

Neem eens een voorbeeld aan anderen

Nieuwe impulsen voor onderzoek naar leren en instructie



Fred Paas

OpenUniversiteitNederland

Neem eens een voorbeeld aan anderen

Nieuwe impulsen voor onderzoek naar leren en instructie

Rede

in verkorte vorm uitgesproken bij de openbare aanvaarding van het ambt van hoogleraar onderwijspsychologie, in het bijzonder psychologie van ICT en onderwijs aan de Open Universiteit Nederland en de Erasmus Universiteit Rotterdam op vrijdag 2 november 2007

door

prof. dr. Fred Paas

© Copyright Fred Paas, 2007

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored, in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of the publisher.

ISBN: 978-90-367-3249-9

Geachte rectoren,
Dames en heren,

Een voorbeeld nemen aan anderen is voor kinderen een automatisme en dit wordt als heel normaal beschouwd. Min of meer onbewust, leren zij door gedrag van anderen te imiteren of door te doen wat anderen zeggen en schrijven. Echter, naarmate we ouder worden en meer expertise verwerven, wordt imiteren steeds minder vanzelfsprekend en krijgt het zelfs een negatieve bijklank. Vooral in de wetenschap geldt de regel 'iemand na-apen kan echt niet'. Met deze rede wil ik verandering brengen in deze opvatting door de positieve kanten van imitatie te illustreren. Mijn stelling is dat het gebruik van methoden, technieken en bevindingen uit andere disciplines die impuls kan bieden die nodig is om substantiële vooruitgang te boeken in het onderzoek naar leren en instructie. De resultaten van dit onderzoek zijn, zoals in vele andere disciplines, niet eenduidig. Dat is geen probleem. Wat ik wel als probleem zie, is dat onderzoekers zich nauwelijks lijken te bekommeren om het nuanceren van de mogelijke oorzaken van tegenstrijdige onderzoeksresultaten en vaak verzanden in theoretische 'zwart-wit' discussies, waarbij op alle positieve eigenschappen van de eigen theorie en alle negatieve eigenschappen van de andere theorieën wordt gewezen. Leren van anderen wordt dan erg moeilijk.

Voorbeelden te over van dit soort discussies, ook op maatschappelijk gebied. Denkt u maar eens aan de discussie over het broeikaseffect, waarbij een belangrijke vraag is of de door de mens veroorzaakte CO₂ uitstoot verantwoordelijk is voor de opwarming van de

aarde. De meesten onder u zullen, mede dankzij de grote media-aandacht, niet meer twijfelen aan het bestaan van dit effect. Echter, er zijn ook gerenommeerde wetenschappers die beweren dat het broeikaseffect helemaal niet bestaat, maar dat het een mediahype is die haar oorzaak kent in Margareth Thatcher's wens begin jaren 80 van de vorige eeuw om in Groot Brittannië een kernenergieprogramma te starten¹. Hoe realiseer je zo'n wens als er grote weerstand tegen bestaat? Bijvoorbeeld door te stellen dat verder gaan met conventionele energiebronnen leidt tot opwarming en uiteindelijk tot de ondergang van de aarde.

De wetenschappers die niet geloven in het broeikaseffect kunnen u op overtuigende wijze laten zien dat er geen verband bestaat tussen de door de mens veroorzaakte CO₂ uitstoot en de opwarming van de aarde.

Er is wel een duidelijk verband tussen de opwarming van de aarde en veranderingen van de zon, maar die veranderingen zijn onbegrepen.

Bovendien maakt het onder menselijke invloeden geproduceerde CO₂ slechts 2% uit van de totale CO₂ productie, die vooral wordt bepaald door de uitstoot van de oceanen. De vraag is of u gevoelig bent voor deze argumenten, of ze u aan het twijfelen brengen over het bestaan van het effect? Zonder kennis over het broeikaseffect kunnen we alleen een positie innemen door terug te vallen op onze intuïtie en ervaring.

Die zeggen dat het effect wel zal bestaan. Loop maar eens door een grote stad waar veel auto's rijden of sta maar eens met je fiets achter een wegrijdende stadsbus. Natuurlijk hebben we ook allemaal die foto's van verdwenen gletsjers en afsmeltende ijskappen gezien. Het broeikaseffect moet dus wel bestaan. Hoe dan ook, de angst voor het broeikaseffect heeft inmiddels wel geleid tot een miljardenindustrie gericht op vermindering van CO₂ uitstoot door de mens. Voor wetenschappers en

politici² is dit een item waarmee veel geld en aandacht is gemoeid.

Terug naar het onderwijsonderzoek. Ook hier spelen dit soort discussies. Een recentelijk gevoerde discussie ging bijvoorbeeld over de effectiviteit van populaire onderwijs- en instructiemethoden, zoals probleemgestuurd onderwijs en ontdekkend leren. Aan de ene kant wordt gesteld dat deze methoden niet deugen omdat ze geen rekening houden met het cognitieve systeem van de lerenden en ze gebaseerd zijn op onjuiste intuïties. Ook de methodologie van de onderzoeken waaruit de effectiviteit van deze instructiemethoden blijkt zou tekort schieten³. Aan de andere kant zijn er de voorspelbare reacties op deze beweringen. Namelijk proberen duidelijk te maken dat de auteurs zaken over het hoofd hebben gezien, er wel degelijk positieve resultaten van gedegen studies zijn en dat de cognitivistische aanpak, die de auteurs voorstaan, wel in een laboratorium werkt, maar niet in de veel complexere praktijk⁴. Maar wat schieten wij eigenlijk op met dit soort discussies in termen van oplossingen? Alhoewel de hoop is dat een wetenschappelijke discussie leidt tot uitwisseling van ideeën en beter begrip van andermans standpunt, is het tegenovergestelde vaak de werkelijkheid. Onderzoekers nemen een nog rigidere houding aan ten aanzien van de eigen theorie, verharderen hun standpunten en sluiten zich meer en meer af voor signalen uit onderzoek en praktijk die niet consistent zijn met die theorie. De onderwijspraktijk kan vervolgens niet anders dan hierop te reageren door te zeggen dat die wetenschappers het zelf ook niet weten, de ene keer zeggen ze dit en de andere keer dat. Dit leidt ertoe dat onderwijsmakers en -geevenden hun eigen plan trekken en terugvallen op eerdere ervaringen en intuïtieve aanpakken. Het feit dat onderzoekers zich binnen hun eigen discipline afsluiten voor methoden, technieken en

bevindingen van anderen, biedt weinig hoop op een open houding naar andere disciplines. In die open houding tussen disciplines ligt in mijn ogen nu juist de winst voor het onderzoek naar leren en instructie.

In deze rede zal ik aan de hand van een aantal voorbeelden proberen te illustreren hoe interdisciplinariteit, dat is het gebruik van methoden, technieken en bevindingen uit andere disciplines⁵, het inzicht in de eigen resultaten kan verhelderen, kan leiden tot nieuwe onderzoeksvragen, kan leiden tot andere interpretaties van de eigen onderzoeksresultaten, kan leiden tot nuancering van conclusies, kan bijdragen aan theoretische vooruitgang en oplossing van problemen uit de praktijk en kan leiden tot meer vruchtbare en minder zwart-wit discussie. Ik zal dit doen aan de hand van een viertal voorbeelden. Achtereenvolgens zal ik bespreken hoe het onderzoek naar cognitieve belasting en leren, samenwerkend leren, levenlang leren en leren van animaties, een voorbeeld heeft genomen of kan nemen aan onderzoekstechnieken, -ideeën en -bevindingen uit, respectievelijk, (1) inspanningsfysiologisch onderzoek, (2) hersenonderzoek, (3) cognitief verouderingsonderzoek en (4) hersenonderzoek. Ik hoop dat ik u op basis van deze voorbeelden duidelijk kan maken dat de kans op creatieve oplossingen binnen een discipline aanzienlijk toe kan nemen door het 'nemen van een voorbeeld aan andere disciplines', dat wil zeggen door hun ideeën, methoden en technieken te imiteren.

