

Leren door het ontwerpen van opdrachten over elektrische schakelingen.

Cornelise Vreman-de Olde en Ton de Jong
Faculteit Gedragwetenschappen, Universiteit Twente

Samenvatting

In deze studie hebben we gekeken naar het ontwerpen van opdrachten als mogelijke leeractiviteit. We hebben leerlingen gevraagd om, bij bestaande simulaties van elektrische circuits, opdrachten te ontwerpen voor medeleerlingen. Deze opdrachten bestonden uit een vraag, een juist antwoord en enkele (onjuiste) alternatieven, en uitleg op deze antwoorden. Door deze ontwerp-taak werden leerlingen actief in het zelf bedenken van vragen, het geven van antwoorden en alternatieven, en het genereren van uitleg. Vanuit de literatuur zijn dit bekende kennisgenererende activiteiten. De ontworpen opdrachten zijn geanalyseerd en uit de analyse kwamen diverse typen opdrachten naar voren. Informatie over het gebruik van voorkennis en over het ontwerpproces werd verkregen uit hardop-denkprotocollen. Resultaten tonen aan dat leerlingen niet alleen opdrachten ontwierpen over feiten of procedures, maar ook over observaties die ze met de simulatie hebben gemaakt. Leerlingen maakten actief gebruik van hun voorkennis. Ze leken hun domeinkennis te versterken door procedures voor het oplossen van problemen op te halen en uit te leggen. Bovendien leken ze zich te richten op de dynamische karakteristieken van de circuits.

1. Inleiding

Er is de laatste jaren een verschuiving merkbaar van een docentgecentreerde aanpak van de lessen naar een meer leerling-gecentreerde aanpak. Leerlingen worden geacht een actieve bijdrage te leveren aan de manier waarop ze met de leerstof omgaan. De gedachte hierachter is dat hoe meer mogelijkheden de leerlingen hebben en hoe meer ze actief betrokken worden bij de les, des te rijker hun kennis zal worden. Papert (1990) gaf aan dat het belangrijk is dat kennis wordt opgebouwd door leerlingen en niet slechts wordt aangereikt door de docent. Volgens hem gaat het opbouwen van kennis het beste als leerlingen betrokken worden bij het samen bouwen van objecten zoals zandkastelen, machines en computer programma's. Kafai (1996) nam dit in haar onderzoek op en liet leerlingen zelf complexe, interactieve stukken software ontwikkelen. Harel (1991) merkte al op dat niet de gebruiker maar de ontwerper zelf het meeste leert. Dit *leren door ontwerpen* maakt van de leerling geen consument van kennis, maar een producent.

In deze studie hebben we leerlingen gevraagd opdrachten te ontwerpen voor medeleerlingen bij een bestaande simulatie over elektrische schakelingen. Een te ontwerpen opdracht bestaat uit een vraag, een antwoord en enkele afleiders, en uitleg op deze antwoorden. Leerlingen moesten dus een vraag bedenken over een elektrische schakeling, antwoorden genereren, en uitleg geven waarom de antwoorden goed of fout zijn. We verwachtten dat deze activiteiten bij zouden dragen aan het leerproces van de leerlingen.

Zo wordt het *bedenken van vragen* beschouwd als een belangrijke strategie om leerstof beter te gaan begrijpen (Palincsar & Brown, 1984). Leerlingen richten zich daardoor meer op de kern van de stof. Chin, Brown en Bruce (2002) toonden aan dat leerlingen meer leren door vragen te stellen. Ze vonden dat leerlingen dieper nadachten, en verklaringen zochten voor de dingen die ze niet hadden begrepen. Lensink (1999) beschreef hoe ze leerlingen zelf een proefwerkvraag liet bedenken die met de actualiteit te maken had. De leerlingen merkten hierdoor dat wat ze op school leerden ook daadwerkelijk gebruikt wordt in het dagelijkse leven.

Als leerlingen *antwoorden en alternatieven* moeten bedenken, dan reflecteren ze over de juiste oplossingsstrategie. Bij het leren van begrippen moeten leerlingen onderscheid leren maken tussen voorbeelden van zo'n begrip en tegenvoorbeelden die wel enkele kenmerken van het begrip hebben, maar niet alle (Smith & Ragan, 1999). Op eenzelfde manier zullen leerlingen, bij het bedenken van alternatieven, moeten nadenken over het juiste antwoord en over alternatieven die wel lijken op het goede antwoord, maar toch fout zijn.

Positieve effecten van het *bedenken van uitleg* op de antwoorden worden verwacht, omdat leerlingen dan voorkennis en nieuwe kennis integreren (King, 1994). Webb (1989) zag dat het geven van goede uitleg aan anderen positief samenhang met prestaties. Ook Coleman, Brown en Rivkin (1997) rapporteerden dat het geven van uitleg positieve effecten had. Ze vroegen leerlingen een stuk tekst uit te leggen of samen te vatten voor een medeleerling. Het bleek dat degenen die moesten uitleggen naderhand beter presteerden op een toets over het domein. Bij het maken van uitleg moet een leerling goed nagaan wat hij wel of niet begrepen heeft, bovendien moet de kennis gereorganiseerd worden zodat een ander het ook begrijpt. Deze herstructurering van kennis zal een leerling die moet uitleggen helpen om de stof beter te begrijpen, nieuwe perspectieven te ontwikkelen en hiaten in zijn kennis te ontdekken en op te lossen (Webb & Palincsar, 1996).

Hoewel er dus veel positieve resultaten bekend zijn over leren door ontwerpen, is er nog weinig bekend over het specifieke leren door ontwerpen van *opdrachten*. Op laatstgenoemd thema richten we ons in deze studie. We hebben daartoe leerlingen van het MBO gevraagd opdrachten te ontwerpen bij simulaties van elektrische schakelingen. Deze opdrachten bestonden uit een vraag, een juist antwoord en een aantal (onjuiste) alternatieven, en uitleg op die antwoorden. De opdrachten, bestemd voor een fictieve medeleerling, moesten het gebruik van de simulatie stimuleren.

In dit artikel richten we ons op een drietal vragen: (1) Welke opdrachten ontwerpen de leerlingen bij de bestaande simulaties; (2) Hoe pakken leerlingen de ontwerptaak aan; en (3) Hoe wordt voorkennis gebruikt bij het ontwerpen van opdrachten. In de discussie zullen we een antwoord trachten te vinden op de vraag hoe instructief deze ontwerptaak is en op welke manieren we leerlingen hierbij in een vervolgonderzoek kunnen ondersteunen. Bij het bespreken van het drietal vragen zullen we telkens terugkomen op de drie aspecten van de opdracht: de vraag, de antwoorden en de uitleg.

