

Karakteristieken van het Eindhovense computer-ondersteund onderwijssysteem

IR. E. J. W. M. VAN HEES

Onderwijs Research Centrum, Katholieke Hogeschool te Tilburg

Inleiding

Aan de Technische Hogeschool Eindhoven is in de periode van mei 1973 tot mei 1975 een geautomatiseerd systeem voor ondersteuning van geïndividualiseerd onderwijs ontwikkeld. Dergelijke systemen worden in het algemeen aangeduid met de naam Computer Managed Instruction (CMI), dit in tegenstelling tot z.g. Computer Assisted Instruction (CAI) of computer gestuurde onderwijssystemen (zie het artikel van B. Camstra 'Computer Gestuurd Onderwijs: Onderzoek in Nederland' in Pedagogische Studiën 1973, 10. In een CAI-systeem krijgt elke leerling individueel onderwijs aan een computer-terminal. Al het instruktie-materiaal is in de computer of randapparatuur opgeslagen. Het CAI-systeem toetst de voortgang van de leerling en geeft hierover terugkoppeling aan de leerling, zoekt de gewenste volgende instructieblokken, meestal op grond van de resultaten van de leerling in de vorige blokken, houdt de gegevens van de leerlingen bij en verzorgt een of andere vorm van cursus-evaluatie. In een CMI-systeem is geen instructie-materiaal opgenomen. Een CMI-systeem verzorgt in het algemeen dezelfde functies als een CAI-systeem, de instructie of studie vindt echter buiten het systeem plaats. De leerlingen worden getoetst over grotere blokken en op grond van de resultaten wordt de leerling verwezen naar studiemateriaal buiten het systeem.

In dit artikel wordt nader ingegaan op de achtergronden en de karakteristieken van het Eindhovense CMI-systeem. Het artikel is vooral bedoeld om geïnteresseerde docenten een indruk te geven van de mogelijkheden van het systeem, en waarom het zo gebouwd is, en om systeemanalisten een indruk te geven van de mogelijkheden en van de factoren die bij de keuzes uit die mogelijkheden een rol spelen.

1. Onderwijskundige achtergronden; de systeem-benadering in het onderwijs en individualisering

Serieuze pogingen voor een ingrijpende vernieuwing

van het onderwijs kunnen het best plaats vinden op grond van een systeembenadering. Voor een nederlandstalige verhandeling over de onderwijssysteem-benadering verwijzen wij naar Meuwese (1971).

Het belangrijkste kenmerk van de systeembenadering is de systematische, iteratieve ontwikkeling. De eerste fase daarvan bestaat hoofdzakelijk uit:

- vaststellen van de doelgroep
 - formuleren van de onderwijsdoelen
 - vaststellen van de criteria waaraan de leerlingen tenslotte moeten voldoen
 - analyseren van de benodigde leerstof
 - kiezen van methoden en media
 - opzetten van een toetsings- en controlesysteem.
- Na deze eerste fase volgt de optimalisering van het systeem in een kringproces van uitvoering, evaluatie en verbetering van de systeemdelen.

Carter (1966) verrichtte een aantal studies om verschillende vormen van onderwijsprogrammering met elkaar te vergelijken. Hij konkludeerde hieruit dat hoewel er wel verschillen in hoeveelheid verworven kennis en benodigde studietijd optreden, er over het geheel van de onderzoeken geen aanwijzingen te vinden zijn dat de ene methode beter is dan de andere. Dubin en Taveggia (1968) analyseerden 91 onderzoekverslagen en vergeleken op grond daarvan de meest voorkomende onderwijsmethoden met elkaar: zelfstudie met hoorkollege, discussiegroep met zelfstudie, discussiegroep met hoorkollege etc. De eindkonklusie hiervan was dat in het algemeen geen enkele methode is te verkiezen boven de andere, indien ze worden vergeleken op de prestaties van studenten op de eindtoets. Een groot deel van het leerresultaat ligt waarschijnlijk bij de student en niet in de methode van aanbieden van de leerstof. Voor een nederlandstalige bespreking van deze studie zie Vaags (1973). Carter, die zich vooral op schriftelijk studiemateriaal baseerde, konkludeerde verder nog dat de belangrijkste determinant van effectief leren was de 'kwaliteit' van het gebruikte instruktie-materiaal, en dat het materiaal gewoonlijk minder effectief bleek te zijn als het niet tot stand was gekomen met een 'Engineering approach', zoals

de hiervoor beschreven iteratieve onderwijssysteem benadering.

Uit deze en andere vergelijkende studies mag worden gekonkludeerd dat niet één methode de beste is voor alle onderwijsdoelen, voor alle leerlingen en alle docenten. De beste methode is een functie van elk van deze variabelen. Wel van algemeen belang, zowel voor de ontwikkeling van effectief studiemateriaal als voor de keuze van de instructiemethode, is een goed ontwikkeld onderwijssysteem, met ingebouwde evaluatie en bijsturingprocedure.

Tot nu toe is de leerling nog nauwelijks ter sprake geweest. Uit de leerpsychologie zijn een aantal aanwijzingen te vinden voor het inrichten van het onderwijs, die we kortheidshalve als volgt samenvatten:

- De leerlingen verschillen in leersnelheid, wijze van informatieverwerking, interesses en studiemethoden. Daarom zou het onderwijs zoveel mogelijk moeten worden aangepast aan de individuele leerling.

- De leerlingen moeten regelmatig informatie krijgen over hun vorderingen t.o.v. de onderwijsdoelen (terugkoppeling), enerzijds om richting te geven aan het leren en anderzijds om het leerresultaat te versterken.

- De leerling moet weten wat van hem verwacht wordt (eenduidige doelstellingen) en de leertaken moeten overzienbaar en goed gestructureerd zijn. Eenduidige doelstellingen en goede structurering zijn bovendien nodig om de leerling terugkoppeling te kunnen geven.

Deze aanwijzingen vragen om onderwijssystemen waarin veel aandacht gegeven wordt aan de individuele leerling. Vaak wordt de oplossing gezien in onderwijs geven in kleine groepen. Nog afgezien van het feit dat dit zeer arbeidsintensief is, zit hieraan het probleem dat het lesgeven aan kleinere aantallen leerlingen, dus meer individueel, nog niet noodzakelijkerwijs geïndividualiseerd is, d.w.z. aansluitend bij de kenmerken van de individuele leerling. Dubin en Taveggia vonden dan ook dat de grootte van de groep er weinig toe doet. (N.B.: Hiermee wordt niet geïmpliceerd dat de sociale aspecten van het leren minder belangrijk zijn, wel dat ze minder tot uitdrukking komen in het leerresultaat).

Er zijn momenteel drie vormen van onderwijs in gebruik waarin expliciet getracht wordt om een zekere mate van individualisering te bewerkstelligen.