Leren van Voorbeelden – Voorbeeldig Leren: Cognitieve Belasting Theorie

Nu zult u waarschijnlijk denken: 'Imiteren, dat is toch na-apen, mag dat in de wetenschap?'. Maar u moet zich realiseren dat imitatie de basis vormt van de meeste kennis en vaardigheden die mensen verwerven⁶. We leren meestal door na te doen wat anderen doen, door te luisteren naar wat anderen zeggen en door te lezen wat anderen opschrijven. In onze hersenen wordt deze informatie opgeslagen in het zogenoemde lange termijn geheugen in de vorm van cognitieve schema's. Hoewel deze schemaverwerving in principe streeft naar het maken van kopieën van de schema's van andere mensen, komt het zelden voor dat er een exacte kopie gemaakt wordt. Dat is onvermijdelijk omdat wij - door te kijken naar anderen, luisteren naar anderen en lezen wat anderen hebben geschreven - niet altijd de bedoelingen van de anderen kennen, of simpelweg bepaalde aspecten van handelingen niet goed waar kunnen nemen of over het hoofd zien. Door het kopiëren wordt dus alleen nieuwe kennis gevormd in de zin dat de kopieën niet exact zijn. Daarnaast, kijken en luisteren we gelukkig niet allemaal naar dezelfde personen en bepaalt de kennis die wij al bezitten hoe en welke nieuwe kennis opgeslagen wordt. Geheel nieuwe kennis wordt alleen gecreëerd als wij problemen moeten oplossen en niet kunnen terugvallen op de schema's van anderen of de schema's in ons lange termijn geheugen. De enige strategie die we in dat geval tot onze beschikking hebben, is het willekeurig uitproberen van oplosstappen en kijken hoe effectief zij zijn (i.e., trial-and-error strategie).

Het verwerken van informatie wordt uitgevoerd in ons werkgeheugen. In het geval van nieuwe informatie, kent het werkgeheugen grenzen qua capaciteit en tijd⁷. Zo kunnen mensen niet

meer dan ongeveer 7 informatie-elementen in hun werkgeheugen houden en zijn er aanwijzingen dat dit aantal nog afneemt wanneer de elementen niet alleen onthouden moeten worden, maar ook gecombineerd moeten worden. Daarom kost bijvoorbeeld het opslaan van een nieuw telefoonnummer in ons lange termijn geheugen behoorlijk veel moeite. Maar gelukkig werkt ons cognitieve systeem zodanig dat we zo'n telefoonnummer niet als losse informatie-elementen (cijfers) onthouden. In het lange termijn geheugen – na de nodige herhalingen – wordt het uiteindelijk opgeslagen als een onderdeel van een schema. Het werkgeheugen kan een reeds verworven schema als één informatie-element behandelen en schema's die zijn opgeslagen in het lange termijn geheugen kunnen zeer veel informatie-elementen bevatten. Schema's die zeer frequent op een consistente manier gebruikt worden, kunnen na verloop van tijd automatisch uitgevoerd worden en leggen dan geen beslag meer op de beperkte capaciteit van het werkgeheugen. Deze eigenschappen van ons cognitieve systeem stellen ons in staat om door zeer frequent en langdurig oefenen expert te worden op een bepaald gebied, dat wil zeggen om zeer complexe taken vrijwel moeiteloos uit te voeren.

Maar bij het verwerven van nieuwe informatie, is het werkgeheugen dus een struikelblok en instructie dient daar rekening mee te houden. Dat is de centrale stelling van de cognitieve belastingstheorie (CBT), die zich richt op de relaties tussen het werkgeheugen en het lange termijn geheugen en de effecten van deze relaties op leren en probleemoplossen^{8,9,10}. De theorie richt zich verder op een bepaald type kennis, dat binnen de evolutionaire onderwijspsychologie wordt aangeduid als biologische secundaire kennis^{6,11,12,13}. Het gaat daarbij om

kennis, zoals het leren van een tweede taal of het leren schrijven, waarvoor we niet geëvolueerd zijn om die eenvoudig te leren. Het leerproces van deze kennis kost moeite, is bewust en vindt plaats in het werkgeheugen. Daar tegenover staat de verwerving van biologisch primaire kennis, waarvoor we veel verder geëvolueerd zijn. Biologisch primaire kennis, zoals leren van een moedertaal en herkennen van gezichten, kan direct, zonder bewuste verwerking in het werkgeheugen worden opgeslagen in het lange termijn geheugen. Het zal u niet verbazen dat ons onderwijsstelsel is gericht op het leren van biologisch secundaire kennis. Volgens CBT moet bij de wijze waarop deze kennis wordt aangeboden aan de lerenden, rekening worden gehouden met de kenmerken van het werkgeheugen, het lange termijn geheugen en relaties tussen beide.

Het nemen van voorbeelden aan anderen speelt een belangrijke rol in CBT. Een groot deel van het CBT onderzoek heeft zich gericht op het tegengaan van de hoge ineffektieve cognitieve belasting die wordt opgelegd door de gangbare instructiemethoden. Deze methoden zijn gebaseerd op het intuïtieve idee van docenten dat het oplossen van problemen het beste geleerd kan worden door veel problemen op te lossen. Onder het motto 'oefening baart kunst' wordt vooral in de exacte vakken op deze manier gewerkt. CBT heeft echter op overtuigende wijze laten zien dat beginnende lerenden nauwelijks wijzer worden van het zelf oplossen van problemen^{9,10}. De reden daarvoor is dat zij nog geen schema's bezitten en daardoor niet anders kunnen dan gebruik te maken van een 'trial-and-error' strategie. Bij deze strategie laat de lerende zich bij iedere stap in het oplosproces leiden door het probleemdoel. Hoewel de lerende met deze strategie het probleem vaak wel kan oplossen, wordt

alle cognitieve capaciteit besteed aan het vergelijken van de afstand tussen een bepaalde stap in het oplosproces en het gewenste einddoel en wordt er daardoor nauwelijks geleerd, dat wil zeggen, de eerstvolgende keer dat een lerende een soortgelijk probleem moet oplossen, gaat het nog steeds moeizaam. CBT heeft allerlei instructiestrategieën bedacht die moeten voorkomen dat lerenden gebruik maken van deze strategie. Eén van de meest onderzochte strategieën is het aanbieden van uitgewerkte voorbeelden die door de lerende bestudeerd dienen te worden. Die voorbeelden presenteren meestal een ideale oplossing ('expert' oplossing – NB: zie volgende alinea).

Het is belangrijk om te constateren dat dit leren van voorbeelden vooral effectief is wanneer lerenden nog geen voorkennis hebben van een taak. Wanneer zij over enige voorkennis beschikken, hebben zij al (gedeeltelijke) schema's ontwikkeld voor het oplossen van een taak en zijn ze dus niet meer afhankelijk van 'trial-en-error' strategieën. Bij enige voorkennis, wordt dan ook het zelf aanvullen van stappen in gedeeltelijk uitgewerkte voorbeelden (zgn. completeerproblemen¹⁴) effectief en bij veel voorkennis wordt het leren door het zelf oplossen effectiever dan het leren door het bestuderen van voorbeelden (zgn. 'expertise reversal effect'¹⁵). Er wordt dus vaak gezegd dat leren van uitgewerkte voorbeelden alleen effectief is voor novieten. Echter, in het onderwijsveld wordt 'expertise' vaak opgevat als taakgebonden, terwijl in het veld van onderzoek naar expertise ontwikkeling, 'expertise' vaak wordt opgevat als domeingebonden. Dit zou kunnen betekenen dat leren van voorbeelden ook voor gevorderde lerenden in een domein effectief zou kunnen zijn, zolang ze nog heel weinig kennis hebben van de specifieke taak die

uitgevoerd moet worden. Daarnaast heeft de wijze waarop expertise gedefinieerd wordt ook consequenties voor het ontwikkelen van de inhoud van de uitgewerkte voorbeelden. Een echte expert in een domein zou zo'n taak namelijk op een heel andere manier oplossen dan iemand die expert is in de zin dat hij/zij net geleerd heeft hoe zo'n taak goed uitgevoerd wordt. Die eerste staat heel ver af van de kennisbasis van de lerende, terwijl die laatste veel dichterbij staat bij de manier waarop men leert zo'n taak uit te voeren (zoals de docent zou willen dat een lerende het probleem oplost) en zal dus effectiever zijn.

