

Cognitief Modelleren: Een nieuwe kijk op individuele verschillen

Niels A. Taatgen

Experimentele en Arbeidspsychologie

Grote Kruisstraat 2/1

9712 TS Groningen

telefoon: 050-3636435

email: n.a.taatgen@bcn.rug.nl

aantal woorden: 6182

Samenvatting

Individuele verschillen kunnen worden ingedeeld twee categorieën: verschillen in de cognitieve architectuur en verschillen in kennis. Beide typen verschillen zijn te bestuderen met behulp van de cognitieve architectuur ACT-R. ACT-R is een algemene theorie over cognitie en tevens een hybride simulatieplatform, hetgeen betekent dat het zowel de mogelijkheden van symbolische als connectionistische architecturen heeft. Twee modellen worden besproken van experimenten waarin individuele verschillen tot uitdrukking komen. Een eerste modelleert het klassieke “Magical number seven” verschijnsel van werkgeheugencapaciteit. Het tweede modelleert verschillen in leerstrategieën tussen volwassenen en kinderen met betrekking tot de discrimination-shift taak. Tenslotte worden de mogelijkheden tot generalisatie van deze modellen besproken, onder andere in het kader van een complexe roostertaak.

Cognitive modeling: a new view on individual differences

Abstract

Individual differences can be classified in two categories: differences in the architecture and differences in knowledge. Both types of differences can be studied using the ACT-R cognitive architecture. ACT-R is both a general theory of cognition and a hybrid simulation platform. It has the capabilities of both symbolic and connectionist architectures. Two models of experiments in which individual differences play a role will be discussed. The first model will offer an explanation for the classical “Magical number seven” phenomenon of working-memory capacity. The second model will examine differences in learning strategies between children and adults in the discrimination-shift task. Finally, the potential for generalization will be discussed, for example in modeling a complex scheduling task.

Cognitief modelleren: een nieuwe kijk op individuele verschillen

Inleiding

De gebruikelijke manier om iemand's intelligentie te meten is via een IQ-test. Hoewel de IQ-test redelijk succesvol is als meetinstrument, is het voor experimenteel psychologen en cognitiewetenschappers een onbevredigende maat. Een hoge IQ-score betekent meestal dat mensen op bijna alle fronten beter presteren, maar het is onduidelijk wat hiervan precies de oorzaak is in termen van informatieverwerking. In dit artikel wil ik een andere methode voorstellen om individuele verschillen te bestuderen, namelijk door gebruik te maken van cognitief modelleren. Met deze methode, die ik in de tweede paragraaf nader zal uitleggen, kunnen niet alleen individuele verschillen op grond van intelligentie bestudeerd worden, maar ook verschillen door leeftijd, zowel bij kinderen (ontwikkeling) als bij ouderen (veroudering).

Waarom zijn mensen verschillend? Vanuit het oogpunt van informatieverwerking spelen twee categorieën van verschillen een rol. Een eerste categorie van verschillen betreft verschillen in de architectuur van de informatieverwerking. Een voorbeeld hiervan is snelheid. Als iemand informatie sneller kan verwerken dan iemand anders, zal deze persoon op veel fronten beter presteren dan iemand die informatie langzaam verwerkt. Een reductie in verwerkingsnelheid is een mogelijke verklaring voor veroudering (Salthouse, 1991). Een ander klassiek voorbeeld van een dergelijk verschil is de capaciteit van het werkgeheugen. Miller constateerde al in 1956 dat individuen verschillen in het aantal ongerelateerde items dat ze tegelijk kunnen onthouden. Beperkingen op werkgeheugen lijken ook sterk gerelateerd te zijn aan redeneercapaciteiten. Zo vonden Kyllonen en Christal (1990) een zeer hoge correlatie (.82) tussen de factor redeneercapaciteit en de factor werkgeheugencapaciteit.

Een tweede categorie van individuele verschillen is kennis. Het gaat hierbij niet alleen om specifieke kennis, aangezien het meten daarvan meestal wel wordt vermeden in testen en experimenten, maar ook algemene vaardigheden voor redeneren en probleemoplossen. Deze vorm van individuele verschillen wordt meestal bestudeerd in het kader van ontwikkeling. Veel theorieën over ontwikkeling (o.a. Piaget, 1952; Fischer, 1980) gaan ervan uit dat kinderen op een bepaalde leeftijd dingen kunnen leren die ze op een jongere leeftijd nog niet konden leren. Een voor de hand liggende verklaring hiervoor is dat kinderen moet leren leren. Hoe beter iemand kan leren, des te intelligenter hij of zij is. Een voorbeeld van zo'n leerstrategie is rehearsal, het vocaal of subvocaal repeteren van woorden die onthouden moeten worden. Rehearsal is een doelbewuste strategie om dingen te onthouden, en laat bovendien ruimte voor een aantal keuzemogelijkheden. In free-recall experimenten, waarin proefpersonen zoveel mogelijk woorden moeten proberen te onthouden uit een lijst die gepresenteerd wordt, repeteren volwassenen meestal deellijsten van woorden (Rundus, 1971). Cuvo (1975) vond echter bij kinderen van rond de zes jaar, dat deze alleen het laatst gepresenteerde woord repeteren, een strategie die leidt tot het verdwijnen van het primacy-effect (Hagen & Kail, 1973). Blijkbaar is de volwassen rehearsal strategie iets dat kinderen ergens tijdens hun ontwikkeling ontdekken, en hebben volwassenen dus een leerstrategie ter beschikking waar kinderen nog geen gebruik van kunnen maken. Rehearsal lijkt wellicht een nogal triviale leerstrategie. Verderop in dit artikel zal ik daarom ingaan op een andere leerstrategie: het abstraheren van kennis.

Uit het voorafgaande blijkt, dat individuele verschillen door zeer verschillende factoren kunnen worden beïnvloed. Deze factoren interacteren echter wel met elkaar. Een voorbeeld hiervan is dat sommige individuen gebruik maken van visuele strategieën om iets te onthouden, en anderen van auditieve strategieën. De voorkeur voor

een strategie is waarschijnlijk ontstaan op grond van verschillen in de architectuur, maar het resultaat is een verschil in strategie. Een verklaring voor individuele verschillen kan dus niet volstaan met het beschrijven van de afzonderlijke factoren, maar moet ook met name ingaan op de vraag hoe deze factoren met elkaar interacteren. Een veelbelovende onderzoeksmethode om de factoren en hun interacties te bestuderen is door middel van een cognitief model, waarin de factoren die mogelijk bijdragen aan individuele verschillen gevarieerd kunnen worden.