2. Methode

De deelnemers

Negentien eerstejaars leerlingen van het ROC-Hengelo werkten mee aan deze studie. Ze hadden net een lessenserie over gelijkspanning afgerond. De belangrijkste onderwerpen in deze lessen waren: eenvoudige serie- en parallelschakelingen, gemengde schakelingen; diode; loodlijn; parallelle, niet-ideale spanningsbronnen. De leerlingen werkten mee op vrijwillige basis en kregen hiervoor een beloning.

De leeromgeving

In deze studie is SIMQUEST gebruikt. SIMQUEST is een auteursomgeving voor het creëren van simulatieleeromgevingen op het gebied van o.a. natuur- en scheikunde (De Jong e.a., 1998; De Jong e.a., 1999; Van Joolingen en De Jong, 2003). In een SIMQUEST-simulatieleeromgeving kunnen leerlingen waarden van invoervariabelen veranderen en de veranderingen in waarden van uitvoervariabelen observeren. Om leerlingen te helpen bij het leren in zo'n leeromgeving, zijn verschillende vormen van ondersteuning aangebracht, waaronder opdrachten. In een opdracht krijgt de leerling bijvoorbeeld de vraag om de relatie tussen twee variabelen te vinden. De leerling kan dan de simulatie gaan gebruiken en vervolgens in de opdracht het antwoord aangeven waarvan hij denkt dat het goed is. Vervolgens krijgt de leerling uitleg op het gekozen antwoord.

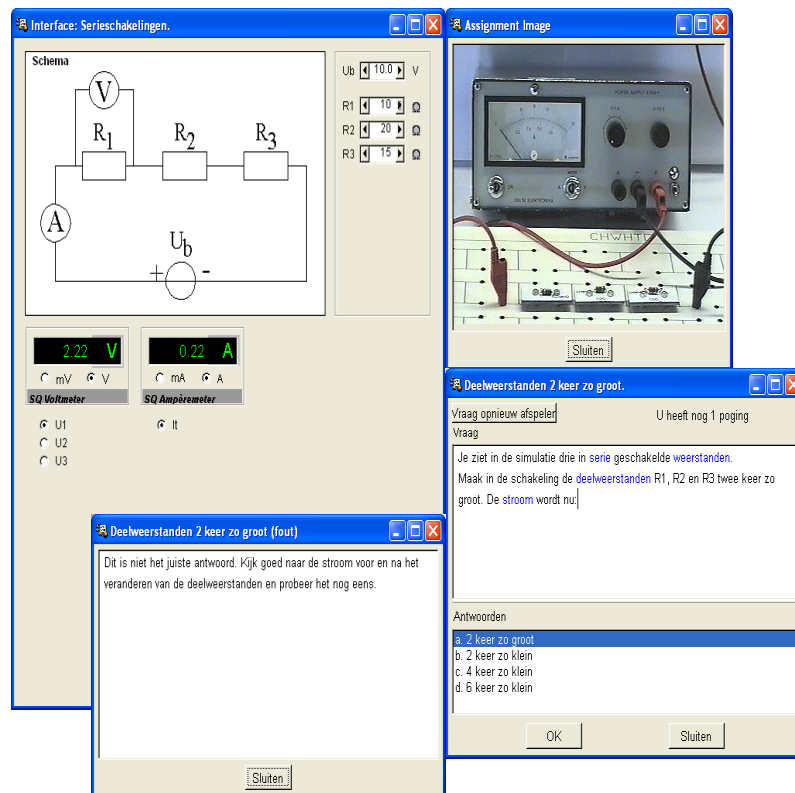
In deze studie is een simulatieleeromgeving op het gebied van elektriciteitsleer gebruikt. Deze leeromgeving is gebaseerd op de wetten van Kirchhoff en Ohm. In deze leeromgeving waren zestien verschillende gesimuleerde circuits opgenomen. In Figuur 1 wordt één van deze gesimuleerde circuits getoond. Aan de linkerkant van Figuur 1 is de simulatie-interface te zien. Leerlingen kunnen in deze interface het schema van het circuit bestuderen. Rechts van dit schema zitten invoervelden waarmee de leerling waarden van onafhankelijke variabelen kan veranderen. Onder het schema staan de meters waarmee de leerling de waarden van afhankelijke variabelen kan meten. Om het schema te relateren met de praktijk is een foto van een echte opstelling opgenomen in de opdracht. De opstelling is gebouwd met materialen die bij het ROC worden gebruikt.

In Figuur 1 wordt een gesimuleerde serieschakeling weergegeven. De andere circuits, in de simulatieleeromgeving, bevatten simulaties van parallelschakelingen, gemengde schakelingen, een schakeling met een diode, een schakeling met twee weerstanden en een bijbehorende grafiek met de loodlijn, en schakelingen met twee parallelle niet-ideale spanningsbronnen. De schakelingen zijn verschillend in moeilijkheid.

De leerlingen kregen de beschikking over deze zestien verschillende gesimuleerde circuits en werden gevraagd zelf opdrachten te ontwerpen bij een of meerdere simulaties. Een voorbeeld van zo'n opdracht wordt ook getoond in Figuur 1. Onder de foto staat de vraag. Hierbij zijn vier antwoorden bedacht. De uitleg behorende bij antwoord 'a' is ook weergegeven.

De auteursomgeving

De auteursomgeving van SIMQUEST biedt auteurs de mogelijkheid om op eenvoudige manier zelf opdrachten in te voeren. Hiervoor zijn speciale sjablo-



Figuur 1. Voorbeeld van een opdracht in een SIMQUEST -simulatieleeromgeving over elektrische schakelingen.

nen aanwezig. In een dergelijk sjabloon kan de auteur op verschillende tabbladen de onderdelen van een opdracht schrijven.

We hebben de leerlingen gevraagd de opdrachten zelf in te voeren in de auteursomgeving van SIMQUEST. Hoewel het zelf invoeren van de opdrachten in SIMQUEST de ontwerptaak zou kunnen verzwaren, en we de leerlingen de ontwerptaak ook geheel op papier hadden kunnen laten uitvoeren, verwachten we ook positieve effecten van het gebruik van SIMQUEST. Een eerste voordeel van het gebruik van de gesimuleerde circuits is dat de leerling in de simulatie variabelen kan veranderen en effecten observeren. Op deze manier kan hij nieuwe kennis verwerven of herinnerd worden aan voorkennis. Een tweede voordeel van het gebruik van de simulatie is dat de leerling zijn ingevoerde opdracht daadwerkelijk kan uitproberen. Op deze manier kan de leerling controleren of de opdracht geworden is zoals hij het wilde. De leerling kan de simulatie ook gebruiken om de juistheid van de alternatieven te controleren.

