

Het combineren van causale en mathematische schema's ondersteunt leerlingen in het gezamenlijk oplossen van realistische bedrijfseconomische probleemopgaven

B. Slof, G. Erkens en P. A. Kirschner

Samenvatting

Deze studie richtte zich op de vraag of het achtereenvolgens maken van causale en mathematische begrippenschema's leerlingen ondersteunt in het gezamenlijk oplossen van realistische bedrijfseconomische probleemopgaven. In totaal werkten 102 VWO 4 leerlingen in drietallen aan de probleemgave door achtereenvolgens de activiteiten van de (1) oplossingsfase (vaststellen van het probleem en formuleren van meerdere oplossingen) en (2) evaluatiefase (vergelijken van de financiële gevolgen van de oplossingen en komen tot een eindadvies) uit te voeren. De 34 groepen werden willekeurig toegekend aan vier experimentele condities en verschilden in de wijze waarop ze schema's dienden te maken. Groepen in de causaal-mathematisch conditie (n = 8) maakten een oorzakelijk schema gedurende de oplossingsfase en een mathematisch schema gedurende de evaluatiefase. Groepen in de mathematisch-causaal conditie (n = 8) maakten beide schema's in de omgekeerde volgorde. Groepen in de causaal (n = 9) en mathematisch (n = 9) condities maakten bij iedere probleemoplosfase hetzelfde soort schema (causaal respectievelijk mathematisch). Zoals verwacht hadden groepen die begrippenschema's maakten die overeenkwamen met de activiteiten van de probleemoplosfasen (causaal-mathematisch conditie) een hogere score voor hun oplossing voor het probleem en waren zij beter in staat om hun samenwerkingsproces te coördineren dan groepen in de andere condities.

2012; OECD, 2010). In het economieonderwijs wordt hier op ingespeeld door gebruik te maken van realistische probleemopgaven (Bigelow, 2004; Mergendoller, Maxwell, & Bellisimo, 2006). Voor het vak Management & Organisatie moeten leerlingen bijvoorbeeld adviseren hoe een bedrijf dat verlies leidt, weer winstgevend is te maken. Leerlingen moeten hierbij niet alleen berekeningen uitvoeren, maar ook voorspellen hoe en verklaren waarom hun oplossingen gunstig/ongunstig voor het bedrijf zullen uitpakken. Het gezamenlijk oplossen van realistische probleemopgaven is vaak efficiënter en effectiever dan wanneer leerlingen dit alleen doen. Een eerste reden hiervoor is dat groepsgenoten het verwerken van informatie over meerdere werkgeheugens kunnen verdelen, wat het voor hen makkelijker maakt om de vakinhoud te begrijpen en toe te passen. Individuele leerlingen kunnen alleen gebruik maken van hun eigen (beperkte) werkgeheugen en zullen daarom meer moeite hebben met het verwerken van de informatie (Kirschner, Paas, & Kirschner, 2009; Schellens & Valcke, 2005). Een tweede reden is dat gezamenlijk probleem oplossen discussies over de vakinhoud en het probleem kunnen ontlocken. Het discussiëren over begrippen, relaties en procedures kan leerlingen stimuleren om de vakinhoud en het probleem vanuit meerdere perspectieven te bekijken en de opgedane kennis toe te passen in andere situaties. Individuele leerlingen zijn meestal niet in staat om dezelfde diepgang te bereiken en komen daardoor met kwalitatief minder oplossingen voor het gestelde probleem (Johnson & Johnson, 2009; Laughlin, Carey, & Kerr, 2008; Okada & Simon, 1997).

Ander onderzoek geeft echter aan dat leerlingen moeite hebben met het oplossen van realistische probleemopgaven (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006). Een veel genoemde reden hiervoor is dat leerlingen meestal niet beschikken over een goed ontwikkeld begrip

1 Inleiding

Vanwege snel veranderende maatschappelijke- en werkomstandigheden worden vaardigheden als probleem oplossen en samenwerken steeds belangrijker (Fischer, Greiff, & Funke

van de vakinhoud. Dit leidt tot een inefficiënt en ineffectief probleemoplossingsproces, omdat leerlingen dan gebruik moeten maken van (1) informatie uit de probleemopgave in plaats van de onderliggende principes van de vakinhoud (Corbalan, Kester, & Van Merriënboer, 2009) en (2) ongeschikte oplossingsstrategieën gebruiken zoals het formuleren van oplossingen voordat het probleem goed in kaart is gebracht (Jonassen, 2003). In het economieonderwijs vinden leerlingen het bijvoorbeeld lastig om de uitkomsten van hun berekeningen te koppelen aan de door hen voorgestelde oplossingen, waardoor zij de geschiktheid van de oplossingen niet goed kunnen beoordelen. Het is dus van belang dat leerlingen de kernbegrippen en hun onderlinge relaties voldoende beheersen en de relatie tussen oorzaak en gevolg goed inzien (Jonassen & Ionas, 2008; McCrudden, Schraw, Lehman, & Poliquin, 2007).

Mogelijkerwijs kunnen leerlingen ondersteund worden in het ontwikkelen van een goed begrip van de vakinhoud. Door hen meerdere begrippenschema's van de vakinhoud te laten maken kan het oplossen van realistische probleemopgaven ondersteund worden. Deze bijdrage richt zich daarom op de vraag of het combineren van causale en mathematische schema's van de vakinhoud leerlingen ondersteunt in het gezamenlijk oplossen van een realistische bedrijfseconomische probleemopgave.

2 Realistische problemen oplossen door het maken van meerdere vakspecifieke begrippenschema's

2.1 Voordelen en nadelen van het maken van vakspecifieke begrippenschema's

Het zelf maken van begrippenschema's biedt leerlingen de mogelijkheid om bewust begrippen met elkaar te verbinden en stimuleert hen om (1) relevante informatie te selecteren, (2) begrippen in coherente structuren te organiseren, (3) informatie aan de aanwezige voorkennis te relateren, (4) misconcepties vast te stellen, en (5) nieuwe ideeën, vragen en plannen te genereren (Van Meter & Garner, 2005). Daarnaast, geeft een gedeeld

schema de huidige opvattingen en ideeën van meerdere leerlingen over de vakinhoud en het probleem weer. In hun gesprekken kunnen leerlingen hier naar verwijzen waardoor het makkelijker wordt om hun kennis te delen en over verschillende standpunten te discussiëren (Mercer, Littleton, & Wegerif, 2004; Mühlfordt & Stahl, 2007). Een goed ontwikkeld begrip blijkt vaak uit het begrijpen, relateren en toepassen van informatie uit verschillende soorten schema's (Jonassen, 2003; Kozma, 2003). Bij de meeste vakken (bv. aardrijkskunde, bedrijfseconomie, scheikunde) is het daarom wenselijk om leerlingen zowel causale als mathematische schema's te laten maken. Het combineren van meerdere begrippenschema's kan het probleem oplossen ondersteunen omdat elk schema de vakinhoud anders weergeeft en zodoende andere probleemoplossingsactiviteiten ontlokt (Ainsworth, 2006; Fredriksen & White, 2002). *Causale schema's* stimuleren discussies over begrippen, hun onderliggende oorzakelijke principes en de omstandigheden waaronder deze toegepast kunnen worden en kunnen leerlingen ondersteunen bij het vaststellen van het probleem en het formuleren van mogelijke oplossingen (Jonassen & Ionas, 2008). *Mathematische schema's* stimuleren discussies over begrippen en hun mathematische relaties en kunnen leerlingen ondersteunen bij het berekenen van de effecten en dus het bereiken van een uiteindelijke oplossing (Kollöffel, Eysink, & De Jong, 2010).

Het is voor leerlingen echter niet eenvoudig om begrippenschema's te maken en/of verschillende soorten schema's te combineren. Zij begrijpen of weten mogelijkerwijs niet: (1) op welke wijze de vakinhoud weergegeven kan worden, (2) hoe zij de informatie uit de schema's dienen te verwerken en (3) hoe zij de schema's aan elkaar en de probleemopgave dienen te relateren (Bodemer & Faust, 2006). Wanneer dit het geval is zullen leerlingen problemen ervaren met het verkrijgen van een goed ontwikkeld begrip van de vakinhoud en zodoende worden belemmerd in het oplossen van de probleemopgave (Ainsworth, 2006; Van Meter & Garner, 2005). Zo kunnen leerlingen ervoor kiezen om geen schema's te maken of geen aandacht meer te schenken aan de

schema's nadat de begrippen aan elkaar gerelateerd zijn en zodoende de schema's niet of niet meer te gebruiken bij het oplossen van de probleemopgave. Leerlingen zien het maken van de schema's dan als een extra taakvereiste in plaats van als een nuttige leeractiviteit (De Simone, Schmid, & McEwan, 2001). Daarnaast kunnen onduidelijkheden bij het maken en combineren van schema's ervoor zorgen dat leerlingen niet goed op de hoogte zijn van elkaars kennis, ideeën en acties. Wanneer leerlingen niet in staat zijn om elkaars bijdragen goed te interpreteren en deze aan elkaar te relateren ontstaan communicatieproblemen (*coördineren*, zie Barron, 2003; Erkens & Janssen, 2008). Zo is het begrijpen en in verband brengen van individuele bijdragen moeilijk wanneer leerlingen tegelijkertijd verschillende onderwerpen bespreken. Leerlingen dienen daarom een gezamenlijk gespreksonderwerp te kiezen, zich hier op te richten in hun discussie en in te spelen op mogelijke afwijkingen van het gespreksonderwerp (*focussen*, zie Clark & Brennan, 1991). Voorbeelden van focus activiteiten zijn; (1) voorstellen doen voor en het signaleren van wisseling van gespreksonderwerp en (2) aandacht te vragen voordat er nieuwe informatie overgebracht wordt. Aangezien niet alle begrippen, relaties en procedures van belang hoeven te zijn om tot een geschikte oplossing voor het probleem te komen, dienen leerlingen ook de samenhang en consistentie van hun gedeelde visie te controleren (*checken*, zie Van Amelsvoort, Andriessen, & Kanselaar, 2007). Het is hierbij van belang dat leerlingen (1) de relevantie, correctheid en plausibiliteit van gegeven informatie controleren en (2) nagaan of/hoe nieuwe informatie past binnen de gedeelde visie. Daarnaast dienen leerlingen overeenstemming te bereiken over relevante begrippen, relaties en procedures. Door middel van argumentatie kunnen zij proberen om hun partners gezichtspunt te wijzigen om zo te komen tot gezamenlijke definities en oplossingsstrategieën (*argumenteren*, zie Jeong & Joung, 2007). Dit kunnen leerlingen doen door (1) hun standpunten uit te leggen en (2) de voordelen en nadelen van de standpunten tegen elkaar af te wegen.

