

Waar staan we na 25 jaar onderwijstechnologie in Vlaanderen, Nederland en de rest van de wereld?

J. J. G. van Merriënboer en G. Kanselaar

Samenvatting

Dit artikel blikt terug op 25 jaar onderwijs-technologisch onderzoek in Vlaanderen, Nederland en de rest van de wereld en formuleert enige onderzoeksthema's voor de toekomst. Er wordt vanuit drie, gedeeltelijk overlappende invalshoeken een beschrijving gegeven van de ontwikkelingen in: a) de harde technologie, met een accent op ontwikkelingen in hardware, zoals de infrastructuur van het Internet en mobiele communicatie, en software zoals e-mail, discussionboards en het World Wide Web, b) de zachte technologie, de ontwikkelingen in de didactiek om onderwijs vorm te geven met nieuwe media, en c) krachtige leeromgevingen waarbinnen de harde en de zachte technologie elkaar ontmoeten, zoals in elektronische leeromgevingen (ELO's). Geconcludeerd wordt dat binnen de onderwijskunde de belangrijkste vooruitgang geboekt is bij onderzoek naar onderwijsleerprocessen in technologieverrijkte leeromgevingen. Toekomstig onderzoek zal zich meer en meer moeten richten op: a) geïntegreerde leeromgevingen en een daarbij passende didactiek, b) het leren van betekenisvolle taken in flexibele, gepersonaliseerde en vraaggestuurde leeromgevingen, en c) de ontwikkeling van hogere-orde vaardigheden, die studenten nodig hebben om zich te ontplooiën in dit soort omgevingen. Daarnaast zal het onderzoek meer oog moeten krijgen voor de implementatie- en evaluatievraagstukken die gemoeid zijn met grootschalige innovaties in het onderwijs.

stellen. De stand van zaken in de onderwijstechnologie is het beste te begrijpen vanuit een historisch perspectief. Daarbij houden wij niet geheel toevallig een periode van 25 jaar aan, omdat deze min of meer samenvalt met de introductie van de microcomputer in het onderwijs. Binnen het hoger onderwijs is in de zeventiger jaren wel van mainframes gebruikt gemaakt om computerondersteund onderwijs aan te bieden, onder andere met het programma *Plato*, maar met de komst van de microcomputer eind zeventiger jaren breidde het gebruik zich snel uit naar andere vormen van onderwijs en opleiding. Onze beschrijving legt het accent meer op de onderzoeks- dan op de implementatie-aspecten van de onderwijstechnologie. En we besteden relatief veel aandacht aan de ontwikkelingen in Vlaanderen en Nederland, hoewel deze geplaatst worden in een internationaal perspectief. Het historische overzicht wordt gepresenteerd vanuit drie enigszins overlappende perspectieven: a) de harde technologie, met een accent op ontwikkelingen in hardware, zoals de infrastructuur van het Internet, mobiele communicatie met PDA's of smartphones en software zoals e-mail, discussionboards en het World Wide Web, b) zachte technologie, de ontwikkelingen in de didactiek met een accent op methoden om onderwijs vorm te geven met nieuwe media, en c) technologieverrijkte, krachtige leeromgevingen waarbinnen de harde en zachte technologie elkaar ontmoeten, zoals in elektronische leeromgevingen (ELO's).

Aanvankelijk lag het accent op media om leerstof te presenteren, vaardigheden te oefenen en feedback te geven. Vanaf 1990 werd de computer met het Internet een belangrijk middel voor communicatie en samenwerking bij onderwijsleerprocessen. Belangrijke vragen zijn tegenwoordig hoe nieuwe technologische mogelijkheden de afstemming tussen onderwijs en individuele behoeften van studenten kunnen verbeteren, de flexibiliteit van het onderwijs kunnen vergroten, en de kloof

1 Inleiding

De onderwijstechnologie is een jong vakgebied dat vooral na de Tweede Wereldoorlog tot ontwikkeling is gekomen. Dit artikel beoogt de stand van zaken in dit vakgebied weer te geven en op basis daarvan een onderzoeksagenda voor de komende jaren op te

tussen onderwijs en latere beroepsuitoefening of het dagelijkse leven kunnen verkleinen. Vanuit economisch perspectief is een bijkomende vraag hoe de onderwijstechnologie het hergebruik van onderwijsmaterialen kan faciliteren.

De zachte technologie, de didactiek, richt zich op methoden en technieken om effectief, doelmatig en aantrekkelijk onderwijs te ontwerpen. Aanvankelijk lag het accent op systematische aanpakken om leerdoelen en taken te analyseren, lesplannen te ontwerpen, onderwijsmaterialen te produceren, onderwijs te implementeren, en de kwaliteit daarvan uiteindelijk te evalueren. Met de opkomst van een sociaal-constructivistische benadering in de jaren 90 van de vorige eeuw verloor deze “ingenieursaanpak” aan populariteit. De aandacht verschoof van de onderwijstechnoloog als ontwerper van aanbodgestuurd onderwijs naar de student als constructief vormgever van het eigen leerproces. In de Vlaams-Nederlandse traditie van onderzoek naar onderwijsleerprocessen kunnen wij dit weliswaar zien als twee kanten van dezelfde medaille, maar ook hier heeft in de jaren 90 het “nieuwe leren” met zijn modellen voor begeleid ontdekkend leren, ervaringsleren, en actief leren (Simons, Van der Linden, & Duffy, 2000) meer oog voor de student dan voor de ontwerper van het onderwijs. De laatste jaren lijkt er echter sprake van een voorzichtige ‘revival’ van de onderwijstechnologie als ontwerpwetenschap om het leerproces te ondersteunen. Belangrijke vragen zijn tegenwoordig hoe het ontwerpproces fragmentatie van een leerstofdomein en compartimentalisatie van kennis, vaardigheden en attitudes kan voorkomen (zie bijv. de discussie tussen Anderson, Greeno, Reder, & Simon, 2000). Het accent ligt daarbij op het gebruik van realistische leertaken, de ontwikkeling van competenties en hogere-orde vaardigheden, en integratieve leerdoelen die transfer van het geleerde beogen.

Technologieverrijkte leeromgevingen, ten slotte, illustreren wat er gebeurt op het raakvlak van de harde en de zachte onderwijs-technologie. Deze ontwikkeling begon zo’n 25 jaar geleden met computerondersteund onderwijs (COO), en loopt via intelligente tutorsystemen (ITS), animaties en visuele dy-

namische representaties, hypertext en hypermedia, educatieve programmeertalen zoals COMAL (een integratie van Pascal met Basic) en LOGO, simulaties en virtuele leeromgevingen, en computerondersteunde omgevingen voor samenwerkend leren, naar volledig geïntegreerde omgevingen voor webgebaseerd leren (elektronische leeromgevingen, ELO’s). Hoewel dergelijke omgevingen veel functionaliteiten in zich verenigen, staan zij wat hun didactisch gebruik betreft nog in de kinderschoenen. De grootste uitdaging voor de toekomst is het dusdanig op elkaar afstemmen van de zachte en de harde onderwijstechnologie dat krachtige leeromgevingen ontworpen kunnen worden die niet slechts een optimale mix van media en methoden gebruiken, maar waarin het werken aan rijke, betekenisvolle leertaken centraal staat, die lerenden uiteindelijk in staat stellen om goed te functioneren en zich verder te ontplooiën in een snel veranderende samenleving.

De centrale vraagstelling van dit artikel is: “Wat is er de afgelopen 25 jaar op het gebied van de onderwijstechnologie gebeurd en wat is de stand van zaken?” De eerste paragraaf beantwoordt deze vraag vanuit het perspectief van de harde technologie (ICT-ontwikkelingen). De tweede paragraaf beantwoordt de vraag vanuit het perspectief van de zachte technologie (didactiek van gebruik van nieuwe media). In de derde paragraaf worden de theoretische vorderingen in het onderzoek naar specifieke technologieverrijkte of krachtige leeromgevingen beschreven. En in de laatste paragraaf, *Discussie*, worden de verschillende perspectieven samengebracht ten einde een *Status Quaestionis* voor de komende jaren op te stellen.

2 Harde technologie

Veel auteurs (bijv. Hawkrigde, 1999) dateren het begin van de onderwijstechnologie vroeg in de vorige eeuw, toen de radio voor het eerst gebruikt werd om onderwijs te verzorgen. Er werd al snel gepubliceerd over het didactisch gebruik van de radio en het effect op schoolresultaten (zie bijv. Ross, 1930). Met name in gebieden waar grote afstanden over-

brugd moesten worden om studenten te bereiken, zoals Australië, Canada en de Verenigde Staten van Amerika, werd de radio met enig succes ingezet (Beagles-Roos & Gat, 1983). De rol die de radio voorafgaand aan de Tweede Wereldoorlog vervulde, werd hierna overgenomen door de televisie. In vergelijking met de radio bood de televisie rijkere informatie (tekst en bewegend beeld in aanvulling op audio), die overigens wel gepaard ging met aanmerkelijk hogere productie- en gebruikskosten. Publicaties over het gebruik van de televisie in het onderwijs en de effecten op leerresultaten verschenen voor het eerst in de jaren 1950 (bijv. McKeachie, 1952, over het onderwijzen van psychologie op de televisie). Zowel de radio als de televisie werden aanvankelijk met veel enthousiasme zowel in het onderwijs als daarbuiten (vergelijk *Sesamstraat*) ontvangen omdat zij, in potentie, mogelijkheden leken te bieden om het onderwijs te verbeteren. Toch zijn in vergelijkend mediaonderzoek positieve effecten op het leren nooit ondubbelzinnig aangetoond (zie bijv. Beentjes, 1988, 1989) en richt onderzoek zich nu vooral op de *condities* waaronder de televisie een bruikbaar medium is. In de Vlaams-Nederlandse context wordt bij voorbeeld de optimale expositietijd van ondertitels bestudeerd (Koolstra, Van der Voort, & d'Ydewalle, 1999). Het voordeel van de radio en televisie bleek uiteindelijk niet zozeer van didactische, maar vooral van organisatorische aard: Het werd mogelijk om grote groepen studenten te bereiken in afgelegen gebieden (Spector, 2001). De radio en de televisie worden in het huidige onderwijs dan ook maar in beperkte mate gebruikt en hebben het onderwijs zeker niet drastisch veranderd. Ons overzicht begint bij de "opvolger" van de radio en de televisie waarvan sommigen menen dat deze aanzienlijk meer impact op het onderwijs zal hebben: de computer.

als vervanger van de docent. De verwachtingen waren hoog gespannen waar het 'teacher-free instruction' betrof: onderwijs dat het overnemen van alle functies van de docent beoogde en zo het onderwijs goedkoper zou maken door de computer de leerstof te laten presenteren, opdrachten te laten aanbieden en feedback te laten geven op fouten. Deze ontwikkeling begon met eenvoudige applicaties die alle leerlingen dezelfde informatie en/of dezelfde opdrachten boden. Deze computerondersteunde onderwijsprogramma's (COO) hadden vooral het karakter van COBO (Computer Ondersteund Bladzijden Omslaan) of eenvoudige 'drill-and-practice'. Maar al gauw maakten "branching programma's" het mogelijk om enigszins in te spelen op de voortgang en de fouten van individuele leerlingen.