Cognitief modelleren

Het doel van cognitief modelleren is om met behulp van simulaties van gedrag meer inzicht te krijgen in dit gedrag. Het uitgangspunt voor een simulatiemodel is meestal een architectuur voor cognitie. Een architectuur voor cognitie levert een basistheorie van informatieverwerking en leren, en een simulatieomgeving om modellen te formuleren voor specifieke taken. Dergelijke architecturen zijn traditioneel in te delen in twee categorieën: de symbolische en de connectionistische.

Symbolische architecturen zijn voortgekomen uit de traditie van de kunstmatige intelligentie. Een voorbeeld hiervan is de General Problem Solver van Newell en Simon (1963), of een modernere versie hiervan, de Soar architectuur (Newell, 1990; Laird e.a., 1987). Een basisaanname van deze benadering is dat mensen in staat zijn zeer complexe problemen op te lossen, en dat inzicht verschaffen in dit type denkprocessen cruciaal is voor het begrijpen van informatieverwerking in het algemeen. Nadeel van deze benadering is dat veel uitvoeringsaspecten in dergelijke architecturen worden verwaarloosd. Dat wil zeggen dat er geen nauwkeurige voorspellingen zijn over hoe lang denkstappen duren, over het maken van fouten en de gevolgen van incomplete kennis.

Connectionistische architecturen, met name populair geworden door Rumelhart

en McClelland (1986), gebruiken neuron-achtige cellen als uitgangspunt voor simulaties van gedrag. Neurale netwerken, zoals ze meestal genoemd worden, zijn uitermate succesvol gebleken op gebieden waar juist de symbolische architecturen falen. Neurale netwerken kunnen op realistische wijze processen op het gebied van leren, perceptie, motoriek en tot op zekere hoogte ontwikkeling te modelleren. Ze kennen echter ook hun beperkingen: ze zijn nog niet goed in staat gebleken om juist de complexe denkprocessen te modelleren. Hoewel dit niet berust op fundamentele beperkingen, is de schaalvergroting die ervoor nodig is nog niet op praktisch bevredigende manier uitgevoerd.

Zowel symbolische als connectionistische architecturen zijn niet zo geschikt voor het bestuderen van individuele verschillen. In symbolische architecturen is het nagenoeg onmogelijk om individuele verschillen op het gebied van de architectuur te variëren, aangezien strikt symbolische architecturen geen parameters hebben die te wijzigen zijn. In connectionistische architecturen is het daartegen nagenoeg onmogelijk om uit te gaan van al aanwezige leerstrategieën, aangezien alle kennis door het netwerk moet worden geleerd. Het lijkt er dus op, dat waar het ene type architectuur succes heeft, het andere type tekort schiet. Een voor hand liggende gedachte is derhalve, om architecturen te ontwerpen die zowel symbolische als connectionistische aspecten hebben, de zogenaamde hybride architecturen. Een zeer succesvolle hybride architectuur, die momenteel sterk in de belangstelling staat, is ACT-R.

De cognitieve architectuur ACT-R

De ACT-R (Adaptive Control of Thought, Rational) architectuur (Anderson & Lebiere, 1998; Anderson, 1993) kent twee niveaus van beschrijving: een symbolisch en een subsymbolisch niveau. Het symbolische niveau bestaat uit een productiesysteem dat verwant is aan symbolische systemen als GPS en Soar. Kennis wordt gerepresen-

teerd in twee geheugensystemen: een declaratief en een procedureel geheugen. In het declaratief geheugen wordt voornamelijk feitenkennis opgeslagen in de vorm van zogenaamde chunks, een representatie die verwant is aan semantische netwerken. Een chunk kan van alles representeren, zoals episodische kennis, algemene feitenkennis, kennis over specifieke objecten, informatie die door middel van perceptie is verkregen en kennis over doelen. Om iets te kunnen doen met deze chunks is kennis uit het procedurele geheugen nodig in de vorm van productieregels. Productieregels kunnen aan de hand van het huidige doel informatie uit het declaratief geheugen ophalen en hiermee het doel veranderen.

Een voorbeeld hiervan is het maken van een aftreksom aan de hand van kennis over optellingen. In het declaratief geheugen is de volgende kennis aanwezig:

Feit3+5

Iseen Optelling
Getal1 Drie
Getal2 Vijf
Som Acht

Doel8-3

Iseen Aftreksom
Getal1 Acht
Getal2 Drie
Verschil ?

Feit3+5 is een chunk die al aanwezig is in het declaratief geheugen. Doel8-3 is net toegevoegd, en is momenteel het huidige doel. Elk van de chunks heeft een type, in dit geval Optelling en Aftreksom, en een aantal gelabelde verwijzingen naar andere chunks, in dit geval Drie, Vijf en Acht. Figuur 1 toont een netwerk-achtige representatie van dezelfde twee chunks. In de situatie waarin Doel8-3 het huidige doel is zal ACT-R proberen om een regel te vinden die hierop “past”, bijvoorbeeld de regel¹:

1. De weergave van de regel is niet in de officiële ACT-R syntax, maar in pseudo-natuurlijke taal.

- ALS het doel is om een aftreksom te maken van de vorm $\text{Num1} - \text{Num2} = ?$
 EN er is een optelling van de vorm $\text{Num2} - \text{Num3} = \text{Num1}$
 DAN Vul Num3 in als Som in het doel

In deze regel zijn Num1 , Num2 en Num3 variabel, hetgeen wil zeggen dat ze met willekeurige chunks kunnen worden ingevuld. In ons voorbeeld zijn dit respectievelijk Acht, Drie en Vijf.