2.2 Ontwerpprincipes voor het combineren van meerdere soorten begripsschema's van de vakinhoud

Het oplossen van realistische probleemopgaven houdt in dat leerlingen verschillende probleemoplossingsfasen doorlopen en de hieraan gekoppelde activiteiten uitvoeren (Dochy, Segers, Van den Bossche, & Gijbels, 2003; Van Merriënboer & Kirschner, 2007). Dat wil zeggen, leerlingen beginnen met de *oplossingsfase* waarin zij het probleem vaststellen en meerdere oplossingen voor het gestelde probleem formuleren. Vervolgens gaan de leerlingen verder met de *evaluatiefase* waarin zij zich richten op het beoordelen van de geschiktheid van de voorgestelde oplossingen zodat zij tot een uiteindelijke oplossing kunnen komen. Wanneer het maken van de schema's gekoppeld is aan het probleemoplossingsproces, zullen leerlingen het nut van een schema sneller inzien en beter in staat zijn om het schema te maken en te relateren aan de probleemopgave (De Simone et al, 2001; Van Meter & Garner, 2005). Aangezien iedere schema de vakinhoud op een specifieke wijze weergeeft en zodoende andere activiteiten ontlokt, lijkt het wenselijk om leerlingen meerdere schema's (causale en mathematische) te laten maken (Ainsworth, 2006; Ploetzner, Fehse, Kneser, & Spada, 1999). Belangrijk is dat leerlingen begripsschema's maken en combineren die hen ondersteunen in het doorlopen van het gehele probleemoplossingsproces. Wellicht dat dit gerealiseerd kan worden door het toepassen van de volgende twee richtlijnen. Ten eerste zorg voor *overeenstemming* tussen de gewenste activiteiten van de probleemoplossingsfase en de activiteiten die door het maken van het begripsschema worden gestimuleerd (Ertl, Kopp, & Mandl, 2008; Schnotz & Kürschner, 2008). Ten tweede zorg voor een begrijpelijke *opvolging* van de schema's, zodat de onderlinge relatie van de schema's duidelijk naar voren komt. Zo worden mathematische schema's vaak pas begrepen als leerlingen de onderliggende oorzakelijke principes kennen (Frederiksen & White, 2002; Mulder, Lazonder, & De Jong, 2011).

2.3 Succesvol oplossen van realistische bedrijfseconomische problemen

In het hier beschreven onderzoek werkten

leerlingen in groepen van drie aan een realistische bedrijfseconomische probleemopgave. De groepen kregen een casus voorgelegd van een onderneming waarin met verlies werd gedraaid en dienden de ondernemer te adviseren over het wijzigen van de ondernemingsstrategie zodat de onderneming weer winst zou maken. Om inzicht te krijgen in de probleemoplosfasen en de benodigde schema's van de vakinhoud werd een leertaakanalyse (zie Anderson & Krathwohl, 2001) uitgevoerd. Op basis van de analyse zijn de probleemoplosfasen (met bijbehorende activiteiten) en de overeenstemming en de opeenvolging van de begrippenschema's uitgewerkt (Tabel 1).

In de *oplossingsfase* dienden leerlingen eerst uit te leggen wat zij dachten dat het probleem was en te beschrijven wat de belangrijkste factoren waren die het probleem veroorzaakten. Daarna dienden zij verschillende veranderingen in de bedrijfsvoering (interventies) te formuleren en vervolgens uit te leggen hoe deze veranderingen mogelijkwerwijs het probleem op zouden kunnen lossen. De activiteiten waren daarom gericht op het (1) selecteren van belangrijke begrippen en (2) op oorzakelijke wijze aan elkaar en aan de mogelijke interventies te relateren, zodat meerdere oplossingen voor het probleem geformuleerd konden worden. Een causaal schema (zie Figuur 1 voor een causaal expertschema) zou dit kunnen ondersteunen omdat hiermee de begrippen en interventies op oorzaak-gevolg wijze aan elkaar gerelateerd worden. Leerlingen kon-

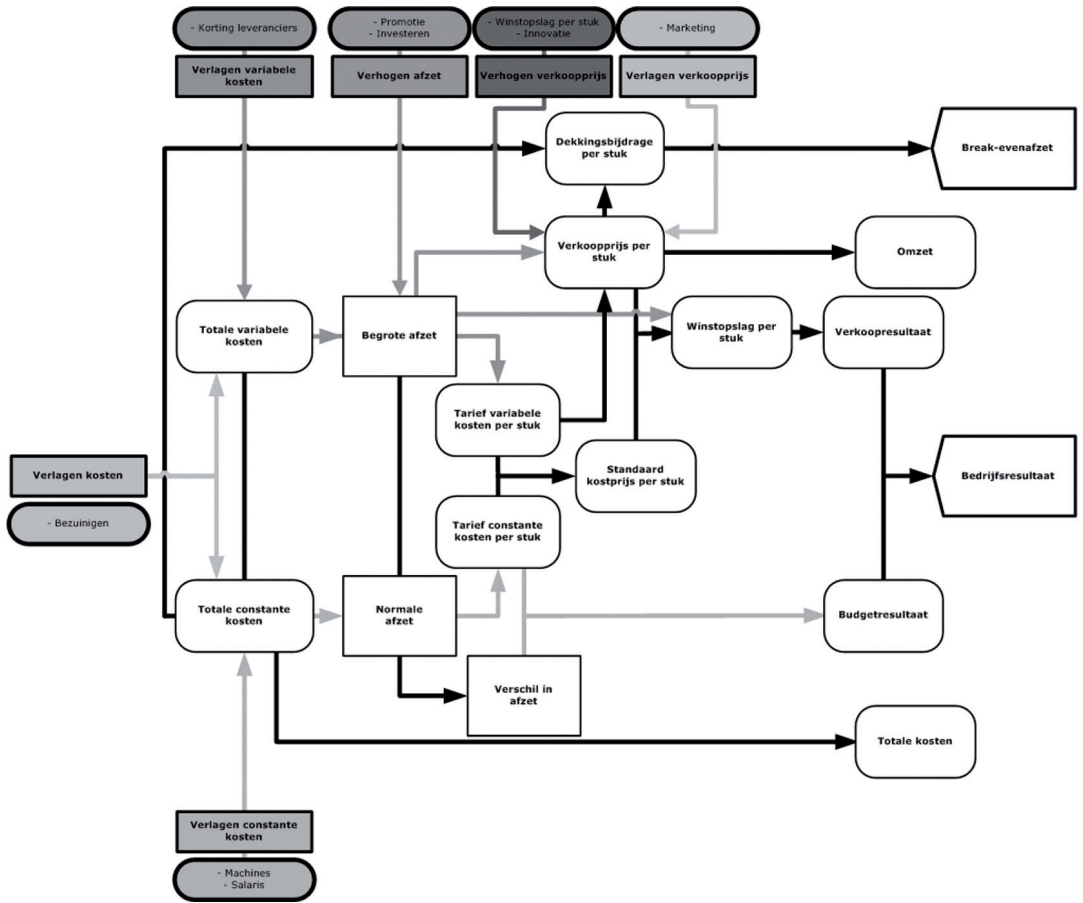
den bijvoorbeeld weergeven dat een interventie als het uitvoeren van een 'promotiecampagne' de 'begrote afzet' en zodoende het 'verkoopresultaat' beïnvloedde. Het selecteren en op oorzakelijke wijze aan elkaar relateren van relevante begrippen en interventies zou leerlingen kunnen ondersteunen in de effectieve verkenning van de oplossingsruimte en zodoende in het vinden van meerdere oplossingen voor het gestelde probleem.

In de *evaluatiefase* dienden leerlingen de financiële gevolgen van hun voorgestelde oplossingen te bepalen en op basis hiervan een definitieve oplossing te formuleren. De activiteiten waren daarom gericht op het (1) doorrekenen en vergelijken van de financiële gevolgen van de verschillende bedachte oplossingen en (2) formuleren van een definitieve oplossing voor het probleem. Een mathematisch begrippenschema (zie Figuur 2 voor een mathematisch expertschema) zou dit kunnen ondersteunen omdat hiermee relaties tussen de begrippen als rekenkundige bewerkingen gespecificeerd worden en zodoende de financiële gevolgen van de voorgestelde oplossingen doorge-rekend kunnen worden. Leerlingen konden bijvoorbeeld simuleren hoe een 'promotiecampagne' door middel van de 'begrote afzet' het 'verkoopresultaat' beïnvloedde. Aangezien mathematische schema's pas goed begrepen worden als leerlingen over goed ontwikkeld causaal perspectief van de vakinhoud beschikken, lijkt het wenselijk om het mathematische schema pas in deze fase te laten maken.