Met de snelle ontwikkeling van standaardapplicaties op het gebied van tekstverwerking, databases en spreadsheets werd een tweede toepassing van de computer in het onderwijs populair: De computer als *tool*. Binnen het talenonderwijs wordt geëxperimenteerd met het gebruik van de computer als tekstverwerker, binnen de exacte vakken wordt geëxperimenteerd met het gebruik van de computer als rekenmachine (bijv. spreadsheet-programma's), en binnen diverse andere vakken wordt geëxperimenteerd met het gebruik van de computer als middel om gestructureerde data op te slaan en te bewerken (bijv. in practica bij natuurkunde, scheikunde en biologie). Ook het gebruik van rekenmachientjes die het werk van de rekenliniaal overnamen en, later, van grafische calculators is een goed voorbeeld van tool-gebruik in het onderwijs (zie bijv. Drijvers, 2003; Harskamp, Sühre, & Van Streun, 1998). Een veelgehoord argument voor het gebruik van de computer als tool is dat deze routinevaardigheden van de leerlingen overneemt, opdat die hun aandacht meer kunnen richten op belangrijker zaken. De computer als tool (gereedschap) maakt het ook mogelijk om informatie te analyseren, ordenen en presenteren en kan zo ook als cognitieve tool het redeneerproces van de leerling ondersteunen (Jonassen, Peck, & Wilson, 1999). Tevens zouden leerlingen beter worden voorbereid op de latere beroepspraktijk, omdat de com-

2.1 De computer

In het begin van de jaren 1980 begon de (micro)computer als nieuw medium aan een sterke opmars. De mogelijkheden voor computergebruik in het onderwijs werden al snel onderkend. Het accent lag daarbij aanvankelijk op het gebruik van de computer als *tutor*,

puter ook daar een grote rol speelt.

Naast de functie van tutor en tool ontstond er ook aandacht voor het gebruik van de computer als *tutee*. Een van de eerste exponenten van deze benadering was *Logo Turtle Graphics*: leerlingen konden de computer programmeren om een eenvoudige robot, de Turtle (schildpad), geometrische figuren te laten tekenen. In het verlengde hiervan ontstonden allerlei initiatieven rondom “programmeren op school”. Een van de belangrijkste argumenten was dat de leerlingen middels het programmeren hun probleemoplosvaardigheden beter zouden kunnen ontwikkelen (De Corte, Verschaffel, & Schrooten, 1990). Dit idee vindt men ook terug in latere ontwikkelingen rondom “learning by design”, waar leerlingen niet meer zozeer programmeren in de engere zin van het woord, maar wel allerlei modellen ontwikkelen ten behoeve van computersimulaties en zogenaamde ‘micro-worlds’.

2.2 Het Internet

Medio jaren 1990 komt het accent minder op de computer als zelfstandig medium te liggen, en meer op het Internet en de communicatie- en informatiezoekmogelijkheden die daarmee beschikbaar kwamen (Kuiper, Volman, & Terwel, 2004). Aanvankelijk werd het Internet vooral gezien als een nieuwe mogelijkheid om plaats- en tijdsafhankelijk onderwijs aan te bieden – een alternatief voor het aloude “correspondentiemodel” binnen het afstandsonderwijs. Net zoals radio en televisie bood de computer nu immers de mogelijkheid om informatie aan te bieden aan studenten die zich “op afstand” bevonden. Bovendien bood het Internet ook nieuwe mogelijkheden om tijdsafhankelijk onderwijs aan te bieden, omdat continu ververste informatie toch op elk willekeurig moment door studenten geraadpleegd kon worden, en studenten via asynchrone communicatiemiddelen zoals e-mail en discussielijsten konden communiceren met hun docenten en met elkaar. De waarde van het Internet voor het realiseren van afstandsonderwijs lijkt evident, maar ook voor traditioneel contactonderwijs opende het Internet nieuwe mogelijkheden die vooral te maken hadden met: 1) het ontsluiten van steeds grotere hoeveelheden in-

formatie, zie bijv. www.teleblik.nl waar veel informatie van de publieke omroepen voor het onderwijs beschikbaar wordt gesteld, en 2) communiceren en samenwerken.

Met betrekking tot informatie kunnen drie vormen van gebruik onderscheiden worden. Ten eerste ontwikkelde het World Wide Web (WWW) zich razendsnel tot een ongelimiteerde gegevensverzameling waar over van alles en nog wat relevante (en irrelevante!) informatie te vinden is. Het WWW werd daarmee een verlengstuk van de schoolbibliotheek of het “studielandchap” en een verbinding met de wereld buiten de school. In allerlei vormen van ‘*Resource-Based Learning*’ (RBL; Hill & Hannafin, 2001) wordt aandacht besteed aan de ‘information literacy’ van studenten, hun vermogen om op een systematische manier informatie te vinden, deze informatie te beoordelen op zijn waarde, en te synthetiseren in een samenhangende rapportage. Ten tweede werd het Internet ook voor traditioneel contactonderwijs meer en meer gebruikt om cursusinformatie beschikbaar te stellen aan studenten. Aanvankelijk via ‘bulletin boards’ maar later meer en meer gebruikmakend van speciale elektronische leeromgevingen, zoals Blackboard, WebCT en Teletop. Ten derde bood het Internet nieuwe mogelijkheden om studenten of medewerkers op de werkplek ‘just-in-time’ de informatie aan te bieden die nodig was voor correcte taakuitvoering (Goodyear, 1995). De laatste jaren vinden met name op het gebied van de mobiele technologie (PDA’s, mobiele telefoons, MP3-spelers en podcasting) ook ontwikkelingen plaats om lerenden ‘just-in-time’ van de benodigde informatie te voorzien.

Ook met betrekking tot communicatie kunnen verschillende vormen van internetgebruik onderscheiden worden. Asynchrone vormen van communicatie, zoals e-mail, ‘listservs’ en ‘threaded discussions’, bieden studenten de mogelijkheid om ook buiten contacturen docenten te benaderen, informatie uit te wisselen met medestudenten, en discussies die ‘face-to-face’ begonnen zijn op een gestructureerde manier te continueren. Synchrone vormen van communicatie, zoals chats en diverse vormen van videoconferencing, bieden de mogelijkheid om studenten

of anderen buiten de eigen onderwijsinstelling gelijktijdig te betrekken bij de leeractiviteiten. Deze nieuwe communicatiemogelijkheden leidden tot een hernieuwde belangstelling voor onderzoek naar samenwerkend leren. Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) ontwikkelde zich tot een belangrijk onderzoeksgebied, waarin bijvoorbeeld onderzocht wordt hoe coconstructie van kennis ondersteund kan worden (Veerman, 2000; Veldhuis-Diermanse, 2002). Ook voor groepssamenstelling, rolverdeling (Strijbos, 2004), samenwerkingsscripts, externe representaties en allerlei tools wordt onderzocht hoe deze het samenwerkingsproces kunnen faciliteren (Van Drie, 2005).

2.3 Leerobjecten en standaarden

De technologie van de computer en het Internet maakt het in principe mogelijk om onderwijsinhouden steeds opnieuw te hergebruiken ('reuse') en te delen ('sharing'). Het basisidee voor hergebruik van onderwijsinhouden is *modularisering*: Als inhouden opgedeeld worden in kleine modulaire eenheden zijn ontwikkelaars in staat om deze eenheden steeds opnieuw te combineren tot nieuwe cursussen. De modulaire eenheden worden meestal *leerobjecten* genoemd, digitale informatie-eenheden met een onderwijskundig doel. Het onderliggende principe is de bouwsteenmethode: Elk leerobject zou gecombineerd moeten kunnen worden met elk ander leerobject. Ackermann (1996) vergelijkt het met het gebruik van LEGO-steentjes, waarbij elk steentje onafhankelijk van zijn kleur, vorm of grootte gecombineerd kan worden met elk ander steentje. Er kunnen totaal verschillende ontwerpen gemaakt worden met dezelfde steentjes en het bouwen met behulp van de steentjes is relatief eenvoudig en vereist geen specifieke technische expertise.

Standaarden zouden het hergebruik van leerobjecten mogelijk moeten maken middels het realiseren van "interoperabiliteit" (aan elkaar verbinden van verschillende systemen) en "portabiliteit" (gebruik van dezelfde leerobjecten voor verschillende systemen; Hamel & Ryan-Jones, 2002). Er zijn veel organisaties en initiatieven die zich bezig houden met de ontwikkeling van dergelijke stan-

daarden, zoals officiële standaardiseringsorganisaties (ISO, CEN/ISSS, ANSI, NEN) en consortia van verkopers, uitgevers en onderwijskundige instellingen zoals het IMS Global Learning Consortium en het Dublin Core Metadata Initiative. Recente initiatieven richten zich ook op het standaardiseren van de wijze waarop te hanteren onderwijsmethoden gespecificeerd worden. Koper en Manderfeld (2004, zie ook Koper, Olivier, & Anderson, 2002) beschrijven hiervoor een generieke modelleertaal, die de basis vormt voor een standaard die nu bekend staat als *IMS Learning Design*.

Standaardisering zou uiteindelijk moeten leiden tot een "learning object economy", waarin leerobjecten breed beschikbaar zijn en eenvoudig toegepast kunnen worden in verschillende onderwijssystemen en voor verschillende doeleinden (ADL Technical Team, 2001). Veel commerciële ontwikkelaars menen dat een open markt voor de uitwisseling van leerobjecten voordelig zal zijn voor zowel de aanbieders ('created once, sold many') als voor de kopers ('bought once, used many'). Maar ook niet-commerciële ontwikkelaars, die zich bij voorbeeld richten op leerobjecten die beschikbaar zijn als 'open source', zijn gebaat bij vergaande standaardisering. Toch zal nog moeten blijken in hoeverre leerobjecten en standaarden het toekomstige onderwijslandschap veranderen. Tot op heden blijft de mate van hergebruik van materialen zeer beperkt en blijkt het met name lastig te realiseren bij de ontwikkeling van innovatieve onderwijsvormen, waarbij betekenisvolle, complexe leertaken het hart van het onderwijs vormen. Bij deze innovatieve onderwijsvormen leidt het gebruik van leerobjecten volgens sommige onderzoekers tot fundamentele problemen (zie bijv. Van Merriënboer & Boot, 2005).

2.4 Stand van zaken en vooruitblik

Als iets duidelijk wordt uit de voorgaande analyse, is het wel dat elke beschrijving van de huidige stand van zaken een vluchtig karakter heeft. De onderwijstechnologie is niet alleen een jong vakgebied, maar ook een vakgebied waar door de ontwikkelingen in hardware (internetinfrastructuur) en software (zoekalgoritmes als van Google) de onder-

zoeksobjecten van jaar tot jaar, in steeds sneller tempo veranderen. Hardware, software en standaarden volgen elkaar in zo'n snel tempo op dat 'technology-driven research' bij voorbaat kansloos is. Een gemiddeld promotieproject duurt vier à vijf jaar, hetgeen betekent dat onderzoek naar een nieuwe technologie resultaten oplevert die al achterhaald zijn op het moment dat zij gepubliceerd worden. Onderzoek dat gericht is op de ontwikkeling van een digitale didactiek (Simons, 2002) dient naar onze mening dan ook niet gedreven te worden vanuit technologische innovaties, maar vanuit een visie op onderwijs en leren die de integratie van nieuwe technologieën stimuleert in zoverre zij een aanwijsbare meerwaarde opleveren. De visie heeft onder andere betrekking op individualisering en samenwerkend leren in authentieke of realistische contexten met een flexibele inzet van verschillende werkvormen en media. De volgende paragraaf gaat in op de vraag of een "zachte" technologie meer aanknopingspunten voor de ontwikkeling van zo'n visie biedt.