Chunks en productieregels vormen de basiseenheden op het symbolische niveau. Op dit niveau kan gespecificeerd worden welke kennis nodig is om een probleem op te lossen, en in welke volgorde de stappen moeten worden uitgevoerd. Een groot aantal zaken zijn echter niet geregeld, met name aspecten van keuze, timing en fouten. Dit wordt geregeld op het subsymbolische niveau. Op dit niveau heeft elke chunk een activatiewaarde. Deze activatiewaarde representeert een schatting van de kans dat deze chunk op een bepaald moment nodig is. De activatie bevat twee componenten: een contextonafhankelijk component, die representeert hoe vaak de chunk in het verleden nodig is geweest, en een contextafhankelijke component, die de chunks die een relatie hebben met de huidige doelcontext een hogere activatiewaarde geeft. Figuur 1 toont wederom een voorbeeld: de doelcontext bestaat uit de aftreksom $8 - 3$, gerepresenteerd door de chunks $\text{doel}8-3$, drie en acht. De chunk $\text{feit}3+5$, die geen deel uitmaakt van de context, heeft zelf een basisactivatie met waarde B_i . Deze waarde is tot stand gekomen door het verleden van deze chunk: hoe vaak $3 + 5 = 8$ ooit nodig is geweest. Deze basisactivatie wordt opgehoogd op grond van de context. Onderdelen uit de context, in dit geval drie en acht, zijn activatiebronnen, aangegeven met W_j . Deze activatiebronnen kunnen activatiewaarden van andere chunks verhogen, indien er een positieve associatiewaarde (S_{ji}) is met zo'n chunk. Aangezien drie en acht deel uitmaken van $\text{feit}3+5$, zal deze waarde normaal gesproken redelijk hoog zijn. De kans dat $\text{feit}3+5$ nodig is in een context waarin drie en acht voorkomen is immers aanmerkelijk groter dan

in een context waarin, bijvoorbeeld, zes en negen voorkomen, of een context waarin helemaal geen getallen voorkomen. De totale activatie van de chunk kan nu uitgerekend worden met behulp van de volgende formule:

$$A_i = B_i + \sum_j S_{ji} W_j$$

De activatiewaarde van een chunk heeft een aantal functies. Hoe hoger de activatiewaarde van een chunk, des te sneller kan deze in het declaratief geheugen gevonden worden. Als de activatiewaarde onder een bepaalde drempel gedaald is, is het niet langer mogelijk de chunk terug te vinden, en is de informatie dus vergeten. Verder is de activatiewaarde van belang indien er sprake is van keuze: als er twee chunks in het geheugen zijn die “passen” op een bepaalde productieregel, wordt die chunk gekozen die de hoogste activatiewaarde heeft. Het is soms zelfs mogelijk dat een chunk wordt gekozen die niet helemaal past, met name als deze een zeer hoge activatie heeft. Als in het voorbeeld de chunk corresponderend met 3 + 4 een hele hoge activatie zou hebben, dan zou deze per ongeluk gebruikt kunnen worden in plaats van 3 + 5. In dit geval zou dit het maken van een fout betekenen, maar in andere situaties kan een chunk die lijkt op de gezochte chunk wel tot goede resultaten leiden.

Het subsymbolische aspect van de representatie van een chunk betreft dus de basisactivatie B_i en de associatiesterktes S_{ji} met andere chunks. Deze chunk-parameters worden door ACT-R geleerd op grond van regels die sterk verwant zijn aan connectionistische leerregels. Voor de basisactivatie geldt, dat elke keer dat een chunk uit het geheugen wordt opgehaald, de basisactivatie wordt verhoogd. Naarmate de tijd verstrijkt neemt deze activatie echter weer langzaam af. Associatiesterktes worden geleerd op grond van een leerregel die sterk lijkt op de regel van Hebb: indien twee chunks gelijktijdig actief zijn wordt de associatiesterkte verhoogd.

Voor ik in zal gaan op de subsymbolische aspecten van productieregels, zal ik

eerst een model bespreken dat een verklaring biedt voor de “zeven plus of min twee” regel voor werkgeheugencapaciteit van Miller.

Individuele verschillen in de architectuur: een model van Zeven plus of min Twee

ACT-R kent geen apart werkgeheugen. De functie daarvan wordt waargenomen door het declaratief geheugen. De vraag is, hoe het schijnbaar ongelimiteerde declaratief geheugen te rijmen is met het idee van een korte-termijn geheugen met een capaciteit van zeven chunks. Het antwoord hierop luidt, dat alleen die chunks in het declaratief geheugen terug te vinden zijn, die een voldoende hoge activatiewaarde hebben. Maar hoe komt het dan dat de grens zo scherp lijkt te zijn rond zeven items? Een klein ACT-R model kan wellicht helderheid verschaffen. Dit model betreft de volgende taak: een lijstje cijfers met een lengte van 3 tot 12 wordt voorgelezen, en de proefpersoon moet proberen het lijstje in de juiste volgorde te reproduceren. Om een lijst cijfers in het declaratief geheugen te representeren, moeten verwijzingen naar de cijfers als chunks worden opgeslagen. De cijfers en mogelijke posities in een lijst zijn al aanwezig in het declaratief geheugen, maar alle andere elementen moeten nieuw worden toegevoegd. Het model bevat verder een aantal productieregels, die de gepresenteerde elementen opslaan. Figuur 2 toont het resultaat van het inlezen van het rijtje 952: drie elementen zijn aangemaakt, elk met een verwijzing naar een cijfer, de positie in de lijst, en het onthoud-doel zelf. Indien deze lijst vervolgens weer gereproduceerd moet worden, wordt een herinner-doel aangemaakt, dat verwijst naar het onthoud-doel en de eerste positie. Figuur 3 toont hoe de context van dit doel er uit ziet. Het herinner-doel, samen met het onthoud-doel en de positie eerste vormen samen de context, en een productieregel probeert het juiste element uit de lijst terug te vinden. Deze regel ziet er als volgt uit:

- ALS het doel is om de lijst onthouddoel te herinner en positie positie is de huidige te herinneren positie
EN er is een element voor lijst onthouddoel op positie positie met cijfer cijfer
DAN Zeg cijfer en ga naar de volgende positie

Als deze regel erin slaagt om alle elementen een voor een op te halen, dan is het reproduceren van de lijst geslaagd. Er kunnen echter twee dingen misgaan: de activatie van het element kan te laag zijn geworden, waardoor het model er niet in slaagt het element terug te vinden, of er kan per ongeluk een element opgehaald worden dat lijkt op het gezochte element. Beide problemen hangen samen met een te lage activatie van het gezochte element. Zoals we in de vorige paragraaf gezien hebben, is de activatie van een element afhankelijk van drie factoren: de basisactivatie (B_i), de associatiewaarden (S_{ji}) en de spreidende activatie vanuit de doelcontext (W_j). Naarmate het aantal te onthouden elementen toeneemt, zal de basisactivatie van de onthouden elementen kleiner zijn, aangezien er meer tijd zit tussen het onthouden en het weer reproduceren (de basisactivatie neemt immers af in de tijd). Ook zullen de associatiewaarden lager worden: een specifiek element uit een lijst is minder saillant voor een lijst als er meer elementen in een lijst zitten. Tenslotte is bij een langere lijst de kans op verwarring groter, aangezien er meerdere elementen zijn die lijken op het gezochte element.