Tot op heden heeft dit onderzoek naar leren van uitgewerkte voorbeelden zich vooral gericht op het leren van cognitieve vaardigheden. Een belangrijke vraag voor toekomstig onderzoek is of deze strategie ook werkt bij het leren van zogenaamde hogere orde of metacognitieve vaardigheden. Voorbeelden van deze vaardigheden zijn het plannen van activiteiten, het reflecteren op eigen handelen, het beoordelen van de eigen prestatie en het selecteren van geschikte studietaken. Intuïtief gezien, ligt het bij dit soort vaardigheden, zoals 'zelfevaluatie', nog veel meer voor de hand om lerenden zelf aan de slag te laten gaan. Ik denk dat de meeste docenten en onderwijsonderzoekers hun wenkbrauwen zullen fronsen bij het idee dat men deze vaardigheden beter kan leren door bestudering van uitgewerkte voorbeelden, dus door te kijken naar anderen, te luisteren naar anderen en niet door zelf te doen. Om te bepalen hoe die voorbeelden er dan uit zouden moeten zien, moeten wij dus kijken naar anderen. Die anderen zijn bijvoorbeeld Grant en Spivey¹⁶, die keken naar de oogbewegingen van hun proefpersonen bij een bepaalde taak om vervolgens de oogbewegingen van de proefpersonen die het best presteerden te

gebruiken in een nieuwe studie om de aandacht van lerenden te leiden. Een andere veelbelovende strategie is terug te vinden in de studies van Van Gog en collega's^{17, 18, 19}, waarin informatie over het hoe en waarom van bepaalde oplosstappen aan uitgewerkte voorbeelden wordt toegevoegd. Deze 'hoe' en 'waarom' informatie wordt, onder andere, verzameld door lerenden met verschillende niveaus van expertise te laten vertellen hoe zij te werk gaan en door hun oogbewegingen te registreren om te kijken waar zij hun aandacht op richten^{20, 21}. Mogelijk zouden deze methoden ook voor voorbeelden die metacognitieve vaardigheden modelleren goed werken.

Inspanningsfysiologisch Onderzoek

als Model voor Onderzoek naar Cognitieve Belasting en Leren

CBT onderzoekers proberen dus instructiestrategieën – zoals bijvoorbeeld de zojuist genoemde uitgewerkte voorbeelden – te bedenken die rekening houden met de kenmerken van het werkgeheugen, het lange termijn geheugen en relaties tussen beide. De theorie maakt daarbij onderscheid in drie soorten belasting voor het werkgeheugen. Ten eerste, 'intrinsieke' belasting die bepaald wordt door de complexiteit van de taak, dat wil zeggen het aantal informatie-elementen en hun interacties. Ten tweede, 'extraneous' of ineffectieve belasting die ontstaat doordat de informatie op een verkeerde wijze wordt aangeboden en niet bijdraagt aan het leerproces. Ten derde, 'germane' of effectieve belasting die ontstaat door een wijze van aanbieden van informatie die effectief is voor het leerproces. Voor het ontwerpen van instructie betekent dat concreet dat de niet effectieve belasting zo laag mogelijk moet zijn en de

effectieve belasting zo hoog mogelijk. Daarbij mag de optelsom van intrinsieke, niet effectieve en effectieve belasting niet groter zijn dan de beschikbare cognitieve capaciteit. Omdat beginnende lerenden nog geen relevante schema's bezitten, wordt de beschikbare capaciteit bij hen vooral bepaald door de werkgeheugencapaciteit. Naarmate expertise toeneemt, wordt de beschikbare capaciteit steeds meer bepaald door de capaciteit van het lange termijn geheugen. Toen de theorie eind jaren 80 van de vorige eeuw door John Sweller ontwikkeld werd, was het gebruikelijk om de cognitieve belasting van een taak af te leiden uit de complexiteit van een taak. Op basis van een taakanalyse werden de informatie-elementen, hun interacties en het aantal stappen dat nodig was om tot de oplossing van een probleem te komen, in kaart gebracht. Al snel werd duidelijk dat deze taak-georiënteerde benadering niet voldeed omdat er geen rechtlijnig verband bleek te bestaan tussen de hoogte van de cognitieve belasting in termen van taakcomplexiteit en de mentale inspanning die een lerende moest leveren om een taak uit te voeren. Bijvoorbeeld, bij zeer complexe taken, bleken lerenden nauwelijks nog moeite te doen of mentale inspanning te leveren. Verder bleek dat bijvoorbeeld twee lerenden hetzelfde prestatieniveau konden bereiken, terwijl de één aangaf dat het zeer veel moeite had gekost en de ander dat het nauwelijks moeite had gekost. Om meer inzicht te krijgen in deze verschijnselen werd gekeken naar de inspanningsfysiologie, waar het al sinds het midden van de vorige eeuw gebruikelijk is om naast de prestatie van een atleet ook de geleverde inspanning gemeten. Hierbij maakt men gebruik van objectieve methoden, zoals het berekenen van het percentage van de maximale zuurstofopnamecapaciteit (%VO₂max) of het percentage van de maximale hartslag en subjectieve methoden,

zoals de Borgschaal^{22,23} (zie Figuur 1a). Op deze schaal dienen de proefpersonen aan te geven hoe zwaar zij een bepaald inspanningsniveau ervaren (rating of perceived exertion). De score op de schaal kent een rechtlijnig verband met fysiologische maten zoals de hartslag en zuurstofopname bij toenemende intensiteit van de inspanning.

Rating of Perceived Exertion (RPE)		Rating of Perceived Mental Effort	
6.	No exertion at all	Het oplossen/bestuderen van het voorafgaande probleem kostte mij:	
7.	Extremely light	1.	Zeer zeer weinig moeite
8.	Very light	2.	Zeer weinig moeite
9.	Light	3.	Weinig moeite
10.	Somewhat hard	4.	Tamelijk weinig moeite
11.	Hard (heavy)	5.	Niet weinig maar ook niet veel moeite
12.	Very hard	6.	Tamelijk veel moeite
13.	Extremely hard	7.	Veel moeite
14.	Maximal exertion	8.	Zeer veel moeite
15.		9.	Zeer zeer veel moeite
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			

a

b

Figuur 1a Fysieke inspanningsschaal (Borg, 1970) b Mentale inspanningsschaal (Paas, 1992)

Naar het voorbeeld van de Borgschaal is een meetinstrument ontwikkeld voor het meten van mentale inspanning (Figuur 1b^{14,24}). De schaal bleek goed bruikbaar en redelijk te voldoen aan de methodologische criteria van betrouwbaarheid en validiteit²⁵. CBT onderzoekers gebruiken de schaal om de effectiviteit van

instructiemethoden te vergelijken door vast te stellen hoeveel moeite lerenden zeggen te hebben moeten doen om een bepaalde taak met een bepaalde instructiemethode uit te voeren. Nadat de schaal enige tijd in gebruik was, werd duidelijk dat het combineren van mentale inspanningsscores met prestatiematen inzicht kon geven in de efficiëntie van de schema's die de proefpersonen als gevolg van de verschillende instructiecondities hadden verworven^{26, 27}.

De rekenkundige methode die vervolgens ontwikkeld werd om een dergelijke gecombineerde score te bepalen, kon gebruikt worden om instructiecondities te vergelijken in termen van kwaliteit van de verworven schema's, of om lerenden te vergelijken in termen van expertiseniveau (meer expertise betekent meer efficiënte schema's). De methode is gebaseerd op de aanname dat er sprake is van efficiënte schema's als er een hoge prestatie op een test werd bereikt terwijl weinig mentale inspanning nodig was om die test uit te voeren en niet efficiënte schema's als een lage testprestatie werd bereikt met veel benodigde mentale inspanning om deze test uit te voeren.

Concluderend kan gesteld worden dat CBT door imitatie van ideeën en technieken uit de inspanningsfysiologie vooruitgang heeft geboekt (of is geëvolueerd), doordat het centrale concept 'cognitieve belasting' meetbaar is gemaakt. Als spin-off (of misschien random mutatie) van die imitatieactiviteiten kon er een methode ontwikkeld worden om de efficiëntie van de verworven cognitieve schema's zichtbaar te maken. Daarmee is de theorie vooruit geholpen en zijn er nieuwe interessante vragen gerezen. Die vragen hebben onder andere betrekking op het meetbaar maken van de drie typen belasting. Met de huidige methode kunnen deze typen alleen onderscheiden worden door

in het experimenteel design slechts één type belasting te manipuleren. Daarnaast is het interessant om de relatie van mentale inspanning niet alleen vanuit een efficiëntieperspectief te bekijken, maar ook vanuit een motivatieperspectief²⁸. Aangenomen mag worden dat gemotiveerde lerenden bereid zijn om meer moeite te doen dan ongemotiveerde lerenden. De vraag is dan hoe de relatie tussen mentale inspanning en prestatie iets kan zeggen over de motivatie van de instructiemethoden of de lerenden.