3 Zachte technologie

Het onderscheid tussen harde en zachte technologie wordt vaak gebruikt in de onderwijs-technologie (zie bij voorbeeld het *Handbook of Educational Communications and Technology*, Jonassen, 2004). Terwijl de harde technologie betrekking heeft op de gebruikte apparaten, media en software, verwijst de zachte technologie vooral naar de methoden en technieken om onderwijs te maken (didactiek). De onderwijstechnologie overlapt hier sterk met wat in de Verenigde Staten van Amerika doorgaans wordt aangeduid als '*Instructional Systems Design*' en '*Instructional Design*' (voor een historisch overzicht vanuit Amerikaans perspectief, zie Dick, 1987; Reiser, 2001a, 2001b; Reiser & Dempsey, 2002). De meeste auteurs dateren het begin hiervan in de Tweede Wereldoorlog, toen duizenden militairen in korte tijd getraind werden met 'teaching machines' en instructiefilms – veelal gebaseerd op behavioristische principes (zie bij voorbeeld het boek *The science of learning and the art of teaching*, Skinner,

1954). Benjamin Bloom introduceerde in 1956 zijn taxonomie van leerdoelen en het principe van 'mastery learning', kenmerkend voor de centrale noties dat verschillende leerdoelen verschillende onderwijsmethoden vereisen, en dat goed ontworpen onderwijs de lerenden stap-voor-stap naar de gekozen leerdoelen dient te leiden. Een combinatie met de '*General Systems Theory*' van Ludwig von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1976) leidde tot de '*Instructional Systems Design*' (ISD) benadering voor het ontwikkelen van instructie. Robert Glaser (Glaser, 1962) introduceerde in een overzichtsartikel de term *Instructional Design* om te verwijzen naar het gebruik van theoretisch gefundeerde instructie-ontwerpregels binnen ISD, Robert Mager (Mager, 1975) verfijnde het systeem om leerdoelen te specificeren en formuleren, en Robert Gagné introduceerde in zijn boek *The conditions of learning* (Gagné, 1965) met de leerhiërarchie van intellectuele vaardigheden een systematische aanpak om leerstofinhouden te ordenen. Binnen Vlaanderen en Nederland is het *OKT-model* van Plomp (1982; zie ook Warries & Pieters, 1992) het bekendste voorbeeld van een ISD-benadering om oplossingen te ontwerpen voor onderwijskundige problemen en toepassingen in het bedrijfsleven (Lowyck & Clark, 1996).

De I(S)D-benadering is zich tot het begin van de jaren '90 verder blijven ontwikkelen. Een belangrijke ontwikkeling had betrekking op het vergroten van de flexibiliteit van de lineair-cyclische aanpak, die door veel ontwerpers als een keurslijf werd ervaren. Benaderingen zoals 'rapid prototyping' (Tripp & Bichelmeijer, 1990) zijn meer op geleidelijke prototypeontwikkeling op basis van gebruikerstests gericht. En benaderingen zoals "layers of necessity" (Tessmer & Wedman, 1990) maken het mogelijk om fasen of subfasen over te slaan. Een andere ontwikkeling had betrekking op het automatiseren van delen van het ontwerpproces ('courseware engineering', zie bijv. Tennyson, 1994). Aanvankelijk werden vooral tools ontwikkeld ten behoeve van de productie- en realisatiefase (Authorware, Toolbook, Taiga, en vele andere.), maar al snel werden er ook tools ontwikkeld om onderwijstechnologen te ondersteunen bij het uitvoeren van de ontwerpfase

(ISD Expert, Instructional Design Environment, Designer's Edge, en vele andere). Toch nam vanaf het einde van de jaren '80 de invloed van de I(S)D benadering sterk af onder invloed van het opkomende constructivisme.

3.1 Sociaal-constructivistisch ontwerpen

Het opkomende sociaal-constructivistische paradigma zette zich af tegen de heersende onderwijstechnologische opvattingen in een vooral in de Verenigde Staten verhit gevoerd debat, dat al snel werd aangeduid als *constructivism versus objectivism* (Jonassen, 1991; Wilson, 1997). Kenmerkend voor de I(S)D-benadering zijn een atomistische aanpak, waarbij leerstof wordt geanalyseerd in kleinere eenheden die veelal het karakter hebben van leerdoelen; de 'conditions of learning', die veronderstellen dat verschillende leerdoelen het beste bereikt kunnen worden met verschillende onderwijsmethoden, en het idee van leerstofordening, dat beoogt leerlingen via een effectieve route naar realisatie van de leerdoelen te leiden. Deze uitgangspunten noemt men *objectivistisch*, omdat ze – lijken te – veronderstellen dat kennis van de wereld objectief beschikbaar is, en dat deze "objectieve" kennis overgedragen kan worden aan leerlingen. Constructivisten wijzen dit overdrachtsmodel af, omdat kennis altijd het resultaat is van een persoonlijk constructieproces. Een radicale vorm van constructivisme (bijv. Bednar, Cunningham, Duffy, & Perry, 1991) meent dat wij geen objectieve werkelijkheid kunnen kennen, omdat ons kennen van de werkelijkheid altijd een constructie is. In het onderwijs wordt middels "negotiation of meaning" zoveel mogelijk een gedeelde interpretatie van de wereld opgebouwd ("shared knowledge" via coconstructie van betekenissen). Leren wordt hierbij benaderd als een interactief proces. De I(S)D-benadering wordt door hen afgewezen op drie gronden: 1) epistemologische verschillen, objectivisme tegenover subjectivisme of anders geformuleerd, materialisme tegenover rationalisme, 2) leertheoretische verschillen, leren is een associatief proces van het aaneenschakelen van informatie-elementen tegenover een proces van betekenisverlening op basis van (gemedieerde)

sociale interactieprocessen, en 3) verschillen in didactische aanpakken, het aanbieden van gefragmenteerde en vaak abstract weergegeven informatie tegenover betekenisvolle taken in een authentieke context.

Wat stelt de sociaal-constructivistische benadering in de plaats van de I(S)D-benadering? In navolging van de cultuurhistorische benadering van Vygotsky (Vygotsky, 1978) en in navolging van Piaget's sociocognitieve-conflict benadering, geeft men de interactie van de lerende met de wereld, en van de lerende met anderen, een centrale plaats in het leerproces. In de interactie met de wereld spelen gereedschappen (tools en culturele artefacten) een belangrijke rol. Er ontstaat een onderzoekslijn rondom "cognitive tools" (Kommers, Jonassen, & Mayes, 1992) die denk- en leerprocessen ondersteunen en stimuleren. Deze gereedschappen kunnen verschillende vormen aannemen, variërend van domeinspecifieke expertsystemen en 'microworlds' tot algemene applicaties (spreadsheets, tekstverwerkers, etc.) en kennisrepresentatie-tools (conceptmapping, 'flowcharting', etc.). Het gebruik van tools in de vorm van "constructiekiten" neemt een belangrijke plaats in binnen 'learning by design', een onderwijstechnologische benadering die er van uitgaat dat constructieve ontwerpactiviteiten uitermate geschikt zijn om kennisconstructie te bewerkstelligen. Onderzoek op het MIT Media Laboratory naar het bouwen met technisch Lego en het ontwerpen van robots (*Lego Mindstorms*) is daar een goed voorbeeld van.

Naast interactie met de wereld neemt interactie met anderen een centrale plaats in binnen de sociaal-constructivistische benadering. Hierbij wordt dikwijls verwezen naar Vygotsky's uitspraak: "The mind grows through interaction with other minds." Samenwerkend leren mag zich dan ook verheugen in een hernieuwde belangstelling, met name in de vorm van Computer Supported Collaborative Learning (CSCL), gedefinieerd als leren in een computergebaseerd netwerk dat groepen middels het aanbieden van een gedeeld interface ondersteunt bij het samenwerken aan gemeenschappelijke leertaken (Kirschner, 2004). CSCL wordt dan vooral gezien als een cognitive tool die een team van

lerenden in staat stelt om kennis te construeren en te delen. Het basisidee is dat CSCL studenten aanzet tot het uitwisselen van uiteenlopende ideeën, hetgeen hen middels reflecteren, vragenstellen en elaboreren beter in staat stelt om nieuwe inzichten te koppelen aan wat ze al weten en dat studenten (leerlingen) gezamenlijk nieuwe representaties van het domein maken, zoals diagrammen, argumentatieve teksten en modellen in een simulatieomgeving (Van Drie, 2005; Gijlers, 2005; Saab, 2005; Strijbos, 2004; Veerman, 2000; Veldhuis-Diermanse, 2002). Dit leidt tot diepere cognitieve verwerking en beter begrip. Individuele lerenden zullen uiteindelijk de (meta)cognitieve vaardigheden verwerven die nodig zijn om hetzelfde proces door te maken als gedemonstreerd wordt in de groep.

3.2 Ontwerpmodellen gericht op “hele taken”

Het sociaal-constructivisme biedt een ontwerper wel een aantal basisprincipes waaraan een “goed” onderwijsontwerp moet voldoen, maar van een echte ontwerpwetenschap met een systematische, ingenieurachtige probleemaanpak is geen sprake meer. Het ontwerpen binnen het sociaal-constructivisme is niet gericht op het ontwikkelen van een uitgestippelde leerroute, maar bestaat uit het creëren van een leeromgeving waarin (samen)gewerkt kan worden aan complexe, authentieke taken en waarbij het ontwerp erop gericht is om het gewenste gedrag uit te lokken (“affordances”) en waarin voldoende ondersteuning aanwezig is (“scaffolding”) om teveel ‘trial-and-error’-gedrag te voorkomen. Toch lijkt de afgelopen tien jaar een voorzichtige synthese plaats te vinden tussen systematische ISD-aanpakken en sociaal-constructivistische benaderingen (Dijkstra, 1997; Vrasidas, 2000; Wilson, 1997). De idee daarbij is dat het benadrukken van tegenstelling meestal niet effectief is en dat verschillende benaderingen, zoals licht benaderen als golven of als deeltjes, of het toepassen van kwalitatieve en kwantitatieve onderzoeksmethoden, vaak vruchtbaar naast elkaar gebruikt kunnen worden. Merrill (2002; zie ook Collis & Margaryan, 2005) bespreekt in een overzichtsartikel de volgende ontwerptheorieën:

Star legacy van het Vanderbilt Learning Technology Center (Schwartz, Lin, Brophy, & Bransford, 1999); *4-Mat* van McCarthy (1996); *Instructional episodes* van André (1997); *Multiple approaches to understanding* van Gardner (1999); *Collaborative problem solving* van Nelson (1999); *Constructivist learning environments* van Jonassen (1999); het *Vier-componenten instructie-ontwerpmodel* van Van Merriënboer (1997), en *Learning by doing* van Schank (Schank, Berman, & Macpersson, 1999). Elk van deze theorieën probeert in meer of mindere mate tot een synthese van systematisch ontwerpen en sociaal-constructivistische uitgangspunten te komen. Op basis van een kritische vergelijking komt Merrill tot de conclusie dat vijf ‘first principles of instruction’ ten grondslag liggen aan al deze recente modellen:

1. Leren wordt bevorderd als studenten werken aan “hele” taken of problemen die ontleend zijn aan het dagelijkse leven of hun toekomstige professie;
2. Leren wordt bevorderd als voorkennis geactiveerd wordt als voedingsbodem voor nieuwe kennis;
3. Leren wordt bevorderd als nieuwe kennis wordt gedemonstreerd aan studenten;
4. Leren wordt bevorderd als studenten nieuwe kennis moeten toepassen, en
5. Leren wordt bevorderd als nieuwe kennis wordt geïntegreerd in de wereld van de studenten.

Een drietal ontwikkelingen is kenmerkend voor de huidige ontwerpbenaderingen. Ten eerste leidt het accent op realistische taken als “motor” voor het leren tot een ander startpunt voor de ontwerpaanpak. Traditioneel startte het ontwerp vanuit vakinhouden en daarbij passende presentatiemethoden, waarna opdrachten en feedback aan de gepresenteerde leerstof gekoppeld werden. Recente aanpakken daarentegen starten vanuit het vormgeven van de leeromgeving met realistische (leer)taken, waarna de relevante informatie aanwezig is op een meer of minder gestructureerde manier. Naast feedback krijgen ook allerlei andere vormen van begeleiding, ondersteuning en ‘scaffolding’ een centrale plaats om het leren met de complexe, realistische taken in goede banen te leiden. Deze fundamentele verandering in de ontwerpaan-

pak treft men zowel aan in bovengenoemde theorieën als in nieuwe computerondersteunde ontwerptools (voor voorbeelden, zie Van Merriënboer & Martens, 2002).

