikt kan worden voor het genereren van zelfverklaringen.

De experimentele condities werden als volgt vorm gegeven. Deelnemers in de groep met gerichte steunvragen voor zelfverklaringen ontvingen in elk uitgewerkt voorbeeld zes vragen zoals: “Waarom bereken je het totaal aantal acceptabele uitkomsten met vermenigvuldiging?”. In het eerste uitgewerkte voorbeeld van elk paar gelijkvormige voorbeelden ontvingen de studenten *fill-in-the-blank*-zelfverklaringen (bijv. “Er zijn — maal — takken. Op die manier worden alle mogelijke combinaties weergegeven”; zie Figuur 1). De *fill-in-the-blank*-ondersteuning werd afgebouwd voor de volgende gelijkvormige voorbeelden. Zij typten hun antwoorden in corresponderende tekstboxes. Deelnemers in de groep met open steunvragen voor zelf-

verklaringen ontvingen slecht zes open vragen voor elk uitgewerkt voorbeeld (bijv. “Waarom bereken je het totaal aantal acceptabele uitkomsten door middel van vermenigvuldiging?”). De gerichte steunvragen voor zelfverklaringen en de open steunvragen benadrukken het op een structureel niveau integreren van picturale en rekenkundige representaties. De steunvraag “Waarom is er een 4 in de noemer van het tweede enkele experiment, terwijl er 20 takken in het boomdiagram zijn?” verwijst bijvoorbeeld naar zowel de rekenkundige representatie (de 4 in de noemer) als de picturale representatie (20 takken in het boomdiagram). De studenten moeten de noemer van de rekenkundige vergelijking relateren aan de corresponderende takken van het boomdiagram om deze vraag te beantwoorden. Op deze manier kunnen zij begrijpen dat de 4 staat voor het aantal overblijvende gebeurtenissen van een initiële tak. Vanwege het feit dat er vijf initiële takken zijn in het eerste enkele experiment, worden er 5 maal 4, of 20, takken meegerekend.

De studenten in de conditie zonder steunvragen voor zelfverklaringen (controleconditie) bestudeerden dezelfde uitgewerkte voorbeelden als de studenten in de twee ex-

**5. Example Task: Mountainbike III**

You and your friend take part in a two-day mountain bike course. Each day of the course the instructor brings along 5 helmets, each one of a different colour (orange, silver, brown, red, and green). The helmets are handed out randomly and given back to the instructor at the end of the day.

What is the probability that you and your friend get the red and the green helmet on the first day of the course (it does not matter who gets which colour)?

acceptable outcomes  $\frac{2}{5}$     friend  $\frac{1}{4}$     =     $\frac{2}{20}$   
 possible outcomes  
 me

The probability is  $\frac{2}{20}$ .

Here you can take notes:

Figuur 2. Schermafbeelding van de leeromgeving in experiment 3 voor de conditie Multiple-Representatie Oplossingen / Geen integratiehulp / Geen Steunvragen voor Zelfverklaringen.

perimentele condities. Het enige verschil was dat deze studenten geen steunvragen ontvingen maar slechts een tekstbox waarin zij aantekeningen konden maken (zie Figuur 2).

Een *t*-test werd gebruikt om de groepen met en zonder steunvragen te vergelijken. De vergelijking liet een significant effect op de test voor conceptueel begrip zien, met een sterke effectgrootte van  $d = 0,80$ . De deelnemers in de groepen met steunvragen voor zelfverklaringen presteerden beter dan de deelnemers in de groep zonder steunvragen. Een *t*-test die de groep met gerichte steunvragen voor zelfverklaringen vergeleek met de groep met open steunvragen voor zelfverklaringen liet ook een significant effect zien in het voordeel van de eerste groep, met een gemiddelde tot sterke effectgrootte van  $d = 0,68$ . Gerichte steunvragen voor zelfverklaringen hebben in vergelijking met open steunvragen dus een aanvullend effect op het bereiken van conceptueel begrip. Mediatoranalyses (MacKinnon, 2002) lieten zien dat het effect op conceptueel begrip gemedieerd werd door zelfverklaringen die niet slechts een oplossingsstap aan een onderliggend principe relateren, maar ook de achterliggende redenen van het principe uitleggen. Het blijkt dus dat gerichte steunvragen voor zelfverklaringen leidden tot meer conceptueel begrip omdat zij studenten effectief ondersteunen bij het genereren van zelfverklaringen die ingaan op de achterliggende redenen van het principe.