De laatste factor die een rol speelt in de hoogte van de activatie is de spreidende activatie vanuit de doelcontext. Deze verandert niet als er meer elementen in de lijst zitten. Deze factor wordt echter gezien als een aanknopingspunt voor individuele verschillen. Lovett e.a. (1997) hebben laten zien dat deze factor varieert van 0.7 en 1.4 tussen proefpersonen, met een gemiddelde van 1.0.

Een metafoer die de bovenstaande drie factoren wat kan verhelderen is de metafoer van een kinderoppas. Een kinderoppas moet op een aantal kinderen tegelijk letten. Zij doet dit door om de beurt met de kinderen te praten of een spelletje te doen.

Terwijl de oppas met één kind bezig is, moeten de andere kinderen zichzelf vermaken. Als het al een tijdje geleden is dat ze aandacht hebben gehad, gaan ze huilen of katekwaad uithalen. Naarmate de oppas op meer kinderen moet letten, duurt het langer voor een kind weer aan de beurt is (de basisactivatie wordt lager). Bovendien, als er meer kinderen zijn, dan hebben individuele kinderen minder het gevoel dat de oppas er speciaal voor hen is (lagere associatiewaarde). Tenslotte is niet elke kinderopas even goed: als de oppas leukere spelletjes heeft of op indrukwekkende toon kan zeggen dat de kinderen braaf moeten zijn, dan zullen ze zich langer stil houden (spreidende activatie). Naarmate een oppas op meer kinderen moet letten, wordt het moeilijker om ze allemaal braaf te houden. Bovendien, als één kind eenmaal vervelend wordt, dan volgen er snel meer, zeker als er op veel kinderen gelet moet worden. Eén kind extra kan dus net de spreekwoordelijke druppel zijn die er voor zorgt dat een tevreden groep kinderen een huilende groep wordt.

Wat deze metafoor hopelijk duidelijk maakt, is dat de capaciteit van werkgeheugen geen resource is. De kinderopas heeft geen maximale kindercapaciteit: dit hangt af van de kinderen en de hoeveelheid tijd die de oppas aan de kinderen kan spenderen. In het geval van geheugen is er geen werkgeheugen met zeven hokjes, maar wordt de beperkte capaciteit voor ongerelateerde zaken veroorzaakt door een rationeel georganiseerd lange-termijn geheugen.

Om de resultaten in kaart te brengen is het model 100 keer gesimuleerd voor 10 verschillende lijstlengtes (3-12), en drie waarden voor \underline{W} (0.7, 1.0 en 1.4), de spreidende activatie. De resultaten zijn afgebeeld in figuur 4. Duidelijk is te zien dat voor de gemiddelde \underline{W} van 1.0 er een duidelijke achteruitgang in prestatie is na zeven elementen. Voor gemiddelde individuen is het dus niet onmogelijk om een lijst van negen cijfers te onthouden, het gaat echt meestal fout. De beide andere waarden voor \underline{W} , 0.7 en 1.4,

laten het “plus of min twee” aspect zien: bij een \underline{W} van 0.7 begint na vijf elementen de kans of succes al af te nemen, terwijl dit bij $\underline{W}=1.4$ pas na acht elementen gebeurt.

Het voordeel van het bestuderen van individuele verschillen in werkgeheugen-capaciteit met behulp van ACT-R is, dat variatie van de \underline{W} parameter ook tot voorspellingen leidt met betrekking tot prestaties op andere taken. Voor we hier naar gaan kijken, zullen we eerst een andere bron van individuele kennis bestuderen, namelijk die van strategische kennis.

Individuele verschillen in leerstrategieën

Een voorbeeld van een taak waarin verschillen in kennis een belangrijke rol spelen, is de discrimination-shift taak van Kendler en Kendler (1959). In deze eenvoudige classificatietask krijgen proefpersonen blokjes te zien, die variëren in kleur (zwart of wit) en afmeting (groot of klein). In eerste instantie moet een proefpersoon “ja” zeggen bij een wit blokje, en “nee” bij een zwart blokje. De proefpersoon kent deze regel niet, en zal deze moeten ontdekken op grond van de feedback die hij na elk blokje krijgt (“goed” of “fout”). Nadat de proefpersoon tien correcte classificaties achter elkaar gemaakt heeft, verandert het criterium zonder waarschuwing. Twee veranderingen zijn mogelijk: een reversal shift en een extra-dimensional shift. Na een reversal shift moet “ja” gezegd worden bij een zwart blokje en “nee” bij een wit blokje, en bij een extra-dimensional shift moet “ja” gezegd worden bij een groot blokje en “nee” bij een klein blokje. Figuur 5 geeft een overzicht van dit paradigma. Interessante vraag bij deze taak is, hoe snel de proefpersoon door heeft dat er iets veranderd is aan de criteria, en hoe snel hij de correcte nieuwe regels heeft afgeleid. Op dit punt blijken er grote individuele verschillen te zijn, die vooral gerelateerd zijn aan leeftijd. Figuur 6 toont de resultaten van het experiment van Kendler en Kendler (1959). De grafiek laat zien na hoeveel

nieuwe blokjes een proefpersoon de nieuwe regel door heeft (het criterium is wederom: 10 correcte classificaties achter elkaar). Snel lerende kinderen blijken een reversal shift het snelst door te hebben, terwijl ze moeite hebben met een extra-dimensional shift. Dit patroon correspondeert met gedrag bij volwassenen (Harrow & Friedman, 1958). Langzaam lerende kinderen hebben een extra-dimensional shift echter sneller door, een patroon waaraan ook dieren blijken te voldoen (bijvoorbeeld ratten, zie Kel-leher, 1956).

Wat dit experiment duidelijk maakt, is dat er kwalitatieve verschillen kunnen zitten in leren. De voor de hand liggende verklaring voor het verschil is, dat oudere kinderen en volwassenen een vorm van abstractie toepassen, waardoor ze zich concentreren op één dimensie. Dit maakt een reversal shift makkelijker, omdat de dimensie gelijk blijft, maar maakt een extra-dimensional shift juist moeilijker. Niet abstraheren is juist voordelig bij een extra-dimensional shift, aangezien bij twee van de vier blokjes het antwoord gelijk blijft.