2. Drie moderne onderwijsvormen

Bij de huidige stand van de onderwijstechnologie zijn gangbare vormen van geïndividualiseerd onder-

wijs: geprogrammeerde instructie, individuele studietoelagen en CAI, waarbij CAI het verst geïndividualiseerd kan worden. Voor automatisering van de management-taken in een individueel studietoelagen systeem kan een CMI-systeem ingezet worden.

Geprogrammeerde Instructie

Het idee van de terugkoppeling is al oud. Het is gebaseerd op Thorndike's 'Law of effect' (1915) waarin algemeen gesteld werd dat de gevolgen van bepaald gedrag van invloed zijn op het herhalen van dat gedrag. Dit principe, nu beter bekend als het reinforcement principe, is in de vijftiger jaren vertaald naar de dagelijkse onderwijspraktijk door B. F. Skinner, in zijn geprogrammeerde instructie (G.I.) model. Deze vorm van programmering, z.g. frame-programmering, waarin de leerstof is opgedeeld in kleine stapjes (frames of schakels genaamd) die worden afgesloten door een vraag, heeft een grote invloed gehad, vooral in beroepstrainingen. De resultaten van G.I. zijn echter niet onverdeeld gunstig. Het schrijven van de lessen vergt veel tijd, de tijdwinst voor de leerlingen is nogal verschillend en soms zelfs negatief en de retentie, het onthouden, is vaak slechter dan bij andere methoden. Vooral in het universitaire onderwijs zijn de resultaten van G.I. minder goed, met name wat betreft de benodigde studietijd in vergelijking met meer konventionele methoden, en de snel optredende verveling.

Voor een meer uitgebreide verhandeling van G.I., zie Van Hees (1972), pp. 60-66.

Computer Assisted Instruction

In CAI wordt weinig gebruik gemaakt van bestaand instructiemateriaal. Het grootste deel van het instructiemateriaal is in of rond de computer geprogrammeerd, om met de instructie zo dicht mogelijk aan te kunnen sluiten bij de prestaties van de leerling. Als we uitgaan van de veronderstelling dat geen enkele instructieprocedure optimaal is voor alle leerlingen, maar dat er een zeker verband bestaat tussen individuele eigenschappen van de leerlingen en het effect van verschillende instructiemethoden (een 'aptitude-treatment-interaction'), dan lijkt het zinvol om de instructie af te stemmen op de individuele leerling. Echter het onderzoek van onderwijsleerprocessen en de ontwikkeling van statistische instrumenten zijn op dit moment nog onvoldoende ver gevorderd om aptitude-treatment-interaction in praktijk te kunnen brengen. Bovendien lijkt het onwaarschijnlijk dat dit zal gebeuren in zulke stappen als in CAI-programma's. Het ontwikkelen van de lessen kost nog meer tijd dan in G.I. (Van Hees 1972). Wat kan CAI nu meer bieden dan G.I. om de grote investeringen in cursusontwikkeling te

rechtvaardigen? Om deze vraag te kunnen beantwoorden moeten we eerst bezien wat de verschillende mogelijkheden van CAI zijn. Als we de verschillende vormen of strategieën van CAI, die op dit moment in gebruik zijn nader beschouwen, dan kunnen we zes verschillende basistypen onderscheiden:-

- oefening
- tutorial instructie
- dialoog
- probleem oplossen
- simulatie
- spel.

De scheidingen tussen deze vormen zijn niet altijd duidelijk. Vooral de scheiding tussen 'probleem oplossen' en 'simulatie' is in veel programma's bewust afwezig. Simulatie wordt dan gebruikt als een instrument voor het leren oplossen van problemen. De meeste CAI-programma's zijn gebaseerd op een van de eerste drie types (op het IFIP-kongres 'Computer in Education' te Marseille in september waren dit 31 van de 58 getoonde programma's, terwijl van de overige 27 de strategie lang niet altijd duidelijk was). In essentie verschillen deze niet van conventionele geprogrammeerde instructie, zoals Karl Zinn in 1969 konstateerde ton hij de vraag stelde 'Why computerize programmed instruction?': 'Those of us using the computer to aid in instruction have much to learn from research and development on programmed instruction. However, some projects appear to be adopting the formats of programmed instruction instead of the processes'...

'Programmed instruction is a little over ten years old and is now getting down to the business of being a useful tool for education and training. Computer assisted instruction is just under ten years old, and still each new project must discover again for itself that it costs very much to computerize programmed instruction: it is rarely worth the cost, even for the projected systems of the future'.

Het is duidelijk dat er nu voor de praktijk nog geen bijdrage is, die een bevredigend antwoord is op de hiervoor gestelde vraag. Er moet nog veel (leerpsychologisch) onderzoek verricht worden om te komen tot werkelijk leerling adaptieve programma's. Van groot belang daarbij is onderzoek naar probleem oplossend gedrag. Hierbij kan CAI weer een belangrijk hulpmiddel zijn, zoals hier in Nederland ook blijkt (zie: Camstra 1974).

Individuele Studie Systemen en CMI

Geprogrammeerde instructie en CAI lijken vooralsnog dus niet de beste antwoorden op de vraag naar individualisering. Hoe kan men dan wel op een praktische manier algemeen gebruik maken van

de nuttige effecten die zijn aangetoond van de vrijheid van studietempo en regelmatige terugkoppeling?

Pressey, die in de zestiger jaren vele artikelen publiceerde waarin hij de Skinneriaanse geprogrammeerde instructie aanviel, pleitte voor een minder rigide onderwijsprogrammering, namelijk adjunct autoinstruction. Hierin worden conventionele leer-materialen aangevuld met zelfstudiepakketten, voornamelijk uit toetsen bestaand, op die plaatsen waar de leerstof er om vraagt (Pressey 1963). Om de kracht hiervan aan te tonen herschreef hij al het materiaal van een G.I.-programma van Skinner en Holland van 1100 woorden in een kort statement van 360 woorden. De leerlingen lazen deze verkorte tekst gemiddeld in ca. 1 minuut. Voor de geprogrammeerde instructie hadden leerlingen gemiddeld 23 minuten nodig. Beide groepen behaalden daarna dezelfde resultaten op een test (Pressey 1964). De ideeën van Pressey zijn in de methodenstrijd rond de geprogrammeerde instructie van Skinner en Crowder c.s. snel in de vergetelheid geraakt. In 1968 werden door Keller soortgelijke ideeën naar voren gebracht. Hiermee begon Keller een belangrijke nieuwe beweging, de ontwikkeling van individuele studiesystemen. De belangrijkste kenmerken hiervan zijn:

- Elke leerling kan in zijn eigen tempo studeren.
- Elke leerling kan op zelf gekozen tijdstippen werken.
- Om de vrijheid van tempo en tijdstip mogelijk te maken moeten lesmateriaal en media zo veel mogelijk individueel hanteerbaar zijn (boeken, filmcassettes, video cassettes, etc.).
- De leerstof is onderverdeeld in een aantal logische blokken, afgeleid van goed gedefinieerde onderwijsdoelen.
- Elke leerling moet (meestal) elk blok leren beheersen volgens vooraf vastgestelde absolute normen.
- Elke leerling krijgt systematische terugkoppeling op zijn vorderingen en tekortkomingen. De terugkoppeling wordt afgeleid van de bloktoetsen.
- De docent treedt vooral op als begeleider van de leerlingen.

