

ariel 11.30

**Borrower:** PMC

**Call #:** UNCAT104859 -

**ILL Number:** 714635



**Location:** SML STACKS LC  
**CLASSIFICATION**

**Patron:** Ferris, Jennifer

**Ariel:** 128.2.20.246  
**Fax:** (412) 268-6944

**Journal Title:** Intelligente  
Informationsverarbeitung /

**Shipping Address:**  
Hunt Library, ILL  
Carnegie Mellon University  
4909 Frew Street  
Pittsburgh, PA 15213-3890

**Volume:** Issue:  
**Month/Year:** 1998**Pages:** 93-101

**Article Author:**

**Charge**  
**Maxcost:** \$35.00IFM

**Article Title:** Wallach, D. & Lebiere, C.;  
modellierung von wissenserwerbsprozessen bei  
der systemregelung

**Imprint:** Wiesbaden ; DUV, 1998.  
;SERIES; St

**ILLiad TN:** 30099



11.93-100

**RESEND REQUESTS** must be submitted within four (4) **WORKING DAYS** of original transmission, via **ARIEL** (130.132.80.19) or **FAX** (203-432-2257).  
Thanks!

- Kluwe, R.H. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache & Kognition*, 4, 173-192.
- Kluwe, R.H., Schilde, A., Fischer, C. & Oellerer, N. (1991). Problemlöseleistungen beim Umgang mit komplexen Systemen und Intelligenz. *Diagnostica*, 37, 291-313.
- Kotkamp, U. (1998). *Elementares und komplexes Problemlösen: Über Invarianzeigenschaften von Denkprozessen*. Langrich: Pabst Science Publishers (in Vorb.).
- Krause, W. (1994). Ordnungsbildung als Invarianzleistung bei der Ausbildung mentaler Repräsentationen: Zur aufwandsreduzierenden Strukturierung von Wissen und Prozeduren beim Denken. *Z. Psychol.*, 202, 1-20.
- Lehwald, G. (1985). *Zur Diagnostik des Erkenntnisstrebens bei Schülern*. Berlin: Volk und Wissen.
- Mittenecker, E. (1983). Motivation und Information. *Enzyklopädie Psychologie: Theorie und Formen der Motivation* (pp. 62-92). Göttingen: Hogrefe.
- Moray, N. (1988). *A latent theory of mental models of complex systems*. University of Illinois: Engineering Psychology Research Laboratory.
- Nährer, W. (1986). *Schnelligkeit und Güte als Dimensionen kognitiver Leistungen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Newell, A. (1989). Putting it all together. In: Klahr, G. & Kotovsky, K. (Eds.): *Complex information processing. The impact of Herbert A. Simon. 21st Carnegie-Mellon Symposium on Cognition* (pp. 399-440). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Putz-Osterloh, W. (1990). Fehlerreduktion bei der Steuerung eines realitätsfernen und realitätsnahen Systems. *Vortragsskript, Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP)*.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering*. Amsterdam: North-Holland.
- Rost, J. (1980). *Gedächtnispsychologische Grundlagen naturwissenschaftlichen Wissens*. Basel: Beltz.
- Schoppek, W. (1991). Spiel und Wirklichkeit: Reliabilität und Validität von Verhaltensmustern in sehr komplexen Situationen. *Sprache & Kognition*, 10, 15-27.
- Schwarz, C. (1986). Zur Spezifik von Erkennungsprozessen bei mathematisch Hochbegabten. *Z. Psychol.*, 194, 7-23.
- Sommerfeld, E. (1994). *Kognitive Strukturen: Mathematisch-psychologische Elementaranalysen der Wissensstrukturierung und Informationsverarbeitung*. Münster: Waxmann.
- Stapf, A. & Stapf, K.-H. (1988). Kindliche Hochbegabung in entwicklungspsychologischer Sicht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 35, 1-17.
- Sternberg, R.J. (1977). *Intelligence, information processing, and analogical reasoning: A componential analysis of human abilities*. Hillsdale: Erlbaum.
- Sternberg, R.J. (1985). *Beyond IQ*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Sternberg, R.J. & Gardner, M.K. (1983). Unities in inductive reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 80-116.
- Strohschneider, S. (1990). *Wissenserwerb und Handlungsregulation*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Strohschneider, S. & Schaub, H. (1991). Können Manager wirklich so gut managen? Über die Effekte unterschiedlichen heuristischen Wissens beim Umgang mit komplexen Problemen. *Z. Psychol.*, Suppl.11, 325-340.
- Süss, H.-M., Kersting, M. & Oberauer, K. (1991). Intelligenz und Wissen als Prädiktor für Leistungen bei computersimulierten komplexen Problemen. *Diagnostica*, 37, 334-352.
- Van der Meer, E. (1985). Mathematisch-naturwissenschaftliche Hochbegabung. *Z. Psychol.*, 193, 229-258.