Ten tweede komt er meer aandacht voor de positie van de student. Lowyck (1994) presenteerde een invloedrijk model dat liet zien dat instructiemethoden geen direct effect op leeruitkomsten hebben, maar altijd gemedieerd worden door percepties en concepties van studenten. Een reeks studies levert evidentie voor dit model (Elen & Lowyck, 1998, 1999, 2000a, 2000b; Luyten, Lowyck, & Tuerlinckx, 2001) en meer en meer wordt er bij het ontwerpen van onderwijs rekening gehouden met de percepties van studenten. *Personalisatie* van onderwijs richt zich ook op het aanbieden van onderwijs dat expliciet rekening houdt met voorkennis, interesses en elders verworven competenties (EVC's) van studenten. Beoordelingen van prestaties op realistische taken en (elektronische) portfolio's bieden dan veelal een basis voor personalisatie (Straetmans, Sluijsmans, Bolhuis, & Van Merriënboer, 2003). Tot slot bieden vraaggestuurde en andere flexibele vormen van onderwijs studenten steeds meer mogelijkheden om hun eigen leertraject vorm te geven.

De derde ontwikkeling is nauw gerelateerd aan die grotere flexibiliteit van het onderwijs. Studenten dienen te beschikken over task-management vaardigheden en een veelheid van *hogere-orde-vaardigheden* om hun eigen leerproces en leertraject adequaat vorm te geven: Het plannen van nieuw te volgen onderwijs, het monitoren van taakuitvoering, het beoordelen van de kwaliteit van het eigen leerproces en de uitkomsten daarvan, en zo verder. Dit betekent dat hedendaagse instructie-ontwerpmoedellen meer aandacht dienen te besteden aan de ontwikkeling van metacognitieve processen die zelfregulatie, zelfstandig leren, en "leren-leren" mogelijk maken. Daarbij is met name de vraag actueel hoe het onderwijzen van hogere-orde-vaardigheden geïntegreerd kan worden met het onderwijzen van eerste-orde-vaardigheden of (professionele) competenties (zie bijv. Masui & De Corte, 1999).

3.3 Stand van zaken en vooruitblik

Instructional Design speelde in het laatste decennium van de vorige eeuw nauwelijks een rol van betekenis, omdat de sociaal-constructivistische benadering het primaat bij de lerenden en hun interactie met de wereld en met elkaar legt. Het systematisch ontwerpen van leersituaties werd door velen als onwenselijk, of zelfs als principieel onmogelijk beschouwd. Maar er is de laatste jaren sprake van een wederopkomst van de ontwerp-wetenschap, met meer aandacht voor het gebruik van realistische leertaken, integratie van vaardigheden, kennis en attitudes (d.w.z., competenties), en transfer van het geleerde naar de buitenschoolse en professionele context. In navolging van het sociaal-constructivistisch perspectief is er ook meer aandacht voor de behoeften van individuele studenten, waar middels personalisatie en verregaande flexibilisering aan tegemoet gekomen wordt. Onderzoek in de instructietechnologie richt zich nu veelal op de kritische vraag hoe onderwijs zo ontworpen kan worden dat studenten in een vraaggestuurd en competentiegericht curriculum de hogere-orde vaardigheden ontwikkelen die nodig zijn om zelfstandig te leren en, na diplomering, een leven lang te *blijven* leren.

4 Technologieverrijkte leeromgevingen

De harde en de zachte aspecten van de onderwijstechnologie ontmoeten elkaar in technologieverrijkte leeromgevingen. Zonder geheel voorbij te willen gaan aan het "media-vs. methode-debat" van Richard Clark en Robert Kozma (zie onder anderen De Jong, Kanselaar, & Lowyck, 2003, pp. 336-337), zullen wij ons niet richten op een vergelijking van soorten leeromgevingen, maar op een karakterisering van de verschillende omgevingen, het onderzoek dat eraan gedaan is, en de theoretische gezichtspunten die dit heeft opgeleverd. Clark (1983, 1994) gaat er van uit dat specifieke media (radio, televisie, computer, etc.) geen effecten op leren hebben: Slechts verschillende instructiemethoden hebben verschillende effecten op leren. Kozma is van mening dat het ene medium

beter of gemakkelijker bepaalde leerhandelingen kan uitlokken dan een ander en daarom vaak een ander leerresultaat zal hebben, terwijl Clark een directe relatie tussen aanbieder en leerresultaat veronderstelt met voorbijgaan aan de tussenliggende leerhandelingen. Het gebruik van dezelfde aanbieder-methode (didactiek) in verschillende media heeft volgens Clark een identiek effect, hetgeen niet wegneemt dat methoden die goed bruikbaar zijn in een bepaald medium soms niet bruikbaar zijn in een ander medium en dat, onder bepaalde condities, uit het oogpunt van kosteneffectiviteit gekozen wordt voor een bepaald medium (Moonen, 2003). Zo zal volgens Clark een demonstratie van een procedure op een televisiescherm dus precies even effectief zijn als op een computermonitor, maar tegelijkertijd is duidelijk dat het medium *boek* het gebruik van een dynamische demonstratie als instructiemethode niet mogelijk maakt, en dat voor de televisie en niet voor de computer gekozen wordt als de studenten geen goede toegang hebben tot computers.

Kozma (1991, 1994) weigert om een strikt onderscheid te maken tussen media en methodes. In zijn optiek kunnen bepaalde media-methodecombinaties een meerwaarde hebben, die een rol moet spelen bij het ontwerpen van onderwijs. Zo is het volgens hem mogelijk dat studenten minder leren van een demonstratie op een televisiescherm dan op een computermonitor, bij voorbeeld omdat de lerenden bij de computer meer controle hebben over de representatievorm (bijv. in de vorm van een tabel of grafiek) en het tempo van informatieaanbod, en omdat de televisie door hen geassocieerd wordt met *ontspanning* (“onderuit op de bank”) en de computer met *inspanning* (“werkend op het toetsenbord”). In lijn met Clark zullen we in deze paragraaf niet ingaan op vergelijkende mediastudies (“Is de computer beter dan het boek?”, “Is de televisie beter dan de docent?”), maar ons richten op die methoden die het gebruik van een bepaald medium optimaliseren. Het bestaan van een meerwaarde voor bepaalde media-methodecombinaties wordt daarbij echter niet uitgesloten.

4.1 Computerondersteund onderwijs (COO)

De computertoepassingen in het onderwijs, in de jaren 70 en het begin van de jaren 80 van de vorige eeuw, werden computerondersteund onderwijs (COO) genoemd – als vertaling van de Angelsaksische termen *Computer Assisted Instruction* (CAI), *Computer Based Instruction* (CBI) en *Computer Based Training* (CBT). Deze toepassingen werden vooral gebruikt voor het presenteren van leerstof, het geven van voorbeelden en het oefenen van basisvaardigheden op het gebied van bij voorbeeld rekenen, lezen, spelling, woordenschat en topografie met een ‘drill-and-practice’-aanpak. Kenmerkend voor COO is het gebruik van herhaling en het geven van gerichte feedback. ‘Branching’ maakt het mogelijk om enigszins rekening te houden met individuele verschillen: Studenten die fouten maken worden teruggeleid naar eerdere informatie, krijgen specifieke terugkoppeling op fouten, en/of krijgen aanvullende opdrachten. Meer geavanceerde vormen van ‘branching’ maken ook onderscheid tussen verschillende typen fouten en de daarbij behorende remediatie. De computer heeft zijn waarde voor ‘drill-and-practice’ meer dan bewezen: Deze programma’s behoren tot de meest succesvolle in het onderwijs (Mooij, 1990; Seegers, Verhoeven, & Boot, 2001; Vrij, Kanselaar, & Streefland, 1987), mede omdat zij juist zwakkere leerlingen extra, gerichte oefening kunnen bieden (zie bijv. Smeets & Van der Leij, 1993; Van Daal, Van der Leij, & Bakker, 1987). De computer wordt wel eens verguisd voor het gebruik van ‘drill-and-practice’, maar deze kritieken missen dikwijls grond. Men vergelijkt ‘drill-and-practice’ dan met krachtige, authentieke, op betekenisvolle taken gerichte omgevingen, terwijl het zinvoller is om ‘drill-and-practice’ als niet meer dan een *toevoeging* daarop te zien. De computer is een zeer geschikt medium om de oefening van procedurele (deel)taken aantrekkelijk en effectief te maken (tafels van vermenigvuldiging, plaatsnamen leren, woorden leren in een vreemde taal, etc.).

4.2 Intelligente tutorsystemen

Onderzoek naar ‘Intelligent Tutoring Systems’ (ITS) ligt direct in het verlengde van eerder

onderzoek naar COO. Nog steeds is het leidinggevend principe dat de computer de docent kan vervangen, maar dit probeert men nu te bereiken door de computer met technieken uit de kunstmatige intelligentie steeds slimmer te maken. SCHOLAR (Carbonell, 1970) wordt veelal gezien als de voorloper van intelligente tutorsystemen. Dit systeem onderwijst de geografie van Zuid-Amerika middels de Socratische dialoog. Zowel de student als het systeem kunnen vragen stellen zoals “Welke taal spreekt men in Argentinië?”, “Waar ligt Chili ten opzichte van Venezuela”, en “Is het warm in Asunción?”. De dialoog wordt door het systeem geanalyseerd om misconcepties van de student vast te stellen en te remediëren. In SCHOLAR vindt men al de belangrijkste componenten die ook in latere tutorsystemen worden aangetroffen:

1. Een domein- of expertmodel, dat een representatie bevat van de kennis die aan de student onderwezen wordt. Vaak bevat het domeinmodel naast een representatie van “correcte” kennis ook een representatie van veel voorkomende misverstanden en fouten (misconcepties, ‘malrules’, etc.).
2. Een studentmodel, dat een representatie bevat van wat een student weet en (nog) niet weet, kan en (nog niet) kan, goed of fout doet, en zo verder. Veelal is het studentmodel nauw gekoppeld aan het domeinmodel, waar het dan een zogenaamde ‘overlay’ van is.
3. Een instructiemodel, dat de pedagogische principes of regels bevat die het systeem gebruikt. In SCHOLAR zijn dit de regels voor het voeren van een Socratische dialoog, maar intelligente tutorsystemen verschillen zeer sterk van elkaar wat betreft het gebruikte instructiemodel.
4. Een evaluatiemodel, dat het gedrag van de student evalueert, het studentmodel aanpast, en gebruikmakend van het instructiemodel remediërende acties onderneemt (bijv. feedback geven, een nieuw probleem presenteren, een vraag stellen, etc.) die het leren bevorderen.

Onderzoek naar intelligente tutorsystemen heeft, net zoals het onderzoek naar kunstmatige intelligentie, niet helemaal voldaan aan de zeer hoge verwachtingen die 25 jaar

geleden gewekt werden. Maar toch is er belangrijke vooruitgang geboekt. Ten eerste heeft het onderzoek veel *vakdidactische* kennis opgeleverd. Aan het beschrijven van domein- en studentmodellen ligt doorgaans onderzoek ten grondslag, waarbij de probleem-aanpakken, misconcepties en typische fouten in een bepaald vakgebied tot in detail worden beschreven (zie bijv. Baltussen & Van Lieshout, 1991; Verschaffel, De Corte, & Lamote, 1997). Deze kennis is niet alleen van belang voor de ontwikkeling van intelligente tutorsystemen, maar ook voor de verbetering van traditionele onderwijsmethoden. Ten tweede heeft het onderzoek een aantal generieke aanpakken opgeleverd die inmiddels op relatief grote schaal gebruikt worden. Een goed voorbeeld is de ‘model-tracing’-methode, waarbij een regelgebaseerd systeem het studentgedrag continu vergelijkt met modelgedrag en op afwijkingen reageert met hints die de student weer in de richting van het modelgedrag moeten brengen. Deze methode wordt gebruikt in een grote familie van tutores die gebaseerd is op het ACT*-model van John R. Anderson (Anderson, 1993; voor een overzicht van tutores, zie Anderson, Douglass, & Qin, 2004). Veel van de kennis uit ITS-onderzoek wordt heden ten dage aangewend in onderzoek naar ‘intelligent agents’, die ook meer en meer worden ingezet in collaboratieve computerondersteunde leeromgevingen. Een interessante overgang van Intelligent Tutoring System naar een Intelligent Collaborative System is door Erkens (1997) ontwikkeld in een systeem waarbij de computer de rol van partner bij probleemoplossen speelt.