Als men op dit moment belangrijke innovaties in het onderwijs in wil voeren, kan het grootste effect verwacht worden van dit soort individuele studie systemen. Een dringend probleem daarbij is wel dat de routinetaken voor de docent, zoals de controle op de voortgang, het afnemen van toetsen en het verzamelen van data voor de evaluatie, veel tijd in beslag nemen. Vooral bij grote aantallen studenten kan dit een belangrijke hindernis vormen. Met het

doel om deze 'management'-taken te automatiseren, waardoor de docent zich vooral kan concentreren op zijn pedagogische taken, zijn de laatste tijd Computer Managed Instruction systemen snel in opmars. Omdat in Computer Managed Instruction geen leerstof in de computer geprogrammeerd hoeft te worden zijn ze betrekkelijk eenvoudig en goedkoop.

3. CMI-ontwikkeling in Nederland

Vanaf 1969 wordt er aan de Nederlandse universiteiten en hogescholen op bescheiden schaal geëxperimenteerd met terugkoppeling en individuele studie systemen. Aan de T.H.-Eindhoven werd dit geïnitieerd door de groep Technische Mechanica van de Afdeling Werktuigbouwkunde, in samenwerking met de groep Onderwijsresearch. Over de ervaringen daar is uitvoerig gerapporteerd (Jansen 1970, Braak et al. 1971, Verreck 1973, Braak 1974). In 1972 werd ook aan de Katholieke Hogeschool Tilburg gestart met een individueel studie systeem door de Vakgroep Statistiek en Methoden en Technieken van Soc. Wetensch. Onderzoek, onder begeleiding van het Onderwijs Research Centrum (van Rookhuijzen en Koopman 1973, van Hees en Koopman 1975). In het overleg tussen de Onderwijsresearchgroepen en de groep Technische Mechanica werd gekonkludeerd dat CMI veel meer aandacht verdient dan het op dit moment krijgt in verhouding tot CAI. Besloten werd dat in een samenwerkingsproject de gezamenlijke inspanning zou worden gericht op een CMI-systeem dat kon worden gebruikt voor het beheer van de geïndividualiseerde cursussen die in ontwikkeling waren. Het systeem werd in 1973/74 geprogrammeerd in Algol op de nieuwe B6700-computer van de THE*, en in 1974/75 aangevuld met een evaluatiegedeelte**. Het systeem is nu in gebruik aan zes van de elf nederlandse universiteiten en hogescholen. In 1976 zullen hierin ca. 15 cursussen plaatsvinden. Vanwege de omvang van het gebruik en ter waarborging van de verdere ontwikkeling is de interuniversitaire werkgroep PGO (Programmasystemen voor Geïndividualiseerd Onderwijs) opgericht, die het systeem nu beheert.***

4. Mogelijke systeemkarakteristieken

Op welke wijze kan nu een CMI-systeem in het

- * Programmeurs: J. van Lieshout, E. van Hees en Mevr. J. Kolen-Peters.
- ** Programmeur: J. R. Wiekema.
- *** P/a. Dr. Ir. L. Braak, Afdeling Werktuigbouwkunde T.H.-Eindhoven.

onderwijs worden ingezet? Zoals vermeld aan het einde van paragraaf 2, is het de bedoeling om de management-taken in een geïndividualiseerde onderwijsomgeving van de docenten over te nemen. De mogelijke taken voor een CMI-systeem kunnen derhalve worden afgeleid uit een algemeen blok-schema van de onderwijssequentie in een individueel studie systeem.

De dagelijkse routinematige verwerking zoals deze in het schema is weergegeven kan, met uitzondering van de activiteiten van de student en de individuele begeleiding door de docent, tot op zekere hoogte worden geautomatiseerd. Naast de hier weergegeven dagelijkse verwerking kan het systeem nog worden ingeschakeld voor het verzamelen van data over de individuele leerling en over het verloop van de cursus, en voor het berekenen van evaluatiegegevens.

Aan de in het schema weergegeven procedures kan op verschillende manieren vorm gegeven worden. We zijn gestart met het samenstellen van een uitputtende lijst van mogelijke karakteristieken van CMI-systemen. De lijst wordt hier kort weergegeven in de vorm van een inkomplete beslissingsboom. Takken die al in een vroeg stadium konden worden verworpen, worden niet verder uitgewerkt. De lijst is opgedeeld in vijf hoofdgebieden:

1. opeenvolging van eenheden (kursusstructuur);
2. wijze van samenstellen van toetsen;
3. criteria voor de voortgang van de leerling;
4. soorten terugkoppeling;
5. nivo van computerverwerking.