Hersenonderzoek

als Model voor Onderzoek naar Samenwerkend Leren

Het onderzoek naar samenwerkend leren is een ander voorbeeld dat ik hier wil aanhalen. Ondanks het feit dat men op alle niveaus in het onderwijs gebruik maakt van samenwerkend leren, zowel in het traditionele onderwijs als in elektronische leeromgevingen, is de effectiviteit van dit onderwijstype nog steeds niet bewezen. Kijken we naar de resultaten van onderzoek, waarin de effectiviteit van samenwerkend en individueel leren wordt vergeleken, dan zien we tegenstrijdige uitkomsten^{29, 30}. Soms blijken individuen het beter te doen dan groepen en soms blijken groepen het beter te doen. Echter, maar al te vaak wordt in het onderzoek naar samenwerkend leren niet eens een test afgenomen, maar slechts op basis van het groepsleerproces geconcludeerd dat groepen beter presteren dan individueel lerenden. Als er al een test wordt afgenomen, gaat het meestal om een teamprestatie. Uit onderzoek blijkt dat deze prestatie vaak wordt bepaald door de sterkste schakel, dat wil zeggen dat de beste uit de groep bijna alles doet

en de minder goede groepsleden nauwelijks iets bijdragen en leren. De leerprestaties van de individuele groepsleden zouden beter tot uitdrukking komen bij een individuele test.

In de onderzoeken waarin de groep het beter lijkt te doen dan het individu, hebben de onderzoekers vaak extra maatregelen genomen om het samenwerkingsproces efficiënt te laten verlopen³¹. Een voorbeeld van een dergelijke extra maatregel is het van tevoren duidelijk aangeven hoe de groepen moeten samenwerken, bijvoorbeeld door de groepsleden een bepaalde rol te geven en duidelijk te maken welke interacties wel en welke niet zinvol zijn. Echter ook in die gevallen waarin groepen superieur zijn aan individuen, blijkt vaak dat als de prestaties van de individuele lerenden opgeteld worden, zij het beter doen dan de groep. De vraag is natuurlijk hoe dat kan.

Vaak wordt de vraag of er een noodzaak tot samenwerking bestaat niet gesteld of wordt deze noodzaak gezien in het feit dat mensen na hun studie in hun beroep ook moeten samenwerken. Maar een zeer belangrijke vraag is of het leren in samenwerking meerwaarde heeft, dat wil zeggen, tot beter leren leidt dan individueel leren. Nemen we deze keer een voorbeeld aan de sportwereld, dan is duidelijk dat bij sommige onderdelen samen meer bereikt kan worden dan alleen. Dat is vooral het geval bij sporten waarbij fysieke kracht en uithoudingsvermogen een rol spelen zoals bij de 4 x 100 meter estafette. Daarbij spelen fysiek uithoudingsvermogen en transactiekosten (gerelateerd aan de overdrachtsfase van het stokje) een belangrijke rol. Het zal duidelijk zijn dat in termen van fysiek uithoudingsvermogen, vier personen die ieder 100 meter lopen hier superieur zijn aan één persoon die diezelfde 400 meter moet lopen. In termen van transactiekosten, zullen de vier lopers

meer last ondervinden dan één loper die deze kosten niet heeft. Zo moet de loper die het stokje moet overnemen zeer goed timen om binnen een vak van 20 m op volle snelheid te komen, het stokje zonder snelheidsverlies over te nemen en binnen de eigen baan zien te blijven. De praktijk laat zien dat vier lopers een snellere eindtijd kunnen bereiken (wereldrecord: 37.40 s) dan 's werelds snelste 400 meter loper (wereldrecord: 43.18 s). De transactiekosten kunnen worden afgeleid uit het feit dat de eindtijd op de estafette niet simpelweg de optelsom is van de eindtijden die de vier lopers individueel op de 100 meter kunnen bereiken. Zou er een 2 x 100 meter estafette van 2 lopers bestaan, dan zou het nadeel van de transactie waarschijnlijk groter zijn dan het nadeel van het krachtsverlies dat bij één 200 meter loper optreedt en zal de laatste een snellere eindtijd kunnen bereiken dan de twee estafettelopers die een stokje moeten overdragen.

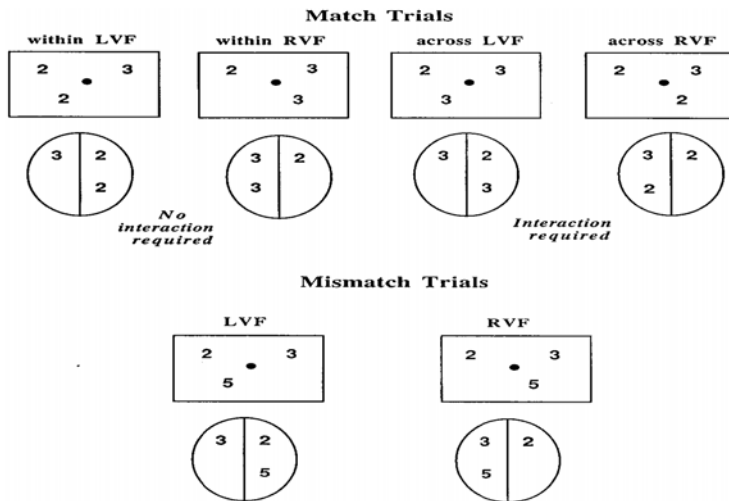
Wat betekent dit voorbeeld nu voor samenwerkend en individueel leren? In ieder geval leidt het tot de interactiehypothese dat bij eenvoudige leertaken samenwerking minder efficiënt zal zijn dan individueel leren omdat beide dezelfde prestatie zullen bereiken, maar de mentale inspanning die een individu moet leveren om de taak uit te voeren lager is dan de mentale inspanning die de groepsleden moeten leveren om de taak uit te voeren en de communicatie en coördinatie van kennis tussen de groepsleden te regelen (i.e., transactiekosten). Bij meer complexe taken zal een individu veel mentale inspanning moeten leveren en niet meer in staat zijn om dezelfde prestatie te bereiken als de groep. De groep wordt dan efficiënter omdat de verhouding tussen de geleverde prestatie en de daarvoor benodigde mentale inspanning (voor uitvoering taak plus transactiekosten) gunstiger wordt dan bij het

individu. De bevindingen van een recente literatuurstudie³⁰ lijken deze hypothese te ondersteunen: terwijl groepen beter presteren dan individuen bij complexe probleemoplostaken, presteren individuen beter dan groepen bij eenvoudige taken waarbij het gaat om het onthouden van zoveel mogelijk informatie.

Nemen we een voorbeeld aan weer anderen, dan kunnen we ook in de neuropsychologie ondersteuning vinden voor de interactiehypothese. Onderzoek naar de samenwerking tussen de beide hersenhelften, de zogenaamde interhemisferische interactie, van onder andere Banich en collega's^{32,33} maakt duidelijk dat eenvoudige taken efficiënter uitgevoerd worden wanneer ze unilateraal worden aangeboden aan één hersenhelft, terwijl complexe taken, waarbij informatie-elementen met elkaar in verband gebracht dienen te worden, beter uitgevoerd worden wanneer ze bilateraal, aan de twee hersenhelften worden aangeboden. Dit onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat verwerking van informatie binnen een hersenhelft (intrahemisferisch) minder efficiënt wordt dan interhemisferische verwerking bij toenemende taakcomplexiteit. Dit effect blijkt modaliteitsonafhankelijk te zijn, dat wil zeggen, dat het zowel voor visueel als auditief en tactiel aangeboden informatie geldt.