Tabel 1

Ontwerpprincipes voor het combineren van causale en mathematische begrippenschema's bij het oplossen van realistische problemen

Fasen	Activiteiten	Begrippenschema	Vakspecifieke ondersteuning
Oplossingen	a) Vaststellen van het probleem	Causaal	Weergeven en bediscussiëren van causale relaties tussen begrippen en de mogelijke oplossingen
	b) Bedenken van meerdere oplossingen		
Evaluatie	c) Bepalen van de geschiktheid van de oplossingen	Mathematisch	Weergeven en bediscussiëren van mathematische relaties tussen begrippen en het manipuleren van de waarden
	d) Komen tot een eindadvies		



Figuur 1. Causaal expert begrippenschema van de vakinhoud.

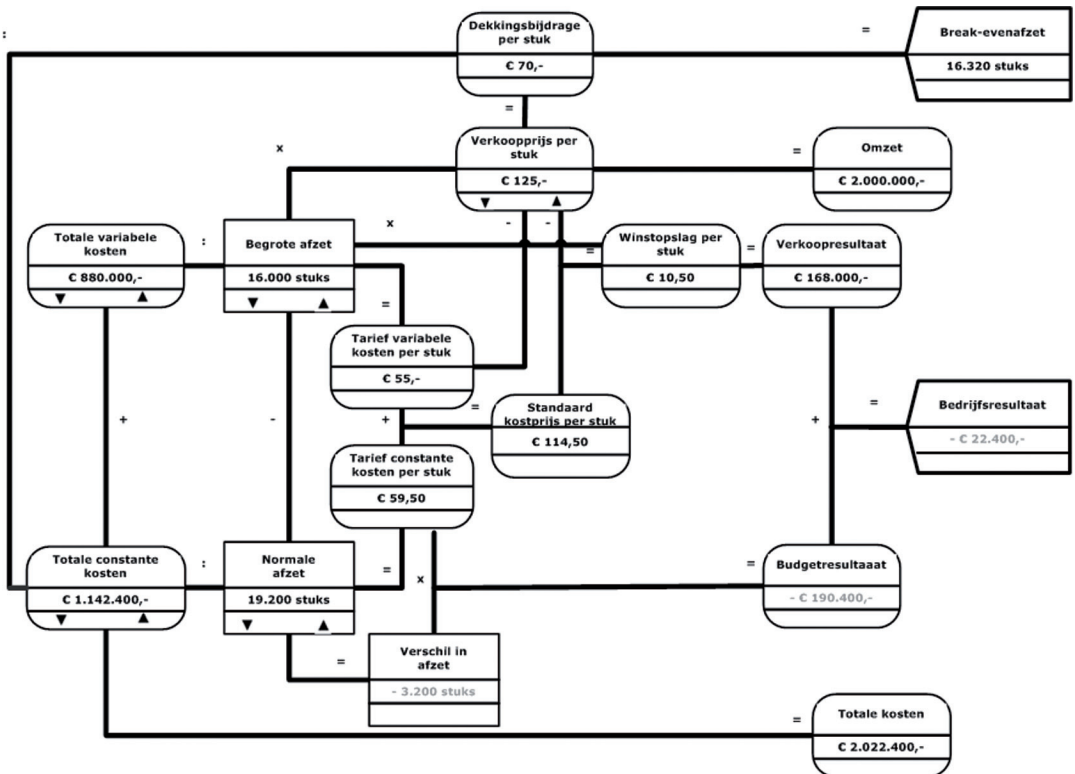
3 Design en onderzoeksvragen

In deze studie werd gebruik gemaakt van vier experimentele condities welke varieerden in de wijze waarop de schema's (1) overeenkwamen met de activiteiten van de probleemoplosfasen en (2) elkaar opvolgden. Op deze wijze werd het belang van een specifiek begrippenschema (causaal of mathematisch) als het belang van het combineren van verschillende soorten schema's (geen combinatie, causaal naar mathematisch of mathematisch naar causaal) voor het oplossen van realistische problemen onderzocht (Tabel 2).

Groepen in de *causaal-mathematisch* conditie maakten achtereenvolgens een causaal en een mathematisch begrippenschema welke ieder overeenkwam met de activitei-

ten van een specifieke probleemoplosfase. Groepen in de *mathematisch-causaal* conditie maakten achtereenvolgens een mathematisch en een causaal schema welke niet overeenkwamen met de activiteiten van de probleemoplosfasen. Groepen in de *causaal* en *mathematisch* condities maakten, in tegenstelling tot de eerdere twee condities, bij iedere probleemoplosfase hetzelfde soort schema (causaal respectievelijk mathematisch). Slechts één van de schema's kwam overeen met de activiteiten van de probleemoplosfasen (causale conditie, oplossingsfase en mathematisch conditie, evaluatiefase).

De verwachting was dat groepen die causale en mathematische begrippenschema's maakten die overeenkwamen met de activiteiten van beide probleemfasen (causaal-



Figuur 2. Mathematisch expert begrippenschema van de vakinhoud.

mathematisch conditie), in vergelijking met de groepen in de andere condities, een:

(H1) kwalitatief beter *probleemoplossingsproces* zouden hebben, blijkt uit:

- a) het maken van schema's die beter aansloten bij de activiteiten van de probleemoplossingsfasen (meer variatie in het weergeven van de begrippen en de typen relaties),
- b) discussies over de vakinhoud die beter aansloten bij de activiteiten van de probleemoplossingsfasen (meer discussie over causale relaties in de oplossingsfase en meer discussie over mathematische relaties in de evaluatiefase),

- c) het uitvoeren van meer coördinerende activiteiten (focussen, checken en beargumenteren) in beide probleemoplossingsfasen.

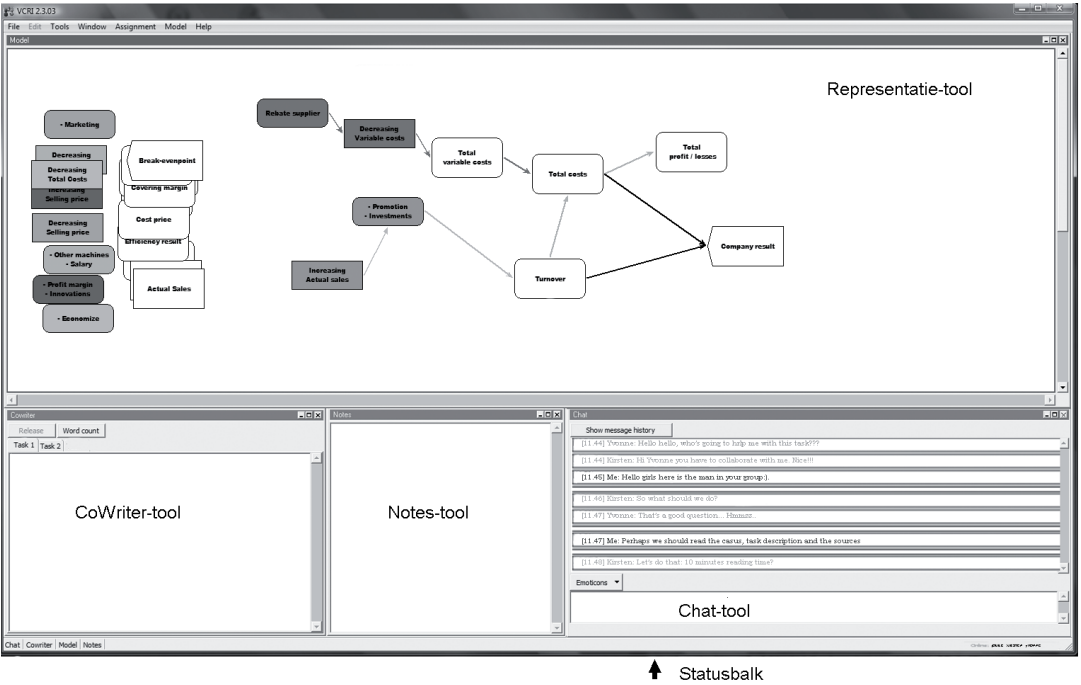
(H2) betere *groepsprestatie op de realistische probleemopgave* zouden behalen, blijkt uit een hogere score voor:

- a) het uitvoeren van de activiteiten uit de oplossingsfase (vaststellen van het probleem en het formuleren van mogelijke oplossingen),
- b) het uitvoeren van de activiteiten uit de evaluatiefase (doorrekenen van de financiële gevolgen van de bedachte oplossingen),

Tabel 2

Overzicht experimentele condities

Fasen	Conditie en te maken schema's			
	Causaal ($n_{team} = 9$)	Mathematisch ($n_{team} = 9$)	Mathematisch-causaal ($n_{team} = 8$)	Causaal-mathematisch ($n_{team} = 8$)
Oplossingen	Causaal schema	Mathematisch schema	Mathematisch schema	Causaal schema
Evaluatie	Causaal schema	Mathematisch schema	Causaal schema	Mathematisch schema



Figuur 3. VCRI-omgeving (causaal begrippenschema).