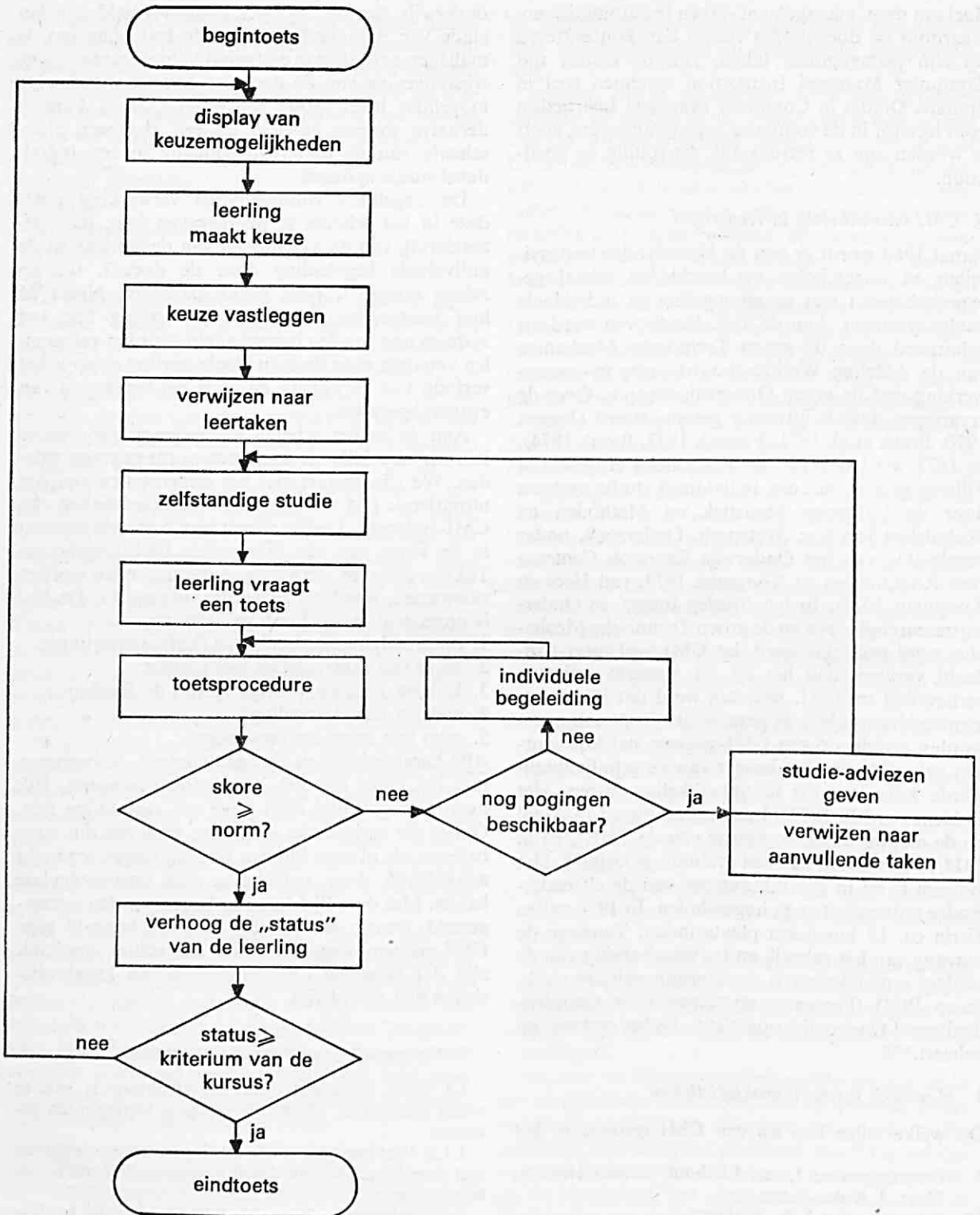
Alle karakteristieken zijn genummerd, te beginnen met het cijfer dat het hoofdgebied aangeeft. Elk daarna toegevoegd digitaal geeft een vertakking aan. Opties die andere niet uitsluiten, waarvan dus naar believen één of meer kunnen worden toegevoegd zijn aangegeven door toevoeging van opeenvolgende letters. Met deze lijst kan een boom worden samengesteld, waarin elk volledig pad een bepaald type CMI-systeem weergeeft. Het zal echter duidelijk zijn dat bepaalde opeenvolgingen van karakteristieken niet zinvol zijn.

1. Opeenvolging van eenheden (kursusstructuur)

1.1 Vaste cursusstructuur: de structuur is van tevoren beschreven. Niettemin kan deze keuzepunten bevatten.

1.1.a Vast beginpunt: alle leerlingen moeten beginnen met dezelfde eenheid of dezelfde verzameling van parallele eenheden.

1.1.b Vóórtoets en variabel beginpunt: de leerling krijgt een vóórtoets aan het begin van de cursus. De prestatie op de vóórtoets wordt gebruikt om te bepalen



Schema van de onderwijssequentie in een individueel studie systeem.

op welk punt van de cursus de leerling moet starten (welke eenheden hij mag overslaan).

1.1.1 Lineaire opeenvolging: alle leerlingen moeten de eenheden doen in een aangegeven volgorde.

1.1.2 Niet-lineaire opeenvolging: een vaste structuur met parallelle takken en keuzepunten is mogelijk.

1.1.2.1 *Systeemkeuze*: het systeem kiest de volgende eenheid om redenen zoals de bezetting van discussie- en werkgroepen, praktikumapparatuur, media, etc. Een heel andere mogelijkheid is dat het systeem de prestaties van de student vergelijkt met de eisen voor elke eenheid en de leerling die eenheid geeft die het best past bij zijn nivo (bijv. het CAL-systeem, Educational Computer Centre, The London Borough of Havering).

1.1.2.2 (*Gestratificeerde*) keuze door de leerling: de leerling mag een voorgeschreven aantal eenheden kiezen uit een verzameling eenheden, of de leerling mag de volgorde van de eenheden binnen een verzameling kiezen. Als in een deelverzameling eenheden, dingen worden geleerd die benodigd zijn vóór aan een volgende deelverzameling begonnen kan worden, kan worden geëist dat hij de eerste deelverzameling voltooit, voordat hij eenheden mag kiezen uit de tweede deelverzameling.

1.2 *Vrije keuze door de leerling*: de leerling mag in een willekeurige volgorde elke willekeurige eenheid kiezen uit de aanwezige verzameling. Het aantal keren dat een bepaalde eenheid gekozen mag worden kan vrij worden gelaten of aan een maximum worden gebonden.

2. *Wijze van samenstellen van toetsen*

2.1 *Niet-adaptief*: de toetsen worden niet aangepast aan de prestaties van de leerling.

2.1.1 *Vaste toetsen*: elke leerling krijgt dezelfde verzameling van items of één verzameling uit een aantal parallelle verzamelingen van toetsitems.

2.1.2 *A-selekte trekking uit een pool*: een vastgesteld aantal toetsitems wordt a-selekt gekozen uit een pool van items voor een bepaalde eenheid.

2.1.2.a Een vastgesteld aantal items kan worden gekozen uit elke gespecificeerde deelverzameling van items binnen een eenheid. Deze deelverzamelingen kunnen korresponderen met verschillende doelstellingen of onderdelen van de cursus.

2.1.2.b Het aantal vragen dat gekozen wordt uit elke deelverzameling kan variëren.

2.1.2.c Bij de samenstelling van een toets voor een herhalingspoging kunnen de items worden gekozen inclusief of met uitsluiting van de items van de vorige pogingen door dezelfde leerling.

2.2 *Adaptief*: (niet verder uitgewerkt).

Volgende vragen worden gekozen afhankelijk van de prestatie van de leerling op de voorafgaande vragen. Dit instrument kan bijv. gebruikt worden om te zoeken naar tekorten in de voorkennis van de leerling (bijv. het CAL-systeem, University of Toronto).

3. *Kriteria voor de voortgang van de leerling*

3.a Het criteriumnivo.

Dit is de score die op een toets behaald moet worden

om als voldoende beoordeeld te worden.

3.a.1 Een vast criteriumnivo.

3.a.1.1 Het criteriumnivo is (procentueel) hetzelfde voor alle eenheden.

3.a.1.2 Het criteriumnivo moet voor elke eenheid of doelstelling worden vastgesteld door de docent.

3.a.2 Een variabel criteriumnivo: het criteriumnivo van een bepaalde eenheid kan afhankelijk gemaakt worden van de keuze van de volgende eenheden. In dat geval fungeert de toets van die eenheid als ingangstoets voor volgende eenheden.

3.b Het aantal toegestane pogingen per eenheid.