## Modellierung von Wissenserwerbsprozessen bei der Systemregelung<sup>1</sup>

Dieter Wallach und Christian Lebiere

### 1 Einleitung

Seit nunmehr zwei Dekaden werden in der kognitionspsychologischen Problemlöseforschung Untersuchungen zum sogenannten komplexen *Problemlösen* durchgeführt. Gegenstand dieses Forschungsgebietes ist die Beschreibung und Erklärung von Phänomenen, wie sie bei der Interaktion von Individuen mit dynamischen Systemen auftreten. Solche dynamischen Systeme sind typischerweise als computersimulierte Miniwelten („Szenarien“) konzipiert, in die Probanden zielgerichtet eingreifen können. Die vorgenommenen Regelungsaktivitäten und ihre Wirkungen auf das zu regelnde System werden protokolliert und als Indikatoren für die Problemlösekompetenz von Probanden herangezogen (vgl. Funke, 1992). Obwohl diese Forschungsrichtung ohne Zweifel eine Vielzahl empirischer Arbeiten stimuliert, fehlen bis heute übergreifende Theoremsätze zur Erklärung der untersuchten Problemlösevorgänge. Nachdem Funke bereits 1984 auf diese Theoriearmut hinwies, konstatiert derselbe Autor dem Forschungsgebiet auch mehr als zehn Jahre später einen „desolaten Zustand der Theoriebildung“ (Funke, 1995, p. 262). Der vorliegende Beitrag beschreibt einen kognitionswissenschaftlichen Ansatz der Analyse und Modellierung komplexer Problemlöseprozesse vor dem Hintergrund der theoretischen Annahmen der Kognitiven Architektur ACT-R (Anderson & Lebiere, 1998). Unser Fokus liegt hierbei auf der Rekonstruktion von Prozessen des Wissenserwerbs bei der Systembearbeitung. Für dieses Interesse sprechen sowohl inhaltliche als auch methodologische Gründe:

- Kluwe (1993, p. 420) weist darauf hin, daß diese Forschungsfrage – obgleich von zentraler Relevanz – bislang nur unzureichend Beachtung fand: „The most important aspect of complex problem solving has been neglected so far, i.e. learning to act in complex microworlds, learning to adjust one's behavior to dynamic environments“.
- Wird auf Wissen – wie im kognitionswissenschaftlichen Paradigma üblich – als Explanans für kognitive Leistungen rekurriert, so bleibt ein Modell ohne den Einbezug dieses Wissen konstituierender Erwerbsprozesse prinzipiell unvollständig. Die Analyse von Mechanismen zur Genese des zur Handlungserklärung unterstellten Wissens stellt damit ein notwendiges Desiderat zur Konstruktion im strengen Sinne suffizienter Modelle dar.
- Der Einbezug von Lernprozessen liefert strenge *constraints* für die Modellkonstruktion und schränkt so die in der Literatur immer wieder beklagten Freiheitsgrade bei der Modellierung kognitiver Prozesse ein.

<sup>1</sup> Die vorliegende Arbeit wurde durch ein DAAD-Stipendium an den Erstauteur für ein Forschungsjahr am Department of Psychology der Carnegie Mellon University/Pittsburgh gefördert.

Im folgenden werden zunächst zentrale Grundannahmen von ACT-R vorgestellt, bevor anschließend Modelle für die Szenarien POWERPLANT (Wallach, 1998) und SUGARFACTORY (Broadbent & Berry, 1984) skizziert und deren Performanz mit empirischen Daten verglichen wird. Während das erstgenannte Modell abstrakte *Problemschemata* (VanLehn, 1989) in Form generalisierter Produktionen erwirbt und zur Systemregelung nutzt, exemplifiziert letzteres einen *inszenarisierten Ansatz* (Dienes & Fahey, 1995), der Regelungsphasen in deklarativer Form enkodiert und durch einen Prozeß des Ähnlichkeitsvergleichs mit der aktuell zu bearbeitenden Situation abrufft. Die Unterscheidung zwischen einem regel- bzw. instanzensbasierten Fertigkeits-erwerb wird von Redington und Chater (1996, p. 123) als „one of the most fundamental questions in cognitive psychology“ bezeichnet und im vorliegenden Beitrag auf Mechanismen einer integrativen Kognitionstheorie zurückgeführt. Hierbei wird argumentiert, daß die Präferenz für eine Form des Wissenserwerbs mit der Struktur der zu bearbeitenden Task interagiert (vgl. Lebiere, Wallach & Taatgen, 1998).