Het ACT-R model van deze taak, dat in detail beschreven wordt door Taatgen (1997; in druk), maakt gebruik van productieregels als primaire representatie. In dit model speelt tevens het subsymbolische aspect van productieregels een belangrijke rol. Net als bij chunks zijn er in veel gevallen meerdere productieregels van toepassing op een bepaalde situatie. Om hier een keuze tussen te maken, wordt bij elke productieregel een aantal parameters bijgehouden dat gebruikt wordt om de geschatte opbrengst van de regel te berekenen. In deze berekening worden de volgende factoren betrokken: de kans dat de regel naar het doel leidt, de kosten die het uitvoeren van de regel met zich meebrengen, en de waarde van het te bereiken doel. Als eenheid van kosten wordt de tijd gebruikt: hoe langer het uitvoeren van een strategie duurt, des te hoger zijn de kosten. De parameters die de schatting van de kans op succes en van de

kosten bepalen worden continu aangepast op grond van de ervaring: elke keer als een regel faalt of slaagt wordt de kans op succes aangepast, en elke keer als de regel succesvol gebruikt wordt, worden de kostenparameters bijgesteld.

Het leerprincipe achter het discrimination-shift model is samengevat in figuur 7. Dit principe gaat er van uit, dat de proefpersoon nog geen taak-specifieke kennis heeft, en dus gebruik moet maken van een algemene leerstrategie om het probleem op te lossen. Deze algemene strategie probeert niet zelf het probleem op te lossen, maar produceert taak-specifieke regels die dit wel proberen te doen. Uiteraard staat niet vast dat de geproduceerde regels tot goede resultaten leiden. Daarom moeten deze regels geëvalueerd worden. Dit gebeurt doordat de taak-specifieke regels in competitie zijn met de leerstrategieën. Een leerstrategie heeft normaal gesproken een betrekkelijk lage verwachte opbrengst, aangezien deze niet direct tot de oplossing van een probleem zal leiden maar wel tijd kost om uit te voeren. Nieuwe taak-specifieke regels krijgen in eerste instantie een hoge verwachte opbrengst toegewezen. Als een nieuwe taak-specifieke regel echter niet tot succes leidt, of te hoge kosten met zich meebrengt, zal de verwachte opbrengst ervan dalen en onder de verwachte opbrengst van de leerstrategie zakken. Op dat moment zal de leerstrategie een nieuwe taak-specifieke regel aanmaken. Zodoende treedt een wisselwerking tussen leerstrategie en taak-specifieke regels op, totdat de taak-specifieke regels voldoende zijn om de taak met succes uit te kunnen voeren.

Het verschil tussen jonge kinderen en volwassenen komt tot uitdrukking in de leerstrategie. Voor volwassenen bestaat deze strategie uit twee stappen. Laten we er van uit gaan, dat het grote witte blokje getoond is, en dat het antwoord "ja" is. De eerste stap is een abstractiestap, waarin de aandacht gericht wordt op één van de attributen van het blokje, bijvoorbeeld de kleur. Deze stap zal een regel leren, die neerkomt

op het volgende:

ALS het doel is om een blokje te classificeren
DAN let op de kleur

De tweede stap in het leerproces zal een regel leren die het geselecteerde attribuut afbeeldt op het antwoord, in het voorbeeld

ALS het doel is om een blokje te classificeren en de kleur is wit
DAN antwoord "ja"

Jonge kinderen hebben een meer eenvoudige strategie: bij hen is de abstractiestap afwezig, en wordt alleen de tweede stap van de leerstrategie uitgevoerd. In het ACT-R model komt dit er op neer dat van de acht productieregels die de volwassen strategie uitvoeren er twee overblijven in de kind-strategie. Resultaat is dat kinderen regels leren als:

ALS het doel is om een blokje te classificeren en de kleur is wit en de afmeting is groot
DAN antwoord "ja"

In totaal moet het volwassen model dus drie regels leren, en het kind model vier. Maar dan treedt een verandering in het criterium op: een reversal-shift of een extra-dimensional shift. Gevolg is dat de regels die tot nu toe goed werkten niet meer kloppen, en vervangen moeten worden. Bij een reversal-shift moet het volwassen model twee van de drie regels vervangen: de abstractieregel blijft hetzelfde. Het kind model moet echter alle vier de regels vervangen. Bij een extra-dimensional shift is het omgekeerd: daar moet het volwassen model alle regels vervangen, terwijl het kind model slechts twee van de vier regels hoeft te vervangen. Het tellen van de vervangen regels is uiteraard niet het enige criterium. Als het langer duurt voor duidelijk is dat een regel niet meer klopt, zal het ook moeilijker zijn deze regel te vervangen. Dit is het geval voor de abstractieregel: na een extra-dimensional shift van kleur naar afmeting zal de regel die

de aandacht op kleur richt toch nog in 50% van de gevallen tot een goed antwoord leiden. De resultaten van het model zijn afgebeeld in figuur 8, en komen sterk overeen met de resultaten van Kendler en Kendler. Een essentieel aspect van een leerstrategie is, dat deze in meer dan één situatie te gebruiken is. De boven beschreven leerstrategie is dan ook met succes gebruikt voor het leren van een balanstaak (Taatgen, 1997; in druk).

Individuele verschillen in reële taken

De beide besproken modellen zijn voorbeelden van eenvoudige modellen van eenvoudige taken. Beide modellen bieden echter aanknopingspunten voor generalisatie. In elk ACT-R model speelt de W parameter een rol. Het veranderen van de waarde van deze parameter zal dus in elke model een verandering laten zien die gerelateerd is aan de capaciteit van het werkgeheugen. Ook kan naar de algemene inzetbaarheid van leerstrategieën gekeken worden: is de leerstrategie die in het discrimination-shift experiment gebruikt is ook bruikbaar in andere modellen waarin proefpersonen nieuwe kennis moeten vergaren? Een voorbeeld van een complex model is een model van roosteren (Taatgen, in voorbereiding). Hier zal ik slechts een globale indruk geven van de resultaten van dit model. In de roostertaak moeten proefpersonen roosters maken waarbij ze taken moeten toewijzen aan arbeiders. Hierbij moeten ze rekening houden met de lengte van taken en bepaalde volgorde eisen. Om het extra moeilijk te maken moeten proefpersonen al het redeneren uit hun hoofd doen. Deze taak is dus een combinatie van redeneren en werkgeheugengebruik.