3.b.1 Het aantal toegestane pogingen per eenheid ligt vast in het systeem, en is dus voor alle eenheden hetzelfde.

3.b.2 Het aantal toegestane pogingen per eenheid moet worden vastgelegd door de docent.

3.b.2.a Het aantal beschikbare pogingen voor een bepaalde eenheid kan worden gevarieerd afhankelijk van de datum. Dit kan een middel zijn om de leerlingen te motiveren, een bepaalde eenheid te voltooien voor een bepaalde datum (CMI-systeem, Florida State University).

3.b.2.b Het totaal aantal beschikbare pogingen voor de hele cursus kan worden vastgelegd om te voorkomen dat de leerlingen te veel tijdrovende pogingen doen (CMI-systeem, Florida State University).

3.c De herhalingsstoetsen.

3.c.1 Als een leerling niet slaagt voor een toets wordt hij opnieuw getoetst op alle doelstellingen binnen die eenheid.

3.c.2 Als een leerling niet slaagt voor een toets wordt hij opnieuw getoetst op die doelstellingen waarvoor hij niet slaagde. (Deze mogelijkheid is afhankelijk van de gekozen wijze van samenstelling van de toetsen).

3.d Als een leerling niet slaagt voor een bepaalde eenheid binnen een vooraf bepaald aantal pogingen, kan hem worden opgedragen om contact op te nemen met de docenten voor individuele instructie en/of herhalingsstoets, vóór hem wordt toegestaan om verder te gaan met een daarop volgende eenheid.

3.e Als de prestatie van een leerling aan het begin van een toets erg slecht is kan de toetsing worden afgebroken en de leerling aanvullende studie worden opgedragen alvorens een nieuwe poging te ondernemen. (Deze mogelijkheid is afhankelijk van het nivo van computer-verwerking, zie punt 5).

4. *Soorten terugkoppeling*

4.a *Terugkoppeling op elk item*. (Terugkoppeling op elk item is alleen van betekenis in een systeem met leerling-terminals).

4.a.1 *Standaard responsies*: terugmelding van het resultaat vindt plaats met behulp van responsies, die a-selekt gekozen worden uit een verzameling standaard responsies op goede of foute antwoorden.

4.a.2 *Unieke terugkoppeling op elk item*.

4.a.2.a *Adviezen*: een eenvoudige verwijzing voor herhalingsstudie van dat deel van de leerstof dat gerelateerd is aan dit item, of een toewijzing aan aanvullend

studiemateriaal, of een diagnostisch bericht afgeleid uit de logische keten van antwoorden op dit item. (zie noot)

4.a.2.b S-R terugkoppeling: presentatie van het goede antwoord, of presentatie van de stimulus behorend bij de foutieve respons (zie noot).

4.a.2.c De itemscore: de itemscore kan dienen als eenvoudige reinforcer, speciaal bij complexe items zoals multiple true false items.

4.b Terugkoppeling per doelstelling of per eenheid. Een combinatie van verschillende van de hiervoor genoemde vormen kan gekozen worden, afhankelijk van de populatie van de leerlingen.

Noot: De soorten terugkoppeling worden hier niet verder uitgewerkt omdat dit teveel in detail zou voeren, en omdat dit nog volop onderwerp van onderzoek is.

5. Nivo van computerverwerking

5.1 On-line verwerking: alle invoer van en uitvoer naar de leerling wordt geproduceerd op een terminal, die directe toegang geeft tot de computer. Dit biedt de mogelijkheid van onmiddellijke terugkoppeling.

5.1.a Toegang tot de terminal.

5.1.a.1 Leerling-terminals: de leerling heeft zelf toegang tot de terminal, typt zelf de data in en krijgt onmiddellijke terugkoppeling op elk item.

5.1.a.2 Operateur-terminal: alleen een operateur (assistent, docent, etc) heeft toegang tot de terminal.

5.1.b Presentatie van de items.

5.1.b.1 Volledige itemuitvoer: de volledige tekst van de items wordt weergegeven of afgedrukt op de terminals.

5.1.b.2 Gekodeerde itemuitvoer: alleen de nummers van de geselecteerde items worden afgedrukt. De volledige tekst van de items is beschikbaar in een itemboek, dat wordt uitgereikt aan de leerling als hij om een toets vraagt.

5.2 Batch verwerking: de invoer wordt aangeleverd in een batch en de uitvoer wordt afgedrukt op een regel-drukker.

Naast deze vijf hoofdgebieden kunnen nog verschillende opties worden ingebouwd die niet direct afgeleid kunnen worden uit de karakteristieken van een individueel studie systeem. Dit kan zijn voor de evaluatie en controle van het onderwijs, of om allerlei redenen van bedieningsgemak.

Hier worden enkele opties genoemd, waar niet verder op ingegaan wordt.

6. Het bijhouden van voortgangsrapporten voor elke leerling

7. Een rekenroutine

8. Het verzamelen van commentaar van leerlingen

9. Een mededelingenrubriek

10. Diverse soorten voortgangsrapporten voor de docent:

10.a per leerling,

10.b. over de groep.

11. Diverse vormen van kursusevaluatie, zoals:

11.a Item- en toetsanalyses,

11.b Numeriek rendement,

11.c Aantallen studenten over verschillende paden door de cursus.

5. Argumentatie van de keuzen

Vaak wordt in de praktijk van het onderwijs de keuze van systeemkarakteristieken impliciet gedaan, op grond van de ervaring van de docent. Maar als er besloten wordt een groot technologisch systeem te bouwen om bepaalde specifieke onderwijsdoelstellingen te bereiken, dan is er meer nodig dan alleen maar ervaring. De systeemkarakteristieken moeten zoveel mogelijk worden afgeleid uit de onderwijsdoelstellingen en het beginnivo van de leerlingen, en uit de evaluatie van experimenten met het gesimuleerde onderwijskundig ontwerp. Er zullen verschillende iteraties nodig zijn om het systeem te optimaliseren. Goede operationele criteria vanaf het begin geven de mogelijkheid om het optimaliseringsproces te sturen. Zonder dat kan het niet meer zijn dan trial and error.

Enkele algemene overwegingen

In het algemeen is een korte tijdspanne tussen het antwoord van de leerling en de terugkoppeling wenselijk. In het hoger onderwijs, vooral in de blokkursussen, is een uur vertraging erg lang en in feite is er vaak geen reëel verschil tussen een tijdverlies van een uur of een dag. Daarom wordt in de meeste gevallen batch verwerking verworpen. Of student-terminals gebruikt moeten worden, of dat volstaan kan worden met een operateur-terminal, is afhankelijk van andere keuzen. De meest stringente criteria daarvoor zijn, of adaptieve toetsen gewenst zijn, en of men de leerling onmiddellijke terugkoppeling wil geven op elk item dat hij onder handen heeft. Een minder rationeel criterium kan zijn of de leerling gestimuleerd wordt door de mogelijkheid om met de machine te 'praten'. Als voor een operateur-terminal gekozen is zijn verschillende andere mogelijkheden nog open (met uitzondering van 2.2., 3.e. en 4.a.).