Het begrijpen *waarom* de vermenigvuldigingsregel moet worden toegepast betreft een speciaal aandachtspunt in de leeromgeving. Dit begrip is essentieel wanneer de kansen van complexe gebeurtenissen berekend moeten worden. Meestal begrijpen studenten wel *dat* de vermenigvuldigingsregel gebruikt moet worden, maar *waarom* de breuken met elkaar vermenigvuldigd moeten worden, blijft vaak onbegrepen. Voor veel studenten spreekt dat laatste ook zeker niet voor zichzelf. De reden voor het principe is echter 'ingekapseld' in de multipelerepresentatieoplossing. De student kan het alleen maar 'uitpakken' door de informatie van het vermenigvuldigingsteken in de rekenkundige vergelijking te integreren met de takken van het boomdiagram. Zodoende kunnen de studenten begrijpen dat de takken van het

boomdiagram een 'vermenigvuldiging' representeren en zich realiseren dat deze vermenigvuldiging alle mogelijke combinaties bevat die bijvoorbeeld worden weergegeven door de vijf maal vier takken in het boomdiagram (zie Figuur 1). Dit type kennis geeft ook aan in hoeverre de twee representaties geïntegreerd zijn, omdat deze kennis niet of nauwelijks geconstrueerd kan worden op basis van het bestuderen van slechts één representatie. Het begrip van de vermenigvuldigingsregel werd vergeleken tussen de groepen met steunvragen voor zelfverklaringen en de groep zonder steunvragen. Een *t*-test liet een significant verschil zien, met een gemiddelde tot sterke effectgrootte van  $d = 0,70$ . De deelnemers in de groepen met steunvragen voor zelfverklaringen presteerden beter met betrekking tot het begrijpen van de vermenigvuldigingsregel dan de deelnemers in de groep zonder steunvragen. Een *t*-test om te vergelijken of er ook een verschil is tussen de groep met gerichte steunvragen en de groep met open steunvragen liet een significant verschil zien in het voordeel van de groep met gerichte steunvragen (sterke effectgrootte van  $d = 1,13$ ). Het algemene patroon van prestaties laat zien dat gerichte steunvragen voor zelfverklaringen de integratie van de informatie in MER's bevorderen. Wij concluderen daarom dat gerichte steunvragen voor zelfverklaringen aangeboden zouden moeten worden om de kwaliteit van gegeven verklaringen te verhogen en conceptueel begrip te vergroten.

### 4.3 Experiment 3

Experiment 3 (Berthold & Renkl, 2009) bouwde voort op eerdere resultaten en gebruikte opnieuw gerichte steunvragen voor zelfverklaringen. Daarnaast werd de integratiehulp al dan niet geïmplementeerd en werd cognitieve belasting gemeten. Deelnemers uit het secundair onderwijs ( $N = 270$ , gemiddelde leeftijd ongeveer 16 jaar) leerden kansberekening in een computergebaseerde leeromgeving die vrijwel identiek was aan de omgeving uit experiment 2. Het experiment kende acht condities en varieerde de vorm van de representatie (picturaal, rekenkundig, multiplerepresentatie) evenals twee ondersteuningsmiddelen a) de integratiehulp en



b) gerichte steunvragen voor zelfverklaringen; zie Tabel 2). Er werden twee overlappende designs gebruikt: a) een 3 (vorm van de representatie: *picturaal, rekenkundig, en multipele representatie*) x 2 (gerichte steunvragen: *met steunvragen en zonder steunvragen*) design, dat in Tabel 2 wordt weergegeven binnen de dikke zwarte lijn, en b) voor de vier multipelerepresentatie-condities een 2 (integratiehulp: *met integratiehulp en zonder integratiehulp*) x 2 (gerichte steunvragen: *met steunvragen en zonder steunvragen*) design, dat in Tabel 2 wordt weergegeven binnen het grijs getinte gebied. De twee multipelerepresentatiecondities zonder integratiehulp worden gedeeld door beide designs.