3. Procedure van gegevensverzameling

De eerste sessie

De studie bestond uit twee sessies. Het doel van deze eerste sessie was om de leerlingen bekend te maken met zowel de leerling- als de auteursomgeving van SIMQUEST. Leerlingen werkten met een bestaande leeromgeving op het gebied van Buigende Momenten en konden op deze manier kennis maken met de opdrachten in SIMQUEST. Deze opdrachten verschillen meestal van opdrachten in het boek: in SIMQUEST ligt de nadruk op het effect van het variëren van waarden van variabelen, terwijl in het boek de leerling vaak gevraagd wordt om berekeningen uit te voeren. Naast inhoudelijke instructie over hoe een opdracht in SIMQUEST eruit kan zien, kregen de leerlingen ook technische instructie om de opdrachten daadwerkelijk in te voeren.

De tweede sessie

De tweede sessie, die anderhalf uur duurde, was een één-op-één-sessie: de leerling ontwierp opdrachten waarbij hij geobserveerd werd door een onderzoeker. In deze sessie werd de leeromgeving over elektriciteitsleer gebruikt. De leerling werd gevraagd om opdrachten te bedenken voor een fictieve medeleerling. Deze opdrachten moesten het gebruik van de simulatie stimuleren. De leerling mocht zelf kiezen over welke schakelingen hij opdrachten wilde bedenken. Om snel een overzicht te krijgen van alle schakelingen in de leeromgeving, kreeg de leerling een boekje waarin alle zestien schakelingen waren afgebeeld. Ook kreeg de leerling papier om aantekeningen op te maken. De leerling werd gevraagd om hardop te denken tijdens het ontwerpen. Op bepaalde momenten in het ontwerpproces, bijvoorbeeld na een lange stilte of na het afronden van een opdracht, werden hem procesvragen gesteld. Voorbeelden van zulke vragen zijn: "Hoe kreeg je een idee voor de opdracht", "Wat is de achtergrond (reden) voor je alternatieven?" Met deze vragen wilden we meer inzicht krijgen in het proces van opdrachten ontwerpen. Deze methode lijkt op de rode-stippen-methode die gebruikt is door Ferguson-Hessler en De Jong (1990) om leerprocessen te inventariseren terwijl leerlingen teksten moesten lezen. De antwoorden op de vragen en het hardop-denkenprotocol werden opgenomen op geluidsband. De leerlingen mochten om hulp vragen als ze problemen hadden met de SIMQUEST-auteursomgeving. De experimentator maakte aantekeningen als de leerling bijzondere dingen deed die hij niet hardop vermeldde, bijvoorbeeld als de leerling gebruik maakte van een rekenmachine, of als aanvulling op de antwoorden op de procesvragen, bijvoorbeeld als de experimentator zag hoe de simulatie was gebruikt, terwijl de leerling alleen maar antwoordde dat hij de simulatie had gebruikt.

4. Resultaten

In deze paragraaf zullen we verschillende opdrachten die leerlingen ontworpen hebben, bespreken. Vervolgens zullen we bespreken hoe de leerlingen de ontwerptaak aangepakt hebben. Tot slot zullen we de rol van voorkennis bij het ontwerpen van opdrachten bespreken en illustreren met enkele voorbeelden.

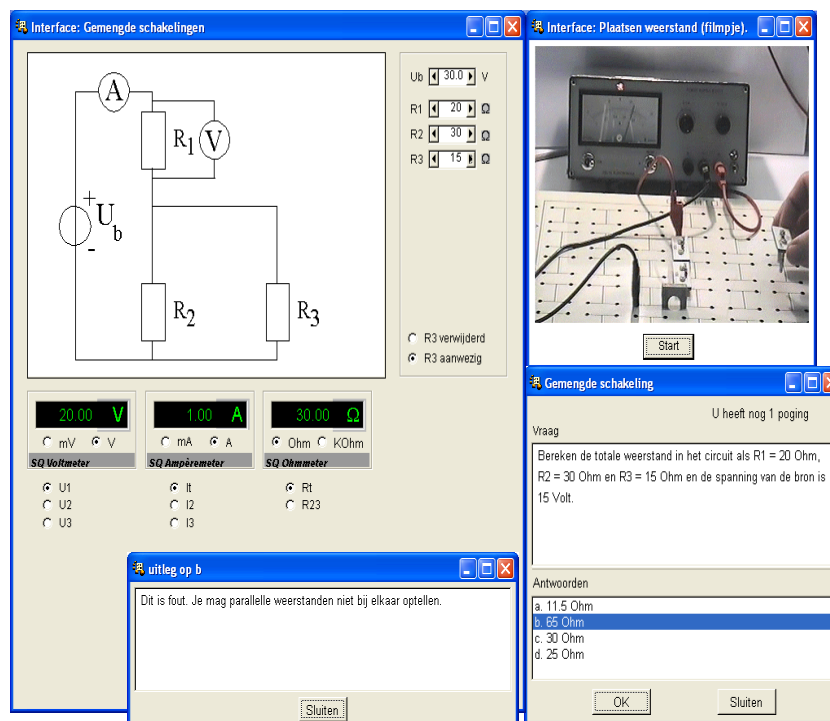
Verschillende opdrachten

In totaal maakten de leerlingen 57 opdrachten. Als men de opdrachten van de leerlingen bekijkt, valt al gauw op dat ze verschillen in de manier waarop de simulatie gebruikt wordt. Een groot deel van de opdrachten gaat over de berekening van de waarde van een onbekende variabele (in 30 van de 57 opdrachten, dat is 53 %). De medeleerling, voor wie de opdracht wordt ontworpen, wordt gevraagd een berekening uit te voeren. Hierbij hoeft hij de simulatie niet te meer gebruiken. Zo kan het zijn dat de leerling in het circuit de waarde van de weerstanden kan aflezen, en vervolgens de totale weerstand moet berekenen. Dit soort opdrachten hebben we *rekenopdrachten* genoemd. In een andere groep opdrachten kan de simulatie niet gebruikt worden om het goede antwoord te vinden: er wordt gevraagd naar feiten en regels en de medeleerling moet het antwoord gewoon weten (8%). Zo kan het zijn dat de leerling gevraagd wordt naar de formule om het vermogen te berekenen. Dit soort opdrachten hebben we *kennisopdrachten* genoemd. In de laatste categorie opdrachten heeft de medeleerling de simulatie wél nodig. Er wordt gevraagd a) naar het *effect van het veranderen van een variabele* (14%, bijvoorbeeld wat er gebeurt als je de spanning van de voedingsbron verdubbelt), b) om de *waarde van een variabele te vinden* (14%, bijvoorbeeld wat de drempelspanning van de diode is), of c) naar het *effect van het omzetten van een schakelaar* (11 %, bijvoorbeeld dat er na het omzetten van een schakelaar van een serieschakeling van twee weerstanden een spanningsdeler wordt gemaakt). Dit soort opdrachten hebben we *simulatieopdrachten* genoemd.