In het nederlandse hoger onderwijs liggen de opleidingseisen nogal vast, vooral in het propedeuse- en kandidaatsonderwijs. Verder zijn daar de meeste cursussen in hoofdzaak hiërarchisch gestructureerd. Dit betekent dat er in het algemeen weinig behoefte is aan een volledig vrije cursusstructuur, waarin de studenten naar wens credit-points kunnen verzamelen. Op de beperkte verschillen van de aankomende studenten in bekwaamheid en vereiste voorkennis kan gemakkelijk worden ingespeeld, als binnen de vaste cursusstructuur voorzien wordt in

de mogelijkheden om vrijstellingen voor cursusonderdelen te verlenen, en om keuzepunten voor verschillende leertaken gerelateerd aan een en dezelfde doelstelling in te voeren.

Vanwege deze algemene overwegingen zijn de uitgangspunten voor het Eindhovense CMI-systeem geweest: On-line verwerking (5.1.) en vaste cursusstructuur (1.1.).

Verdere specificering

Twee experimenten met kleinere onderwijsmanagement-systemen voor een geïndividualiseerde cursus aan de T.H.-Eindhoven zijn voorafgegaan aan de ontwikkeling van het CMI-systeem. Op grond van de ervaringen hiermee en met een volledig met de hand verwerkte cursus van een jaar voor 100 studenten aan de K.H.-Tilburg (van Hees 1973) zijn verder de volgende keuzen gedaan.

1. De vaste cursusstructuur.

Binnen de vaste cursusstructuur zijn een groot aantal vrijheidsgraden ingebouwd. De vaste structuur van een cursus is eenvoudig te definiëren door de docent en kan inhouden parallelle takken, keuzepunten, vrijstellingen en signalen van andere cursussen (dus alle mogelijkheden genoemd onder 1.1.). Het aantal delen per toets, het aantal items per deel en het itemtype kan worden ingesteld door de docent. Skoringsroutines zijn ingebouwd voor multiple choice en multiple true false items met of zonder zekerheidsaanduiding, met een variabel aantal geprecodeerde antwoorden. Open vragen, praktikumopdrachten e.d. moeten eerst met de hand worden gescoord op waarderingsschalen voordat deze kunnen worden verwerkt. De mogelijkheid om andere vraagvormen automatisch te scoren is in studie.

Om aan algemene doelstellingen van een individueel studie systeem recht te doen moeten geen verdere restricties worden aangebracht. Dit betekent dat het systeem tamelijk groot is, maar daardoor algemeen toepasbaar. Er zijn voldoende mogelijkheden om tegemoet te komen aan de specifieke eisen van verschillende cursussen. De reden voor de keuze van een groot systeem, waarin elke specifieke cursus kan worden gedefinieerd, is hoofdzakelijk dat het konstrueren van verschillende kleine systemen, aansluitend op de specifieke wensen van verschillende docenten, te veel ontwikkelingskosten vergt.

2. Wijze van samenstellen van toetsen.

De toetsprocedure is niet-adaptief (2.1.). Daar zijn drie redenen voor. Ten eerste is het schrijven van goede adaptieve toetsen bijna even moeilijk

en duur als het schrijven van een CAI-cursus, terwijl het effect niet erg goed is aangetoond (zie het voorgaande). Ten tweede, de verschillen in vaardigheden tussen de studenten spreiden slechts binnen bepaalde grenzen. Gebleken is dat in de meeste gevallen een aanvaardbaar aantal pogingen voldoende is. Ten derde, de persoonlijke hulp door de docent (resp. student-assistent) in moeilijke gevallen wordt door de studenten zeer op prijs gesteld.

A-selekte trekking van toetsitems uit een pool voor elke eenheid (2.1.2). Na twee jaar ervaring met vaste toetsen is de keuze gevallen op het samenstellen van toetsen door random trekking zonder teruglegging uit verzamelingen gelijkwaardige items, om de volgende redenen: Met zes parallelle vaste toetsen per eenheid, waaruit a-selekt een toets werd getrokken voor elke student bleken de studenten in staat om de toetsen te bemachtigen en de antwoorden uit het hoofd te leren. Met random trekking van de items is het niet meer voldoende om een rij antwoorden uit het hoofd te leren.

3. Criteria voor de voortgang.

Het criteriumnivo moet worden gespecificeerd voor elke eenheid (3.a.1.2). Aan de docent wordt de vrijheid gelaten om de grensscore zelf te bepalen. De mogelijkheid om het criteriumnivo afhankelijk te maken van de keuze van volgende eenheden is niet ingebouwd, omdat met de vaste cursusdoelstellingen en het hoge nivo van beheersing dat in het algemeen geeïst wordt zoals hiervoor is aangegeven, er weinig behoefte is aan differentiatie op dat punt. Het element van verschillende ingangseisen voor verschillende keuzeenheden, kan overigens ook worden gerealiseerd door verschillende basiseenheden voorafgaande aan de keuze-eenheden mee op te nemen in de keuzetakken.

– Het beschikbare aantal pogingen moet worden gespecificeerd per eenheid (3.b.2), afhankelijk van de ervaringen met een cursus. De opties a en b onder 3.b.2 zijn niet ingebouwd omdat deze eenvoudig kunnen worden overgenomen door de docent als hij over voldoende data beschikt, en omdat het persoonlijk contact wordt geprefereerd boven controle door de machine.

– Herhalingstoetsen worden afgenomen over alle doelstellingen binnen het blok (3.c.1). De student mag een lange tijd wachten alvorens hij een herhalingstoets doet, zodat niet volledig vertrouwd kan worden op retentie. Verder wordt op deze manier de kans op slagen voor een toets door gokken geminimaliseerd.

– Verwijzing naar de docent als het beschikbare aantal pogingen is verbruikt, is standaard ingebouwd (3.d.), omdat de toetsprocedure en herhalingsproeven niet adaptief zijn, en omdat het contact met de docent in moeilijke gevallen een wezenlijk bestanddeel van het geïndividualiseerde onderwijssysteem is.

– In de mogelijkheid om een toets af te breken is niet voorzien (3.e.). Een redelijke studiestrategie voor de student is om een toets te maken bij wijze van proef of oefening. Als men de student deze gelegenheid wil geven mag een toets niet voortijdig afgebroken worden. Verder dient de student terugkoppeling te krijgen over de hele eenheid, om te voorkomen dat hij te veel tijd besteedt aan herhalingsstudie van de delen van de leerstof, die hij in feite reeds beheerste.