## 2 Theoretische Rahmenvorstellung: ACT-R

ACT-R kann kurzgefaßt als allgemeine Kognitionstheorie auf der Grundlage eines vorwärtsverkettenenden Produktionensystems mit getrenntem deklarativen und prozeduralen Langzeitgedächtnis bezeichnet werden. Prozedurales Wissen wird in ACT-R in Form von Produktionen, d.h. abstrakten *Wenn-Dann-Regeln* repräsentiert, deklaratives Wissen in Form sogenannter *Chunks*. Chunks dienen der Repräsentation konkreter Faktenwissen und weisen eine frame-artige Struktur auf. Zu jedem Zeitpunkt existiert ein ausgezeichnete Chunk, der das *aktuelle Ziel* des Systems designiert (vgl. Abbildung 1). Chunks werden in einem sogenannten *Zielstapel* hierarchisch organisiert, wobei neue Ziele durch entsprechende Aktionen von Produktionen auf den Zielstapel gelegt (*push*) bzw. von diesem entfernt werden können (*pop*). Da ACT-R-Produktionen im Bedingungsfall immer auf ein aktuelles Ziel referieren, kommt dem Zielstapel eine zentrale Funktion für die Kontrolle der Informationsverarbeitung zu. Ist ein Ziel *abgearbeitet*, so wird der entsprechende Chunk vom Zielstapel entfernt und als neues Element des deklarativen Gedächtnisses enkodiert. Eine weitere Möglichkeit zum Erwerb neuer Chunks besteht in der Enkodierung der Produkte von *Wahrnehmungsprozessen*.

Neben dem Verweis auf einen aktuellen Zielchunk spezifizieren Produktionen Muster zum *Chunkabruf* aus dem deklarativen Gedächtnis und nutzen das *Abrufergebnis* zur *Zielmodifikation*. ACT-R konzeptualisiert zentral-kognitive Vorgänge damit als sequentielle Prozesse der Anwendung von Produktionen, die um die Bearbeitung eines aktuellen Ziels organisiert sind. Sind in einer Situation mehrere Produktionen potentiell auf das aktuelle Ziel anwendbar, so entscheidet ein Prozeß der *Konfliktlösung* über die Auswahl genau einer Produktion. Grundlage der Konfliktlösung ist ein Brauchbarkeitskalkül, daß an den für die Produktion ausführung erwarteten zeitlichen Kosten und der Wahrscheinlichkeit ihrer Zielerreichung orientiert ist. Für den Erwerb neuen prozeduralen Wissens wird ein Mechanismus der *Produktionskompilation* postuliert, der Produktionen aus sogenannten dependency-Chunks abstrahiert. Ein

dependency-Chunk verbindet die Enkodierung einer Problemstellung mit deren Lösung und läßt sich so als Produkt von Verstehens- und Elaborationsprozessen bei der Problembearbeitung auffassen. Bei der Produktionskompilation wird die enkodierte Problemstellung und ihre Elaboration zum Bedingungsbestand einer neuen Produktion generalisiert, aus der Problemlösung wird deren Aktionsteil abstrahiert (vgl. Abschnitt 3).