- c) het gegeven eindadvies (vergelijking oplossingen en komen tot een eindadvies).

4 Methode

4.1 Deelnemers

De deelnemers waren 102 VWO4-leerlingen (61 jongens, 41 meisjes, gemiddelde leeftijd = 15.7 jaar; SD = 0.56, Min = 14, Max = 17) uit vijf Management en Organisatie klassen van drie scholen voor het voortgezet onderwijs. Er namen drie docenten deel waarvan er twee met parallelklassen werkten. De materialen zijn in overleg met de drie docenten ontwikkeld en zij ontvingen een korte introductie over de digitale leeromgeving (zie sectie 4.2) waarmee de leerlingen werkten. De leerlingen zijn, per klas, willekeurig in groepjes van drie ingedeeld. De hieruit voortgekomen 34 groepen zijn, per klas, willekeurig toegewezen aan één van de condities.

4.2 Elektronische leeromgeving

De groepen werkten in een elektronische

leeromgeving genaamd Virtual Collaborative Research Institute (VCRI, Jaspers, Broeken, & Erkens, 2005; Figuur 3), waarin de volgende tools beschikbaar waren. De *Chat-tool* stelde de leerlingen in staat om, op een synchrone wijze, hun kennis van de vakinhoud en ideeën over de oplossingsstrategieën te delen en hierover te discussiëren. De chat werd automatisch opgeslagen en kon door de groepsgenoten op elk gewenst moment worden bekeken. De *Notes-tool* is een individueel kladblok waar de groepsgenoten hun eigen gedachten konden verwoorden alvorens deze te delen met hun groepsgenoten. De *CoWriter-tool* is een gedeelde tekstverwerker waar de groepsgenoten hun antwoorden op de vragen uit de probleemoplosfasen neer konden zetten. De *Statusbalk* gaf aan welke groepsgenoten hadden ingelogd en met welke tool een groepslid op een specifiek moment bezig was. In het *Opdracht menu*, konden de groepsgenoten een beschrijving van het probleem en de probleemoplosfasen vinden. Daarnaast waren hierin ook aanvullende informatiebronnen (bv. definitielijst en formulelijst) beschikbaar gemaakt. De

Representatie-tool stelde de groepsgenoten in staat om een causaal of mathematisch schema van de vakinhoud te maken. Aan het begin van de eerste les stonden alle blokken, welke de verschillende begrippen en oplossingen weergaven, aan de linkerkant van de tool. Ieder groepslid had toegang tot de tool en kon, mits niemand anders met de tool bezig was, het schema aanpassen. In het *Model menu* konden de groepsgenoten begrippen en/of oplossingen, afhankelijk van de probleemoplosfase en conditie, op een causale/mathematische wijze aan elkaar relateren of bestaande relaties verwijderen.

Alle groepen voerden de activiteiten van de probleemoplosfasen in een vaste volgorde uit, namelijk eerst de activiteiten van de oplossingsfase en daarna de activiteiten van de evaluatiefase. Wanneer de groepsgenoten vonden dat de activiteiten van de oplossingsfase naar behoren afgerond waren, dienden zij deze fase af te sluiten in het opdracht menu. Het afsluiten van de oplossingsfase had drie gevolgen, namelijk groepen (1) konden de antwoorden op de vragen behorende bij de oplossingsfase niet meer wijzigen, (2) kregen de vragen behorende bij de evaluatiefase te zien en dienden deze te beantwoorden en (3) werden geïnstrueerd om hun schema uit de oplossingsfase te herzien zodat het schema beter aan zou sluiten bij de antwoorden op de vragen uit de evaluatiefase.

Aangezien groepen in de causaal en mathematisch condities in de evaluatiefase gebruik maakten van hetzelfde soort schema, bleven alle begrippen en aangemaakte relaties staan. Deze groepen werden geïnstrueerd om hun bestaande schema aan te passen. Groepen in de causaal-mathematisch en mathematisch-causaal condities kregen in de evaluatiefase de mogelijkheid om de vakinhoud op een andere wijze weer te geven. Zij werden geïnstrueerd om de relaties opnieuw te specificeren en eventueel nieuwe begrippen en relaties toe te voegen.

4.3 Procedure

Alle 34 groepen werkten vier lessen (twee lessen per probleemoplosfase) van 45 minuten aan de realistische probleemopgave. Iedere leerling werkte achter een eigen computer en alle acties (bv. chat-discussie,

antwoorden op de vragen en aangemaakte relaties) in de leeromgeving werden geregistreerd. Voor de eerste les werden de leerlingen geïnstrueerd over de (1) groepsindeling, (2) realistische bedrijfseconomische probleemopgave en (3) elektronische leeromgeving. Tijdens de lessen was de docent aanwezig om opgave gerelateerde vragen te beantwoorden en was één van de onderzoekers aanwezig voor technische ondersteuning.

4.4 Variabelen en analyses

In tegenstelling tot de eerdere rapportages over deze studie (Slof, Erkens, & Kirschner, 2012; Slof, Erkens, Kirschner, Janssen, & Jaspers, 2012) zijn in deze rapportage de effecten van de verschillende soorten schema's en de volgorde waarin de schema's werden aangeboden per probleemoplosfase onderzocht. Door per probleemoplosfase de data te coderen en te analyseren kan waarschijnlijk meer inzicht in het probleemoplossingsproces worden verkregen dan wanneer gebruik wordt gemaakt van totaalstellingen (Bromme, Hesse, & Spada, 2005; Hmelo-Silver, Chernobilsky, & Jordan, 2008).

Gemaakte schema's

Er zijn inhoudsanalyses uitgevoerd om de kwaliteit van gemaakte schema's te onderzoeken. De schema's zijn voor het afsluiten van een bepaalde probleemoplosfase uit de log-bestanden gehaald en vervolgens gecodeerd met behulp van het Multiple Episode Protocol Analysis programma (MEPA, Erkens, 2005). De kwaliteit van de schema's werd beoordeeld aan de hand van het aantal gebruikte begrippen en relaties en of de relaties correct waren weergegeven. De codering werd automatisch gedaan met een MEPA-filter dat gebruik maakte van 364 'als-dan' beslisregels welke expliciete verwijzingen bevatte naar de begrippen, de relaties en de correctheid (gebaseerd op de expertschema's, zie Figuren 1 en 2). Wanneer een begrip aan verschillende andere begrippen gerelateerd was, kreeg het een code voor elke relatie en werd het dus meerdere malen gecodeerd. Het effect van de conditie werd onderzocht door het voeren van Univariate ANOVA's met post-hoc analyses op het aantal begrippen, relaties en de correctheid van deze relaties.

Discussie over de vakinhoud

Er zijn discourse analyses uitgevoerd op de chat-discussies om inzicht te krijgen in de wijze waarop leerlingen de vakinhoud hebben besproken. Alle chat-uitingen zijn per probleemoplosfase automatisch gecodeerd middels een MEPA-filter. Het filter maakte gebruik van 816 'als-dan' beslisseregels welke expliciete referenties bevatte naar het gebruik van specifieke vakinhoudelijke begrippen, oplossingen en relaties in de discussie tussen leerlingen en deze als zodanig codeerde. Om de betrouwbaarheid van het filter vast te stellen heeft één van de onderzoekers vier van de 34 chat-discussies (totaal 3105 regels) handmatig gecodeerd. Uit de vergelijking van de automatische en de handmatige codering kwamen acceptabele overeenstemmingsmaten (Cohen's Kappa's, zie Cicchetti, Lee, Fontana, & Drowds, 1978) naar voren; begrippen (.72),

oplossingen (.74) en relaties (.66). Het effect van de conditie op de discussie over de vakinhoud werd onderzocht door het uitvoeren van Multi-level analyses (MLA's) met fixed effects.

Communicatieve coördinerende activiteiten

Er zijn discourse analyses uitgevoerd op de chat-discussies om inzicht te krijgen hoe de leerlingen hebben samengewerkt. Alle chat-uitingen zijn gecodeerd (Tabel 3) op basis van hun communicatieve coördinerende functie in de discussie (zie Schiffrin, 1987). De codering werd automatisch gedaan middels een MEPA-filter dat gebruik maakte van 1250 'als-dan' beslisseregels welke expliciete referenties bevatte naar typische woorden of combinaties van woorden (zie Mercer et al, 2004). Uit een eerdere vergelijking van het automatisch coderen van de communicatieve functies ten opzicht van het

Tabel 3

Codering communicatieve coördinerende activiteiten

Activiteiten	Codering	Communicatieve functie	Voorbeeld
Focussen	Elicitative proposal for action	Voorstel tot handeling	Zullen we aan de slag gaan?
	Elicitative question open	Open vraag waarop verschillende antwoorden mogelijk zijn	Wat zullen we nu gaan doen?
	Imperative action	Bevel tot handeling	Zet dat in de Co-Writer.
	Imperative focus	Bevel tot attentie/aandacht	Kijk naar de representatie tool!
	Elicitative question verify	Vraag waarop slechts met ja of nee geantwoord kan worden	Kom je morgen naar school toe?
Checken	Elicitative question set	Vraag waarin de antwoordmogelijkheden al zijn opgenomen	Ben je voor of tegen het verlagen van de verkoopprijs?
	Responsive confirm	Bevestigend antwoord	Jazeker, laten we eerst de opdracht lezen.
	Responsive deny	Ontkennend antwoord	Nee, dat is geen geschikte oplossing.
	Responsive accept	Acceptatie van informatie zonder deze te bevestigen of te ontkennen	Mmm, oh
Argumenteren	Argumentative reason	Reden	Omdat deze oplossing de kosten niet verlaagt.
	Argumentative against	Tegenwerping	Maar dat levert niets op.
	Argumentative conditional	Voorwaarde	Als we de verkoopprijs verlagen dan....
	Argumentative then Argumentative disjunctive	Consequentie Disjunctief	Dan gaan we failliet. We kunnen de afzet verhogen door of
Argumentative conclusion	Conclusie	De tweede oplossing is het beste!	

handmatig coderen kwam een overeenstemmingsmaat (Cohen's Kappa's) van .75 naar voren (Erkens & Janssen, 2008). De variabelen 'focussen', 'checken' en 'argumenteren' zijn verkregen door de som te nemen van de desbetreffende indicatoren. Het effect van de conditie op de communicatieve coördinerende activiteiten werd onderzocht door het uitvoeren van Multi-level analyses (MLA's) met fixed effects.