De meeste opdrachten gaan dus over berekeningen of over kennis (61%). Dit is begrijpelijk omdat leerlingen aan dit soort opdrachten gewend zijn. Bij het ontwerpen van een rekenopdracht herinnert de leerling zich weer een bepaalde berekening en voert deze ook uit. De waarde van de simulatie ligt erin dat de leerling deze gebruikt om juiste waarden voor de variabelen te vinden of om het juiste antwoord van de berekening te controleren (de leerling vult dan de juiste getallen in de simulatie in en controleert of het resultaat overeenkomt met de uitkomst van zijn berekening). Uit bovenstaande lijst blijkt verder dat bij het ontwerpen van simulatieopdrachten, de leerling zich richt op wat er gebeurt als hij variabelen verandert, of wat er gebeurt als hij een schakelaar omzet en/of hoe hij de waarde van een bepaalde variabele kan bepalen. Dit soort vragen zijn nieuw voor onze leerlingen en ze tonen de waarde van de simulatie. De simulatie wordt nu namelijk gebruikt om de dynamische aspecten van het circuit te ontdekken ("als ik de spanning verander dan...", of "als ik de lamp kortsluit dan..."). Bij het nadenken over opdrachten over de effecten, moet de leerling goed kijken wat er precies gebeurt in het circuit, het juiste antwoord vinden en het ook kunnen uitleggen aan zijn medeleerlingen. In de volgende drie voorbeelden zullen we verschillen tussen opdrachten laten zien. De nadruk ligt daarbij steeds op de drie onderdelen van een opdracht: vraag, antwoorden, en uitleg op die antwoorden.

Voorbeeld van een rekenopdracht.

Veel rekenopdrachten gingen over gemengde circuits. Tijdens de gewone lessen wordt vaak gevraagd om de totale weerstand in een dergelijk circuit te berekenen. Tijdens deze studie vroegen onze leerlingen dat ook vaak aan hun medeleerling. Een voorbeeld van zo'n opdracht is te zien in Figuur 2, waarbij de vraag luidt: "Bereken de totale weerstand als $R_1=20$ Ohm, $R_2=30$ Ohm, R_3

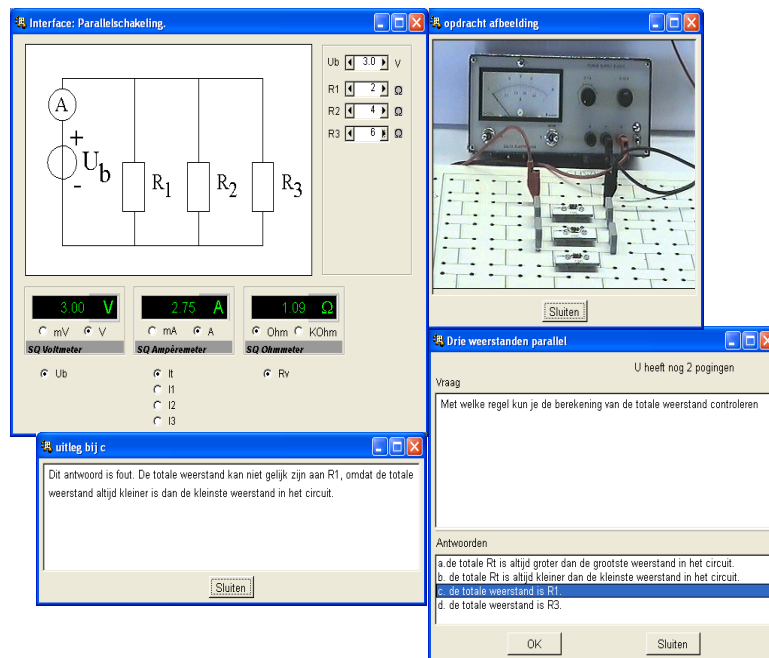


Figuur 2. Voorbeeld van een rekenopdracht.

= 15 Ohm en de spanning 30 Volt is”. De ontwerpende leerling gaf de volgende motivatie voor het alternatieve antwoord van 65 Ohm: “Mocht iemand namelijk niet goed weten hoe je de totale weerstand in dit circuit berekent en dan maar alle getallen bij elkaar optellen, dan kom je bij dit getal uit”. In zijn uitleg gaf hij aan dat je geen parallelle weerstanden bij elkaar mag optellen. In de uitleg op het juiste antwoord, legt hij uit hoe je de totale weerstand in het gemengde circuit moet berekenen. De vragen in dit soort opdrachten waren vaak tamelijk complex: leerlingen vonden het leuk om een puzzelopdracht te bedenken. Ze dachten dan na over wat je zou kunnen vragen en wat je minimaal nodig had om het te kunnen berekenen. Om het juiste antwoord te vinden moest er dan vaak een berekening van meerdere stappen uitgevoerd worden.

Voorbeeld van een kennisopdracht

Het kenmerk van een kennisopdracht is dat deze niet opgelost kan worden met de simulatie: je moet het antwoord gewoon weten. Toen één van onze leerlingen een circuit met een parallelschakeling van drie weerstanden opende, herinnerde hij zich een regel die hij handig vond om de berekening van de totale weerstand in dit circuit te controleren. Over deze regel bedacht hij een opdracht, welke getoond wordt in Figuur 3. In zijn opdracht vraagt hij naar deze regel en als alternatieven bedenkt hij regels die op de juiste regel lijken. In zijn uitleg op het alternatief C schrijft hij dat het antwoord fout is en dat de totale weerstand altijd kleiner is dan de kleinste weerstand. Dit voorbeeld toont aan dat de leerling zich de regel goed kan herinneren. Echter, bij het ontwer-