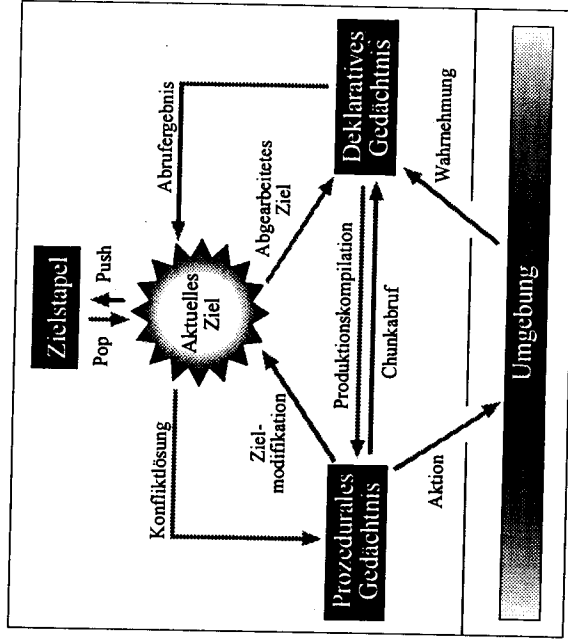


Abbildung 1: Systemarchitektur von ACT-R (nach Anderson & Lebiere, 1998).

Von der in Abbildung 1 dargestellten *symbolischen* Beschreibungsebene von ACT-R kann eine *subsymbolische* Ebene analytisch getrennt werden. Während auf der symbolischen Ebene Chunks und Produktionen Wissensinhalte enkodieren, sind diese auf der subsymbolischen Ebene mit numerischen Parametern annotiert, die deren Verfügbarkeit in einer gegebenen Situation determinieren. Chunks weisen in diesem Sinne einen numerischen Aktivationsgrad auf, der als Abschätzung ihrer Brauchbarkeit in einem gegebenen Kontext interpretiert wird. Die Aktivierung eines Chunks wird hierbei als Summe von dessen Basis- und seiner Kontextaktivierung konzipiert. Während die Basisaktivierung eine Funktion der Nutzungshäufigkeit und -zeitpunkte eines Chunks ist, wird mit der Kontextaktivierung ein Prozeß sich ausbreitender Aktivierung angesprochen, deren Quelle der aktuelle Zielchunk ist. Beim Gedächtnisabruf dominiert jeweils der aktivste Chunk, wobei ein Chunk lediglich dann abgerufen werden kann, wenn dessen Aktivierung über einem festgelegten Schwellwert liegt.

Auch bei der Konfliktlösung zur Auswahl einer Produktion wird auf subsymbolische Parameter zurückgegriffen, die die Erfolgswahrscheinlichkeit bzw. die erwarteten Kosten der Anwendung einer Produktion reflektieren. Zur erfahrungsbasierten Revision aller subsymbolischen Parameter deklarativ und prozeduraler Wissensstrukturen postuliert ACT-R statistische Lernmechanismen, die eine Adaptation des Systems an die Struktur einer Umwelt gestatten. Zusammenfassend können damit die Lernmechanismen von ACT-R in solche zum Erwerb symbolisch repräsentierten *deklarativen* und *prozeduralen* Wissens (Chunkerwerb als Zielenkodierung/Enkodierung von Wahrnehmungsprodukten bzw. Produktionskompilation) sowie deren subsymbolischer *Anwendungsoptimierung* differenziert werden.

In den folgenden beiden Abschnitten werden zwei ACT-R Modelle zur Rekonstruktion von Wissenserwerbsprozessen bei der Systemregelung vorgestellt.

### 3 Erwerb und Abruf prozeduraler Problemtypschemata in ACT-R

In verschiedenen experimentellen Untersuchungen mit dem Szenario POWERPLANT, einem systemtheoretisch fundierten Strukturmodell eines realen Kohlekraftwerks, wurde die Reichweite eines Beobachtungslehrens im Vergleich zu einem explorativen *learning-by-doing* untersucht (Wallach, 1998; Wallach & Tack, 1998). Hierbei konnte eine signifikant bessere Regelungsperformanz bzw. ein überlegenes Systemwissen solcher Probanden nachgewiesen werden, die POWERPLANT in einer Trainingsphase nicht selbst regelten, sondern lediglich die Regelungsaktivitäten von Versuchspersonen beobachteten, die das Szenario durch aktive Exploration zu kontrollieren lernten.

Die Bearbeitung von POWERPLANT erfordert eine Folgeregelung vorgegebener zeitabhängiger Leistungskurven (Ausgangsvariable  $N$ ) bei gleichzeitiger Konstanthaltung des Dampfdrucks (Ausgangsvariable  $P$ ) durch entsprechende Manipulation der Eingangsvariable Brennstoffmassenstrom ( $mbw$ ) und der Stellung des Turbineneinlassventils ( $yw$ ). Folgt man den Annahmen von ACT-R, so erwerben Probanden, die lediglich das Systemverhalten (Reaktion von  $N$  bzw.  $P$ ) auf erfolgte Stelleingriffe (Manipulation von  $mbw$  bzw.  $yw$ ) beobachten können, zunächst deklarative Chunks über Regelungsepisoden als Enkodierung von Wahrnehmungsprodukten. Diese Chunks werden zu aktuellen Zielen, die anschließend elaboriert werden.