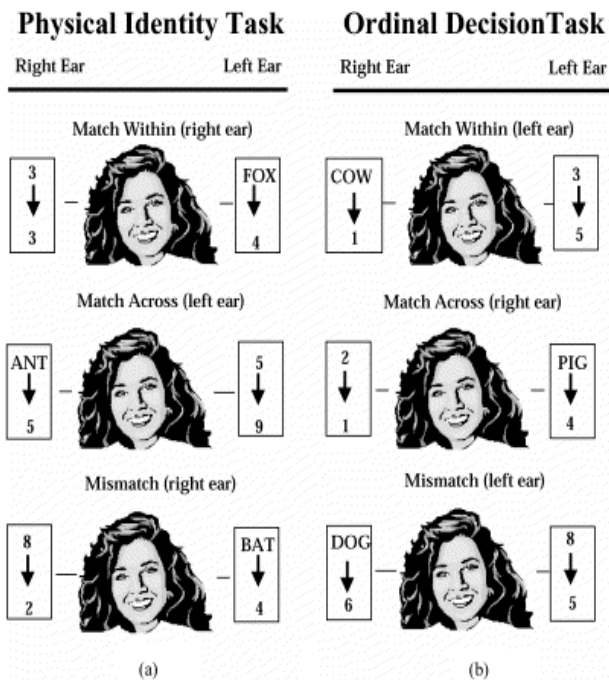
Figuur 2 laat voorbeelden zien van de verschillende typen visuele (Figuur 2a³²) en auditieve (Figuur 2b³³) trials die zijn gebruikt om de effecten van interhemisferische interactie op prestatie te onderzoeken. Net zoals wij een individu als onderdeel van een groep of systeem beschouwen, kunnen we een hersenhelft als onderdeel zien van het hersensysteem. Samenwerking van de hersenhelften gaat net als bij groepen gepaard met transactiekosten, waardoor de effecten van de relatie tussen taakcomplexiteit en de aanbieding van taken aan een of

twee hersenhelften op prestatie verklaard kunnen worden. Wat nu als taken zo complex zijn dat 2 hersenhelften onvoldoende capaciteit bieden? Zou het dan niet zinvol zijn om 3 of meer hersenhelften, dus meerdere personen, te gebruiken? Dan zitten we weer op het niveau van samenwerkend leren. Dit maakt duidelijk dat het relateren van de resultaten van het onderzoek naar samenwerkend leren met gedrags- en neuroimaging data bij kan dragen aan een beter begrip van en het genereren van testbare hypothesen over het ontwerp van leeromgevingen waarin samenwerkend leren centraal staat.



Figuur 2 a

Voorbeelden van visuele trials om de effecten van interhemisferische interactie op prestatie te onderzoeken. Bij 'match' trials, kwam het onderste doel overeen met één van de twee bovenste 'probes'. Bij 'mismatch' trials bestond die overeenkomst niet. Er waren twee typen match trials. In de ene (within RVF en within LVF trials), werden de twee overeenstemmende items gepresenteerd in hetzelfde visuele veld, waardoor geen interhemisferische interactie nodig was om een beslissing te nemen. In de andere (across RVF en across LVF trials), waren de overeenstemmende items gericht op andere visuele velden en was interhemisferische interactie noodzakelijk om tot de juiste beslissing te komen. Uit Banich (1998).



Figuur 2 b

Voorbeelden van auditieve trials om de effecten van interhemisferische interactie op prestatie te onderzoeken. De trials kunnen onderscheiden op basis van het oor waaraan ze werden gepresenteerd (i.e. bij linker oor trials werd het doel gepresenteerd aan het linker oor). Het doelgetal werd aan het begin van ieder trial samen met de naam van een dier gepresenteerd. Vervolgens werden twee 'probe' getallen gepresenteerd: a) trial typen voor een fysieke identiteitstaak, waarbij de deelnemers moesten beslissen of het doelgetal identiek was aan één van de twee probes; b) trial typen voor een ordinale beslissingstaak, waarbij de deelnemers moesten beslissen of het doelgetal kleiner van waarde was dan één van de twee probe getallen. Uit Passarotti et al. (2002).

Een voorbeeld van zo'n hypothese die onlangs experimenteel getoetst werd in één van OTEC's promotieprojecten³⁴, is dat bij het leren van complexe taken groepen efficiënter zullen presteren op testtaken die afwijken van de geoefende leertaken (i.e., transfer), terwijl individuen het beter zullen doen op testtaken die vrijwel identiek zijn aan de geoefende leertaken (i.e., retentie). Efficiënt betekent hier een gunstigere verhouding tussen prestatie en de benodigde mentale inspanning, de efficiëntie is

hoger bij een betere prestatie die met minder moeite bereikt kon worden. De hypothese kon in dit onderzoek bevestigd worden. Voor de individuen waren de leertaken zo complex dat ze slechts in staat waren om de informatie-elementen te onthouden. Daardoor waren hun cognitieve schema's concreter en waren zij wel in staat om de losse elementen te reproduceren in retentietaken, maar niet om ze te relateren in de transfertaken. Groepen bleken gericht op het relateren van informatie-elementen in de leertaken. Daardoor construeerden zij meer abstracte cognitieve schema's en waren beter in staat om 'nieuwe' taken uit te voeren.

In toekomstig onderzoek zou het interessant zijn om niveaus van taakcomplexiteit te bepalen waarbij samenwerkend leren effectiever en efficiënter wordt dan individueel leren. Bij dat onderzoek dient rekening te worden gehouden met belangrijke factoren die invloed hebben op taakcomplexiteit, zoals expertiseniveau (dezelfde taak is voor iemand met een hoger expertiseniveau minder complex dan iemand met een lager expertiseniveau) en leeftijd (zie verder bij cognitief verouderingsonderzoek).

Cognitief Verouderingsonderzoek

als Model voor Onderzoek naar Levenlang Leren

Ouder worden gaat gepaard met een gestage afname van cognitieve vermogens. Hoewel deze afname kan worden afgeremd door cognitief en fysiek actief te blijven³⁵ is het leervermogen van ouderen minder groot dan van jongeren. Eén van de belangrijkste kenmerken van normale veroudering is een afname van de snelheid waarmee cognitieve taken

worden uitgevoerd³⁶. Dit geldt voor zowel perceptuele taken als voor geheugen- en motorische taken. In de context van het vermogen om te leren is deze afname van snelheid een zeer belangrijk verschijnsel van cognitieve veroudering. Cognitieve snelheid bepaalt namelijk de gelijktijdige beschikbaarheid van informatie in het werkgeheugen omdat de duur van beschikbaarheid van deze informatie zeer kort is. Bij het lezen van een lange zin, bijvoorbeeld, is het belangrijk dat tegen de tijd dat het laatste woord van die zin gelezen wordt, eerder gelezen woorden niet al uit het werkgeheugen verdwenen zijn. Dat laatste is overigens een normaal verschijnsel: informatie in het werkgeheugen is onderhevig aan verval, tenzij deze opnieuw wordt geactiveerd. Om zoveel mogelijk relevante informatie tegelijkertijd actief te houden in het werkgeheugen is het belangrijk deze zo snel mogelijk te activeren, namelijk vóóordat eerder binnengekomen informatie is verdwenen. Het probleem is dat juist de snelheid waarmee ouderen in staat zijn informatie in het werkgeheugen te activeren achteruit lijkt te gaan. Hierdoor lopen zij voortdurend het risico om de essentie van die informatie te missen. Dit leidt vooral tot problemen bij het leren met behulp van de nieuwe vormen van Informatie en Communicatie Technologie die ook onderhevig zijn aan verval, zoals bij animaties en gesproken tekst.

Een andere groep cognitieve verouderingsverschijnselen heeft betrekking op cognitieve controle; het vermogen van het werkgeheugen om informatie te manipuleren. Voorbeelden daarvan zijn het vermogen tot het wisselen tussen taken, het verdelen van de aandacht en het integreren van informatie. Eén van de belangrijkste controle-mechanismen in het werkgeheugen is inhibitie. Inhibitie is het uifilteren van irrelevante informatie ten behoeve van relevante informatie.

Over het algemeen wordt aangenomen dat het vermogen tot inhibitie afneemt bij veroudering³⁷. Het gevolg is dat het werkgeheugen van ouderen voortdurend dreigt te worden overspoeld met irrelevante informatie, waardoor relevante informatie in sommige gevallen geen kans krijgt om verwerkt te worden.

Zoals we eerder hebben gezien, is CBT gericht op een efficiënt gebruik van het werkgeheugen door te voorkomen dat irrelevante informatie wordt aangeboden en stimuleren dat relevante informatie wordt aangeboden. Omdat ouderen veel meer dan jongeren problemen hebben met de efficiëntie van het werkgeheugen lijkt CBT naadloos aan te sluiten bij de eisen die het cognitieve systeem van ouderen stelt aan het ontwerpen van leermaterialen. Op basis daarvan zou verondersteld kunnen worden dat de instructiestrategieën die op basis van CBT ontwikkeld worden, bij oud volwassenen effectiever zijn dan bij jong volwassenen. Deze hypothese kon in verschillende studies bevestigd worden^{38, 39, 40}. Inmiddels is duidelijk dat ouderen nog meer profijt hebben van uitgewerkte voorbeelden, doelvrije voorbeelden en het gebruik van plaatjes met gesproken tekst, dan jongeren. Uiteraard is meer onderzoek gewenst.