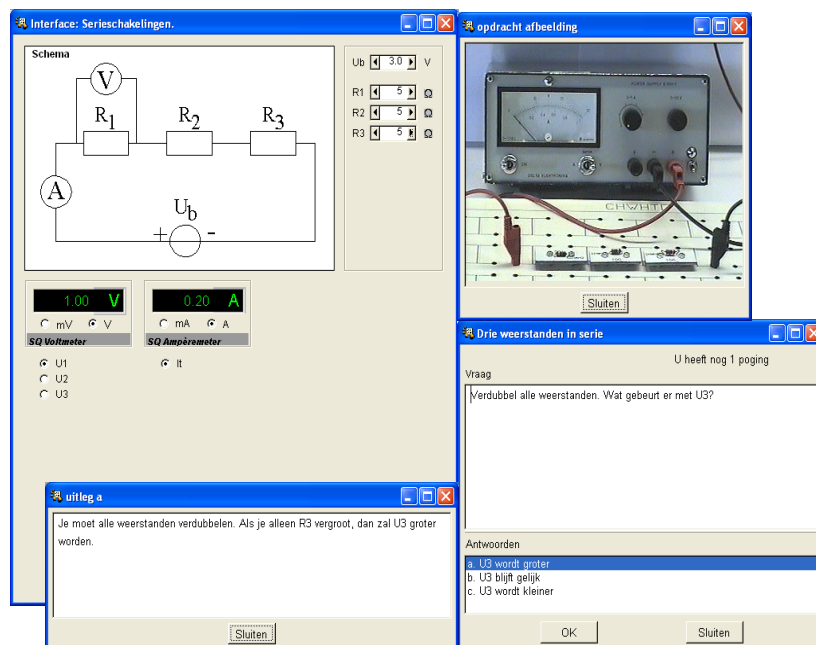
Figuur 3. Voorbeeld van een kennisopdracht.

pen van deze opdracht heeft hij de simulatie niet gebruikt om deze regel te controleren. Het herformuleren van zo'n opdracht in een simulatieopdracht zou zeker nuttig zijn.

Voorbeeld van een simulatieopdracht

Een voorbeeld van een simulatieopdracht die ontworpen is door een van onze leerlingen, wordt getoond in Figuur 4. Deze opdracht gaat over een circuit met drie weerstanden in serie. De vraag luidt: "Verdubbel alle weerstanden. Wat gebeurt er met U_3 ?" (Hierin is U_3 de spanning over de weerstand R_3). De leerling heeft goed nagedacht over zijn alternatieven en ze gebaseerd op vermeende fouten van anderen.

Zo bedacht hij dat je de fout kunt maken alleen weerstand R_3 te vergroten, waardoor U_3 groter wordt (alternatief C). Dat dit niet goed is, wordt duidelijk gemaakt in de uitleg op dit alternatief (zie Figuur 4). Terwijl de leerling deze opdracht aan het ontwerpen was, gebruikte hij de simulatie vaak. Met behulp van de voltmeters in de simulatie bepaalde hij de verschillende spanningen, verdubbelde de weerstanden en mat opnieuw de spanningen. Hij ontdekte wat er gebeurt als je niet alle weerstanden vergroot (alternatief A en C). Met behulp van de simulatie vond hij het juiste antwoord, namelijk dat U_3 gelijk blijft. In deze opdracht combineerde hij zijn kennis van de wet van Ohm met wat hij in de simulatie zag gebeuren, en dat resulteerde in een gedegen opdracht.



Figuur 4. Voorbeeld van een simulatieopdracht.

Manieren van aanpak van de ontwerptaak

Leerlingen verschiden niet alleen in het type opdracht dat ze maakten, maar ook in de manier waarop ze de ontwerptaak aanpakten. Sommige leerlingen zagen het circuit in de simulatie en herinnerden zich feiten en regels die ze al eerder geleerd hadden. Anderen gebruikten de simulatie en kwamen daardoor op ideeën voor een opdracht. We zullen hier twee voorbeelden geven van hoe leerlingen de ontwerptaak aangepakt hebben. Daarna zullen we iets zeggen over het ontwerpproces en aspecten ervan die leerzaam zouden kunnen zijn voor de leerlingen. Voor een uitgebreider overzicht van het ontwerpproces verwijzen we naar Vreman-de Olde & De Jong (in druk).

Voorbeeld 1: Een leerling herinnert zich een vraag van een proefwerk.

De leerling bestudeert het boekje met de afbeeldingen van de circuits en kiest een circuit uit waarover hij zich een vraag herinnert die hij al eerder gemaakt heeft op een proefwerk (bijvoorbeeld de vraag "Bereken de stroom door weerstand R_1 "). In de simulatie verandert hij variabelen, meet de waarde van andere variabelen, en kiest dusdanige waarden voor zijn variabelen dat de berekening niet te moeilijk wordt. Hij berekent het juiste antwoord en controleert het met de simulatie. De leerling denkt na over mogelijke fouten (van anderen) in de berekening en baseert daarop zijn alternatieven. Hij gebruikt de feedback om de juiste formules te geven die nodig zijn voor de berekening van de gevraagde variabele.

Voorbeeld 2: Een leerling doet experimenten met de simulatie.

De leerling opent de opdracht en begint in de interface variabelen te veranderen. Hij verandert en meet verschillende variabelen. Tijdens dit proces groeit er een idee voor een opdracht. Hij formuleert zijn vraag en gebruikt de simulatie om het juiste antwoord te vinden. Hij baseert zijn alternatieven op getallen die twee keer groter of kleiner zijn dan het correcte antwoord. In de uitleg schrijft hij over wat hij gezien heeft in de simulatie.

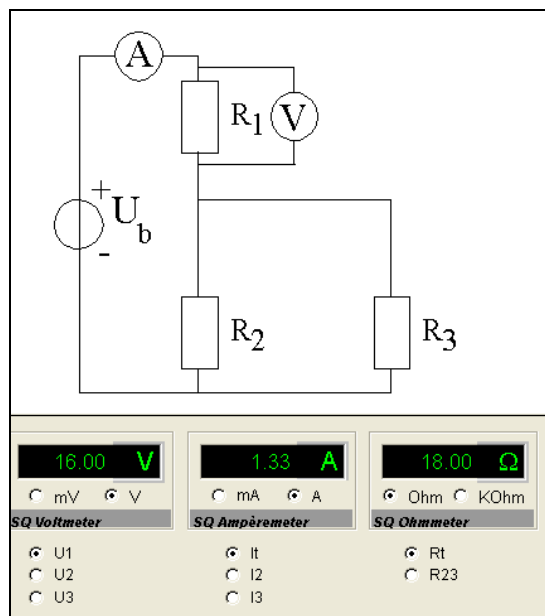
Bij het ontwerpen van een opdracht doorloopt een leerling een aantal fasen. De leerling moet eerst een idee genereren voor zijn opdracht. Dit idee moet vervolgens geformuleerd worden tot een vraag. Bij deze vraag moet hij het juiste antwoord vinden en enkele alternatieven bedenken. Vervolgens moet hij uitleggen waarom het antwoord goed of fout is. Ten slotte evalueert hij zijn opdracht. Bij het ontwerpen van opdrachten zijn er activiteiten die leerzamer zijn dan andere. We geven er hier een kort overzicht van.