Die Auswertung von nahezu 3000 Protokollsegmenten lauten Denkens in der Trainingsphase zeigt, daß Versuchspersonen der Beobachter-Bedingung die gegenüber Explorierern um die Festlegung von Stelleingriffe reduzierte Tätigkeitsanforderung nutzen, um Regelungsepisoden signifikant stärker zu elaborieren (Wallach, 1998). Diese Elaborationen können als *Selbsterklärungen* (Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989) beschrieben werden, in denen Regelungsepisoden um Annahmen zu abstrakten kausalen Zusammenhängen zwischen Ein- und Ausgangsvariablen erweitert, auf physikalische Prinzipien zurückzuführen versucht bzw. in ihrer Dynamik analysiert werden. Solche Selbsterklärungen resultieren in neuem deklarativen Wissen und somit in einer angereicherten Enkodierung von Regelungsepisoden. Entsprechend erweisen sich Probanden der Beobachter-Bedingung signifikant besser in der Lage, Fragen zu

abstrakten Beziehungen zwischen den Systemvariablen und deren dynamische Relationen zu beantworten. Dieser Befund kann als Evidenz für den Erwerb abstrakter Schemata zur Systemregelung interpretiert werden.

Der Erwerb abstrakten Wissens erfolgt nach den Annahmen von ACT-R durch Kompilation deklarativer *dependency-Chunks* in generalisierte Produktionen. Ziel der Modellierung untersuchter Regelungsaktivitäten war es, die Reichweite und empirische Adäquatheit dieses Wissenserwerbsmechanismus' im Kontext von POWERPLANT zu überprüfen. Zur Vermeidung einer Konfundierung von Daten zur Modellkonstruktion und solchen zur Modellprüfung wurde bei der Implementierung des Modells ausschließlich auf Daten der Trainingsphase zurückgegriffen. Die Geltungsprüfung des Modells erfolgte anhand einer anschließenden Wissensanwendungsphase, in der sowohl Beobachter als auch Explorierer POWERPLANT regelten.

Bei der Modellierung von Wissenserwerbsprozessen stand die Rekonstruktion des Lernens durch Beobachtung im Vordergrund. Hierbei erwirbt das Modell in der Trainingsphase um Selbsterklärungen angereicherte Regelungsepisoden in Form von *dependency-Chunks*, in denen folgende Komponenten enkodiert werden:

- Der beobachtete *Stelleingriff*, d.h. die Festlegung einer Eingangsvariablen, die resultierende *Systemantwort*, d.h. die Veränderung einer Ausgangsvariablen,
- *Elaborationen*, in denen beobachteter Stelleingriff und resultierende Systemantwort durch diese verbindende Relationen miteinander verknüpft werden.

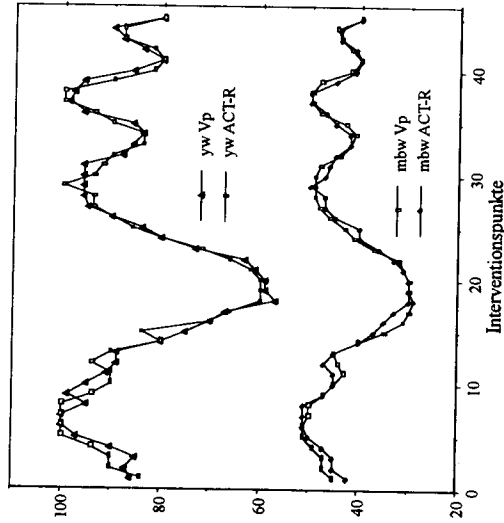


Abbildung 2: Vergleich des Eingriffsverhaltens in der Wissensanwendungsphase.