Naast al deze problemen brengt ouderdom uiteraard ook veel goeds met zich mee. Taken waarbij men grotendeels kan varen op lange termijnkennis zullen relatief probleemloos worden uitgevoerd. Niet voor niets wordt ouderdom in verband gebracht met wijsheid, kennis en ervaring. Dit soort eigenschappen zal ouderen in bepaalde gevallen inderdaad in staat stellen om cognitieve deficiënties te compenseren. Vaak is compensatie door ervaring echter slechts in specifieke gevallen effectief, bijvoorbeeld in die gevallen waarin een taak zich binnen een

bepaald vakgebied afspeelt. Zodra men buiten het eigen vakgebied treedt, schiet kennis en ervaring tekort en is men aangewezen op een veelal verzwakt werkgeheugen.

Een recent onderzoek van Kim, Hasher, en Zacks⁴¹ kan illustreren hoe het nemen van een voorbeeld aan cognitief verouderingsonderzoek zou kunnen leiden tot een nieuw perspectief op het ontwerpen van elektronische leeromgevingen voor ouderen. Van ouderen is bekend dat zij, veel meer dan jongeren, worden beïnvloed door afleidende informatie. Omdat ook de werkgeheugencapaciteit van ouderen verminderd is, kan dit extra problemen opleveren bij leermaterialen waarin ook irrelevante informatie aanwezig is. Degenen onder u die wel eens naar websites met leermaterialen hebben gekeken, weten dat daar niet alleen relevante informatie te zien is, maar ook veel 'toeters en bellen', dus informatie die dient om de materialen visueel aantrekkelijker te maken, maar niet relevant is voor het leerproces. Vanuit CBT weten we dat dit de prestaties van beginnende lerenden negatief beïnvloedt. Bij ouderen is dit nog veel meer het geval. De standaardoplossing van CBT bestaat uit het weglaten van de afleidende irrelevante informatie. Onderzoek laat ook zien dat dit tot betere leerresultaten leidt. Echter, in plaats van het beschouwen van het onvermogen om afleidende informatie te negeren of te zien als iets negatiefs, zou je het mogelijk zijn om dit ook op een positieve manier te gebruiken. Deze creatieve gedachte is terug te vinden in het onderzoek van Kim et al.⁴¹ die bedachten dat het nadeel dat ouderen hebben met het negeren van afleidende informatie mogelijk ook in hun voordeel kan worden gebruikt. Zij lieten ouderen en jongeren tekstpassages lezen waarin afleidende woorden werden aangeboden. De instructie was om de afleidende

woorden te negeren. Jongeren kunnen dat beter dan ouderen. Enkele van de afleidende woorden uit de eerste taak dienden vervolgens als oplossingen van een volgende set van problemen waarbij drie zwak gerelateerde woorden aan elkaar gerelateerd kunnen worden door het ophalen van een ontbrekend vierde woord. Ouderen presteerden nu een stuk beter dan jongeren omdat ze beter in staat waren zich de afleidende woorden te herinneren.

Dergelijke bevindingen zouden tot belangrijke ontwerprichtlijnen voor elektronisch afstandsonderwijs kunnen leiden, zeker in het kader van 'leven lang leren'. In dit onderwijs is het vaak onvermijdelijk om informatie op te nemen die niet voor iedereen op hetzelfde moment relevant is, vooral als er – zoals aan de OUNL – sprake is van grote leeftijdsverschillen in de studentenpopulatie. Maar onderwijsontwerpers zouden daar rekening mee kunnen houden en kunnen nagaan hoe deze informatie op een later moment nuttig ingezet kan worden, bijvoorbeeld om naar eerdere relevante informatie te refereren.

Hersenonderzoek

als Model voor Onderzoek naar Effectiviteit van Animaties

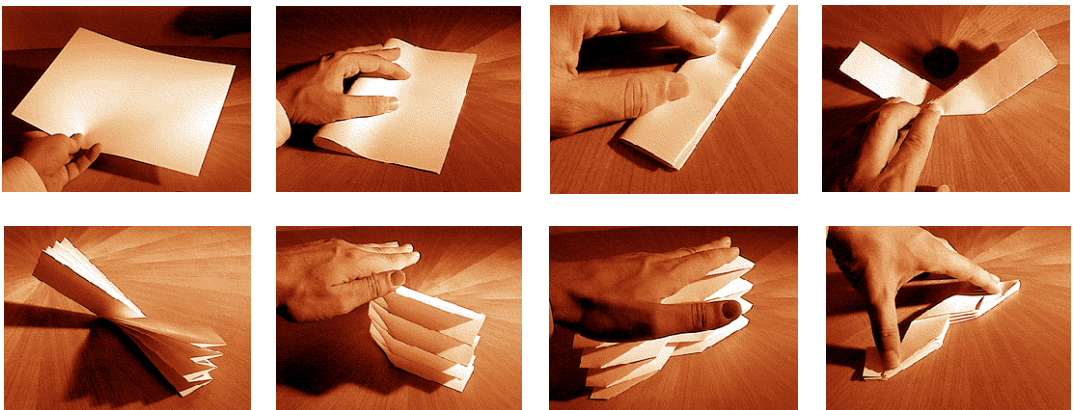
Een ander gebied dat ik hier wil bespreken heeft te maken met het leren aan de hand van dynamische en statische visualisaties. Statische visualisaties zijn stilstaande beelden, zoals plaatjes in boeken, dynamische visualisaties kunnen bestaan uit bewegende beelden zoals in film, video en animaties. In het onderwijs wordt veelvuldig gebruik gemaakt van animaties en deze techniek wint nog steeds aan populariteit. Dat komt vooral door het op de markt komen van steeds krachtiger computers die prachtige bewegende realistische beelden in verschillende dimensies kunnen laten zien en de ontwikkeling van betere software en betere uitlevermethoden naar de mensen thuis. Het idee van onderwijsmakers en –gevendens, maar ook van onderwijsonderzoekers is dat dynamische visualisatie het ideale medium is om studenten te laten leren over dynamische processen, zoals wij die bijvoorbeeld kunnen vinden in de natuurkunde (bijv., ontstaan van bliksem), aardrijkskunde (bijv., ontstaan aardbeving) en biologie (bijv., werking van het hart). Ook onderzoekers stellen op basis van taakanalyses dat dynamische visualisaties tot betere leerresultaten zouden moeten leiden dan statische visualisaties. Leren van animaties zou minder mentale inspanning vereisen omdat de lerende door het maken van een ‘mentale kopie’ van het proces het gewenste ‘dynamische’ mentale model kan verwerven. Leren berust in dit geval op het vermogen om de temporele veranderingen waar te nemen. Stilstaande plaatjes, daarentegen, zouden meer inspanning van de lerende vereisen omdat de lerende zelf een ‘dynamisch’ mentaal model door een proces van mentale animatie van de

veranderingen in de tijd moet afleiden uit de statische onderdelen. Leren berust in dit geval op het afleiden van de temporele veranderingen^{42, 43, 44}. Echter, als we kijken naar de uitkomsten van onderzoek waarin de leereffecten van statische en dynamische visualisaties worden vergeleken, zien we geen eenduidig beeld. Een reviewstudie van Tversky, Morrison en Betrancourt⁴⁵ bevestigt dit beeld. Hoe komt het dat lerenden niet meer en vaak zelfs minder leren van animaties dan van stilstaande plaatjes? Een analyse van dynamische visualisaties op basis van CBT kan dit duidelijk maken^{46, 47, 48}.

Eén van de belangrijkste kenmerken van animaties is het feit dat de gepresenteerde informatie aan verval onderhevig of vluchtig is. Zoals eerder besproken in de sectie over cognitieve veroudering, kan dit tot problemen leiden in de verwerking van de informatie. Voor beginnende lerenden moet de verwerking via het werkgeheugen verlopen, dat beperkt is qua capaciteit en duur van verwerking. Door de vluchtigheid van de informatie is het leerproces afhankelijk van het gelijktijdig onthouden van informatie die naar alle waarschijnlijkheid alweer verdwenen is, het verwerken van nieuwe informatie die op een bepaald moment aanwezig is en het leggen van verbanden tussen deze informatie om de animatie te kunnen begrijpen. Informatie in het werkgeheugen moet herhaald worden om opgeslagen te kunnen worden in het lange termijn geheugen. Als een nieuw informatie-element verschijnt terwijl het vorige element nog niet in het lange termijn geheugen is opgeslagen, kan er interferentie optreden en het leerproces verstoord worden. Statische plaatjes kennen deze problemen niet omdat de informatie aanwezig blijft en de lerende de informatie meermaals kan bekijken. Bovendien wordt verondersteld dat het mentale

animatieproces, dat nodig is om informatie over temporele veranderingen af te leiden, een effectieve cognitieve belasting oplegt. Een ander probleem met animaties is dat bewegende objecten automatisch de aandacht van de lerende trekken. In animaties hoeft die beweging echter niet noodzakelijkerwijs ook de thematisch relevante informatie te zijn⁴⁹.