Terwijl sommige leerlingen een idee dat ze hadden, zonder er verder diep over na te denken herformuleerden tot een vraag, deden de meeste leerlingen dat niet. Ze dachten na over geschikte waarden die ze aan de variabelen wilden geven, ze gebruikten de simulatie om hun idee te controleren en uit te werken, en ze dachten na over hoe ze hun kennis het beste konden overdragen aan de medeleerling.

De alternatieven (of afleiders) die de leerlingen bedachten, bleken meestal plausibele afleiders te zijn. De leerlingen kozen hiervoor getallen die rondom het goede antwoord lagen en/of dachten na over mogelijke verkeerde berekeningen. Een leerling formuleerde de alternatieven als volgt: "Eigenlijk moet je getallen kiezen die je krijgt als je het een klein beetje fout doet". Omdat leerlingen graag wilden dat de medeleerling moeite moest doen om het goede antwoord te vinden, moesten ze zelf goed nadenken over goede afleiders.

De leerlingen probeerden de uitleg zo te maken, dat een medeleerling er echt iets van kon leren. Ze gaven hints om het goede antwoord te vinden door de juiste formules te geven, velen schreven de gevraagde berekening helemaal uit, of ze gaven hints om beter in de simulatie te kijken.

De leerlingen hadden hun opdrachten zelf in de auteursomgeving ingevoerd. Bij het evalueren van hun opdracht zagen ze deze in de leerlingomgeving. Dit motiveerde ze duidelijk voor deze taak. Ook konden ze daardoor beter beoordelen of ze nog iets wilden wijzigen in hun ontwerp.



Figuur 5. Circuit met een gemengde schakeling.

Ter illustratie van een deel van de ontwerptaak, namelijk het vinden van het goede antwoord, tonen we een deel uit een protocol van een leerling. Voorafgaand aan dit deel had hij bij het circuit uit Figuur 5 de vraag gesteld om de stroom door de drie weerstanden te berekenen.

“Laten we eens kijken naar de antwoorden.” (gebruik simulatie)

“Uhm, de stroom I_1 wordt niet gemeten. Oh, dat is natuurlijk hetzelfde als I_t en die is 1.33 A. Eens kijken, $I_1=1.33A$, $I_2=0.67A$, $I_3=0.67A$. Dat klopt. De spanning over R_1 en R_2 kun je meten. De stroom door R_1 kan berekend worden met R_1 en U_1 . U_2 kun je meten met de voltmeter, delen door R_2 en je weet I_2 ”

(Hij kan nu beredeneren hoe je I_1 , I_2 en I_3 kunt bepalen als I_t bekend is en $R_2=R_3$).

...

“Wat is het doel van je opdracht?”

“Dat de leerling weet dat als je twee parallelle weerstanden hebt en je weet de totale stroom en de stroom door een van beide weerstanden, dan weet je de stroom door de andere weerstand ook.”

Opmerkingen over het gebruik van voorkennis in de ontwerptaak

Een goed ontwerp staat of valt bij het hebben van een aardig idee. Leerlingen waren vaak erg gemotiveerd om een opdracht voor een medeleerling te ontwerpen en om op deze wijze iets van hun kennis over te dragen. Over het algemeen bleek dat leerlingen, voor het krijgen van een idee, op zoek waren naar interessante aspecten van circuits (bijvoorbeeld de vraag of een diode in sper of doorlaat staat), nadachten over problemen die ze vroeger hadden

(bijvoorbeeld het probleem twee formules door elkaar te halen), nadachten over moeilijkheden in een berekening (bijvoorbeeld de berekening van de totale weerstand in een gemengde schakeling), of nadachten over dynamische aspecten van circuits (bijvoorbeeld hoe je de variabelen moet veranderen zodat er een stroom gaat lopen door de diode).

Leerlingen hadden, vlak voor het experiment plaatsvond, geleerd hoe een diode werkt. Die kennis werd meteen in opdrachten verwerkt door bijvoorbeeld te vragen of de diode in sper of doorlaat staat, of te vragen naar de drempelspanning. Bij het formuleren van de opdracht over sper en doorlaat formuleerde een leerling met eigen woorden waarom de diode in deze simulatie in doorlaat staat. Het betekent dat hij niet alleen moet weten wat de begrippen sper en doorlaat inhouden, hij moet die begrippen ook kunnen toepassen om te bepalen in welke toestand de diode zich bevindt. Bovendien moet hij dat begrijpelijk beschrijven in de uitleg op de antwoorden. Meerdere leerlingen maakten een opdracht over de drempelspanning. Bij het bepalen van deze spanning rezen er vaak problemen: normaal gesproken had de leerling zo'n diode in zijn handen en kon daaraan aflezen wat de drempelspanning was. Nu moest hij met de simulatie een nieuwe manier bedenken om deze spanning te meten. Door het werken met de simulatie leerde de leerling de drempelspanning zelf te bepalen, en zag hij meteen het effect op de stroom bij het overtreden van de drempelspanning.

Ook bij anderen zagen we dat er door simulatiegebruik een breder begrip ontstaat. Zo was er een leerling die de Wet van Ohm ($U = I \cdot R$) opnieuw ontdekte. Hij deed wat experimenten in de simulatie en ontdekte dat als hij de weerstand kleiner maakte, de stroom groter werd. De leerling kende de wet van Ohm al van de berekeningen die hij ermee had gemaakt (statisch begrip van de wet), maar leek nu ook beter te begrijpen wat de gevolgen van veranderingen in de weerstand zijn (dynamisch begrip van de wet).

Het is duidelijk dat voorkennis nodig is bij het ontwerpen van opdrachten. Maar het is ook evident dat dóór het ontwerpen leerlingen iets gaan doen met hun voorkennis. Ze worden er zich van bewust dat ze iets weten over de circuits, ze bedenken zelf rekensommen, ze vragen naar kennis van de theorie. De kracht van het gebruik van de simulatie is dat leerlingen hun kennis nu op een andere manier kunnen zien. We willen hierop terugkomen in de discussie.

5. Conclusie en Discussie

Voorgaand werk (Palincsar & Brown, 1984; Rosenshine, Meister & Chapman, 1996) heeft duidelijk gemaakt dat door het bedenken van vragen bij een tekst de leerling zijn aandacht richt op de kern van de stof. De leerling concentreert zich op hoofdpunten van de tekst waarbij hij nagaat of hij de inhoud begrijpt. Ondanks het verschil in leeromgeving en domein vonden wij in onze studie ook dat leerlingen zich richtten op belangrijke aspecten van de schakelingen. Zoals we in de vorige sectie al aangaven, richtten leerlingen zich hier op interessante aspecten van circuits, op problemen die ze zelf ervaren hebben en nu willen verduidelijken aan medeleerlingen, of op dynamische aspecten van de circuits.