4.3 Dynamische visuele representaties en animaties

Lange tijd werd de computer gezien als een apparaat dat de rol van de docent grotendeels zou kunnen overnemen. Maar in de jaren 90 dringt steeds meer het besef door dat de computer in het onderwijs juist gebruikt zou moeten worden om die dingen te realiseren die met andere media onmogelijk zijn. Het dynamisch en inzichtelijk presenteren van complexe processen en activiteiten die anders niet te observeren zijn, is er daar één van. Men kan dan bijvoorbeeld denken aan het dyna-

misch visualiseren van scheikundige processen, waarbij nieuwe moleculen gevormd worden uit bestaande moleculen, het vanuit verschillende perspectieven bestuderen hoe planeten rondom de zon draaien, of het animeren van de werking van het menselijke hart-longsysteem. De snelle toename van de multimediale mogelijkheden van computers maakte het mogelijk om dergelijke processen op het computerscherm dynamisch te visualiseren, al dan niet met toelichtende teksten en/of geluidseffecten. Ondanks de hoge verwachtingen toont onderzoek aan dat dynamische visuele representaties niet altijd tot beter leren leiden dan statische representaties, zoals plaatjes in een boek (zie Plötzner & Low, 2004). Soms is vereenvoudiging van de dynamische representatie nodig om het leren beter te laten verlopen. En soms kan het verhogen van de interactiviteit, waardoor de lerende de visualisatie zelf kan manipuleren (bijv. stopzetten, herhalen, inzoomen), het leren bevorderen.

Twee invloedrijke theorieën die een verklaring bieden voor de bevindingen met betrekking tot de effectiviteit van dynamische visualisaties en animaties zijn Mayer's *Cognitive theory of multimedia learning* (Mayer, 2002) en Sweller's *Cognitieve belastings-theorie* (Paas, Renkl, & Sweller, 2003; Sweller, 1999). Beide theorieën veronderstellen dat dynamische visualisaties met name voor beginnende lerenden het werkgeheugen kunnen overbelasten, met negatieve effecten op leren. Dit heeft te maken met het feit dat er vaak veel informatie wordt aangeboden, en dat een deel van de informatie die verdwijnt uit de visualisatie (d.w.z., vergankelijk of 'transient' is) wel door de lerende onthouden moet worden om het hele gedemonstreerde proces te kunnen begrijpen. De theorieën beschrijven een aantal principes om de cognitieve belasting te verlagen. Als visuele representaties worden vergezeld van toelichtende teksten, kunnen deze teksten het beste spatiëel en temporeel geïntegreerd worden met de visualisatie, of kan geschreven tekst beter vervangen worden door gesproken tekst. Voor de dynamische visualisatie zelf kan het opsplitsen van het gedemonstreerde proces in delen (segmentatie), het vertragen van het proces ('pacing'), of het benadrukken

van de belangrijkste elementen ('cueing') de cognitieve belasting verlagen. Ook veronderstellen deze theorieën dat het toevoegen van interactiviteit aan dynamische representaties vooral voor gevorderde lerenden een positief effect op het leren kan hebben. De kans op cognitieve overbelasting voor deze groep is relatief klein, zodat een grotere interactiviteit hen kan aanzetten tot diepere cognitieve verwerking van de aangeboden informatie, met positieve effecten op leeruitkomsten.

4.4 Hypertekst en hypermedia

De computer leidde niet alleen tot een andere kijk op visualisaties, maar ook op een nieuwe kijk op het bestuderen van teksten. Hypertekst verwijst naar het presenteren van teksten, die 'hyperlinks' bevatten die verwijzen naar andere teksten die ook weer 'hyperlinks' bevatten. De lineaire presentatie van teksten, zoals in een boek, wordt dus vervangen door een niet-lineaire presentatie, waarin de gebruiker al "klikkend" op de 'hyperlinks' zijn eigen weg zoekt. Het WWW is tegenwoordig de bekendste implementatie van een hypertextsysteem, waarvoor de term hypermedia meer geschikt is dan hypertekst, omdat het niet alleen meer om de presentatie van teksten, maar ook van plaatjes, filmpjes, en geluidsfragmenten kan gaan (Burton, Moore, & Holmes, 1995; Dillon & Gabbard, 1998). Hyperteksttoepassingen begonnen te verschijnen in het onderwijs, nadat Apple in 1987 het zeer populaire programma *Hypercard* op de markt bracht. Het niet-lineaire karakter van hypertekst sloot goed aan bij de overheersende constructivistische ideeën van die tijd. Een bekende metafoer die vaak gebruikt werd om het leren van hypertekst te beschrijven is afkomstig van Wittgenstein (1953), die het bestuderen van complexe informatie beschreef als "a traveller criss-crossing a landscape". De lerende zou zich gedragen als een wandelaar die zijn eigen weg kiest en steeds weer nieuwe perspectieven op de wereld om hem heen krijgt, en die achter elke heuvel weer een nieuw landschap ziet opdoemen.

Een theorie die zich richt op het leren van hypertekst is de cognitieve flexibiliteitstheorie (Spiro, Feltovich, Jacobson, & Coulson, 1992). Deze theorie benadrukt het presen-

teren van informatie vanuit verschillende gezichtspunten ('multiple perspectives') en het gebruik van gevalsstudies, die een grote variatie aan voorbeelden laten zien. Het is kritisch dat studenten de mogelijkheid krijgen om hun kennis *zelf* te construeren, hetgeen volgens de theorie bereikt kan worden door studenten een hypertext of hypermedia-systeem actief te laten exploreren. De cognitieve flexibiliteitstheorie richt zich vooral op gevorderde lerenden in complexe, slecht-structureerde domeinen, zoals het stellen van een medische diagnose. Voor beginners in een domein is het leren in grote hypertext-systemen vaak erg moeilijk en belastend: Zij missen de achtergrondkennis die nodig is om adequaat te navigeren. Enerzijds richt nieuw onderzoek zich derhalve op het onderwijzen van informatiezoekvaardigheden voor het WWW of Wikipedia (zie bijv. Feddes, Vermetten, & Brand-Gruwel, 2003; Kuiper, Volman, & Terwel, 2004); de Big Six is een bekend voorbeeld van een aanpak waarbij studenten leren om systematisch informatie te zoeken in zulke grote systemen (Eisenberg & Berkowitz, 1990). Anderzijds komt er ook meer aandacht voor het door studenten laten *construeren* van eenvoudige hypertextsystemen, concept maps, en andere kennisrepresentaties (zie bijv. Jonassen & Yacci, 1993).

4.5 LOGO, Boxer en mindtools

Het onderwijskundig gebruik van de computer als 'tutee', een apparaat dat je iets kunt leren, vindt zijn oorsprong in de Logo-beweging (Kunst, 1984; Papert, 1982). Logo is een functionele programmeertaal, die vooral bekend geworden is door zijn "turtle graphics". De 'turtle', of schildpad, is een eenvoudige robot die zich door de klas kan bewegen en bestuurd wordt met Logo-commando's of een Logo-programma, dat opdrachten geeft, zoals "50 stappen vooruit" (FD 50), "draai 90 graden naar rechts" (RT 90) of "teken een vierkant" (REPEAT 4 TIMES[FD 50, RT 90]). Het schrijven van Logo-programma's werd gezien als een vorm van probleemoplossen, waarvan positieve transfereffecten naar het oplossen van problemen in andere domeinen verwacht werd (De Corte, Verschaffel, & Schrooten, 1990; Verschaffel, De Corte, & Schrooten, 1992). In de traditie van

Logo staan Boxer en Lego Mindstorms. Boxer is een "computationeel medium" dat docenten en studenten in staat stelt om uitdrukking te geven aan dynamische en interactieve processen (Disessa, 2000). Lego Mindstorms maakt gebruik van programmeerbare Lego-steentjes en stelt kinderen in staat om hun eigen robots te bouwen en programmeren. De discussie of en in hoeverre het oplossen van problemen met Logo, Boxer, of Lego Mindstorms transfer van het geleerde naar andere domeinen bewerkstelligd wordt, is nooit afgerond, ook al omdat er geen overeenstemming over de operationalisatie van transfer is. Maar inmiddels heeft dit soort toepassingen het constructieve leren (ook wel constructionisme genoemd; zie Duffy, Lowyck, & Jonassen, 1993) wel een nieuwe impuls gegeven.

Een recente theorie die zich richt op het leren door construeren wordt wel aangeduid met *Learning by design* (zie bijv. Kolodner, Crismond, Fasse, Gray, Holbrook, Ryan, & Puntambekar, 2003). Het gaat dan niet alleen om programmeren, maar om het ontwerpen van allerlei artefacten die uitdrukking geven aan oplossingen voor niet-triviale problemen. Deze artefacten kunnen op de computer gemaakt worden (programma's, concept maps, 3D-modellen), maar het kunnen ook concrete objecten zijn. Kenmerkend voor een effectief onderwijskundig gebruik is dat het ontwerpen gericht is op authentieke probleem-situaties, een iteratief karakter heeft, en samenwerking tussen studenten en reflectie op eigen handelen vereist. Ondersteuning van het ontwerpproces, of 'scaffolding', wordt een belangrijke plaats toegekend in het leerproces. Goede docenten dienen als model als het gaat om het systematisch aanpakken van problemen en het redeneren over oplossingen. Zij bieden hun studenten steeds weer nieuwe ervaringen die aansluiten bij hun voorkennis, en zij dagen hen uit om hun aanpak en nieuw verworven kennis te expliciteren. Cognitieve gereedschappen, of 'mindtools', kunnen lerenden helpen om meer productief te denken, zodat zij niet alleen ondersteuning bieden bij het ontwerpen maar ook bijdragen aan de constructie van nieuwe kennis.

4.6 Computersimulaties en 'virtual reality'

In het verlengde van de dynamische visuele representaties, zoals hierboven besproken, ligt het gebruik van simulatie en, tegenwoordig, 'virtual reality' (VR). Een hoge mate van interactiviteit stelt studenten dan in staat om acties uit te voeren in een gesimuleerde wereld, de effecten van deze acties te bestuderen, en hierop volgende acties te baseren. Simulaties stellen studenten in staat om in een veilige omgeving dingen uit te proberen die in de echte wereld niet altijd mogelijk zijn. Grofweg kunnen er twee soorten simulaties onderscheiden worden: simulaties die gericht zijn op het leren van conceptuele kennis en simulaties die gericht zijn op het leren van vaardigheden. Het eerste type simulatie wordt wel een 'microworld' of 'discovery world' genoemd. Studenten kunnen deze min of meer systematisch verkennen, variërend van vrije exploratie tot uitvoering van een zorgvuldig geplande reeks van experimenten, teneinde de wetmatigheden die in de wereld van toepassing zijn te achterhalen. Onderzoek naar het leren in dit type simulaties heeft veel kennis opgeleverd over instructiemethoden die (begeleid) ontdekkend leren tot een aantrekkelijke en effectieve vorm van instructie kunnen maken (zie bijv. De Jong & Van Joolingen, 1998).