Op basis van deze analyse zijn verschillende experimenten uitgevoerd, waarbij werd getracht het continue karakter van de animatie te controleren door bijvoorbeeld de lerende controle te geven over het tempo van de animatie^{50, 51}, door de animatie te segmenteren, dat wil zeggen op te delen in kleinere eenheden^{52, 53, 54} en door de aandacht van de lerende te richten op de relevante aspecten in de animatie^{52, 53, 55}. Al deze studies lieten zien dat met de extra maatregelen, animaties tot betere leerresultaten leidden dan statische plaatjes.



Figuur 3

Voorbeeld van een statische visualisatie van een papiervouwtaak. Wong en collega's (2007) lieten zien dat de dynamische versie (animatie) van een soortgelijke taak tot betere leerprestaties leidde dan de statische versie.

Animaties waarbij extra maatregelen genomen worden om hun potentiële tekortkomingen te compenseren, kunnen dus effectiever zijn dan statische plaatjes. Maar er komen steeds meer aanwijzingen dat er ook een soort animatie bestaat die zonder dit soort maatregelen effectiever is dan statische plaatjes. Deze aanwijzingen zijn gebaseerd op onderzoek van John Sweller en collega's⁵⁶, waaruit bleek dat er meer geleerd wordt van animaties dan van statische plaatjes bij papiervouwtaken waarbij het waarnemen van menselijke beweging een rol speelt (zie Figuur 3). Deze resultaten suggereren dat het waarnemen van menselijke handbeweging een ander soort werkgeheugen activeert, waardoor de animatie mogelijk beter te begrijpen is dan de statische plaatjes. Onderzoek in de neurowetenschappen heeft inderdaad laten zien dat een dergelijk systeem bestaat, het zogenaamde spiegelneuronensysteem. Dit systeem, dat rond 1992 bij toeval door Rizzolatti en Gallese van de universiteit van Parma werd ontdekt bij apen, zorgt ervoor dat als we kijken naar wat een ander doet, in onze hersenen dezelfde neuronen actief worden als bij degene die de handelingen uitvoert⁵⁷. Zij bestudeerden de hersenen van apen die kleine en grote voorwerpen oppakten en ontdekten dat een deel van de neuronen ook actief was als de apen zelf niets deden, maar alleen toekeken als de onderzoekers de apen voordeden wat er van ze werd verwacht. Neurologisch gezien lijken uitvoeren van een handeling en ernaar kijken hetzelfde. Wij merken soms hetzelfde als wij kijken naar een voetbalwedstrijd en wij – bij een voorzet – als verdediger onze voet uitsteken terwijl wij gewoon op de bank zitten. Gedacht wordt dat dit systeem zich in de evolutie heeft ontwikkeld zodat we anderen kunnen imiteren en begrijpen wat anderen doen en voelen⁵⁸. In die zin kan het

observeren, imiteren en interpreteren van menselijke beweging door CBT als biologisch primaire kennis worden beschouwd.

Een mogelijke verklaring voor de superioriteit van dynamische visualisaties bij cognitieve taken met een menselijke bewegingscomponent kan liggen in de automatische activatie van het spiegelneuronensysteem. Automatische activatie betekent dat het werkgeheugen niet wordt belast, waardoor alle capaciteit gebruikt kan worden voor het begrijpen van de biologisch secundaire informatie, namelijk het gepresenteerde proces. De hoge cognitieve belasting die wordt opgelegd door de vluchtigheid van informatie in dynamische visualisaties kan verlaagd worden als menselijke beweging wordt waargenomen en er geleerd kan worden omdat deze beweging het spiegelneuronensysteem activeert. Een speurtocht in de bestaande onderzoeksliteratuur over het leren van statische en dynamische visualisaties suggereert dat bij taken waar sprake was van een menselijke bewegingscomponent, dynamische visualisaties het beter deden dan statische visualisaties^{59,60}. De taken die in deze studies⁶¹ werden gebruikt bestonden onder andere uit het leren uit elkaar halen en in elkaar zetten van een wapen door militairen en het leren maken van knopen door matrozen. De recente studies van Wong en collega's⁵⁶ met papiervouwtaken laten consistent zien dat studenten meer leren van animaties dan van stilstaande beelden. Meer onderzoek met taken die aan het menselijke bewegingscriterium voldoen, zoals het leren van chirurgische taken, zal duidelijk moeten maken of we hier te maken hebben met een bevinding uit de neurowetenschappen met echte implicaties voor het onderwijs met animaties.

Tot slot

In deze rede heb ik duidelijk proberen te maken dat het nemen van een voorbeeld aan andere disciplines dan de eigen, nieuwe impulsen kan geven aan het onderzoek naar leren en instructie. De gepresenteerde voorbeelden vormen slechts een selectie die ik in de loop der jaren heb gemaakt uit een ongetwijfeld groter scala aan mogelijke voorbeelden. Hoewel die voorbeelden aanwezig zijn in onze wereld, vereist het signaleren ervan een zekere openheid en ontvankelijkheid voor wat anderen doen. Buiten de eigen discipline kijken lijkt eenvoudiger omdat er geen sprake is van een directe bedreiging. Maar, een interdisciplinaire benadering van onderzoek kost meer tijd en moeite dan onderzoek binnen de eigen discipline. Als onderzoeker moet je extra moeite doen om ook op de hoogte te blijven van ontwikkelingen in onderzoek in andere disciplines en alert te zijn op betekenisvolle aspecten in dat onderzoek. Het grote voordeel van een interdisciplinair perspectief is dat het eerder zal leiden tot originele en bruikbare bijdragen aan het eigen onderzoek en aan de praktijk, dus tot echte innovaties. Ik heb in deze rede ook proberen duidelijk te maken dat het imiteren van methoden en technieken uit andere disciplines niet in negatieve zin als na-apen moet worden beschouwd, maar als 'innoveren en leren door imiteren'.

Dankwoord

Mijnheer de rector, dames en heren, aan het eind gekomen van deze rede wil ik graag een dankwoord uitspreken. Allereerst bedank ik de colleges van bestuur van de Open Universiteit Nederland en de Erasmus Universiteit Rotterdam alsmede degenen die zich binnen het Onderwijstechnologisch Expertisecentrum en het Instituut voor Psychologie hebben ingezet voor mijn benoeming, voor het in mij gestelde vertrouwen.

Ik dank Marina Pongraz voor de geweldige ondersteuning bij de voorbereiding van deze dag, Jeroen Berkhout voor de vormgeving van alle materialen en Tamara van Gog, Femke Kirschner, Paul Kirschner en Jeroen van Merriënboer voor het becommentariëren van eerdere versies van deze rede.

Dat ik hier vandaag sta heb ik te danken aan de volgende mensen die ...

mij op cruciale momenten in mijn leven de vrijheid gaven die ik zo hard nodig heb: Jos Adam, Sanne Dijkstra, Jeroen van Merriënboer, Henk Schmidt, Juliette, mijn moeder en Adri.

mij uitdagen en inspireren: John Sweller, Jeroen van Merriënboer, Paul Kirschner en de promovendi die mij in mijn rol als dagelijks begeleider of promotor, alle uithoeken van mijn eigen discipline hebben laten zien: Gerard van den Boom, Pascal van Gerven, Tamara van Gog, Bert Hoogveld, Hans Hummel, Femke Kirschner, Björn de Koning, Danny Kostons, Ron Salden, Ad Schellekens en Pieter Wouters.

mij laten delen in de visie dat onderzoek doen een superleuk vak is dat je niet te serieus moet nemen: Tamara van Gog, Femke Kirschner, Remy Rikers en Sofie Loyens.

mij al heel lang de mooie kanten van het leven naast mijn werk laten zien: Juliette, Steven, Jesse en Lisa. Zij zien dagelijks dat mijn werk mijn uit de hand gelopen hobby is. Dat wordt duidelijk als ik aan Steven en Jesse vraag wat ze later willen worden. Hun antwoord luidt steevast “dat weet ik niet hoor, in ieder geval géén professor zoals jij”. Nou, zij hoeven dus niet meer overtuigd te worden; zij nemen al een voorbeeld aan anderen.

Dank voor uw aandacht.

Ik heb gezegd.