Het model van deze taak gaat uit van het principe dat proefpersonen een oplossingmethode opbouwen door elementen uit andere domeinen te gebruiken en uit gegeven voorbeelden te abstraheren. Deze kennis is in eerste instantie declaratief, maar

wordt later in het proces geleidelijk geproceduraliseerd. Figuur 9 toont de proportie correct opgeloste roosterproblemen door het model voor een serie van 10 problemen en voor drie verschillende waarden van W . Bij het eerste probleem zijn de verschillen tussen de drie erg groot: het hoge-capaciteitmodel heeft bijna alles goed, het lage-capaciteitsmodel slechts 20%, en het gemiddelde model zit er tussen in. Na enige oefening wordt dit verschil echter veel kleiner: bij het zesde probleem zijn er nog steeds individuele verschillen, maar zijn deze nog maar betrekkelijk klein. Dit model laat zien dat de door Kyllonen en Christal (1990) gevonden hoge correlatie tussen redeneer- en werkgeheugencapaciteit wel eens toe te schrijven kan zijn aan het feit dat alle door hen gebruikte test-taken betrekkelijk kort waren, in de orde van 15 minuten.

Een meer aannemelijke stelling is dat individuele verschillen bij complexe taken veroorzaakt worden door een samenspel van factoren uit de architectuur en leerstrategieën. Het is bovendien niet onwaarschijnlijk dat beide op elkaar zijn afgestemd: een zwak werkgeheugen kan gecompenseerd worden door meer te rehearsen.

Conclusies

De cognitieve architectuur ACT-R biedt nieuwe aanknopingspunten voor het bestuderen van individuele verschillen. Factoren die tot nu toe alleen afzonderlijk bestudeerd konden worden, kunnen nu in een breder kader geplaatst worden waarin hun onderlinge interactie te bestuderen is. Voor de functieleer kan deze benaderingswijze ook van groot belang zijn. Hier worden individuele verschillen meestal als storende factoren in een experiment gezien, die zoveel mogelijk beperkt moeten worden. Een goed model van een taak kan deze individuele verschillen juist tot extra informatiebron maken.

De mogelijkheid om van bescheiden experimentele taken te kunnen generalise-

ren naar meer realistische domeinen biedt tevens mogelijkheden tot praktische toepassingen van de theorie. Zo kan van een bepaalde taak onderzocht worden hoe belangrijk werkgeheugencapaciteit is bij de uitvoering ervan, hetgeen een mogelijk toepassing is in de cognitieve ergonomie. Het in kaart brengen van leerstrategieën heeft toepassingen in het onderwijs, zowel in de diagnose van leerproblemen als het ontwerpen van leerstof die specifieke leerstrategieën oefent. En wellicht biedt de benadering van het cognitief modelleren nog eens een alternatief voor de IQ-test.

Appendix: Beschikbaarheid van de besproken modellen

De ACT-R architectuur wordt uitgebreid besproken in ‘The Atomic Components of Thought’ van Anderson en Lebiar (1998). Het programma zelf is zonder kosten beschikbaar vanaf de internet-site <http://act.psy.cmu.edu>

De besproken modellen zijn te vinden via de volgende adressen:

Het “Zeven plus of min twee” model:

<http://tcw2.ppsw.rug.nl/~niels/thesis/wmc.lisp>

Het Kendler model:

<http://tcw2.ppsw.rug.nl/~niels/thesis/kendler.lsp>

Dit laatste model kan ook on-line gesimuleerd worden vanaf:

<http://act.psy.cmu.edu/act/book/Chapter4/kendler.html>

Referenties

- Anderson, J. R. (1993). Rules of the Mind. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J. R., & Lebiere, C. (1998). The atomic components of thought. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Cuvo, A. J. (1975). Developmental differences in rehearsal and free recall. Journal of experimental child psychology, 19(2), 265-278.
- Fischer, K. W. (1980). A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. Psychological Review, 87(6), 477-531.
- Hagen, J. W., & Kail, R. V. (1973). Facilitation and distraction in short-term memory. Child development, 44, 831-836.
- Harrow, M., & Friedman, G. B. (1958). Comparing reversal and nonreversal shifts in concept formation with partial reinforcement control. Journal of Experimental Psychology, 55, 592-598.
- Kelleher, R. T. (1956). Discrimination learning as a function of reversal and non-reversal shifts. Journal of Experimental Psychology, 51(6), 379-384.
- Kendler, T. S., & Kendler, H. H. (1959). Reversal and nonreversal shifts in kindergarten children. Journal of Experimental Psychology, 58, 56-60.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity. Intelligence, 14(4), 389-433.
- Laird, J. E., Newell, A., & Rosenbloom, P. S. (1987). Soar: An architecture for general intelligence. Artificial Intelligence, 33, 1-64.
- Lovett, M. C., Reder, L. M., & Lebiere, C. (1997). Modeling individual differences in a digit working memory task. In M. G. Shafto & P. Langley (Eds.), Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society (pp. 460-465). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. Psychological Review, 63, 81-97.

Newell, A. (1990). Unified theories of cognition. Cambridge, MA: Harvard university press.

Newell, A., & Simon, H. (1963). GPS, a program that simulates human thought. In E. A. Feigenbaum & J. Feldman (Eds.), Computers and Thought. New York: McGraw-Hill.

Piaget, J. (1952). The origins of intelligence in children. New York: International University Press.

Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Cambridge, MA: MIT Press.

Rundus, D. (1971). Analysis of rehearsal processes in free recall. Journal of experimental psychology, 89(1), 63-77.

Salthouse, T. A. (1991). Theoretical perspectives on cognitive aging. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Taatgen, N. A. (1997). A rational analysis of alternating search and reflection strategies in problem solving. In M. G. Shafto & P. Langley (Eds.), Proceedings of the Nineteenth Conference of the Cognitive Science Society (pp. 727-732). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Taatgen, N. A. (in voorbereiding). Learning without limits: from problem solving towards a unified theory of learning. Thesis, University of Groningen, the Netherlands.

Taatgen, N. A. (in druk). Explicit learning in ACT-R. In U. Schmid, J. Krems, & F. Wysotzki (Eds.), Mind modelling. Berlin: Pabst Science Publishers.

Lijst van figuren

Figuur 1. Voorbeeld van het declaratief geheugen met de chunks doel8-3, feit3+5, drie vijf en acht. De dikke grijze pijlen geven de activatiestroom vanuit de doelcontext aan.

Figuur 2. Representatie van de lijst 952 in het declaratief geheugen. De elementen negen, vijf en twee, alsmede eerste, tweede en derde zijn elementen die al van te voren aanwezig waren in het geheugen (lange-termijn kennis), terwijl het onthouddoel en de drie elementen nieuw toegevoegd zijn. Om het plaatje niet te vol te maken zijn de iseen-pijlen weggelaten.