Het tweede type simulatie heeft het karakter van een gesimuleerde taakomgeving (Gray, 2002; Van Merriënboer & Kester, 2005). Net als bij een rollenspel of simulator staat 'learning by doing' in een relatief veilige omgeving centraal. De natuurgetrouwheid van de taakomgeving kan laag zijn, zoals wanneer een geneeskundestudent een ziekte of aandoening moet diagnosticeren op basis van een tekstuele patiëntbeschrijving op het scherm, of hoog zijn, zoals wanneer dezelfde student een ziekte moet diagnosticeren op basis van het onderzoeken van een gesimuleerde patiënt die grote gelijkenis vertoont met een echte patiënt. Dit type leeromgeving sluit goed aan op recente ideeën over het gebruik van levensechte, "hele" taken in het onderwijs (Martens, Bastiaens, & Gullikers, 2002; Winn, 2002). Onderzoek richt zich bijvoorbeeld op het realiseren van de eerder besproken 'first principles of instruction' (Mer-

rill, 2002), de adaptatie of personalisatie van de leertaken aan de voorkennis, interesses en voorkennis van de student (Corbalan-Perez, Kester, & van Merriënboer, in druk), of de rol van metacognitieve vaardigheden bij het leren met simulaties (Veenman, Prins, & Elshout, 2002). Computersimulaties bieden bij uitstek een technologieverrijkte leeromgeving die -in bepaalde fasen van het leerproces- een meerwaarde kan hebben boven de echte omgeving. Recente ontwikkelingen richten zich op het mengen van gesimuleerde elementen met de realiteit ('augmented reality', waarbij de realiteit verrijkt wordt met taakinformatie die bijv. op een doorzichtige bril geprojecteerd wordt), samenwerkend leren in gesimuleerde omgevingen, en het gebruik van elementen uit '(multi-user) gaming'. Verwant aan deze ontwikkelingen is ook het gebruik van mobiele technologie voor leren, waarbij studenten hun taken weliswaar uitvoeren in een levensechte professionele setting, maar relevante informatie 'just-in-time' beschikbaar gesteld krijgen via hun telefoon, PDA, of ander mobiel apparaat.

4.7 Computerondersteund samenwerkend leren

Met de snelle opkomst van het Internet medio jaren 90 verschuift de rol van de computer als oefen- en presentatiemedium naar die van communicatiemedium. Aanvankelijk betrof het vooral asynchrone vormen van communicatie (bijv. e-mail, 'bulletin boards', discussielijsten), maar al snel werd dit uitgebreid met verschillende vormen van synchrone communicatie (bijv. chat, videoconferencing, het delen van applicaties). Dit leidde tot een hernieuwde belangstelling voor samenwerkend leren, dat nu de vorm krijgt van 'computer-supported collaborative learning' (CSCL; Veerman, 2000). Onderzoek naar CSCL richt zich op het gebruik van computerapplicaties als mediator binnen collaboratieve instructiemethoden, zoals het tutoren van medestudenten ('reciprocal teaching'), projectmatig leren, en leren in rollenspellen (Kreijns, Kirschner, & Jochems, 2003). Een eerste onderzoekslijn richt zich op de effectiviteit van CSCL in vergelijking tot individueel computergebruik (zie bijv. Van Eijl,

Pilot, & De Voogd, 2002). Een tweede lijn richt zich op de meerwaarde die CSCL kan hebben boven traditionele vormen van samenwerking. Deze meerwaarde kan bij voorbeeld gevonden worden in het gebruik van “externe representaties”, die dienen om de activiteiten van de deelnemende studenten te richten op hetzelfde object, om vragen over te stellen en op te reflecteren, en om de resultaten van gemeenschappelijke kennisconstructie publiek te maken (Scardamelia, Bereiter, Brett, Burtis, Calhoun, & Lea, 1992). Een derde, gerelateerde lijn bestudeert de effecten van tools die specifiek ontwikkeld worden om samenwerkend leren te ondersteunen, zoals tools voor collaboratief informatiezoeken en het schrijven van argumentatieve teksten (Erkens, Jaspers, Prangasma, & Kanselaar, 2005; Kanselaar & Erkens, 1996).

Onderzoek naar CSCL gaat gepaard met meer aandacht voor de interacties tussen lerenden, hun omgeving en allerlei artefacten – een idee die centraal staat in modellen voor ‘distributed cognition’ (Moore & Rocklin, 1998). Het idee van ‘distributed cognition’ beoogt de kloof tussen het individueel-cognitieve en sociale te dichten. Enerzijds wordt duidelijk dat technologie een belangrijke rol kan spelen bij het gemeenschappelijk uitvoeren van complexe taken en zo de cognitieve belasting van individuen kan verlagen. Anderzijds laat het zien dat cognitie niet slechts bestaat in individuen, maar dat deze afhankelijk is van specifieke situaties (ook wel ‘situated cognition’ genoemd) en gedistribueerd is over groepsleden. Bereiter gebruikt om dit te verduidelijken een toneelstuk waarin de kennis is gedistribueerd over de spelers en men toch een eenheid in gedragingen vormt die meer is dan de som der delen. De constructie van kennis zal in deze optiek dan ook vooral plaatsvinden in leergemeenschappen en kennisgemeenschappen, die wel gezien worden als het nieuwe paradigma voor leren in de 21ste eeuw. Lowyck, Pöysä en van Merriënboer (2003) onderzoeken in hoeverre het mogelijk is om dergelijke leergemeenschappen te *ontwerpen*. Zij betogen dat ontwerpactiviteiten vooral gericht moeten zijn op de ontwikkeling van hogere-orde vaardigheden, op op-maat-gesneden ondersteuning

voor het kennisconstructieproces, en op feedback en formatieve vormen van beoordeling. Daarnaast zijn niet-cognitieve, sociale en motivationele gezichtspunten belangrijk voor het “ontwerpen” van leergemeenschappen, met name om er voor te zorgen dat zwakkere leerlingen niet uit de boot vallen, maar een stevige positie kunnen verwerven in leer- en kennisgemeenschappen.

4.8 Elektronische leeromgevingen

Technologieverrijkte leeromgevingen in de vorm van computerondersteund onderwijs, intelligente tutorsystemen, dynamische visuele representaties, animaties, hypermedia, ‘mindtools’, computersimulaties en collaboratieve omgevingen vinden in meer of mindere mate hun plaats in de praktijk van het onderwijs. Maar het ontbreekt nog veelal aan integratie, voor zowel docenten als studenten. Elektronische leeromgevingen (ELO's) zoals Blackboard, Teletop, of WebCT bieden studenten een eenduidig en eenvoudig te gebruiken interface naar alle componenten die nodig zijn om een cursus of opleiding te volgen. En zij beogen docenten, aanvankelijk vooral in het hoger onderwijs, te ondersteunen in het beheren van computerondersteunde, online informatiebronnen en toepassingen. Hierbij kan gedacht worden aan het toegankelijk maken van bronnen en toepassingen voor studenten en andere gebruikersgroepen, het bieden van informatie- en communicatiemogelijkheden, en het administreren van allerlei gegevens van individuele studenten en groepen.

In de ontwikkeling van een digitale didactiek (Simons, 2002) zijn een drietal tendensen aanwijsbaar. Ten eerste was er aanvankelijk een sterk accent op leerstof of inhoud (‘learning content management’-systemen), die meer en meer vervangen wordt door een accent op dialoog, interactie en samenwerking. De inhoud blijft weliswaar belangrijk, maar is secundair aan het uitvoeren van leertaken en kan ook door de studenten zelf worden gewijzigd, veranderd of aangevuld (Wiki's). Een ‘open-source’-ELO die deze benadering hanteert, is bij voorbeeld Moodle (zie www.moodle.org). Ten tweede komt er meer aandacht voor het gebruik van een optimale mediamix, een vorm van ‘blended

learning' of 'integrated e-learning' (Jochems, Van Merriënboer, & Koper, 2002), waarbij technologieverrijkte omgevingen worden gecombineerd met traditionele onderwijsvormen. Van Merriënboer en Kester (2005) beschrijven bij voorbeeld hoe het vier-componenten instructie-ontwerpmodel beperkingen oplegt aan de keuze van media in zo'n geïntegreerde omgeving: 1) de eerste component, *leertaken*, vereist een al dan niet gesimuleerde taakomgeving, waarbinnen studenten kunnen werken aan taken of projecten, 2) de tweede component, *ondersteunende informatie*, vereist de beschikbaarheid van boeken, hypertexten of andere media die complexe informatie kunnen overdragen, 3) de derde component, *procedurele informatie*, vereist de beschikbaarheid van een docent, online helpsysteem of mobiele apparaten die 'just-in-time' aanwijzingen kunnen geven tijdens taakuitvoering, en 4) de vierde component, *deeltaak oefening*, vereist de beschikbaarheid van een 'skills lab', computerondersteund onderwijs of andere media die de mogelijkheid voor 'drill-en-practice' bieden. Ten derde is er een toenemende aandacht voor flexibilisering van onderwijs en verregaande vormen van vraagsturing, die het mogelijk maken dat studenten precies het onderwijs volgen dat aansluit bij hun mogelijkheden en wensen ('mass-customization' of 'mass-individualization').

4.9 Stand van zaken en vooruitblik

De voorgaande analyse had betrekking op technologieverrijkte leeromgevingen. De beschrijving van deze omgevingen maakt zichtbaar wat er gebeurt als de ontwikkelingen op het gebied van hard- en software en de kennis over effectieve instructiemethoden, de didactiek, elkaar ontmoeten. Naar onze mening vinden de belangrijkste theoretische ontwikkelingen juist op dit raakvlak plaats: Cognitieve modellen voor multimedialeren, cognitieve flexibiliteitstheorie, modellen voor 'learning by design', 'distributed cognition', ideeën over leergemeenschappen en collaboratief leren en vele andere theoretische noties zijn geworteld in onderzoek naar de onderwijsleerprocessen die plaats vinden in bepaalde technologieverrijkte leeromgevingen. Een volgende stap betreft het combineren

van verschillende omgevingen in elektronische leeromgevingen, die geïntegreerde vormen van e-learning beheersbaar moeten maken voor docenten en beter toegankelijk moeten maken voor leerlingen. Wat de technologische integratie betreft worden de eerste voorzichtige stappen gezet. Maar een bruikbare didactiek voor e-learning of mengvormen van e-learning en traditioneel onderwijs, waarin verschillende theoretische noties met elkaar in verband gebracht worden, dient nog grotendeels ontwikkeld te worden (Van Merriënboer, 2002).

5 Discussie

Dit artikel blikte terug op 25 jaar onderwijs-technologisch onderzoek, vooral vanuit een ontwerp perspectief. Hierbij werd een onderscheid gemaakt tussen harde technologie, met een accent op hardware en software; zachte technologie, met een accent op methoden om onderwijs vorm te geven, en technologieverrijkte leeromgevingen, waarbinnen de harde en zachte technologie elkaar ontmoeten in concrete applicaties. Wat de harde technologie betreft werd duidelijk dat de ontwikkelingen in hardware en software dermate snel gaan dat deze niet bepalend kunnen zijn voor de theoretische ontwikkelingen in de onderwijstechnologie. Kwalitatief hoogwaardig onderzoek wordt niet gedreven vanuit technologische innovaties, maar vanuit een *visie* op leren als een actief, constructief en collaboratief proces, waarin nieuwe technologieën bestudeerd worden op hun meerwaarde voor het onderwijs. De zachte technologie heeft dan ook het primaat boven de harde technologie, omdat zo'n visie op leren daar richtinggevend kan zijn. Na een periode waarin neobehavioristische en cognitivistische principes het ontwerpproces legitimeerden, wordt nu geprobeerd om een voorzichtige synthese tot stand te brengen tussen deze klassieke ontwerpbenadering, gericht op het creëren van optimale condities om te leren, en een constructivistische benadering, gericht op het sociale en persoonlijke proces van kennisconstructie. Er is in de constructivistische benadering veel nadruk op de waarde van realistische leertaken; de integratie

van kennis, vaardigheden en attitudes, en de transfer van het geleerde naar de buitenschoolse of professionele context.

Theoretische vooruitgang vinden we vooral op het raakvlak van de harde en de zachte technologie, waar onderzoek plaatsvindt naar onderwijsleerprocessen in technologieverrijkte leeromgevingen. Onderzoek naar het leren met computerondersteund onderwijs, intelligente tutorsystemen, dynamische visuele representaties, zoals animaties, hypertext en hypermedia, Logo en allerehande 'mindtools', computersimulaties, en applicaties voor computerondersteund samenwerkend leren heeft een veelheid aan theorieën en modellen opgeleverd, zoals de cognitieve theorie voor multimedialeren, cognitieve belastingstheorie, flexibiliteitstheorie, 'learning by design', 'distributed cognition' en vele andere. Wetenschappelijke vooruitgang in de onderwijstechnologie zal vooral geboekt moeten worden door onderzoek dat expliciet gericht is op de verdere ontwikkeling van deze theorieën.