Aan het hele onderwerp 'toetsprocedure' zitten een aantal belangrijke problemen. Het onderwerp verdient veel aandacht omdat de kwaliteit van de terugkoppeling, de spil van het individuele studie systeem, afhankelijk is van de kwaliteit van de toetsing. De hiervóór behandelde keuzen hangen in feite af van de vraag wat men een acceptabele lengte van de toetsen vindt. De hier gegeven argumenten krijgen een grotere geldigheid naarmate de toetsen korter zijn, dus de student minder vragen krijgt te beantwoorden per deeldoelstelling waarop hij getoetst wordt. Een psychometrisch probleem daarbij is echter, wanneer een betrouwbare beslissing genomen kan worden over het al of niet bereikt hebben van de doelstelling. Bij een zeer goede en een zeer slechte student zijn daarvoor minder items nodig dan bij studenten die rondom de afgestegrens zitten. Dit is een argument vóór een bepaalde vorm van adaptieve toetsing. De psychometrische vraag wordt weer minder relevant als het doel van de toetsen zuiver formatief is.

Het praktische argument, de toelaatbare lengte van de toetsen, heeft hier de doorslag gegeven.

4. Soorten terugkoppeling.

Verschillende gekombineerde vormen van terugkoppeling per doelstelling en per eenheid zijn opgenomen. In deze vorm van adjunct programmering is terugkoppeling op elk item niet noodzakelijk, vooral niet omdat het systeem niet adaptief is. Wel is het van belang om unieke terugkoppeling te geven op elke doelstelling om de student enige aanwijzing te geven voor aanvullende studie. Daarom is de terugkoppeling per doelstelling gerealiseerd door middel van (gekodeerde) studie-adviezen die samen met het resultaat op de eenheid worden gegeven.

5. Nivo van computerverwerking.

Batch verwerking is reeds afgewezen.

– Operateur-terminal (5.1.a.2).

Er is weinig behoefte aan student-terminals omdat de toetsprocedure niet adaptief is en geen terugkoppeling op elk item wordt gegeven. Student-terminals zijn wel uitgetoetst in een vroeger experiment, met het volgende resultaat. Voor sommige studenten was het werken aan de terminal in het begin enigszins stimulerend, maar later wezen alle studenten dit saaie werk af. Het werken aan de terminal gaf een aanzienlijk tijdsverlies (gemiddeld een kwartier voor iedere toetspoging) en de studenten maakten vaak typerfouten waardoor zij ten onrechte niet slaagden voor een toets (2% van de toetsen in het begin). Daarom is een efficiënte operateur-terminal geïntroduceerd, bestaande uit een schrijfmachine verbonden met een schrapkaartlezer. De antwoorden op de toetsen worden ingevuld op een schrapkaart en onmiddellijk gescoord nadat een toets is voltooid.

– Gekodeerde item uitvoer (5.1.b.2). Typewriter terminals zijn goedkoop, maar ook tamelijk langzaam. Voor het uittypen van de toetsen zouden per cursus verscheidene terminals nodig zijn. Omdat de toetsprocedure niet adaptief is, is er weinig behoefte aan een volledige afdruk van de items. Daarom worden alleen de nummers van de geselecteerde items uitgetypt op een opgavenformulier, dat samen met een itemboek aan de student wordt overhandigd. Verder biedt de gekodeerde uitvoer een nog betere bescherming tegen het bekend worden van alle items.

6. Overige voorzieningen.

Verschillende vormen van rapportering (6), voortgangskontrolle (10) en evaluatie (11) zijn ingebouwd en beschikbaar voor de docent op aanvraag, om hem in staat te stellen de studenten te begeleiden, aanvullende activiteiten te plannen en het systeem te controleren en te evalueren. Een meer gedetailleerde beschrijving van het CMI-systeem is te vinden in de gebruikershandleiding (Van Hees en Van Lieshout 1974).

Over de organisatie van het evaluatiegedeelte is een afzonderlijk rapport verschenen (Wiekema 1975).

6. Evaluatie

De voorafgaande experimenten met vier geïndividualiseerde cursussen in Eindhoven en Tilburg hebben een grote verbetering van de studieresultaten

opgeleverd. Het instructiegedeelte van de cursussen was samengesteld uit bestaande studieboeken en artikelen, aangevuld met een studiehandleiding. In de studiehandleidingen werden de doelstellingen voor elke eenheid aangegeven, en werden aanwijzingen gegeven, gevolgd door oefenvraagstukken. In de cursussen aan de T.H.-Eindhoven waren ook praktikumproeven opgenomen, die op deze wijze eveneens volledig geïntegreerd in de studie kunnen functioneren. Het afnemen van de toetsen en het uitvoeren van een kursusevaluatie werd bij deze cursussen aanvankelijk met de hand gedaan door de docenten en een aantal student-assistenten.

In het eerste jaar dat de cursussen zo werden gegeven slaagden gemiddeld 70 à 90% van de studenten binnen de normale cursusduur. Daarvoor waren deze percentages voor de verschillende cursussen 40 à 50%. Na de eerste revisie van de cursussen werd een stijging tot 85 à 90% bereikt. In de cursussen waar dit expliciet gemeten is, bleek de gemiddeld bestede studietijd ver onder de geldende normen te liggen. (Voor de gegevens hierover zie: Braak e.a. 1971, Verreck 1973, Braak en Jansen 1972, Van Rookhuijzen en Koopman 1973, Braak 1974, Van Hees en Koopman 1975).

Door het toevoegen van aanvullend studiemateriaal voor de herhalingsstudie, door het differentiëren van het cursusmateriaal en het verbeteren van de individuele adviezen t.a.v. de studiestrategie, zou mogelijk het percentage geslaagden nog kunnen worden verhoogd, maar in ieder geval zal daardoor de benodigde studietijd nog kunnen worden verminderd.

De hoeveelheid mankracht die voor de handverwerking vereist was, was nogal groot. De evaluatie bijvoorbeeld vergde tenminste een half manjaar. Door het CMI-systeem in te schakelen kon de begeleiding van de studenten worden verbeterd, konden grotere groepen studenten worden begeleid met minder mankracht, en kon de kursusevaluatie worden verbeterd.

De investeringen in apparatuur voor één terminal station bedroegen f 20.000, terwijl de stijging in jaarlijkse uitgaven voor extra assistenten, drukkosten etc. op ongeveer f 15.000 per cursus voor maximaal 200 studenten kwam. De reacties van de studenten op de geïndividualiseerde studie zijn zeer verschillend. De meest extreme reacties zijn aan de ene kant een gehele studentenpopulatie die in het algemeen veel waardering heeft voor de inspanning die geleverd wordt om het onderwijs te verbeteren en voor de hiermee bereikte resultaten, en aan de andere kant in een andere studentenpopulatie een belangrijke groep die deze wijze van

onderwijsprogrammering beschouwt als een laakbare vorm van konditionering.