Groepsprestatie realistische probleemopgave
Om de kwaliteit van de groepsprestaties te onderzoeken werd een beoordelingsmethode ontwikkeld om de antwoorden op de vragen uit de probleemoplosfasen te scoren (Tabel 4). Alle 27 items konden als '0'

(fout), '1' (adequaat) of '2' (goed) gecodeerd worden; hoe hoger de code, des te hoger de kwaliteit. Groepen konden dus maximaal 54 en minimaal 0 punten behalen voor hun totale groepsprestatie; 24 punten (12 items x 2 punten) voor iedere probleemoplosfase en 6 punten (3 items x 2 punten) voor het eindadvies. De interne consistentie scores (Cronbach's alfa) varieerden van .65 tot .84 en zijn aanvaardbaar voor testen die ontwikkeld zijn voor klassikale doeleinden (zie Rudner & Schafer, 2002). Het effect van de conditie op de scores die de groepen behaalden voor het uitvoeren van de activiteiten uit de beide probleemoplosfasen werd onderzocht door het uitvoeren van een Multivariate ANOVA met post-hoc analyses.

Tabel 4

Codering en betrouwbaarheden voor de groepsprestatie realistische probleemopgave

Aspect	Criteria	Items	α
Oplossingsfase	Kwaliteit van de beslissingen die de groepen genomen hebben tijdens de oplossingsfase - Of de groepsbeslissingen geschikt waren voor de activiteiten van de oplossingsfase - Het aantal verschillende bedrijfseconomische concepten en financiële consequenties dat de groepen opgenomen hebben in hun beslissingen m.b.t. de oplossingsfase - Of de groepen de bedrijfseconomische concepten en hun onderlinge relaties correct weergegeven hebben in hun beslissingen m.b.t. de oplossingsfase	12	.65
Evaluatiefase	Kwaliteit van de beslissingen die de groepen genomen hebben tijdens de evaluatiefase - Of de groepsbeslissingen geschikt waren voor de activiteiten van de evaluatiefase - Het aantal verschillende bedrijfseconomische concepten en financiële consequenties dat de groepen opgenomen hebben in hun beslissingen m.b.t. de evaluatiefase - Of de groepen de bedrijfseconomische concepten en hun onderlinge relaties correct weergegeven hebben in hun beslissingen m.b.t. de evaluatiefase - Of de groepen hun beslissingen m.b.t. de evaluatiefase beargumenteerd hebben	12	.83
Kwaliteit eindadvies	Kwaliteit van het eindadvies dat de groepen gegeven hebben - Aantal bedrijfseconomische concepten dat opgenomen is in het eindadvies - Aantal financiële gevolgen dat opgenomen is in het eindadvies - Of het eindadvies voldeed aan de richtlijnen	3	.73
<i>Groepsprestatie</i>	Totale score voor de realistische probleemopgave	27	.84

5 Resultaten

5.1 Gemaakte schema's

Uit de inhoudsanalyses (Univariate ANOVA's) van de gemaakte schema's kwamen meerdere conditie-effecten naar voren wat betreft het aantal en de correctheid van de weergeven relaties (Tabel 5 en 6). Ten eerste toonden de Games-Howell (overschrijding assumptie gelijke variantie) post-hoc analyses aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie meer relaties weergaven in de oplossingenfase dan groepen in de mathematisch ($p = .021$, $\eta^2 = .18$) en mathematisch-causaal ($p = .045$, $\eta^2 = .12$) condities. Groepen in de causaal-mathematisch conditie maakten hierbij echter wel meer fouten dan groepen in de mathematisch ($p = .019$, $\eta^2 = .25$) en mathematisch-causaal ($p = .010$, $\eta^2 = .20$) condities. Ten tweede toonden de Games-Howell post-hoc analyses aan dat groepen in de causaal conditie meer relaties weergaven in de oplossingenfase dan groepen in de mathematisch ($p = .018$, $\eta^2 = .39$) en mathematisch-causaal ($p = .037$, $\eta^2 = .35$) condities. Ten derde toonden de Games-Howell post-hoc analyses aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie minder relaties weergaven in de evaluatiefase dan groepen in de causaal conditie ($p = .015$, $\eta^2 = .00$). Groepen in de causaal-mathematisch conditie maakten

in de evaluatiefase minder fouten bij het weergeven van de relaties dan groepen in de mathematisch-causaal conditie ($p = .011$, $\eta^2 = .20$). Ten vierde toonden de Games-Howell post-hoc analyses aan dat groepen in de causaal conditie meer relaties weergaven in de evaluatiefase dan groepen in de mathematisch conditie ($p = .014$, $\eta^2 = .48$). Tot slot toonden de Univariate ANOVA's, in beide probleemoplosfasen, geen andere significante verschillen aan tussen groepen in de causaal, mathematisch en mathematisch-causaal condities.

5.2 Discussie over de vakinhoud

Uit de discourse analyses voor de discussie over de vakinhoudelijke begrippen en relaties kwamen conditie-effecten naar voren wat betreft het aantal en de aard van de besproken relaties (Tabel 7 - 10). Ten eerste toonden MLA's aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie (marginaal) meer relaties besproken in de *oplossingenfase* dan groepen in de causaal ($\beta = 7.82$, $p = .038$), mathematisch ($\beta = 5.91$, $p = .080$) en mathematisch-causaal ($\beta = 8.25$, $p = .031$) condities. Voor de specifieke relaties gold dat groepen in de causaal-mathematisch conditie (marginaal) meer causale relaties besproken dan groepen in de mathematisch ($\beta = 4.78$, $p = .072$) en mathematisch-causaal ($\beta = 5.62$, $p = .050$) condities. Daarnaast

Tabel 5

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor de gemaakte schema's: *Oplossingenfase*

	Conditie			
	Causaal ($n_{groep} = 9$)	Mathematisch ($n_{groep} = 9$)	Mathematisch-causaal ($n_{groep} = 8$)	Causaal-mathematisch ($n_{groep} = 8$)
Score	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Begrippen	42.00 (22.81)	24.00 (14.00)	30.00 (7.19)	34.00 (12.70)
Relaties	21.00 (11.09)	8.00 (4.66)	10.00 (2.40)	17.00 (6.35)
% correct	37.95 (25.24)	46.48 (20.29)	43.08 (11.01)	16.95 (14.04)

Tabel 6

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor de gemaakte schema's: *Evaluatiefase*

	Conditie			
	Causaal ($n_{groep} = 9$)	Mathematisch ($n_{groep} = 9$)	Mathematisch-causaal ($n_{groep} = 8$)	Causaal-mathematisch ($n_{groep} = 8$)
Score	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Begrippen	44.89 (19.26)	28.00 (11.02)	33.11 (17.92)	9.43 (2.29)
Relaties	22.44 (9.63)	9.33 (3.65)	16.56 (8.96)	46.67 (10.88)
% correct	41.72 (19.56)	45.19 (19.90)	23.09 (14.20)	28.29 (6.90)

Tabel 7

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor de discussie over de vakinhoud; Oplossingenfase

	Causaal ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch-causaal ($n_{leerling} = 24$)	Causaal-mathematisch ($n_{leerling} = 24$)
Score	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Begrippen	10.05 (10.44)	14.89 (13.88)	12.17 (10.56)	17.58 (11.17)
Oplossingen	8.56 (10.81)	10.59 (12.81)	10.00 (9.30)	12.96 (7.77)
Relaties	12.09 (11.88)	11.67 (9.65)	12.09 (10.46)	20.25 (9.57)
- Causaal	7.82 (8.67)	9.22 (8.30)	8.48 (7.97)	14.00 (7.53)
- Mathematisch	4.27 (4.55)	5.11 (4.57)	3.61 (2.93)	6.25 (3.72)

Tabel 8

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor de discussie over de vakinhoud; Evaluatiefase

	Causaal ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch-causaal ($n_{leerling} = 24$)	Causaal-mathematisch ($n_{leerling} = 24$)
Score	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Begrippen	7.00 (10.85)	9.59 (9.71)	5.04 (4.28)	10.75 (10.97)
Oplossingen	6.00 (8.81)	5.81 (6.88)	3.57 (3.32)	7.08 (9.80)
Relaties	10.09 (11.69)	9.22 (8.30)	7.04 (5.85)	14.50 (13.91)
- Causaal	6.23 (8.01)	5.93 (6.24)	7.54 (7.28)	7.54 (7.28)
- Mathematisch	3.86 (4.74)	5.74 (4.51)	3.91 (3.48)	6.96 (7.29)

besproken groepen in de causaal-mathematisch conditie minder mathematische relaties dan groepen in de mathematisch-causaal conditie ($\beta = -2.65, p = .023$). Ten tweede toonden MLA's aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie marginaal meer relaties besproken in de *evaluatiefase* dan groepen in de mathematisch-causaal ($\beta = 7.26, p = .063$) conditie. Er werden geen significante verschillen gevonden voor de specifieke relaties. Tot slot toonden MLA's, in beide probleemoplosfasen, geen significante verschillen aan tussen groepen in de causaal, mathematisch en mathematisch-causaal condities.