Op grond van onze analyse komen drie lijnen voor vervolgonderzoek naar voren. Ten eerste is er behoefte aan onderzoek dat gericht is op de verdergaande integratie van technologieverrijkte leeromgevingen. Het gaat dan niet alleen om de technische integratie en het gebruik van een optimale mix van media, in welke richting de eerste stappen nu genomen worden (bijv. ELO's, 'blended learning'), maar vooral om de ontwikkeling van een overkoepelende theoretische basis en een digitale didactiek. Een tweede onderzoekslijn dient zich te richten op flexibiliteit, personalisatie en vraagsturing in deze geïntegreerde omgevingen. In lijn met het sociaal-constructivistische perspectief is het wenselijk om meer tegemoet te komen aan de behoeften van individuele studenten, en bij het ontwerpen van onderwijs ook meer rekening te houden met het feit dat de effecten van onderwijsmethoden altijd gemedieerd zullen worden door de percepties van deze methoden door studenten. Een derde onderzoekslijn is direct gerelateerd aan de tweede. Naarmate studenten meer verantwoordelijkheid krijgen voor hun eigen leerproces, wordt het belangrijker om aandacht te besteden aan de ontwikkeling van hogere-orde vaardighe-

den die zij nodig hebben om zich volledig te ontplooiën in dit soort open omgevingen. Vaardigheden zoals plannen van nieuw te volgen onderwijs, monitoren van taakuitvoering en het beoordelen van de kwaliteit van het eigen leerproces en de uitkomsten daarvan zijn nodig om zelfstandig te leren en, na diplomering, een leven lang te blijven leren.

De grootste uitdaging voor de toekomst is het dusdanig op elkaar afstemmen van de didactiek en de technologische ontwikkelingen dat krachtige leeromgevingen ontworpen kunnen worden die niet slechts een optimale mix van media en methoden gebruiken, maar waarin het werken aan rijke, betekenisvolle leertaken centraal staat, die lerenden uiteindelijk in staat stellen om goed te functioneren en zich verder te ontplooiën in een snel veranderende samenleving. Daarbij moet niet uit het oog verloren worden dat het ontwerpen van dergelijke omgevingen slechts een eerste stap is. Zoals Utsi, Canters en Lowyck (2001) beschrijven gaat het uiteindelijk om een succesvolle implementatie waarbij zorgvuldig rekening gehouden wordt met de kritische factoren voor een succesvolle overgang van een bestaand naar een nieuw onderwijsstelsel, zoals gedeelde normen en waarden, middelen om in te spelen op onvoorziene gebeurtenissen, en ondersteuning van het leerproces van docenten.

Literatuur

- Ackermann, P. (1996). *Developing object-oriented multimedia software*. Heidelberg, Germany: Verlag für Digitale Technologie GmbH.
- ADL Technical Team (2001). *Sharable Content Object Reference Model (SCORM™) Version 1.2 The SCORM Overview*. Retrieved June 16, 2003, from <http://www.adlnet.org>
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J. R., Douglass, S., & Qin, Y. (2004). How should a theory of learning and cognition inform instruction? In A. Healy (Ed.), *Experimental cognitive psychology and its applications* (pp. 47-58). Washington, D.C.: American Psychological Association.
- Anderson, J. R., Greeno, J. G., Reder, L. M., & Simon H. A. (2000). Perspectives on learning,

- thinking, and activity. *Educational Researcher*, 29(4), 11-13.
- André, T. (1997). Selected microinstructional methods to facilitate knowledge construction: implications for instructional design. In R. D. Tenenyon, F. Schott, N. Seel, & S. Dijkstra (Eds.), *Instructional design: International perspective: Theory, research, and models* (Vol. 1, pp. 243-267). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Baltussen, M. W., & Lieshout, E. C. van. (1991). Een foutencategorieën-systeem en zijn toepassing in een computer-gestuurde remedieële rekentraining. *Tijdschrift voor Onderwijs-research*, 16, 279-296.
- Beagles-Roos, J., & Gat, I. (1983). Specific impact of radio and television on children's story comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 75, 128-137.
- Bednar, A. K., Cunningham, D., Duffy, T. M., & Perry, J. D. (1991). Theory into practice: How do we link? In G. Anglin (Ed.), *Instructional technology: Past, present, and future* (pp. 17-34). Denver, CO: Libraries Unlimited.
- Beentjes, J. W. (1988). Salomons model voor het leren van de televisie en uit boeken: Een replicatiestudie. *Pedagogische Studiën*, 65, 103-113.
- Beentjes, J. W. (1989). De cognitieve verwerking van verhalen op televisie en op papier. *Pedagogische Studiën*, 66, 147-157.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: Cognitive domain*. New York: David McKay.
- Burton, J. K., Moore, D. M., & Holmes, G. A. (1995). Hypermedia concepts and research: An overview. *Computers in Human Behavior*, 11, 345-369.
- Carbonell, J. R. (1970). AI in CAI: Artificial Intelligence approach to Computer Assisted Instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11, 190-202.
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology, Research and Development*, 42, 21-29.
- Collis, B., & Margaryan, A. (2005). Design criteria for work-based learning: Merrill's first principles of instruction expanded. *British Journal of Educational Technology*, 36, 725-739.
- Corbalan-Perez, G., Kester, L., & Merriënboer, J. J. G. van (in druk). Towards a personalized task selection model with shared instructional control. *Instructional Science*.
- Daal, V. H., van, Leij, A., van der, & Bakker, N. C. (1987). Een computergestuurd orthodidactisch programma voor aanvankelijk lezen (COPAL). *Pedagogische Studiën*, 64, 364-376.
- De Corte, E., Verschaffel, L., & Schrooten, H. (1990). Cognitieve effecten van het systematisch leren programmeren in LOGO: Een onderwijsexperiment bij zesdeklassers. *Pedagogische Studiën*, 67, 293-305.
- Dick, W. (1987). A history of instructional design and its impact on educational psychology. In J. A. Glover & R. R. Ronning (Eds.), *Historical foundations of educational psychology* (pp. 183-202). New York: Plenum Press.
- Dijkstra, S. (1997). The integration of instructional systems design models and constructivist design principles. *Instructional Science*, 25, 1-13.
- Dillon, A., & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control, and style. *Review of Educational Research*, 68, 322-349.
- Disessa, A. (2000). *Changing minds: Computers, learning, and literacy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Drie, J. van. (2005). *Learning about the past with new technologies. Fostering historical reasoning in computer-supported collaborative learning*. Dissertatie. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Drijvers, P. H. M. (2003). *Learning algebra in a computer algebra environment : design research on the understanding of the concept of parameter*. Dissertatie. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Duffy, T. M., Lowyck, J., & Jonassen, D. E. (Eds.) (1993). *Designing environments for constructive learning*. Berlin: Springer Verlag.
- Eijl, P. van, Pilot, A., & de Voogd, P. (2002). Samenwerkend leren of individueel leren met ICT? *Pedagogische Studiën*, 79, 482-493.
- Eisenberg, M. B., & Berkowitz, R. E. (1990). *Information problem solving: The big six skills approach to library and information skills instruction*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.
- Elen, J., & Lowyck, J. (1998). Students' views on the efficiency of instruction: An exploratory survey of the instructional metacognitive

knowledge of university freshmen. *Higher Education*, 36, 231-252.

- Elen, J., & Lowyck, J. (1999). Metacognitive and instructional knowledge: Cognitive mediation and instructional design. *Journal of Structural Learning & Intelligent Systems*, 13, 145-169.
- Elen, J., & Lowyck, J. (2000a). Homogeneity in students' conceptions about the efficiency of instructional interventions: Origins and consequences for instructional design. *Journal of Structural Learning & Intelligent Systems*, 14, 253-265.
- Elen, J., & Lowyck, J. (2000b). Instructional metacognitive knowledge: A qualitative study on conceptions of freshmen about instruction. *Journal of Curriculum Studies*, 32, 421-444.
- Erkens, G. (1997). *Coöperatief probleemoplossen met computers in het onderwijs. Het modelleren van coöperatieve dialogen voor de ontwikkeling van intelligente onderwijssystemen*. Dissertatie. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Erkens, G., Jaspers, J., Prangma, M., & Kanseelaar, G. (2005). Coordination processes in computer supported collaborative writing. *Computers in Human Behavior*, 21, 463-486.
- Feddes, R., Vermetten, Y., & Brand-Gruwel, S. (2003). Strategische kennis over het oplossen van informatieproblemen: Een exploratief onderzoek. *Pedagogische Studiën*, 80, 210-225.
- Gagné, R. M. (1965). *The conditions of learning* (1st ed.). New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Gardner, H. (1999). Multiple approaches to understanding. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. II, pp. 69-89). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gijlers, H. (2005). *Confrontation and co-construction. Exploring and supporting collaborative scientific discovery learning with computer simulations*. Dissertatie. Universiteit Twente, Enschede.
- Glaser, R. (1962). Psychology and instructional technology. In R. Glaser (Ed.), *Training research and education* (pp. 1-30). Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
- Goodyear, P. (1995). Situated action and distributed knowledge: a JITOL perspective on electronic performance support systems. *Educational and Training Technology International*, 32, 45-55.
- Gray, W. D. (2002). Simulated task environments: The role of high-fidelity simulations, scaled worlds, synthetic environments, and micro-worlds in basic and applied cognitive research. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 205-227.
- Hamel, C. J., & Ryan-Jones, D. (2002). Designing instruction with learning objects. *International Journal of Educational Technology*, 3(1). Opgehaald op 16 juni 2003, van <http://www.ao.uiuc.edu/ijet/v3n1/hamel/index.html>.
- Harskamp, E., Sühre, C., & Streun, A. van. (1998). Grafische calculators in de wiskundeles: Een onderzoek naar de invoering van de grafische calculator in het VWO. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 23, 195-209.
- Hawkrigde, D. (1999). Thirty years on, BJET! And educational technology comes of age. *British Journal of Educational Technology*, 30, 293-304.
- Hill, J. R., & Hannafin, M. J. (2001). Teaching and learning in digital environments: The resurgence of resource-based learning. *Educational Technology, Research and Development*, 49, 37-52.
- Jochems, W., Merriënboer, J. J. G. van, & Koper, R. (Eds.) (2003). *Integrated E-learning: Implications for pedagogy, technology, and organization*. London, UK: RoutledgeFalmer.
- Jonassen, D. (1999). Designing constructivist learning environments. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. II, pp. 215-239). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Jonassen, D. H. (1991). Objectivism vs. constructivism: Do we need a philosophical paradigm shift? *Educational Technology, Research & Development*, 39, 5-14.
- Jonassen, D. H. (2004). *Handbook of research for educational communications and technology: A project of the Association for Educational Communications and Technology*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Jonassen, D. H., & Yacci, M. A. (1993). *Structural knowledge: Techniques for conveying, assessing, and acquiring structural knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Jonassen, D. H., Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). *Learning with technology. A constructivist perspective*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Jong, A. M. de, & Joolingen, W. R. van. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of*

Educational Research, 68, 179-201.

Jong, A. M. de, Kanselaar, G., & Lowyck, J. (2003). ICT in het Onderwijs. In N. Verloop & J. Lowyck (Red.), *Onderwijskunde, een kennisbasis voor professionals* (pp. 318-360). Groningen, Nederland: Wolters-Noordhoff.

Kanselaar, G., & Erkens, G. (1996). Interactivity in cooperative problem solving with computers. In S. Vosniadou & E. de Corte (Eds.), *International perspectives on the design of technology-supported learning environments* (pp. 185-202). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Kirschner, P. (2004). Design, development, and implementation of electronic learning environments for collaborative learning. *Educational Technology, Research & Development*, 52, 39-46.

Kolodner, J. L., Crismond, D., Fasse, B. B., Gray, J. T., Holbrook, J., Ryan, M., & Puntambekar, S. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting a Learning-by-Design curriculum into practice. *Journal of the Learning Sciences*, 12, 495-548.