Gelingt die Elaboration einer Regelungsperiode, so wird das Ziel des Aufbaus eines dependency-Chunks als erfolgreich bearbeitet markiert, der entsprechende Chunk vom Zielstapel entfernt und zu einer Produktion generalisiert. Schlägt die Elaboration fehl, so erfolgt keine Kompilierung der beobachteten Regelungsperiode in Form generalisierter prozeduralen Wissens. Für den erfolgreichen Erwerb abstrakter prozeduraler Schemata ist damit eine erklärende Elaborationen angereicherte deklarative Repräsentation von Regelungsperioden zentral. Die angesprochenen Selbsterklärungen beobachtender Probanden können in diesem Sinne als Evidenz für eine entsprechende Verarbeitung observierter Regelungsperioden angeführt werden. Abbildung 2 zeigt den Vergleich einer Individualmodellierung des besten Probanden der Beobachter-Bedingung mit den aus den erworbenen Produktionen abgeleiteten Regelungseingriffen des ACT-R Modells. Dargestellt sind jeweils die Stelleingriffe an den Eingangsvariablen  $mbw$  und  $yw$  im Verlauf der 45 Systemtakte während Wissensanwendungsphase. Die klare Übereinstimmung der Interventionen kann als Beleg für die empirische Adäquatheit des Modells interpretiert werden.

#### 4 Erwerb und Abruf deklarativen Instanzenwissens in ACT-R

Die Instruktion zur Bearbeitung von SUGARFACTORY versetzt Probanden in die Rolle von Managern, die eine bestimmte Zuckerproduktion ZP, durch Variation eingestellter Arbeiter  $A_i$  ( $1 \leq A_i \leq 12$ ) zu erreichen aufgefordert werden. SUGARFACTORY ist ein Zweigrößensystem mit einer Eingabegröße  $A_i$  und einer Ausgabegröße ZP, die durch nachfolgende Systemgleichung verknüpft sind:

$$ZP_t = 2 \times A_i - ZP_{t-1}$$

Das System multipliziert die Eingabe für  $A_i$  mit 100; ZP, wird als Produktion von Tonnen Zucker aufgefaßt. ZP, kann zu einem beliebigen Zeitpunkt in diskreten Schritten Werte zwischen 1000 und 12000 annehmen. Liegt der durch die Gleichung berechnete Wert für ZP, unter 1000, so wird ZP, = 1000 gesetzt; entsprechend werden Werte > 12000 auf ZP, = 12000 festgelegt. Eine Zufallskomponente modifiziert die Ausgabe ZP, in 2/3 aller Fälle um  $\pm 1000$ . Probanden werden bei der Bearbeitung von SUGARFACTORY instruiert, möglichst eine Zuckerproduktion von 9000 Tonnen in jedem einer festgelegten Anzahl von Takten zu erreichen.

Während Probanden bei der Interaktion mit POWERPLANT der Erwerb abstrakter Problemtypenschemata unterstellt werden kann, zeigen Untersuchungen mit SUGARFACTORY, daß Probanden das System zwar erfolgreich zu bearbeiten lernen, jedoch keine regelhaften Beziehungen zwischen den Systemvariablen abstrahieren können (Wallach, 1998).

Der Erwerb abstrakten Wissens ist bei der Regelung von SUGARFACTORY aus drei Gründen erschwert: (1) Die Ausgabe ZP, hängt neben der Eingabe  $A_i$ , auch negativ von ZP<sub>t-1</sub> ab, (2) es liegt der Einfluß einer Zufallsvariablen vor, (3) die Ausgabe ZP, folgt nicht der oben angegebenen Systemgleichung, wenn der resultierende Wert 1000 unter bzw. 12000 überschreitet. Dienes und Fahey (1995) postulieren daher, daß Probanden

bei der Regelung von SUGARFACTORY auf Wissen um konkrete Regelungsperioden, d.h. enkodierte Systemantworten nach Eingaben in bestimmten Systemzuständen, zurückgreifen. Zur Rekonstruktion dieser Form des Wissenserverbesserungs wurde ein ACT-R Modell implementiert, welches zwei unterschiedliche Vorgehensweisen integriert:

- *Heuristisches Vorgehen*: Ist ZP, kleiner (größer) als der Zielwert der Zuckerproduktion von 9000 Tonnen, so wird die Eingabe von  $A_i$  gegenüber  $A_{i-1}$  zufällig um 0, 1 oder 2 erhöht (gesenkt); liegt ZP, auf dem Zielwert, so wird  $A_i$  gegenüber  $A_{i-1}$  um -1, 0 oder 1 modifiziert. Diese Heuristik wird im Modell durch entsprechende Produktionen repräsentiert.
- *Instanzenbasiertes Vorgehen*: Eine ACT-R Produktion initiiert auf der Basis des aktuell vorliegenden Systemzustands (Cue) eine Gedächtnissuche nach einem Chunk, der eine Eingabe enkodiert, die in einem ähnlichen Systemzustand erfolgreich zum Zielwert führte. Der entsprechende Chunk wird abgerufen und die Eingabe als Inputwert verwendet. Der Gedächtnisabruf erfolgt hierbei durch einen Ähnlichkeitsvergleich des Cues mit repräsentierten Regelungsperioden, wobei solche Chunks einen höheren Aktivationsgrad aufweisen, deren enkodierter Systemzustand ähnlich zu dem aktuell vorliegenden sind.

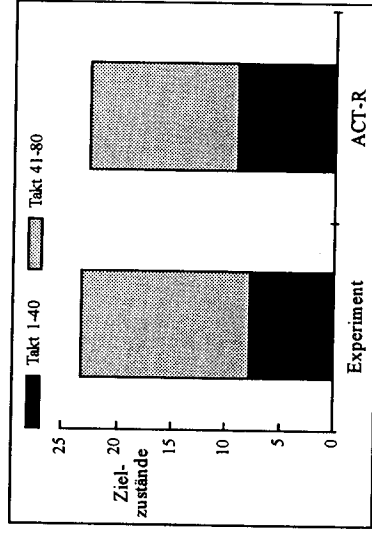


Abbildung 3: Performanz von ACT-R im Vergleich zur experimentellen Untersuchung.

Dienes und Fahey (1995) zeigten, daß das heuristische Vorgehen 86% der ersten zehn Eingaben von Probanden bei SUGARFACTORY erklärt. Das ACT-R Modell nutzt diese Heuristiken zum initialen Aufbau deklarativ enkodierter Regelungsperioden. Mit zunehmender Anzahl episodischer Chunks dominiert der Abruf von Regelungsinstanzen immer stärker über das heuristische Vorgehen, da der Konfliktlösemechanismus von ACT-R das erfolgreichere instanzbasierte Problemlösen bei der Festlegung von Stellengriffen präferiert. Wie Abbildung 3 zeigt, kann das vorgeschlagene Modell die empirisch beobachtete Problemlöseperformanz (Anzahl erreichter Zielzustände in zwei

aufeinanderfolgenden Phasen à 40 Takten) erfolgreich rekonstruieren. Weiter konnten auch die Ergebnisse wissenschaftlicher Erhebungen durch das Modell prognostiziert werden (vgl. Wallach, 1998; siehe ebenda für eine vergleichende Analyse mit dem Modell von Dienes & Fahey, 1995).

## 5 Diskussion

Im vorliegenden Beitrag wurden zwei ACT-R-Modelle zur Regelung dynamischer Systeme skizziert. Während das POWERPLANT-Modell abstrakte Problemschemata aus elaborienten Repräsentationen von Regelungsperioden kompiliert, nutzt das SUGAR-FACTORY-Modell konkretes deklaratives Wissen um Effekte von Systeminterventionen bei bestimmten Systemzuständen. Es wurde argumentiert, daß der Einsatz der jeweiligen Form des Wissenserwerbs von der Struktur des zu bearbeitenden Szenarios abhängig ist. Gelingt die Elaborierung von Relationen zwischen Ein- und Ausgangsvariablen eines Szenarios, so können abstrakte Problemschemata erworben werden, andernfalls wird bei der Systemregelung auf die Nutzung konkreter Enkodierungen von Regelungsperioden rekurriert. Nach unserer Auffassung liefert ACT-R eine fruchtbare Rahmenvorstellung zur Rekonstruktion kognitiver Prozesse bei der Systemregelung – und damit eine Möglichkeit dem angesprochenen Defizit der Theoriebildung in diesem Bereich entgegenzutreten.