De oplossingstappen in de multipelerepresentatiecondities werden in elk voorbeeld in de vorm van zowel een boomdiagram als een rekenkundige vergelijking aangeboden (zie Figuren 1 en 2). De deelnemers in de monorepresentatiecondities ontvingen vrijwel dezelfde uitgewerkte voorbeelden, inclusief probleemstelling, oplossingsstappen en uiteindelijke oplossing (Figuur 2). Het enige verschil was dat de oplossingstappen in de monorepresentatiecondities *of* in de vorm van een boomdiagram *of* in de vorm van een rekenkundige vergelijking werden aangeboden.

De integratiehulp was vrijwel identiek aan die uit experiment 2 (zie Figuur 1 voor een versie met integratiehulp en Figuur 2 voor

een versie zonder integratiehulp). Ook de gerichte steunvragen voor zelfverklaringen waren vrijwel identiek aan die uit experiment 2.

De gemeten afhankelijke variabelen waren (onder andere) zelfverklaringen, cognitieve belasting en conceptueel begrip. De deelnemers beantwoordden na elk tweede gelijkvormig voorbeeld vijf vragen naar verschillende aspecten van cognitieve belasting op een 9-puntsbeoordelingsschaal. De verzameling vragen was een aangepaste en uitgebreide versie van de SOS-schaal (Swaak & De Jong, 2001) en werd gebruikt in alle LEMMA-projecten. The testschaal conceptueel begrip in experiment 3 correspondeerde met het LEMMA-kennis subtype C3 (i.e., begrijpen waarom kansen berekend worden zoals ze berekend worden). Aan de vier LEMMA-items voor het meten van conceptueel begrip werden nog twee projectspecifieke items toegevoegd.

In een 3 (vorm van de representatie: *picturaal, rekenkundig, en multipele-representatie*) x 2 (*met of zonder steunvragen*) ANCOVA, met voorkennis als covariaat, werd geen significant hoofdeffect voor de vorm van de representatie gevonden. MER's leiden op zichzelf dus niet tot beter conceptueel begrip. Er was wel een hoofdeffect voor gerichte steunvragen voor zelfverklaringen (sterke effectgrootte van  $\eta^2 = 0,15$ ); het toevoegen van steunvragen had een positief effect op conceptueel begrip. De interactie tussen vorm van de representatie en steunvragen was niet significant. Er werd tevens een 2 x 2-ANCOVA uitgevoerd op de multipelerepresentatiecondities (*met en zonder integratiehulp, met en zonder steunvragen, en voorkennis als covariaat*).

Er was een hoofdeffect in het voordeel van zowel de integratiehulp (gemiddelde effectgrootte van  $\eta^2 = 0,07$ ) als voor de gerichte steunvragen voor zelfverklaringen (sterk effect van  $\eta^2 = 0,16$ ). De interactie tussen integratiehulp en steunvragen was niet significant. De integratiehulp en de gerichte steunvragen hebben dus een additief effect op het bereiken van conceptueel begrip. Mediatoranalyses (MacKinnon, 2002) lieten zien dat de effecten van steunvragen op conceptueel begrip gemedieerd werden door zelfverkla-

Tabel 2  
Opzet van experiment 3

Groep	Gerichte steunvragen voor zelfverklaringen	Geen steunvragen voor zelfverklaringen
Picturale oplossingen	$n = 21$	$n = 21$
Rekenkundige oplossingen	$n = 21$	$n = 22$
Multipele representatie (picturale & rekenkundige oplossingen) / geen integratiehulp	$n = 21$	$n = 22$
Multipele representatie (picturale & rekenkundige oplossingen) / integratiehulp	$n = 21$	$n = 21$

ringen die niet alleen een oplossingsstap aan een principe relateren maar tevens de achterliggende reden van het principe uitleggen. Wij waren ook geïnteresseerd in de vraag of een integratiehulp en gerichte steunvragen voor zelfverklaringen een effect hadden op de cognitieve belasting tijdens het leren met multipelerepresentatie-oplossingen. Een ANCOVA liet een hoofdeffect zien voor zowel de integratiehulp (gemiddelde effectgrootte van  $\eta^2 = 0,09$ ) als voor de gerichte steunvragen (sterk effect van  $\eta^2 = 0,39$ ). De deelnemers in de groepen met een integratiehulp rapporteerden een significant *lagere* cognitieve belasting dan de deelnemers in de groepen zonder integratiehulp. En deelnemers in de groepen met gerichte steunvragen voor zelfverklaringen rapporteerden een significant *hogere* cognitieve belasting dan de deelnemers in de groepen zonder steunvragen. Voor cognitieve belasting bereikte de interactie tussen integratiehulp en gerichte steunvragen voor zelfverklaringen het significantieniveau niet.