Kommers, P., Jonassen, D. H., & Mayes T. (Eds.) (1992). *Cognitive tools for learning*. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Koolstra, C. M., Voort, T. H. van der, & d'Ydewalle, G. (1999). Verlenging van de expositietijd van ondertitels op televisie: Effecten op leestijd en de herinneringen van kinderen. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 23, 316-328.

Koper, E. J. R., & Manderveld, J. M. (2004). Educational modelling language: Modelling reusable, interoperable, rich and personalised units of learning. *British Journal of Educational Technology*, 35, 537-552.

Koper, E. J. R., Olivier, B., Anderson, Th. (2002). *IMS learning design information model: Final*. Boston, MA: IMS publication.

Kozma, R. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research*, 61, 179-211.

Kozma, R. (1994). A reply: Media and methods. *Educational Technology, Research and Development*, 42, 11-14.

Kreijns, K., Kirschner, P. A., & Jochems, W. (2003). Identifying the pitfalls for social interaction in computer-supported collaborative learning environments: A review of the research. *Computers in Human Behavior*, 19, 335-353.

Kuiper, E., Volman, M., & Terwel, J. (2004). Internet als informatiebron in het onderwijs: Een verkenning van de literatuur. *Pedagogische Studiën*, 81, 423-443.

Kunst, H. (1984). LOGO: Achtergronden, evidentie en mogelijkheden. *Pedagogische Studiën*, 61, 43-54.

Lowyck J., & Clark, R. E. (1996). Corporate training design: Past, present, and future. *International Journal of Educational Research*, 25, 465-471.

Lowyck, J. (1994). Teaching effectiveness: An overview of studies. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 19, 17-25.

Lowyck, J., Pöysä, J., & Merriënboer, J. J. G. van. (2003). Conditions of ICT-based design for learning communities. *Technology, Instruction, Cognition, and Learning*, 1, 153-181.

Luyten, L., Lowyck, J., & Tuerlinckx, F. (2001). Task perception as a mediating variable: A contribution to the validation of instructional knowledge. *British Journal of Educational Psychology*, 71, 203-223.

Mager, R. (1975). *Preparing instructional objectives* (2nd ed.). Belmont, CA: Lake Publishing Co.

Martens, R., Bastiaens, Th., & Gulikers, J. (2002). Leren met computergebaseerde authenticke taken: Motivatie, gedrag en resultaten van studenten. *Pedagogische Studiën*, 79, 469-481.

Masui, C., & de Corte, E. (1999). Enhancing learning and problem solving skills: Orienting and self-judging, two powerful and trainable learning tools. *Learning and Instruction*, 9, 517-542.

Mayer, R. E. (2002). *Cambridge handbook of multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.

McCarthy, B. (1996). *About learning*. Barrington, IL: Excell Inc.

McKeachie, W. J. (1952). Teaching psychology on television. *American Psychologist*, 7, 503-506.

Merriënboer, J. J. G. van. (2002). De ontbrekende didactiek van E-leren. *Pedagogische Studiën*, 79, 494-502.

Merriënboer, J. J. G. van. (1997). *Training complex cognitive skills*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

Merriënboer, J. J. G. van, & Boot, E. W. (2005). A holistic pedagogical view of learning objects. In J. M. Spector, S. Ohrazda, P. van Schaai,

- & D. A. Wiley (Eds.), *Innovations in instructional technology: Essays in honor of M. David Merrill* (pp. 43-64). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Merriënboer, J. J. G. van, & Kester, L. (2005). The four-component instructional design model: Multimedia principles in environments for complex learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 71-93). New York: Cambridge University Press.
- Merriënboer, J. J. G. van, & Martens, R. (Eds.) (2002). Computer-based tools for instructional design. *Educational Technology, Research and Development*, 50, 5-66.
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology, Research and Development*, 50(3), 43-59.
- Mooij, T. (1990). Effecten van computerprogramma's op ontwikkeling in leesprestaties. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 15, 285-300.
- Moonen, J. (2003). Simplified return-on-investment. *Interactive Learning Environments*, 11, 147-165.
- Moore, J. L., & Rocklin, T. R. (1998). The distribution of distributed cognition: Multiple interpretations and uses. *Educational Psychology Review*, 10, 97-113.
- Nelson, L. M. (1999). Collaborative problem solving. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. II, pp. 241-267). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (Eds.) (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, 38, 1-77.
- Papert, S. (1982). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Plomp, T. (1982). *Onderwijskundige technologie: Enige verkenningen*. Inaugurale rede. Universiteit Twente, Enschede.
- Plötzner, R., & Lowe, R. (Eds.) (2004). Dynamic visualisations and learning. *Learning and Instruction*, 14, 235-357.
- Reiser, R. A. (2001a). A history of instructional design and technology – Part I: A history of instructional media. *Educational Technology, Research and Development*, 49, 53-64.
- Reiser, R. A. (2001b). A history of instructional design and technology – Part II: A history of instructional design. *Educational Technology, Research and Development*, 49, 57-67.
- Reiser, R. A., & Dempsey, J. V. (2002). *Instructional design and technology*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, Inc.
- Ross, V. R. (1930). A preliminary investigation of the effect of radio reception on school achievement. *Journal of Applied Psychology*, 14, 456-464.
- Saab, N. (2005). *Chat and Explore. The role of support and motivation in collaborative scientific discovery learning*. Dissertatie. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Scardamelia, M., Bereiter, R. S., Brett, C., Burtis, P. J., Calhoun, C., & Lea, N. S. (1992). Educational applications of a networked communal database. *Interactive Learning Environments*, 2, 45-71.
- Schank, R. C., Berman, T. R., & Macperson, K. A. (1999). Learning by doing. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. II, pp. 161-181). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Schwartz, D., Lin, X., Brophy, S., & Bransford, J. D. (1999). Toward the development of flexibly adaptive instructional designs. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. II, pp. 183-213). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Segers, E. A., Verhoeven, L., & Boot, I. (2001). ICT-ondersteuning van de woordenschat van allochtone kleuters. *Pedagogische Studiën*, 78, 287-297.
- Simons, R. J. (2002). *Digitale didactiek: Hoe (kunnen) academici leren ICT te gebruiken in hun onderwijs*. Inaugurale rede. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Simons, R. J., van der Linden, J., & Duffy, T. (2000). New learning: Three ways to learn in a new balance. In R. J. Simons, J. van der Linden, & T. Duffy (Eds.), *New learning* (pp. 1-20). Dordrecht, Nederland: Kluwer Academic.
- Skinner, B. F. (1954). The science of learning and the art of teaching. *Harvard Educational Review*, 24, 86-97.
- Smeets, H., & Leij, A. van der. (1993). Differentiële effecten van computergestuurde instructie op het lezen van dyslectische en zwak lezende kinderen: een voorstudie. *Pedagogische Studiën*, 70, 56-72.

- Spector, J. M. (2001). An overview of progress and problems in educational technology. *Interactive Educational Multimedia*, 3, 27-37.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J., & Coulson, R. L. (1992). Cognitive flexibility, constructivism and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In T. Duffy & D. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the technology of instruction* (pp. 57-76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Straetmans, G., Sluijsmans, D., Bolhuis, B., & Merriënboer, J. J. G. van. (2003). Integratie van instructie en assessment in competentiegericht onderwijs. *Tijdschrift voor Hoger Onderwijs*, 3, 171-197.
- Stribos, J. W. (2004). *The Effect of Roles on Computer-Supported Collaborative Learning*. Dissertatie. Open Universiteit, Heerlen.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Tennyson, R. D. (Ed.). (1994). *Automating instructional design, development, and delivery* (NATO ASI Series F, Vol. 119). Berlin: Springer Verlag.
- Tessmer, M., & Wedman, J. F. (1990). A layers-of-necessity instructional development model. *Educational Technology, Research & Development*, 38, 77-85.
- Tripp, S. D., & Bichelmeyer, B. (1990). Rapid prototyping: An alternative instructional design strategy. *Educational Technology, Research and Development*, 38, 31-44.
- Utsi, S., Canters, R., & Lowyck, J. (2001). Embedding conceptual innovation in distance education platforms: Bottlenecks and critical success factors. *Educational Media International*, 38, 217-228.
- Veenman, M. V. J., Prins, F. J., & Elshout, J. J. (2002). Initial learning in a complex computer simulated environment: The role of metacognitive skills and intellectual ability. *Computers in Human Behavior*, 18, 327-342.
- Veerman, A. L. (2000). *Computer-supported collaborative learning through argumentation*. Dissertatie. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Veldhuis-Diermanse, A.E. (2002). *CSCLEAR-NING? Participation, learning activities and knowledge construction in Computer-Supported Collaborative Learning in higher education*. Dissertatie. Universiteit Wageningen, Wageningen.
- Verschaffel, L., de Corte, E., & Lamote, C. (1997). Ontwikkeling van een adaptieve aanpakstrategie voor het schatten van hoeveelheden. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 22, 161-185.
- Verschaffel, L., de Corte, E., & Schrooten, H. (1992). Transfer van Logo-kennis en programmeervaardigheden. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 17, 40-54.
- Von Bertalanffy, L. (1976). *General system theory: Foundations, development, applications*. New York: George Braziller.
- Vrasidas, C. (2000). Constructivism versus objectivism: Implications for interaction, course design, and evaluation in distance education. *International Journal of Educational Telecommunications*, 6, 339-362.
- Vrij, T., Kanselaar, G., & Streefland, L. (1987). Computerondersteund onderwijs bij het basisvermenigvuldigen: Een vergelijkend onderzoek. *Pedagogische Studiën*, 64, 437-448.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Warries, E., & Pieters, J. M. (1992). *Inleiding in instructietheorie*. Lisse, Nederland: Swets & Zeitlinger.
- Wilson, B. (1997). Reflections on constructivism and instructional design. In: C. R. Dills and A. Romiszowski (Eds.), *Instructional development paradigms*. Englewood Cliffs NJ: Educational Technology Publications.
- Winn, W. (2002). Research into practice: Current trends in educational technology research: The study of learning environments. *Educational Psychology Review*, 14, 331-351.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigations*. New York: Macmillan.

Manuscript aanvaard: 17 mei 2006

Auteurs

Jeroen van Merriënboer is hoogleraar onderwijsstechnologie en programmaleider onderzoek bij het Onderwijstechnologisch Expertisecentrum van de Open Universiteit Nederland. Zijn onderzoek richt zich op het ontwerpen van onderwijs en het leren met multimedia.

Gellof Kanselaar is emeritus hoogleraar onderwijskunde bij de capaciteitsgroep onderwijskunde van de Universiteit Utrecht. Zijn onderzoek richt zich op samenwerkend leren in computer-ondersteunde leeromgevingen.

Correspondentieadres: Jeroen J. G. van Merriënboer, Open Universiteit Nederland, Onderwijstechnologisch Expertisecentrum, Postbus 2960, 6401 DL Heerlen. Email: jeroen.vanmerrienboer@ou.nl

Abstract

Where do we stand after 25 years of educational technology in Flanders, the Netherlands, and the rest of the world?

This article reviews 25 years of research on educational technology in Flanders, the Netherlands, and the rest of the world and discusses future research directions. Developments are described from three partly overlapping perspectives: a) hard technologies, with a focus on developments in hardware such as Internet infrastructure and mobile devices, and software such as e-mail, discussion boards and the World Wide Web, b) soft technologies, with a focus on developments in pedagogies and instructional methods to design education with new media, and c) powerful learning environments, in which hard and soft technologies meet each other in, for example, virtual learning environments (VLEs). It is concluded that research on teaching-learning processes in technology-enhanced learning environments yielded the most important theoretical progress in the field of educational technology. Future research will increasingly deal with a) integrated learning environments with compatible pedagogies, b) learning on the basis of meaningful learning tasks in flexible, personalized, on-demand learning environments, and c) the development of higher-order skills that students need to develop themselves in these kinds of environments. In addition, research in educational technology must pay more attention to questions related to implementation and evaluation issues in large-scale educational innovations.