5.3 Communicatieve coördinerende activiteiten

Uit de discourse analyses voor de communicatieve coördinerende activiteiten kwamen meerdere conditie-effecten naar voren (Tabel 11 - 14). Ten eerste toonden MLA's aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie meer communicatieve coördinerende activiteiten uitvoerden in de oplossingsfase dan groepen in de causaal ($\beta = 57.27, p = .012$), mathematisch ($\beta = 51.14, p = .019$) en mathematisch-causaal ($\beta = 55.25, p = .015$) condities. MLA's voor de specifieke communicatieve activiteiten toonden aan dat

groepen in de causaal-mathematisch conditie meer activiteiten uitvoerden om:

- hun gespreksonderwerpen te coördineren (focussen) dan groepen in de mathematisch-causaal conditie ($\beta = 10.64, p = .032$),
- de samenhang en consistentie van hun gedeelde begrip te bewaken (checken) dan groepen in de causaal ($\beta = 30.43, p = .007$), mathematisch ($\beta = 28.39, p = .009$) en mathematisch-causaal ($\beta = 27.93, p = .013$) condities,
- de voor- en nadelen van de standpunten tegen elkaar af te wegen (argumenteren) dan groepen in de causaal ($\beta = 17.87, p = .018$), mathematisch ($\beta = 16.32, p = .025$) en mathematisch-causaal ($\beta = 16.71, p = .026$) condities.

Ten tweede toonden MLA's aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie meer communicatieve coördinerende activiteiten uitvoerden in de *evaluatiefase* dan groepen in de mathematisch-causaal conditie ($\beta = 33.66, p = .042$). Dit patroon gold voor de specifieke activiteiten checken ($\beta = 14.98, p = .046$) en argumenteren ($\beta = 12.05, p = .038$). Tot slot toonden MLA's, in beide probleemoplosfasen, geen significante verschillen aan tussen groepen in de causaal, mathematisch en mathematisch-causaal condities.

Tabel 9

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor de gemaakte schema's: Oplossingenfase

	Relaties	Causaal	Mathematisch
	β (SE)	β (SE)	β (SE)
Y_{00} = Intercept	20.25 (2.98)	14.00 (2.36)	6.25 (0.88)
β_1 = causaal-mathematisch vs. causaal	7.82 (4.26)	5.80 (3.36)	1.97 (1.28)
β_2 = causaal-mathematisch vs. mathematisch	5.91 (4.09)	4.78 (3.24)	1.14 (1.21)
β_3 = causaal-mathematisch vs. mathematisch -causaal	8.28 (4.23)	5.60 (3.35)	2.64 (1.26)
Variantie			
Groep level	82.00	37.34	15.04
Individueel level	43.83	32.14	1.25
Deviantie			
Afname deviantie tov model zonder condities	706.34	643.11	529.44
	18.19	15.99	11.01

Tabel 10

Multi-level analyses; Random intercept model voor de discussie over de vakinhoud: Evaluatiefase

	Relaties	Causaal	Mathematisch
	β (SE)	β (SE)	β (SE)
Y_{00} = Intercept	14.50 (3.25)	7.54 (1.92)	6.96 (1.52)
β_1 = causaal-mathematisch vs. causaal	3.44 (4.63)	0.84 (2.73)	2.67 (2.17)
β_2 = causaal-mathematisch vs. mathematisch	2.83 (4.47)	1.62 (2.63)	1.21 (2.09)
β_3 = causaal-mathematisch vs. mathematisch -causaal	7.26 (4.61)	4.36 (2.72)	2.92 (2.16)
Variantie			
Groep level	56.13	21.47	15.28
Individueel level	65.69	22.33	13.50
Deviantie			
Afname deviantie tov model zonder condities	687.32	596.22	561.43
	16.44	13.63	11.75

5.4 Groepsprestatie realistische probleemopgave

Uit de analyse van de groepsprestaties kwamen meerdere conditie-effecten naar voren (Tabel 15). De Multivariate ANOVA ($F(4.96) = 3.60, p = .00$) toonde aan dat groepen in de causaal-simulatie conditie hoger scoorden op de *totale groepsprestatie* dan groepen in de causaal ($p = .018, \eta^2 = .26$), mathematisch ($p = .015, \eta^2 = .27$) en mathematisch-causaal ($p = .049, \eta^2 = .17$) condities. Uit de post-hoc analyse kwamen meerdere verschillen tussen de causaal-mathematisch en de andere condities naar voren. Ten eerste toonden Games-Howell analyses voor de *oplossingenfase* aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie (marginaal) hoger scoorden dan groepen in de mathematisch ($p = .050, \eta^2 = .18$) en de mathematisch-causaal ($p = .075, \eta^2 = .15$) condities.

Ten tweede toonden Bonferroni post-hoc analyses voor de *evaluatiefase* aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie hoger scoorden dan groepen in de causaal ($p = .031, \eta^2 = .20$) en mathematisch ($p = .038, \eta^2 = .16$) condities. Ten derde toonden Bonferroni post-hoc analyses voor het *eindadvies* aan dat groepen in de causaal-mathematisch conditie hoger scoorden dan groepen in de mathematisch conditie ($p = .042, \eta^2 = .08$). Tot slot toonde de Multivariate ANOVA geen significante verschillen aan tussen groepen in de causaal, mathematisch en mathematisch-causaal condities.

6 Discussie

Deze studie richtte zich op de vraag of het combineren van causale en mathematische

Tabel 11

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor de communicatieve coördinerende activiteiten:
Oplossingfase

	Causaal ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch-causaal ($n_{leerling} = 24$)	Causaal-mathematisch ($n_{leerling} = 24$)
Score	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Focussen	14.14 (9.57)	17.17 (13.33)	12.74 (10.13)	23.58 (12.09)
Checken	28.09 (19.87)	31.44 (22.20)	31.57 (20.55)	59.83 (37.32)
Argumenteren	18.68 (16.45)	21.19 (18.23)	20.91 (15.59)	37.50 (21.53)

Tabel 12

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor de communicatieve coördinerende activiteiten:
Evaluatiefase

	Causaal ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch ($n_{leerling} = 27$)	Mathematisch-causaal ($n_{leerling} = 24$)	Causaal-mathematisch ($n_{leerling} = 24$)
Score	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Focussen	11.00 (13.23)	10.56 (8.13)	6.26 (5.45)	13.04 (10.80)
Checken	21.36 (21.14)	26.22 (21.27)	16.87 (11.54)	32.25 (25.26)
Argumenteren	15.59 (15.86)	15.96 (14.15)	9.87 (9.02)	22.12 (21.66)

Tabel 13

Multi-level analyses; Random intercept model voor de communicatieve coördinerende activiteiten:
Oplossingfase

	Focussen β (SE)	Checken β (SE)	Argumenteren β (SE)
γ_{00} = Intercept	23.58 (3.32)	59.83 (7.38)	37.50 (4.98)
β_1 = causaal-mathematisch vs. causaal	9.21 (4.74)	30.43 (10.53)	17.97 (7.12)
β_2 = causaal-mathematisch vs. mathematisch	6.44 (4.56)	28.39 (10.14)	16.31 (6.85)
β_3 = causaal-mathematisch vs. mathematisch -causaal	10.64 (4.72)	27.93 (10.48)	16.71 (7.08)
Variantie			
Groep level	74.43	403.54	215.78
Individueel level	53.92	301.49	127.09
Deviantie			
Afname deviantie tov model zonder condities	705.54	859.21	797.08
	19.91	29.41	24.77

Tabel 14

Multi-level analyses; Random intercept model voor de communicatieve coördinerende activiteiten: Evaluatiefase

	Focussen β (SE)	Checken β (SE)	Argumenteren β (SE)
γ_{00} = Intercept	13.04 (2.99)	32.25 (6.06)	22.13 (4.59)
β_1 = causaal-mathematisch vs. causaal	1.57 (4.25)	9.61 (8.63)	5.34 (6.56)
β_2 = causaal-mathematisch vs. mathematisch	2.49 (4.11)	6.03 (8.33)	6.16 (6.32)
β_3 = causaal-mathematisch vs. mathematisch -causaal	6.70 (4.24)	14.98 (8.60)	12.95 (6.53)
Variantie			
Groep level	41.71	220.38	141.84
Individueel level	57.75	220.68	121.97
Deviantie			
Afname deviantie tov model zonder condities	663.73	809.62	765.87
	16.13	20.86	19.44

Tabel 15

Gemiddelden en standaarddeviaties per conditie voor groepsprestatie realistische probleemopgave

	Conditie			
	Causaal ($n_{groep} = 9$)	Mathematisch ($n_{groep} = 9$)	Mathematisch-causaal ($n_{groep} = 8$)	Causaal-mathematisch ($n_{groep} = 8$)
Score	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Oplossenfase	12.89 (2.42)	12.22 (0.83)	12.38 (3.93)	15.25 (1.75)
Evaluatiefase	10.67 (4.53)	11.33 (3.97)	13.00 (3.46)	15.75 (2.87)
Kwaliteit eindadvies	3.22 (1.39)	2.89 (1.27)	3.50 (1.07)	4.50 (1.31)
Groepsprestatie	26.78 (6.92)	26.44 (4.50)	28.88 (5.87)	35.50 (4.78)

begrippenschema's van de vakinhoud leerlingen ondersteunt in het gezamenlijk oplossen van realistische bedrijfseconomische probleemopgaven. Het doel was om de effecten van een specifiek schema en het combineren van beide schema's op het uitvoeren van de probleemoplosactiviteiten in de (1) oplossingsfase (vaststellen van het probleem en formuleren van meerdere oplossingen) en (2) evaluatiefase (vergelijken van de financiële gevolgen van de oplossingen en komen tot een eindadvies) te onderzoeken.