In onze studie hebben we gezien dat leerlingen door het nadenken over alternatieven reflecteerden over de oplossingsroute en over fouten die gemaakt zouden kunnen worden. Ze dachten ook na over wat ze zelf vroeger fout deden. Dit denkproces kan helpen om die fouten de volgende keer te

vermijden. Zo wist de leerling, die de rekenopdracht ontworpen heeft die al eerder besproken is (zie bij Figuur 2), dat sommige leerlingen problemen hadden met de berekening van de totale weerstand in een gemengd circuit. Zijn alternatieven waren gebaseerd op die problemen.

Door het bedenken van uitleg denken leerlingen na over wat ze wel en niet begrijpen (zie bijvoorbeeld het protocol bij Figuur 5) en ook over hoe ze het zo goed mogelijk kunnen uitleggen aan hun medeleerling (Coleman, Brown & Rivkin, 1997). Het is ook aannemelijk dat bij het maken van uitleg, de leerling voorkennis en nieuwe kennis integreert (Chi, de Leeuw, Chiu & Levancer, 1994). In onze studie hebben we vaak gemerkt dat leerlingen herinnerd werden aan hun kennis over de circuits. Soms ontdekten ze nieuwe kennis, maar vaak herontdekten ze iets.

We vonden in onze studie dat leerlingen vooral rekenopdrachten en simulatieopdrachten ontwikkelden. We zullen hier nu enkele verschillen tussen deze twee typen opdrachten bespreken. Bij het schrijven van uitleg op een *rekenopdracht*, dachten de leerlingen er vaak over na dat hun medeleerling het zou moeten kunnen begrijpen. Ze schreven niet meteen op wat ze wisten, maar probeerden het zo te formuleren dat het begrijpelijk zou zijn. Alevan en Koedinger (2002) gaven aan dat, om oppervlakkig leren te vermijden, het belangrijk is dat leerlingen leren hun kennis in eigen woorden te formuleren. Wat we in onze studie merkten is dat leerlingen, bij het ontwerpen van rekenopdrachten, vaak zeiden "het komt allemaal weer terug". Een leerling formuleerde het zo: "Je moet de hele berekening opnieuw doen en dan moet je nadenken over hoe je het moet uitleggen". De leerling moet de hele rekenprocedure zelf bedenken. Sommige leerlingen maakten opdrachten waarvoor ze een berekening van 3 of zelfs 4 stappen geheel uit het hoofd deden. Hieruit blijkt dat rekenopdrachten belangrijk zijn voor het ophalen en uitleggen van rekenprocedures, waarbij leerlingen hun procedurele kennis versterken.

Bij het bedenken van een *simulatieopdracht*, gebruikten de leerlingen de simulatie. Ze veranderden waarden van variabelen, observeerden effecten, en leken meer geïnteresseerd in het effect van het veranderen van een variabele dan in de exacte waarde ervan. Dit is het soort kennis dat Swaak en De Jong (1996) in de context van leren met een simulatie *intuïtieve kennis* hebben genoemd. Bij deze kennis gaat het er vooral om te weten wat er gebeurt als je iets verandert in de simulatie. In ons geval zijn de leerlingen niet gericht op de exacte waarde van bijvoorbeeld een weerstand, maar veeleer in het effect van veranderingen hierin. Het ziet er naar uit dat leerlingen door het ontwerpen van simulatieopdrachten meer inzicht krijgen in de dynamische karakteristieken van het circuit en dat ze leren kijken naar wat er gebeurt in de simulatie en naar oorzaken en gevolgen in het circuit. In de gewone klas-situatie wordt meestal aandacht besteed aan het berekenen van onbekende variabelen in circuits of aan bouwen van circuits, waarbij correcte verbindingen tussen elementen natuurlijk erg belangrijk zijn. Het feit dat leerlingen in staat zijn om opdrachten te bedenken over dynamische aspecten in circuits bevestigt wat Russell en Harlen (1990 pagina 25) gevonden hebben, namelijk dat leerlingen kunnen leren om onderzoeksvragen te stellen bij praktische taken.

Hoewel we aanwijzingen hebben dat leerlingen meer inzicht krijgen in het domein door het ontwerpen van opdrachten, is het op basis van de huidige studie niet mogelijk harde conclusies te trekken over het leereffect van het ontwerpen van opdrachten. Wel is duidelijk geworden dat leerlingen zich fei-

ten, regels en procedures herinnerden en dat ze deze kennis gebruikten in een nieuwe leeromgeving. Bovendien waren er leerlingen die nieuwe kennis opdeden en anderen die relaties herontdekten en zo hun kennis verbreedden. Gebaseerd op de resultaten van deze studie hebben we de verwachting dat leerlingen kunnen leren van het ontwerpen van opdrachten voor medeleerlingen, mits we enkele verbeteringen gaan doorvoeren.

Een bekend feit is dat leerlingen weinig vragen stellen (Graesser & Person, 1994). Onze leerlingen bevestigden dat door aan te geven dat de docent meestal de vragen bedacht en dat zij niet gewend waren dat te doen. White en Gunstone (1992) beweren dat als je leerlingen wilt leren goede vragen te stellen, je de taak moet structureren. Zij stelden voor leerlingen vraagstarters als "Wat als...", "Waarom...", "Hoe kan...", aan te bieden, opdat deze leiden tot vragen die vaak gebaseerd zijn op diepere denkprocessen en niet zozeer op eenvoudige herinneringen (vergelijk met King, 1994; Webb & Palincsar, 1996). Gebaseerd op deze gegevens en onze ervaringen in deze studie, willen we de leerlingen korte vraagstarters aanbieden die geschikt zijn voor onze simulatie, bijvoorbeeld "Wat gebeurt er als...", "Wat is het effect van..".

White en Gunstone (1992) gaven ook aan dat het belangrijk is dat leerlingen iets hebben waarop ze hun vraag kunnen baseren. Ze suggereren leerlingen te leren vragen te stellen op basis van bijvoorbeeld een grafiek, tabel of een stukje informatie. Een mogelijke maatregel voor onze simulatie is leerlingen te ondersteunen met achtergrondinformatie over (elementen in) de circuits. Deze informatie kan aanwijzingen voor opdrachten bevatten, zoals de hint om alle effecten van het verwijderen van een lamp uit een seriecircuit te analyseren en relateren (leerlingen keken vaak maar naar één effect). Het idee van White en Gunstone correspondeert ook met onze idee om leerlingen te adviseren om meer simulatie- in plaats van rekenopdrachten te bedenken. Bij het bedenken van een simulatieopdracht kan een leerling experimenten doen, effecten observeren, en data verzamelen. Deze observaties en data kunnen vervolgens als basis dienen voor betekenisvolle opdrachten.