Referenties

- ¹ Durkin, M. (Executive Producer). (2007, March 8). The great global warming swindle. United Kingdom: Channel 4.
- ² Guggenheim, D. (Executive Producer). (2006, May 24). An inconvenient truth. USA: Paramount classics.
- ³ Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist, 41*, 75-86.
- ⁴ Schmidt, H. G., Loyens, S., Van Gog, T., & Paas, F. (2007). Problem-based learning is compatible with human cognitive architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist, 42*, 91-97.
- ⁵ Locker, K. O. (1994). The challenge of interdisciplinary research. *Journal of Business Communication, 31*, 137-151.
- ⁶ Sweller, J., & Sweller, S. (2006). Natural information processing systems. *Evolutionary Psychology, 4*, 434-458.
- ⁷ Cowan, N. (2000). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences, 24*, 87-114.
- ⁸ Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist, 38*, 1-4.
- ⁹ Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*, 251-296.
- ¹⁰ Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review, 17*, 147-177.
- ¹¹ Geary, D. (2002). Principles of evolutionary educational psychology. *Learning and Individual Differences, 12*, 317-345.
- ¹² Geary, D. (2005). *The Origin of Mind: Evolution of Brain, Cognition, and General Intelligence*. Washington, DC: American Psychological Association.

- ¹³ Geary, D. (in druk). Educating the evolved mind: Conceptual foundations for an evolutionary educational psychology. In J. S. Carlson and J. R. Levin (Eds.), *Psychological Perspectives on Contemporary Educational Issues*. Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- ¹⁴ Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, *84*, 429-434.
- ¹⁵ Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, *38*, 23-31.
- ¹⁶ Grant, E. R., & Spivey, M. J. (2003). Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science* *14*, 462–466.
- ¹⁷ Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2005). Uncovering expertise-related differences in troubleshooting performance: Combining eye movement and concurrent verbal protocol data. *Applied Cognitive Psychology*, *19*, 205-221.
- ¹⁸ Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2006). Effects of process-oriented worked examples on troubleshooting transfer performance. *Learning and Instruction*, *16*, 154-164.
- ¹⁹ Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (in druk). Effects of studying sequences of process-oriented and product-oriented worked examples on troubleshooting transfer efficiency. *Learning and Instruction*.
- ²⁰ Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2005). Uncovering expertise-related differences in troubleshooting performance: Combining eye movement and concurrent verbal protocol data. *Applied Cognitive Psychology*, *19*, 205-221.
- ²¹ Van Gog, T., Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G., & Witte, P. (2005). Uncovering the problem-solving process: Cued retrospective reporting versus concurrent and retrospective reporting. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *11*, 237-244.
- ²² Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, *2*, 92-8.
- ²³ Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Stockholm: Human Kinetics.
- ²⁴ Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, *38*, 63-71.
- ²⁵ Paas, F., Van Merriënboer J. J. G., & Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, *79*, 419-430.

- ²⁶ Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors*, *35*, 737-743.
- ²⁷ Van Gog, T., & Paas, F. (in druk). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*.
- ²⁸ Paas, F., Tuovinen, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology, Research & Development*, *53*, 25-33.
- ²⁹ Kester, L., & Paas, F. (2005). Instructional interventions to enhance collaboration in powerful learning environments. *Computers in Human Behavior*, *21*, 689-696.
- ³⁰ Kirscher, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2007a). A cognitive load approach to the effectiveness of collaborative learning. Artikel in voorbereiding.
- ³¹ Morgan, R. L., Whorton, J. E., & Gunsalus, C. (2000). A comparison of short-term and longterm retention: Lecture combined with discussion versus cooperative learning. *Journal of Instructional Psychology*, *27*, 53-58.
- ³² Banich, M. T. (1998). The missing link: The role of interhemispheric interaction in attentional processing. *Brain and Cognition*, *36*, 128-157.
- ³³ Passarotti, A. M., Banich, M. T., Sood, R. K., & Wang, J. M. (2002). A generalized role of interhemispheric interaction under attentionally demanding conditions: evidence from the auditory and tactile modality. *Neuropsychologia*, *40*, 1082-1096.
- ³⁴ Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2007b). *Effects of individual and group-based learning from complex cognitive tasks on efficiency of retention and transfer performance*. Aangeboden ter publicatie.
- ³⁵ Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A., Colcombe, A. (1999). Aging, fitness, and neurocognitive function. *Nature*, *400*, 418-419
- ³⁶ Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*, 403-428.

- ³⁷ Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2006). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. Conway, C. Jarrold, M. Kane, A. Miyake, & J. Towse (Eds.), *Variation in working memory*. Oxford University Press.
- ³⁸ Paas, F., Camp, G., & Rikers, R. (2001). Instructional compensation for age-related cognitive declines: Effects of goal specificity in maze learning. *Journal of Educational Psychology, 93*, 181-186.
- ³⁹ Van Gerven, P. W. M., Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G., & Schmidt, H. G. (2002). Cognitive load theory and aging: Effects of worked examples on training efficiency. *Learning and Instruction, 38*, 87-107.
- ⁴⁰ Van Gerven, P. W. M., Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G., & Schmidt, H. G. (2006). Modality and variability as factors in training the elderly. *Applied Cognitive Psychology, 20*, 311-320.
- ⁴¹ Kim, S., Hasher, L., & Zacks, R. (in druk). Aging and a benefit of distractability. *Psychonomic Bulletin & Review*.
- ⁴² Hegarty, M., Kriz, S., & Cate, C. (2003). The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition and Instruction, 21*, 325-360.
- ⁴³ Mayer, R. E. (Ed.). (2005). *Cambridge handbook of multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- ⁴⁴ Schnotz, W., & Lowe, R. (Eds.) (2003). External and internal representations in multimedia learning [special issue]. *Learning and Instruction, 13*(2).
- ⁴⁵ Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies, 57*, 247-262.
- ⁴⁶ Ayres, P., & Paas, F. (Eds.) (2007a). A cognitive-load approach to the learning effectiveness of instructional animations [Special issue]. *Applied Cognitive Psychology, 21*.
- ⁴⁷ Ayres, P., & Paas, F. (2007b). Making instructional animations more effective: A cognitive load approach. *Applied Cognitive Psychology, 21*, 695-700.
- ⁴⁸ Ayres, P., & Paas, F. (2007c). Can the cognitive-load approach make instructional animations more effective? *Applied Cognitive Psychology, 21*, 811-820.
- ⁴⁹ Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education, 14*, 225-244.
- ⁵⁰ Cohen, C. A., & Hegarty, M. (2007). Individual differences in use of external visualizations to perform an internal visualization task. *Applied Cognitive*

Psychology, 21, 701-711.

- ⁵¹ Hasler, B. S., Kersten, B., & Sweller, J. (2007). Learner control, cognitive load and instructional animation. *Applied Cognitive Psychology, 21, 713-729.*
- ⁵² Lusk, M. M., & Atkinson, R. K. (2007). Animated pedagogical agents: Does their degree of embodiment impact learning from static or animated worked examples? *Applied Cognitive Psychology, 21, 747-764.*
- ⁵³ Moreno, R. (2007). Optimizing learning from animations by minimizing cognitive load: Cognitive and affective consequences of signaling and segmentation methods. *Applied Cognitive Psychology, 21, 765-781.*
- ⁵⁴ Paas, F., Van Gerven, P., & Wouters, P. (2007). Instructional efficiency of animation: Effects of interactivity through mental reconstruction of static key frames. *Applied Cognitive Psychology, 21, 783-793.*
- ⁵⁵ De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2007) Attention cueing as a means to enhance learning from an animation. *Applied Cognitive Psychology, 21, 731-746.*
- ⁵⁶ Wong, A., Marcus, N., Ayres, P., Smith, L., Cooper, G. A., Paas, F., & Sweller, J. (2007). Instructional animations can foster motor skills. Aangeboden ter publicatie.
- ⁵⁷ Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research, 91, 176-180.*
- ⁵⁸ Iacoboni, M., Woods, R., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science, 286, 2526-2528.*
- ⁵⁹ Paas, F., Van Gog, T., & Sweller, J. (2007). *A neurocognitive explanation for the (in)effectiveness of learning from dynamic versus static visualizations.* Aangeboden ter publicatie.
- ⁶⁰ Van Gog, T., Paas, F., Ayres, P., Marcus, N., & Sweller, J. (in voorbereiding). *Effectiveness of learning from dynamic versus static visualizations: A review.*
- ⁶¹ Wetzell, D. C., Radtke, P. H., & Stern, H. W. (1994). *Instructional effectiveness of video media.* Hillsdale/Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.