De resultaten voor de *groepsprestatie op de realistische probleemopgave* toonden aan dat groepen die een causaal schema voor de oplossingsfase en een mathematisch schema voor de evaluatiefase maakten een hogere score behaalden voor de totale groepsprestatie. Daarnaast bleek dat groepen die eerst een causaal en daarna een mathematisch schema maakten een hogere score behaalden voor de antwoorden die zij gaven in de evaluatiefase dan groepen die enkel causale of mathematische schema's maakten. Deze resultaten zijn in lijn met die van anderen en benadrukken het belang van het aan elkaar relateren van causale en mathematische begrippenschema's van de vakinhoud tijdens het oplossen van realistische problemen (Ainsworth, 2006; Ploetzner et al, 1999). Deze studie toont aan dat het combineren van causale en mathematische schema's alleen tot betere prestaties leidt wanneer de schema's activiteiten stimuleren die overeenkomen met de activiteiten die nodig zijn voor het succesvol uitvoeren van de leertaak (Ertl et al, 2008; Schnotz & Kürschner, 2008). De resultaten voor het *probleemoplossingsproces* bieden mogelijk meerdere verklaringen voor het verschil in groepsprestatie.

Ten eerste toonden de resultaten van de inhoudsanalyse van de *gemaakte begrippenschema's* aan dat groepen verschilden in de wijze waarop zij de vakinhoud weergaven. Groepen die beide soorten schema's maakten wijzigden hun schema's vaker dan groepen die enkel causale of mathematische schema's maakten. Zo gaven groepen die causale of mathematische schema's maakten in beide probleemoplosfasen veel (causale schema's) of weinig (mathematische schema's) begrippen en relaties weer. Groepen die beide soorten schema's maakten verschilden per probleemoplosfase in de hoeveelheid begrippen en typen relaties die zij weergaven. Zo gaven groepen die eerst een mathematisch en daarna een causaal schema maakten in de oplossingsfase minder begrippen en relaties weer dan in de evaluatiefase. Groepen die eerst een causaal schema en daarna een mathematisch schema maakten hadden een tegenovergesteld patroon. Zij begonnen namelijk met het maken van een schema waarin veel begrippen en causale relaties (oplossingsfase) werden weergegeven en werden geleidelijk aan selectiever in het gebruik van de begrippen en het specificeren van de relaties als mathematische vergelijkingen (evaluatiefase). Deze laatste aanpak kan het oplossen van de realistische probleemopgave ondersteund hebben, omdat dit (1) de wijze is waarop dit soort problemen theoretisch gezien opgelost dient te worden (Van Merriënboer & Kirschner, 2007) en (2) in overeenstemming is met eerder onderzoek dat een positieve relatie aantoonde tussen de kwaliteit van het gemaakte schema en de prestatie (Greene, 1989; Van Meter & Garner, 2005).

Ten tweede toonden de resultaten van de discourse analyse van de *vakinhoudelijke discussie* aan dat het maken van causale schema's in de oplossingsfase discussie over begrippen en onderlinge causale relaties stimuleert. Groepen die eerst een causaal en daarna een mathematisch schema maakten bespraken in de oplossingsfase (1) marginaal meer causale relaties dan groepen die in deze fase een mathematisch schema maakten en (2) minder mathematische relaties dan groepen die eerst een mathematisch en daarna een causaal schema maakten. Hoewel in de evaluatiefase geen significante verschillen waren, viel het op dat vooral groepen die beide soorten schema's maakten minder discussie over de vakinhoud hadden in de oplossingsfase. Voor groepen die eerst een causaal en daarna een mathematisch schema maakten, lijkt dit verklaarbaar aangezien zij veel specifiekere werden in het weergeven van de mathematische relaties in de evaluatiefase en hier wellicht ook minder discussie over hadden. Deze resultaten zijn in lijn met studies waarin een positief verband wordt gelegd tussen het maken van vakinhoudelijke begrippenschema's en het discussiëren hierover (Fischer, Bruhn, Gräsel, & Mandl, 2002, Van Boxtel, Van der Linden, & Kanselaar, 2000; Van Meter & Garner, 2005).

Ten derde toonden de resultaten van de discourse analyse van de *communicatieve coördinerende activiteiten* aan dat groepen die eerst causale schema's en daarna mathematische schema's maakten beter in staat waren om hun samenwerkingsproces te coördineren. Deze groepen voerden, in vergelijking met groepen die beide soorten schema's in de omgekeerde volgorde maakten en groepen die alleen causale of mathematische schema's maakten, meer focusing (gerichte gespreksonderwerpen) checking (controleren consistentie en samenhang van de bijdragen aan de discussie) en argumentatie (voordelen en nadelen van standpunten tegen elkaar afwegen) activiteiten uit in de oplossingsfase. In de evaluatiefase was dit verschil alleen nog significant voor groepen die eerst een mathematisch en daarna een causaal schema maakten. Dit kan het verschil in groepsprestaties verklaren omdat het uit-

voeren van meer communicatieve coördinerende activiteiten groepen beter in staat stelt om meerdere perspectieven op de vakinhoud en de oplossingsstrategieën te creëren en hierover op een gerichte wijze te discussiëren (Barron, 2003; Fischer et al, 2002; Erkens & Janssen, 2008).

Samengevat, het maken van causale en mathematische vakinhoudelijke begrippenschema's stimuleert leerlingen in het gericht bespreken van de vakinhoud. Wanneer leerlingen meerdere soorten schema's maken die overeenstemmen met de activiteiten van de probleemoplosfasen kan de complementaire functie van de schema's hen ondersteunen in het oplossen van realistische probleemopgaven. Uit deze studie komen daarom de volgende richtlijnen voor het ondersteunen van realistische probleemopgaven naar voren, namelijk stimuleer het:

- verwerven van een goed ontwikkeld begrip door causale en mathematische schema's van de vakinhoud te combineren; introduceer de causale voor de mathematische schema's,
- toepassen van het begrip door het maken van begrippenschema's van de vakinhoud welke geschikt zijn voor het uitvoeren van de activiteiten van alle probleemoplosfasen.

Hoewel de resultaten veelbelovend lijken, zijn de richtlijnen niet automatisch effectief in andere situaties. Daarom worden nog een aantal discussiepunten en suggesties voor toekomstig onderzoek besproken. Ten eerste vond de studie plaats binnen het voortgezet onderwijs bij het economieonderwijs. Waar bij veel vakken (bv. aardrijkskunde en scheikunde) causale en mathematische perspectieven op de vakinhoud nodig zijn, dienen de te maken schema's ook gebaseerd te zijn op de kenmerken van de probleemopgave (Elen & Clarebout, 2007; Van Meter & Garner, 2005). De hierboven beschreven richtlijnen zijn daarom niet op voorhand geschikt voor alle realistische probleemopgaven en vakgebieden. Door het uitvoeren van een leertaakanalyse (zie Anderson & Krathwohl, 2001) kan inzicht worden verkregen in de specifieke kenmerken van de probleemopgave en de vakinhoud. Op basis van deze inzichten

kan de volgorde van de probleemoplosfasen en bijbehorende activiteiten worden gespecificeerd en kunnen schema's die deze activiteiten ondersteunen worden ontwikkeld. Hoewel Mulder et al (2011) de richtlijnen binnen het natuurkunde- en biologieonderwijs onderzoeken zou toekomstig onderzoek zich ook op andere vakken en andere probleemopgaven kunnen richten.

Tot slot, kan het ondersteunen van het oplossen van realistische probleemopgaven binnen een bepaalde periode effectief zijn, maar is dit ook het geval wanneer dit gedurende het gehele curriculum plaatsvindt? Met andere woorden, in hoeverre dient het cognitieve gedrag van leerlingen gestructureerd te worden en wanneer kan deze ondersteuning achterwege gelaten worden (Kapur, 2008; Van Merriënboer & Kirschner, 2007)? Er lijkt een delicaat evenwicht te zijn tussen beide aangezien leerlingen, aan de ene kant, moeilijkheden ervaren tijdens het oplossen van realistische probleemopgaven maar, aan de andere kant, dit soort problemen uiteindelijk (bv. aan het einde van het curriculum) ook zonder ondersteuning moeten kunnen oplossen. Wellicht dat toekomstig onderzoek hier op in kan gaan door te bestuderen op welke wijze de ondersteuning geleidelijk aan afgebouwd kan worden (*fading*, zie Kollar, Fischer, & Slotta, 2007; Reiser, 2004). Met betrekking tot het hier beschreven onderzoek zou onderzocht kunnen worden waar de leerlingen als eerste zonder kunnen, de opdeling in probleemoplosfase en bijbehorende activiteiten of het achtereenvolgens maken van causale en mathematische begrippenschema's van de vakinhoud.