## 5 Discussie

Op basis van onze belangrijkste bevindingen kan de onderzoeksvraag of steunvragen voor zelfverklaringen het leren met MER's kunnen faciliteren als volgt beantwoord worden. Als studenten leren van complexe instructiematerialen die MER's bevatten en een hoge intrinsieke belasting bewerkstelligen:

- kunnen open steunvragen voor zelfverklaringen tot cognitieve overbelasting leiden en zelfs een negatief effect op het bereiken van conceptueel begrip veroorzaken als de MER's worden aangeboden in een vorm waarbij de aandacht verdeeld moet worden (zie experiment 1 waarbinnen de picturale en rekenkundige oplossingen werden aangeboden in twee afzonderlijke voorbeelden en zo tot een toegevoegde niet-effectieve belasting leidden);
- kunnen integratiehulpmiddelen, die studenten helpen bij het relateren van de corresponderende elementen van MER's, ervoor zorgen dat de productiviteit van steunvragen voor zelfverklaringen wordt hersteld (zie experimenten 2 en 3);

- kunnen gerichte steunvragen voor zelfverklaringen in vergelijking tot open steunvragen aanvullende positieve effecten op het bereiken van conceptueel begrip hebben – waaronder het begrijpen van de vermenigvuldigingsregel (zie experiment 2), en
- kunnen integratiehulpmiddelen de cognitieve belasting reduceren en gerichte steunvragen voor zelfverklaringen de cognitieve belasting verhogen (zie experiment 3).

De resultaten ondersteunen noch een geheel optimistische kijk noch een geheel pessimistische kijk op de effectiviteit van zelfverklaringen voor complexe instructiematerialen die MER's bevatten. In plaats daarvan nemen wij een *realistisch* standpunt in: Steunvragen voor zelfverklaringen *kunnen* een krachtig hulpmiddel voor onderwijzen en leren zijn, maar slechts onder bepaalde condities. Meer specifiek gaat het realistische standpunt over leren met MER's van twee assumpties uit: a) ontwerpers van instructie moeten cognitieve overbelasting in leeromgevingen die MER's bevatten voorkomen en b) bij het leren met MER's zijn gerichte steunvragen voor zelfverklaringen meer effectief dan open steunvragen.

Met betrekking tot punt a) is het cruciaal om de niet-effectieve cognitieve belasting, bijvoorbeeld zoals die wordt geïnduceerd door MER's die het verdelen van de aandacht vereisen (experiment 1), te reduceren en zo werkgeheugencapaciteit vrij te maken voor processen die leiden tot een toename van de effectieve cognitieve belasting (Kalyuga, in druk; Sweller, 2006). Dit is van speciaal belang tijdens het bestuderen van complexe instructiematerialen met MER's, omdat deze op zichzelf al een hoge intrinsieke cognitieve belasting veroorzaken. Als de effectieve belasting verhoogd wordt zonder dat daar werkgeheugencapaciteit voor beschikbaar is kan het leren eerder gehinderd dan gefaciliteerd worden (Sweller, 2006). De resultaten uit experiment 1 – open steunvragen voor zelfverklaringen hebben een negatief effect op het bereiken van conceptueel begrip als MER's het verdelen van de aandacht vereisen – geven steun aan deze redenering. Een reductie van de niet-effectieve cognitieve belasting

kan bijvoorbeeld bereikt worden door het gebruik van een integratiehulp. De resultaten uit experiment 2 en experiment 3 tonen aan dat het gebruik van een integratiehulp de niet-effectieve belasting verlaagt en zo werkgeheugencapaciteit vrijmaakt die beschikbaar is voor het verhogen van de effectieve belasting middels het genereren van zelfverklaringen.