Figuur 3. De doelcontext van het herinnerdoel

Figuur 4. Resultaten van het ACT-R model: de grafiek toont de proportie foutloos gereproduceerde lijsten voor de verschillende lengten. De grafiek is afgebeeld voor $W=0.7$, 1.0 en 1.4, corresponderend met een lage, gemiddelde en hoge werkgeheugencapaciteit.

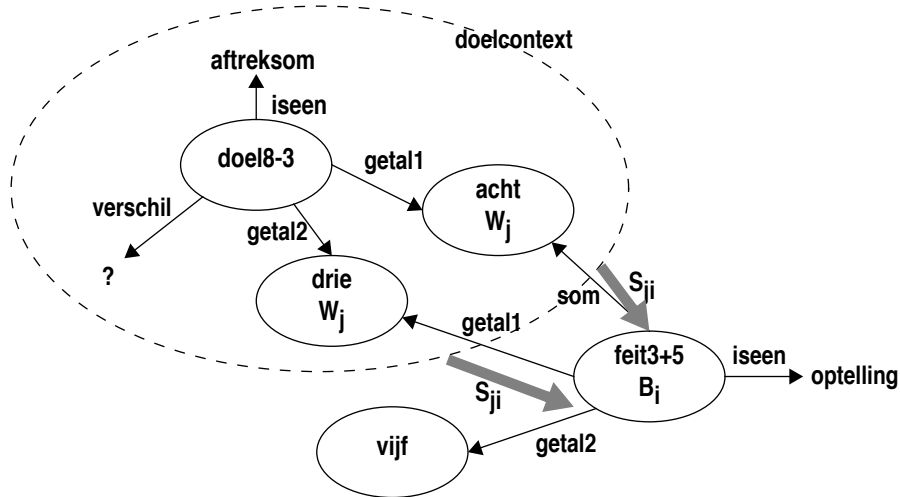
Figuur 5. Stimuli in een discrimination-shift experiment.

Figuur 6. Resultaten van het Kendler and Kendler (1959) experiment.

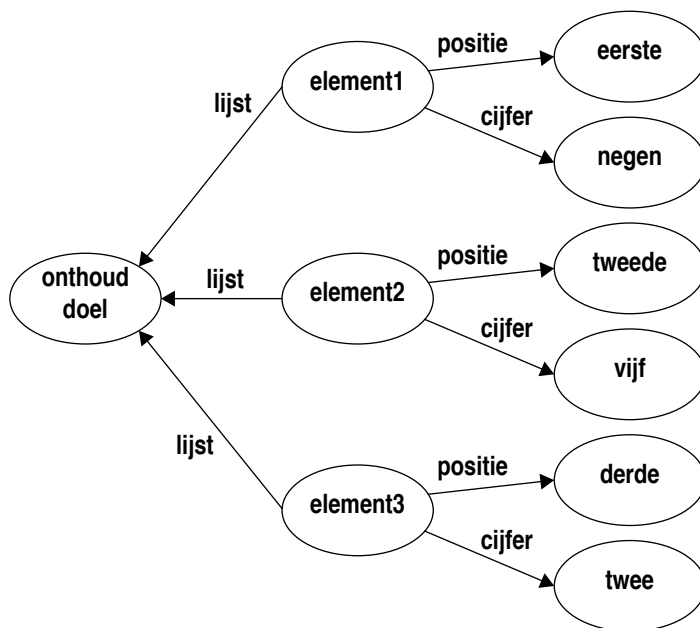
Figuur 7. Overzicht van het discrimination-shift model: de leerstrategie produceert taak-specifieke regels, die concurreren met de leerstrategie zelf.

Figuur 8. Resultaten van het discrimination-shift model.

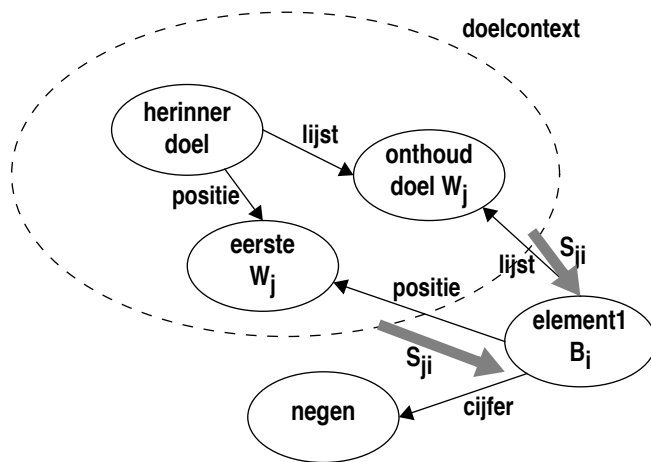
Figuur 9. Proportie opgeloste roosterproblemen binnen vijf minuten voor $W=0.8$, 1.0 en 1.4.



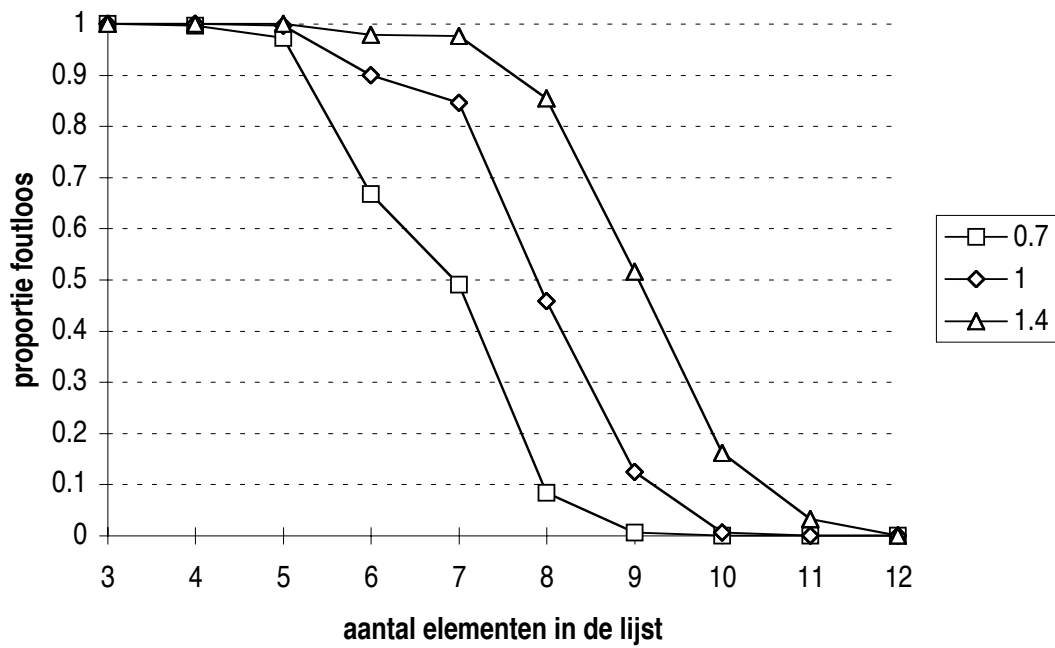
Figuur 1. Voorbeeld van het declaratief geheugen met de chunks doel8-3, feit3+5, drie vijf en acht. De dikke grijze pijlen geven de activatiestroom vanuit de doelcontext aan.