Literatuurlijst

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

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.

Barron, B. (2003). When smart groups fail. *Journal of the Learning Sciences, 12*, 307–359.

Bigelow, J. D. (2004). Using problem-based learning to develop skills in solving unstructured problems. *Journal of Management Education, 28*, 591–609.

Bodemer, D., & Faust, U. (2006). External and mental referencing of multiple representations. *Computers in Human Behavior, 22*, 27–42.

Bromme, R., Hesse, F. W., & Spada, H. (2005). *Barriers and biases in computer-mediated knowledge communication - and how they may be overcome*. New York: Springer-Verlag.

Cicchetti, D. V., Lee, C., Fontana, A. F., & Dowds, B. N. (1978). A computer program for assessing specific category rater agreement for qualitative data. *Educational and Psychological Measurement, 38*, 805–813.

Clark, H. H., & Brennan, S. E. (1991). Grounding in communication. In L. B. Resnick, J. M. M. Levine, & S. D. Teasley (Eds.), *Perspectives on socially shared cognition* (pp. 127–149). Washington, DC: American Psychological Association.

Corbalan, G., Kester, L., & Van Merriënboer, J. J. G. (2009). Selecting learning tasks: Effects of adaptation and shared control on learning efficiency and task involvement. *Contemporary Educational Psychology, 33*, 733–756.

De Simone, C., Schmid, R. F., & McEwan, L. A. (2001). Supporting the learning process with collaborative concept mapping using computer-based communication tools and processes. *Educational Research and Evaluation, 7*, 263–283.

Dochy, F., Segers, M., Van den Bossche, P., & Gijbels, D. (2003). Effects of problem-based learning: A meta-analysis. *Learning and Instruction, 13*, 533–568.

Elen, J., & Clarebout, G. (2007). Supporting learning: Increasing complexity? *Computers in Human Behavior, 23*, 1162–1166.

Erkens, G. (2005). *Multiple Episode Protocol Analysis (MEPA). Version 4.10*. Utrecht University, The Netherlands.

Erkens, G., & Janssen, J. (2008). Automatic coding of online collaboration protocols. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 3*, 447–470.

Ertl, B., Kopp, B., & Mandl, H. (2008). Supporting learning using external representations. *Computers and Education, 51*, 1599–1608.

Fischer, A., Greiff, S., & Funke, J. (2012). The process of solving complex problems. *The*

- Journal of Problem Solving*, 4(1), 19–42.
- Fischer, F., Bruhn, J., Gräsel, C., & Mandl, H. (2002). Fostering collaborative knowledge construction with visualization tools. *Learning and Instruction*, 12, 213–232.
- Frederiksen, J. R., & White, B. Y. (2002). Conceptualizing and constructing linked models: Creating coherence in complex knowledge systems. In P. Brna, M. Baker, K. Stenning, & A. Tiberghien (Eds.), *In the role of communication in learning to model* (pp. 69–96). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Greene, T. R. (1989). Children's understanding of class inclusion hierarchies: The relation between external representation and task performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 62–69.
- Hmelo-Silver, C. E., Chernobitsky, E., & Jordan, R. (2008). Understanding collaborative learning processes in new learning environments. *Instructional Science*, 36, 409–430.
- Jaspers, J. G. M., Broeken, M., & Erkens, G. (2005). Virtual Collaborative Research Institute (VCRI). Version 2.2. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University.
- Jeong, A., & Joung, S. (2007). Scaffolding collaborative argumentation in asynchronous discussions with message constraints and message labels. *Computers and Education*, 48, 427–445.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependency theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38, 365–379.
- Jonassen, D. H. (2003). Using cognitive tools to represent problems. *Journal of Research on Technology in Education*, 35, 362–381.
- Jonassen, D. H., & Ionas, I. G. (2008). Designing effective support for causal reasoning. *Educational Technology Research and Development*, 56, 287–308.
- Kapur, M. (2008). Productive Failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379–424.
- Kirschner, F. C., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009). Individual and group-based learning from complex cognitive tasks: Effects on retention and transfer efficiency. *Computers in Human Behavior*, 25, 306–314.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work; An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 4(2), 75–86.
- Kollar, I., Fischer, F., & Slotta, J. D. (2007). Internal and external scripts in computer-supported collaborative inquiry learning. *Learning and Instruction*, 17, 708–721.
- Kollöffel, B., Eysink, T. H. S., & De Jong, T. (2010). The influence of learner-generated domain representations on learning combinatorics and probability theory. *Computers in Human Behavior*, 23, 1–11.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13, 205–226.
- Laughlin, P. R., Carey, H. R., & Kerr, N. L. (2008). Group-to-individual problem-solving transfer. *Group Processes and Intergroup Relations*, 11, 319–330.
- McCrudden, M. T., Schraw, G., Lehman, S., & Poliquin, A. (2007). The effect of causal diagrams on text learning. *Contemporary Educational Psychology*, 32, 367–388.
- Mercer, N., Littleton, K., & Wegerif, R. (2004). Methods for studying the processes of interaction and collaborative activity in computer-based educational activities. *Technology, Pedagogy and Education*, 13, 195–212.
- Mergendoller, J. R., Maxwell, N. L., & Bellisimo, Y. (2006). The effectiveness of problem-based instruction: A comparative study instructional methods and student characteristics. *The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1(2), 49–69.
- Mühlpfordt, M., & Stahl, G. (2007). The integration of synchronous communication across dual interaction spaces. In C. A. Chinn, G. Erkens, and S. Puntambekar (Eds.), *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning* (pp. 522–531). New Brunswick, NJ: International Society of the Learning Sciences.
- Mulder, Y. G., Lazonder, A. W., & De Jong, T. (2011). Comparing two types of model progression in an inquiry learning environment with modelling facilities. *Learning and Instruction*, 21, 614–624.
- OECD. (2010). *PISA 2012 Problem Solving Framework*. Paris: OECD.

- Okada, T., & Simon, H. A. (1997). Collaborative discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 21, 109–146.
- Ploetzner, R., Fehse, E., Kneser, C., & Spada, H. (1999). Learning to relate qualitative and quantitative problem representations in a model-based setting for collaborative problem solving. *Journal of the Learning Sciences*, 8, 177–214.
- Reiser, B. J. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *Journal of the Learning Sciences*, 13, 273–304.
- Rudner, L. & Schafer, W. (2002). *What teachers need to know about assessment*. Washington, DC: National Education Association.
- Schellens, T. & Valcke, M. (2005). Collaborative learning in asynchronous discussion groups: What about the impact on cognitive processing? *Computers in Human Behavior*, 21, 957–975.
- Schiffrin, D. (1987). *Discourse markers*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2008). External and internal representations in the acquisition and use of knowledge: Visualization effects on mental model construction. *Instructional Science*, 36, 175–190.
- Slof, B., Erkens, G., Kirschner, P. A. (2012a). The effects of constructing domain-specific representations on coordination processes and learning in a CSCL-environment. *Computers in Human Behavior*, 28(4), 1478–1489.
- Slof, B., Erkens, G., Kirschner, P. A., Janssen, J., & Jaspers, J. G. M. (2012b). Successfully carrying out complex learning-tasks through guiding teams' qualitative and quantitative reasoning. *Instructional Science*, 40(3), 623–643.
- Van Amelsvoort, M., Andriessen, J., & Kanselaar, G. (2007). Representational tools in computer-supported collaborative argumentation-based learning: How dyads work with constructed and inspected argumentative diagrams. *Journal of the Learning Science*, 16, 485–521.
- Van Boxtel, C. A. M., Van der Linden, J. L., & Kanselaar, G. (2000). Collaborative learning tasks and the elaboration of conceptual knowledge. *Learning and Instruction*, 10, 311–330.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2007). *Ten steps to complex learning. A systematic approach to four-component instructional design*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Van Meter, P., & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17, 285–325.

Manuscript aanvaard op: 27 maart 2013

Auteurs

Bert Slof is verbonden aan de Lerarenopleiding van de Rijksuniversiteit Groningen, **Gijsbert Erkens** aan de Universiteit Utrecht, Departement Gedragwetenschappen, Afdeling Educatie en **Paul A. Kirschner** aan de Open Universiteit Nederland, CELSTEC

Correspondentieadres: Bert Slof, Rijksuniversiteit Groningen, Faculteit Gedrags- en Maatschappij Wetenschappen, Universitaire Lerarenopleiding, Landleven 1, 9747 AD Groningen. E-mail: b.slof@rug.nl

Abstract

Combining causal and mathematical representations supports learners in collaboratively solving complex business-economics problem-tasks.

This study examined the effects of combining causal and mathematical representations on learners' collaborative performance of a complex business-economics problem-task. In total 34 teams (learner-triads) carried the problem-task out in a predefined order, namely (1) defining the problem and proposing two solutions (problem-solution phase) and (2) evaluating solutions and providing a definitive advise (solution-evaluation phase). Teams were randomly allocated to four conditions and varied in the representations they had to co-construct. Teams in the causal-mathematical condition (n=8) co-constructed a causal representation during problem-solution and a mathematical representation during solution-evaluation. Teams in the mathematical-causal condition (n=8) co-constructed both representations in a reversed order. Teams in the cau-

sal (n=9) and mathematical (n=9) conditions co-constructed the same type of representation (causal or mathematical) during problem-solution and solution-evaluation. As expected teams that co-constructed representations matching the task demands of both problem phases (causal-mathematical condition) were better able to coordinate their problem-solving process and came up with better solutions for the problem.