Met betrekking tot punt b) is het belangrijk om te benadrukken dat niet *alle* steunvragen voor zelfverklaringen geschikt zijn om de effectieve belasting tijdens het leren met MER's te verhogen. De resultaten van de proefstudie, die voorafgaand aan experiment 2 werd uitgevoerd, laten zien dat veel studenten grote problemen hebben met het beantwoorden van open steunvragen voor zelfverklaringen. De meesten waren bijvoorbeeld niet in staat om de achterliggende reden van de vermenigvuldigingsregel voor zichzelf te verklaren, ook niet als zij daartoe werden aangezet door open steunvragen. De krachtiger maatregel waarbij *gerichte* steunvragen voor zelfverklaringen werden gegeven (experiment 2 en 3) had meer succes en was superieur ten opzichte van open steunvragen. Gerichte steunvragen voor zelfverklaringen waren in het bijzonder effectief om de verschillende soorten informatie in MER's beter met elkaar te integreren, zoals blijkt uit de resultaten voor het begrijpen van de vermenigvuldigingsregel. Deze regel kan begrepen worden door het vermenigvuldigingsteken in de rekenkundige vergelijking en de takken van het boomdiagram met elkaar te integreren. Kortom, onze bevindingen suggereren dat gerichte steunvragen voor zelfverklaringen bijzonder geschikt zijn om de integratie van multi-pele representaties te ondersteunen.

## 6 Conclusies

De bevindingen uit experiment 2 leiden ons tot de conclusie dat steunvragen alleen effectief zijn als zij weloverwogen ontworpen worden met het oog op te bereiken leerdoelen. Het wekt verbazing dat dit in de literatuur zelden wordt vermeld. Onze resultaten suggereren dat open steunvragen voor zelfverklaringen slechts geschikt zijn om een

*production deficit* op te lossen (Flavell, Beach, & Chinsky, 1966): Zij werken alleen maar als de studenten in principe wel in staat zijn om zelfverklaringen te genereren maar dit niet spontaan doen. Open steunvragen voor zelfverklaringen zijn echter onvoldoende als er sprake is van een *mediation deficit*: Zij zijn ongeschikt als de studenten niet over de cognitieve middelen (mediators) beschikken om zelfverklaringen te genereren (zie de resultaten van de proefstudie die vooraf ging aan experiment 2). In dat geval bieden gerichte steunvragen voor zelfverklaringen een krachtiger vorm van ondersteuning om het *mediation deficit* op te lossen. Wij noemen dit het *gerichte steunvragen voor zelfverklaringen effect*, dat verwijst naar het ontlocken van zelfverklaringen van hoge kwaliteit en het bereiken van conceptueel begrip. In tegenstelling tot de assumptie van Sweller (2006) laat dit effect zien dat gerichte steunvragen voor zelfverklaringen lerenden kunnen aanmoedigen om tijdens het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden aanvullende activiteiten te verrichten, die vervolgens leiden tot een hogere effectieve cognitieve belasting en een beter conceptueel begrip.

Een nadeel van gerichte steunvragen voor zelfverklaringen is dat hun beantwoording voor de studenten behoorlijk veel tijd in beslag neemt en dat zij voor docenten of ontwerpers niet eenvoudig te construeren zijn. Daarom pleiten wij alleen voor de implementatie van gerichte steunvragen voor zelfverklaringen als het bereiken van conceptueel begrip van de leerstof niet haalbaar is zonder deze maatregel. Slechts dan is het ontwikkelen van de steunvragen de moeite waard omdat de bereikte effecten de kosten van de constructie rechtvaardigen.

Voor vervolgstudies kunnen leeromgevingen met MER's ontworpen worden die verschillende soorten steunvragen voor zelfverklaringen bevatten voor studenten met verschillende niveaus van expertise (cf. Conati & Van Lehn, 2000). Daarnaast kunnen zelfverklaringen online gediagnosticeerd worden om een onmiddellijke en dynamische aanpassing van geboden hulp en ondersteuning mogelijk te maken.