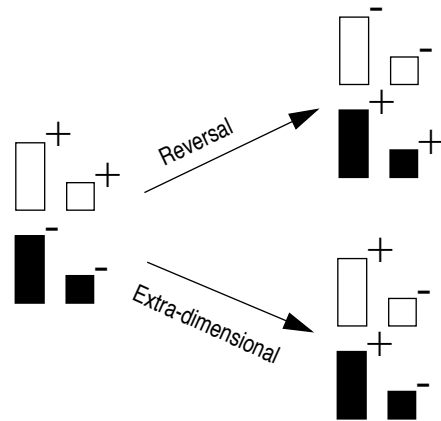
Figuur 2. Representatie van de lijst 952 in het declaratief geheugen. De elementen negen, vijf en twee, alsmede eerste, tweede en derde zijn elementen die al van te voren aanwezig waren in het geheugen (lange-termijn kennis), terwijl het onthouddoel en de drie elementen nieuw toegevoegd zijn. Om het plaatje niet te vol te maken zijn de iseen-pijlen weggelaten.



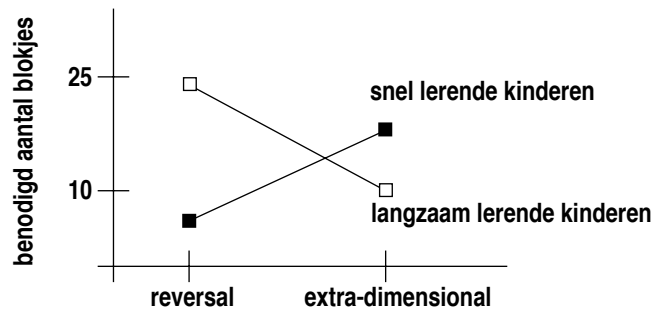
Figuur 3. De doelcontext van het herinnerdoel



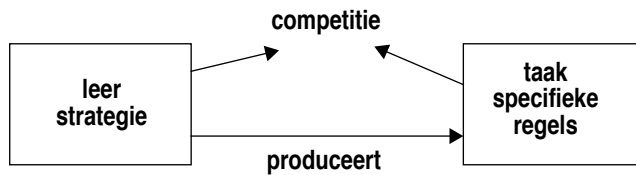
Figuur 4. Resultaten van het ACT-R model: de grafiek toont de proportie foutloos gereproduceerde lijsten voor de verschillende lengten. De grafiek is afgebeeld voor $W=0.7$, 1.0 en 1.4 , corresponderend met een lage, gemiddelde en hoge werkgeheugencapaciteit.



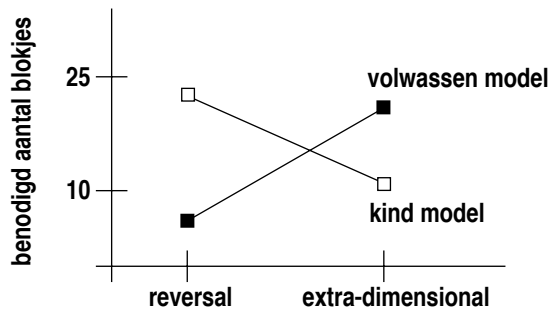
Figuur 5. Stimuli in een discrimination-shift experiment.



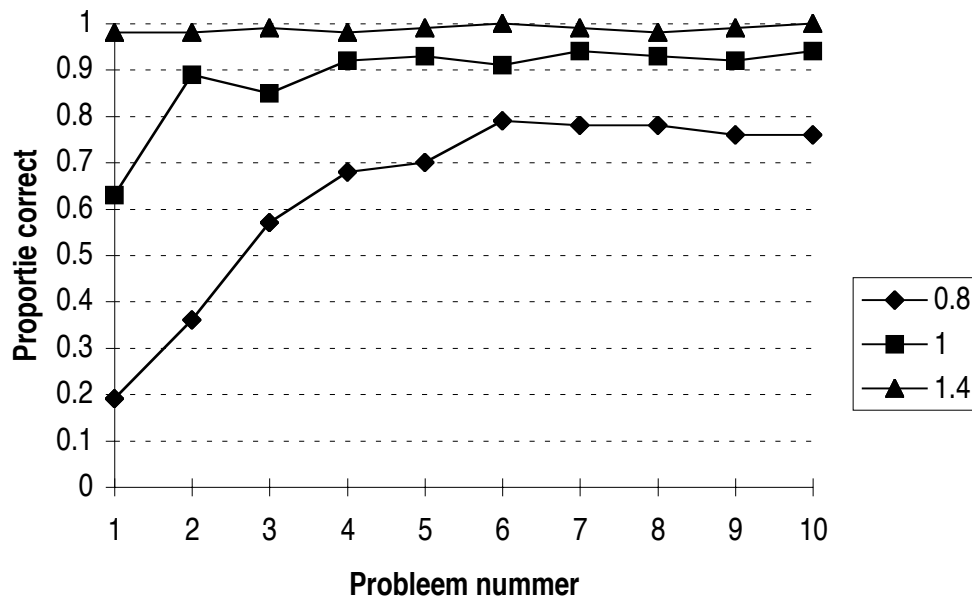
Figuur 6. Resultaten van het Kendler and Kendler (1959) experiment.



Figuur 7. Overzicht van het discrimination-shift model: de leerstrategie produceert taak-specifieke regels, die concurreren met de leerstrategie zelf.



Figuur 8. Resultaten van het discrimination-shift model.



Figuur 9. Proportie opgeloste roosterproblemen binnen vijf minuten voor

W=0.8, 1.0 en 1.4.