## Literatur

- Anderson, J.R. & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1984). On the relationship between task performance and verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 209-231.
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 18, 145-182.
- Dienes, Z. & Fahey, Z. (1995). Role of specific instances in controlling a dynamic systems. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and Cognition*, 21, 4, 848-862.
- Funke, J. (1995). Experimental research on complex problem solving. In P.A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The european perspective*, pp. 243-268. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme*. Berlin: Springer.
- Kluwe, R. (1993). Knowledge and performance in complex problem solving. In G. Strube & W. Wender (Eds.), *The cognitive psychology of knowledge*, pp. 401-424. Amsterdam: Elsevier.
- Lebiere, C., Wallach, D. & Taatgen N. (1998). Implicit and explicit learning in ACT-R. In F.E. Ritter & R. Young (Eds.), *Proceedings of the 2nd european conference on cognitive modelling*, pp. 183-192, Nottingham: Nottingham University Press.
- Redington, M. & Chater, N. (1996). Transfer in artificial grammar learning: A reevaluation. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and Cognition*, 22, 2, 123-138.
- VanLehn, K. (1989). Problem solving and cognitive skill acquisition. In M.I. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Wallach, D. (1998). *Kognitionswissenschaftliche Analyse komplexer Problemlöseprozesse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- Wallach, D. & Tack, W.H. (im Druck). Wissenserwerb bei der Systemregelung. *Kognitionswissenschaft*.

## Kontrollprozesse im Arbeitsgedächtnis vor und nach Übung\*

Erdmute Sommerfeld und Werner Krause

Mit dem Ziel des Nachweises von Synchronisationen spezifischer kortikaler Areale (vgl. auch Engel et al. in diesem Band und Pesche, 1998) haben wir mit der Analyse interregionaler und lokaler Kohärenzen bei Lernprozessen begonnen. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse für ausgewählte Elektrodenpaare vorgestellt.

### 1 Fragestellung

Kontrollprozesse im Arbeitsgedächtnis sind verstärkt dann erforderlich, wenn zur Anforderungsbewältigung ein ständiger Aufmerksamkeitswechsel zwischen mehreren zur Lösung notwendigen Komponenten stattfinden muß, wie es z.B. bei der Lösung von Doppelaufgaben der Fall ist. Dabei kann es sich darum handeln, daß ein Lösungsprozeß stattfindet, während gleichzeitig eine bestimmte Information im Arbeitsgedächtnis behalten werden muß. Prozesse des ständigen Aufmerksamkeitswechsels zwischen Behalten und Prozeß scheinen eine entscheidende Komponente für kognitive Leistungen zu sein (vgl. z.B. Conway und Engle, 1996).

Für die Bewertung von Denkleistungen stellt sich damit die Frage nach der Identifikation solcher Kontrollprozesse sowie nach dem für ihre Realisierung aufgewendeten kognitiven Aufwand („costs“). Während man bei relativ einfachen Anforderungen z.B. auf der Grundlage der unabhängigen Manipulation unterschiedlicher am Lösungsprozeß beteiligter Operationen Teilprozesse aus dem Gesamtprozeß isolieren und ihren Zeitaufwand bestimmen kann, ist dies bei länger andauernden Lösungsprozessen im allgemeinen erschwert. Es ist somit erforderlich, neben dem Zeitverbrauch für bestimmte Teilprozesse auch nach weiteren Indikatoren für den kognitiven Aufwand zu fragen. Eine prinzipielle Möglichkeit besteht darin, *Aktivierungen* bestimmter Bereiche im Gehirn daraufhin zu untersuchen. Auf der Grundlage der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und der funktionellen Kernspin-Tomographie (fMRI) konnten in den letzten Jahren für unterschiedliche kognitive Anforderungen bei verstärkt erforderlicher exekutiver Aufmerksamkeit erhöhte Aktivierungen im Frontalbereich nachgewiesen werden (z.B. Posner & Raichle, 1994; D'Esposito et al., 1995; Casey et al., 1996). Für spezifische Anforderungen konnte experimentell belegt werden, daß nach Übung diese Aktivierung zurückgeht (Posner & Raichle, 1994).

Braver et al. (1997) haben die Arbeitsgedächtnisbelastung variiert und in Abhängigkeit davon die Veränderung der Aktivierung einzelner Hirnregionen mit Hilfe des fMRI untersucht. Dabei fanden sie mit wachsender Arbeitsgedächtnisbelastung signifikante Vergrößerungen der fMRI-Aktivierung über dem dorsolateralen präfrontalen

\* Unser besonderer Dank gilt E. Pfeifer für die Erstellung des Programms zur Konvertierung der Daten in das Brainstar-Format sowie R. Pies für Programmierarbeiten zum Versuchsablauf. Für die Durchführung der Experimente danken wir H. Gibbons, A. Hensel und B. Kriese.