Ook bij de docenten zijn de reacties nogal verschillend. Zo werd onlangs aan de T.H.-Twente een geïndividualiseerde cursus opgeschort, omdat onder de staffleden onenigheid bestond over de rol van de docent daarin, en de verminderde selectie die door deze studie-opzet zou optreden. Tekenend voor de waardering die de studenten in het algemeen voor deze opzet hebben is, dat de betrokken studenten hiertegen krachtig geprotesteerd hebben.

Waarschijnlijk is de waardering van de studenten voor een geïndividualiseerd systeem mede afhankelijk van de houding van de docent, en de wijze waarop deze het systeem hanteert.

7. Slotopmerkingen

Computer Managed Instruction is een instrument dat kan worden gebruikt om op grote schaal individualisering van het onderwijs mogelijk te maken. Het is dan ook niet de vraag of een CMI-systeem voor een bepaalde cursus kan worden gebruikt, maar of die cursus in een ISS-vorm kan worden gebracht. Dit zal altijd het geval zijn als de doelstellingen van de cursus niet expliciet groepswerk vereisen. Een extreem voorbeeld: Het leren werken in een groep houdt niet zonder meer in dat dit ook in een groep moet worden aangeleerd. Mogelijk is het veel efficiënter om de theoretische 'spelregels' aan te leren in een ISS, waarna het geleerde wordt toegepast in de groepspraktijk.

De studenten merken vrij weinig van het eigenlijke CMI-systeem. Het contact tussen studenten en de computer wordt onderhouden door een assistent. Wel is er bij sommige studenten enig wantrouwen tegenover de computer te bespeuren. Het is dan ook zaak het systeem goed bij de studenten te introduceren, waarbij vooral duidelijk moet worden dat de computer alleen gebruikt wordt als administratief hulpmiddel, terwijl het onderwijs volledig in handen blijft van de docent en zijn assistenten. Nu van overheidswege op de voor het wetenschappelijk onderwijs beschikbare middelen wordt bezuinigd, is een goed CMI-systeem een *conditio sine qua non* geworden om de individualiseringsbeweging voort te kunnen zetten.

Referenties

- Braak, L. H., W. L. Esmeijer, W. A. T. Meuwese & H. J. Tielens, *Een 'Self-Paced-Study' (SPS) systeem in de Technische Mechanica*. Eindhoven: T.H. (THE-report-WE 71-12), 1971.

- Braak, L. H. & J. D. Jansen, *De konstruktie en begeleiding van OPA 72*. Eindhoven: T.H. (TH-report WE 72-3), 1972.
- Braak, L. H., *Geïndividualiseerde onderwijssystemen; konstruktie en besturing*. Eindhoven: Ac. proefschrift, 1974.
- Camstra, B., *Computer-Gestuurd Onderwijs; onderzoek in Nederland*. Pedagogische Studiën, 1973, 50, 375-396.
- Carter, L. F., *Personalizing Instruction in Mass Education by Innovations in the Teaching-learning Process*. Systems Development Corporation, 1966.
- Dubin, R. & T. C. Taveggia, *The Teaching-learning Paradox*. Eugene: University of Oregon, 1968.
- Hees, E. J. W. M. van, *Computer Assisted Instruction; Een technologische benadering*. Eindhoven: T.H., groep Onderwijsresearch, 1972.
- Hees, E. J. W. M. van, *Automatisering in het onderwijs; management van individuele studie systemen*. Tilburg: K.H. (ORC-nota 73.02.), 1973.
- Hees, E. J. W. M. van & J. van Lieshout, *Computer Managed Instruction; Gebruikershandleiding*. Tilburg/Eindhoven: Werkgroep PGO, 1974.
- Hees, E. J. W. M. van & W. D. Koopman, *Evaluatie-verslag SOCASTAT 1973; Evaluatie van een SPS-kursus statistiek 1973 voor sociologie-studenten aan de KHT*. Tilburg: KH (ORC-rapport nr. 3), 1975.
- Jansen, J. D., *Trillingen en balanceren van 1967 tot 1970*. Eindhoven: T.H. (THE-report-WE 70-9), 1970.
- Keller, F. S., 'Goodbye Teacher . . .' *Journal of Applied Behavioral Analysis*, 1968, 1, 79-89.
- Lecarme, O. & R. Lewis (Ed.), *Computers in Education; IFIP 2nd World Conference*. North-Holland/American Elsevier Publ., 1975.
- Meuwese, W. A. T., *Onderwijsresearch*. Utrecht: Het Spectrum (Aula 439), 1971.
- Pressey, S. L., *Teaching Machines and Learning Theory Crisis*. *Journal of Applied Psychology*, 1963 (47), 1-6.
- Pressey, S. L., *Autoinstruction: Perspectives, Problems, Potentials*. In: E. R. Hilgard (Ed.), *Theories of Learning and Instruction*, Chicago: University of Chicago Press, 1964.
- Rookhuijzen, R. F. van & W. D. Koopman, *Evaluatie-verslag PSYSTAT 72-73; Evaluatie van een SPS-kursus statistiek 1972-73 voor psychologie-studenten aan de KHT*. Tilburg: KH (ORC-rapport nr. 1), 1973.
- Vaags, D. W., *In één woord: niets*. Boekbespreking van Dubin & Taveggia, 'The Teaching-learning Paradox'. *Onderzoek Van Onderwijs*, 1973 (2), 3.
- Verreck, W. A., *Individualisering in het wetenschappelijk, technisch onderwijs. Evaluatie van een experiment in de technische mechanica*. Eindhoven: Ac. proefschrift, 1973.
- Wiekema, J. R., *Het evaluatiegedeelte van het Eindhovense Computer Managed Instruction systeem*. Tilburg: KH (ORC-nota 75.01.), 1975.
- Zinn, K., *File of sample computer programs for instruction*. *Automated Education Letter*, 1969 (4), 5.

Curriculum vitae

E. J. W. M. van Hees (geb. 1944)

Opleiding aan de T.H. Eindhoven, elektrotechniek, specialisatie computertechniek. Afgestudeerd in mei 1972 bij de groep Onderwijsresearch (Prof. dr. W. A. T. Meuwese), op het onderwerp programmeeronderwijs met behulp van Computer Assisted Instruction. Sinds mei 1972 werkzaam bij het Onderwijs Research Centrum van de Katholieke Hogeschool; van oktober 1972 tot en met juni 1975 als waarnemend hoofd. Publiceerde daar een tiental onderzoeksverslagen over individuele studietoelagen, computer-ondersteund onderwijs en projectonderwijs.

Richtte samen met drs. B. Camstra in 1974 het Consortium „CAI” op, een landelijke werkgroep van alle medewerkers van reguliere onderwijsinstellingen, die actief met CAI bezig zijn. Vanaf die datum tot heden voorzitter van het consortium.

Adres: Onderwijsresearchcentrum van de Katholieke Hogeschool, Hogeschoollaan 225, Tilburg.

Dit artikel is eveneens verschenen in het februari-nummer van *Informatie*.