## 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

- Ainsworth, S. E. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction, 16*, 183-198.
- Ainsworth, S. E., Bibby, P. A., & Wood, D. J. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *The Journal of the Learning Sciences, 11*, 25-61.
- Atkinson, R. K., Renkl, A., & Merrill, M. M. (2003). Transitioning from studying examples to solving problems: Combining fading with prompting fosters learning. *Journal of Educational Psychology, 95*, 774-783.
- Berthold, K., Eysink, T. H. S., & Renkl, A. (2009). Assisting self-explanation prompts are more effective than open prompts when learning with multiple representations. *Instructional Science*, DOI 10.1007/s11251-008-9051-z.
- Berthold, K., & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology, 101*, 70-87.
- Chi, M. T. H. (2000). Self-explaining expository texts: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (pp. 161-238). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Conati, C., & VanLehn, K. (2000). Toward computer-based support of meta-cognitive skills: A computational framework to coach self-explanation. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 11*, 398-415.
- Flavell, J. H., Beach, D. R., & Chinsky, J. M. (1966). Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Child Development, 37*, 283-289.
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2006). Can learning from molar and modular worked-out examples be enhanced by providing instructional explanations and prompting self-explanations? *Learning and Instruction, 16*, 104-121.
- Große, C. S., & Renkl, A. (2006). Effects of multiple solution methods in mathematics learning. *Learning and Instruction, 16*, 122-138.
- Kalyuga, S. (in druk). Schema acquisition and sources of cognitive load. In J. Plass, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive load theory and research in educational psychology*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Koedinger, K. R., & Aleven V. (2007). Exploring the assistance dilemma in experiments with Cognitive Tutors. *Educational Psychology Review, 19*, 239-264.
- MacKinnon, D. P. (2002). Mediating variable. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopaedia of the social and behavioral sciences* (pp. 9503-9507). New York: Elsevier.
- Pressley, M., Wood, E., Woloshyn, V. E., Martin, V., King, A., & Menke, D. (1992). Encouraging mindful use of prior knowledge: Attempting to construct explanatory answers facilitates learning. *Educational Psychologist, 27*, 91-109.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science, 21*, 1-29.
- Reigeluth, C. M., & Stein, F. S. (1983). The elaboration theory of instruction. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: An overview of the current status* (pp. 335-382). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Renkl, A. (2005). The worked-out example principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 229-247). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Roy, M., & Chi, M. T. H. (2005). The self-explanation principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 271-287). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Schworm, S., & Renkl, A. (2007). Learning argumentation skills through the use of prompts for self-explaining examples. *Journal of Educational Psychology, 99*, 285-296.
- Seufert, T., & Brünken, R. (2004). Supporting coherence formation in multimedia learning. In P. Gerjets, P. Kirschner, J. Elen, & R. Joiner (Eds.), *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning*. Pro-

ceedings of the first joint meeting of the EARLI SIGs *Instructional Design and Learning and Instruction with Computers* (pp. 138-147). Tübingen, Germany: Knowledge Media Research Center.

Seufert, T., & Brünken, R. (2006). Cognitive load and the format of instructional aids for coherence formation. *Applied Cognitive Psychology, 20*, 321-331.

Swaak, J., & Jong, T. de. (2001). Learner vs. system control in using online support for simulation-based discovery learning. *Learning Environments Research, 4*, 217-241.

Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction, 16*, 165-169.

Manuscript aanvaard: 1 september 2009

## Auteurs

**Kirsten Berthold** en **Alexander Renkl** zijn werkzaam bij de Afdeling Psychologie van de Universiteit van Freiburg. **Cornelia Große** werkt bij de afdeling Pedagogiek en Onderwijswetenschappen van de Universiteit Bremen.

*Correspondentieadres:* Kirsten Berthold Afdeling Psychologie, Onderwijs- en Ontwikkelingspsychologie, Universiteit Freiburg, Engelbergerstr. 41, D-79085 Freiburg, Duitsland. E-mail: kirsten.berthold@psychologie.uni-freiburg.de.

## Abstract

### **Assisting self-explanation prompts as facilitators of integrating multiple representations**

According to Roy and Chi (2005) self-explanations are especially suited to foster conceptual understanding when multiple representations have to be integrated. However, recently it was claimed within cognitive load theory that self-explanation may take cognitive load beyond working memory capacity when learning with complex learning material (Sweller, 2006). Thus, the question arises if self-explanations can indeed facilitate learning with complex materials including multiple representations that are to be integrated. The findings of three experiments in which the participants studied worked examples from mathematics show that the demand to self-explain complex material including multiple representations can actually lead to cognitive overload. However, employing instructional support measures such as a) relating aids that use color codes to help learners see which elements in different representations correspond to each other on a surface level and b) self-explanation prompts that assist the learners to integrate corresponding parts in different representations on a structural level reconstitutes the productiveness of self-explanation demands.