Deze laatste strategie opent ook wegen om leereffecten te meten. Door het ontwerpen van simulatieopdrachten te stimuleren komt de aandacht meer te liggen op het gebruik van de simulatie en de interpretatie van data. We verwachten dat leerlingen kennis zullen verkrijgen over wat er gebeurt na het veranderen van een variabele. Deze kennis bleek goed meetbaar met de WHAT-IF test ontwikkeld door Swaak en De Jong (1996). We verwachten dat door leerlingen te ondersteunen bij het doen van experimenten en ze te stimuleren simulatieopdrachten te ontwerpen, ze meer mogelijkheden hebben om te leren door het ontwerpen van opdrachten.

Shepardson en Pizzini (1991) gaven aan dat vragen in tekstboeken, voor elk willekeurig exact vak, vooral gericht zijn op het reproduceren van kennis en dat er weinig vragen gericht zijn op het leggen van verbanden. In de boeken die onze leerlingen gebruiken, zijn de vragen vooral gericht op het uitvoeren van berekeningen. Een hoger niveau van vragen is wenselijk, zodat leerlingen kunnen leren hun voorkennis over feiten en procedures te integreren met kennis over relaties in de circuits. De resultaten uit onze studie laten zien dat het mogelijk is dat leerlingen dit soort opdrachten gaan ontwerpen. De volgende stap is dan om te optimale ondersteuning te ontwikkelen voor deze ontwerptaak en om de effecten op kennis te meten.

Correspondentie over dit artikel aan Cornelise Vreman-de Olde, Faculteit Gedragswetenschappen, Universiteit Twente. Postbus 217 7500 AE Enschede. Email: g.c.vreman-deolde@utwente.nl. We willen de docent, Jan Nijmeijer, en zijn studenten die hebben meegewerkt aan deze studie bedanken. We willen Petra Hendrikse bedanken voor het zorgvuldig doorlezen van het manuscript. Deze studie werd gesponsord door NWO/PROO, projectnummer 411.211.01.

English Summary

Learning by designing assignments about electric circuits

In this study we investigated the design of assignments as a knowledge generating activity. Students were required to design assignments for 'other students' in a computer simulation environment about electrical circuits. Assignments consist of a question, answer alternatives, and feedback. In this way students were engaged in knowledge generating activities as 'generation of questions', 'thinking about the right answer and alternative answers', and 'giving explanations'. The resulting assignments were analysed and different types of assignments were identified. Information on the use of prior knowledge and on the design process was obtained from think aloud data. Results showed that students not only designed assignments about facts or procedures, but also about observations made with the simulation. During the design process, subjects actively used their prior knowledge. Students seemed to strengthen their domain knowledge by retrieving and explaining problems solving steps, and focus on the dynamic characteristics of the simulated circuits.

Literatuur

- Aleven, V.A.W.M.M. & Koedinger, K.R. (2002). An effective metacognitive strategy: learning by doing and explaining with a computer-based cognitive tutor. *Cognitive Science*, 26, 147-179.
- Chi, M.T.H., de Leeuw, N., Chiu, M.H. & Lavancer, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Chin, C., Brown, D.E. & Bruce, B.C. (2002). Student generated questions: a meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24, 521-549.
- Coleman, E.B., Brown, A.L. & Rivkin, I.D. (1997). The effect of instructional explanations on learning from scientific texts. *The Journal of the Learning Sciences*, 6, 347-365.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & De Jong, T. (1990). Studying physics text; differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, 41-54.
- Graesser, A.C. & Person, N.K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31, 104-137.
- Harel, I. (ed.) (1991). *Children designers*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing.
- De Jong, T., Van Joolingen, W.R., Swaak, J., Veermans, K., Limbach, R., King, S. & Gureghian, D. (1998). Self-directed learning in simulation-based discovery environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14, 235-246.
- De Jong, T., Limbach, R., Gellevij, M., Kuyper, M., Pieters, J. & Van Joolingen, W.R. (1999). Cognitive tools to support the instructional design or simulations-based discovery learning environments: the SIMQUEST author-

- ing system. In Tj. Plomp, J. Van den Akker, N. Nieveen & K. Gustafson (eds), *Perspectives on developmental research in education and training*. Dordrecht, Nederland: Kluwer, pp. 215-224.
- Van Joolingen, W.R., & De Jong, T. (2003). SimQuest: Authoring educational simulations. In T. Murray, S. Blessing & S.Ainsworth (Eds.) *Authoring tools for advanced technology educational software: Toward cost-effective production of adaptive, interactive, and intelligent educational software* (pp 1-31). Dordrecht: Kluwer.
- Kafai, Y.B. (1996). Learning design by making games. Children's development of design strategies in the creation of a complex computational artifact. In Y.B. Kafai & M. Resnick (eds), *Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world*, 71-96, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question, how to explain. *American Educational Research Journal*, 31, 338-368.
- Lensink, H. (1999). Verzin zelf een proefwerkvraag: Een antwoord (?) op de vraag: 'Waarom moet ik dit leren?'. *NVOX*, 5, 257- 258.
- Palincsar, A.S. & Brown, A.L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 2, 117-175.
- Papert, S. (ed.) (1980). *Children, computers and powerful ideas*. Brighton, Great Britain: The Harvester Press.
- Rosenshine, B., Meister, C. & Chapman, S. (1996). Teaching Students to Generate Questions: A Review of Intervention Studies. *Review of Educational Research*, 66, 181-221.
- Russel, T. & Harlen, W. (eds) (1990). *Practical tasks. Assessing science in the classroom*. London: Paul Chapman Publishing.
- Shepardson, D.P. & Pizzini, E.L. (1991). Questioning levels of junior high school science textbooks and their implications for learning textual information. *Science Education*, 75, 673-682.
- Smith, P.L. & Ragan, T.J. (eds) (1999). *Instructional design. Second edition*. New York: John Wiley.
- Swaak, J. & De Jong, T. (1996). Measuring intuitive knowledge in science the development of the WHAT-IF test. *Studies of Educational Evaluation*, 22, 341-362.
- Vreman-de Olde, C., & De Jong, T. (in druk). Student generated assignments about electrical circuits in a computer simulation, *International Journal of Science Education*.
- Webb, N. M. (1989). Peer interaction and learning in small groups. *International Journal of Education Research*, 13, 21-39.
- Webb, N.M. & Palincsar, A.S. (1996). Group processes in the classroom. In D.C. Berliner and R.C. Cafree (eds), *Handbook of Educational Psychology*, 841-873, New York: Simon & Schuster MacMillan.
- White, R. & Gunstone, R. (eds) (1992). *Probing understanding*. London: The Falmer Press.