Künstliche Intelligenz, 9(6), November / Dezember 1995.

Ressourcenadaptive Dialogführung:
ein interdisziplinärer Forschungsansatz*

Wolfgang Wahlster, Anthony Jameson, Alassane Ndiaye,
Ralph Schäfer und Thomas Weis

Fachbereich Informatik, Universität des Saarlandes
Postfach 151150, D-66041 Saarbrücken
{wahlster, jameson, ndiaye, ralph, weis}@cs.uni-sb.de
Telefon: +49 681 302 {5252, 2472, 4135, 2865, 2865}
Fax: +49 681 302 4136

Das Dialogverhalten von Menschen wird von Zeitdruck und Ablenkungen spürbar beeinflußt. Wie kann ein Dialogsystem diese Effekte berücksichtigen, und wie soll es dabei mit seinen eigenen Zeitbeschränkungen umgehen? Dies sind die Fragestellungen des kognitionswissenschaftlichen Forschungsprojektes READY, in dem Methoden der KI und der Psychologie in enger Verzahnung angewendet werden.

Bislang hat man in der KI-Forschung Ressourcen wie Zeit, Speicherplatz und Verarbeitungskapazität meist idealisierend als unbeschränkt angenommen. In jüngster Zeit werden aber explizite Modelle der *Ressourcenadaptivität* diskutiert — hauptsächlich im Zusammenhang mit Realzeitanwendungen. Im Vordergrund stehen kognitive Prozesse, deren Ablauf von Wissen über die zu ihrer Realisierung verfügbaren Ressourcen abhängt. *Ressourcenadaptive kognitive Prozesse* sollen im neuen Saarbrücker Sonderforschungsbereich 378, der im Januar 1996 seine Arbeit aufnimmt, aus den Perspektiven mehrerer Disziplinen untersucht werden: der KI, der Psychologie, der Computerlinguistik und der Philosophie.

Bei Systemen, die mit einem menschlichen Benutzer einen Dialog führen, bezieht sich die Ressourcenadaptivität nicht nur auf die eigenen Ressourcen des Systems: Das System sollte auch die Ressourcenbeschränkungen des Dialogpartners, die individuell und situationsabhängig variieren, explizit modellieren und berücksichtigen.

Im Projekt READY (**Re**ssourcen**a**daptives **D**ialogs**y**stem) (s. Wahlster et al., 1995) wird erstmals ein Dialogsystem entwickelt, das bzgl. dieser beiden Aspekte ressourcenadaptiv ist. Dabei werden Grundlagen erarbeitet, die für die nächste Generation von interaktiven Auskunfts-, Beratungs- und Hilfesystemen benötigt werden. Der Anwendungstrend geht bereits heute in die Richtung adaptiver Dialogsysteme, ohne daß die notwendigen kognitionswissenschaftlichen Grundlagen geklärt sind. Gleichzeitig besteht auch ein psychologisches Erkenntnisinteresse an der Frage, wie ein Dialogteilnehmer die Ressourcenbeschränkungen seines Kommunikationspartners einschätzen und bei der Dialogführung berücksichtigen kann.

READY wird anhand der in Bild 1 veranschaulichten beispielhaften Diskurssituation erprobt. Der Dialogpartner $\mathcal{P}$ ist ein Autofahrer, dem das System über ein Funktelefon Pannenhilfe bieten soll. Die Dialogführung von $\mathcal{P}$ wird durch situationsbedingte Ressourcenbeschränkungen erschwert; er kann die von READY angebotene Information nicht notieren, und wegen Zeitbeschränkungen, Ablenkungen und Streß ist er nicht immer in der Lage, komplexe Inferenzen zu ziehen. In einer empirischen

*Das Projekt "READY: Ressourcenadaptive Dialogführung" wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 378, "Ressourcenadaptive kognitive Prozesse" gefördert.

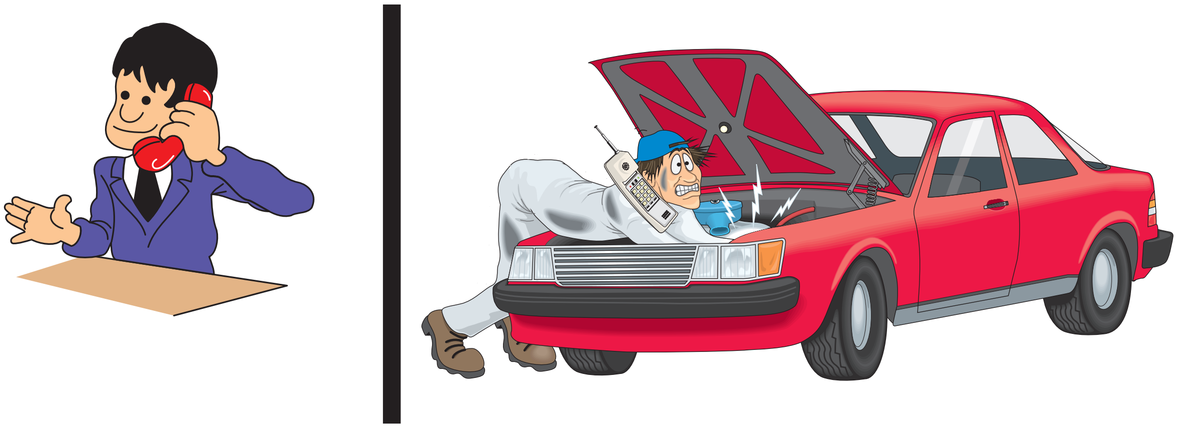

Bild 1: Beispielszenario von READY, wie in einer empirischen Vorstudie realisiert.

Mechaniker: Motorhaube schon geöffnet?

Werden unter Zeitdruck Ellipsen besonders häufig generiert?

Fahrerin: Nee, Motorhaube hab' ich noch nicht geöffnet.

Führen redundante Antworten manchmal zu Zeitersparnis?

Mechaniker: Äh <Z> . Im<Z> Fußraum, das heißt <P> unterm Lenkrad <P> links <P> is'n Hebel. <P> Da dran ziehen.

Inwiefern sind Sprechpausen ressourcenadaptiv?

Fahrerin: Moment %grad %bitte <#Knistern> <P> OK <P> jetzt.

Wird unter Zeitdruck der Sprecherwechsel häufiger ausdrücklich signalisiert?

Mechaniker: Jetzt Motorhaube öffnen?

Fahrerin: <P> Wie rum %geht'n der auf? So 'rum?

Warum genau werden deiktische Ausdrücke verwendet, wenn der Hörer sie doch nicht verstehen kann?

Mechaniker: Ai, in der Mitte der Haube <oah> <!Stöhnen> zwischen Haube und Kühlergrill durchgreifen, ...

Fahrerin: Ja ich hab's.

Mechaniker: *da... *da... ja?

Fahrerin: <%> <P> wie geht'n... wie hält denn das Ding? <;Ächz>

Sind Stöhnen, Nicht-Wörter und unglücklich formulierte Sätze nützliche Hinweise auf eine starke Belastung des Arbeitsgedächtnisses?

Bild 2: Kommentierter Auszug einer Transliteration eines im READY-Beispielszenario aufgenommenen Dialogs mit Zeitdruck. (<P> = Pause, <Z> = Zögern, <#> = nichtartikulatorisches Geräusch, * = Nichtwort, % = Schwerverständliches, <%> = Unverständliches, <;> = lokaler Kommentar.)

Vorstudie wurden acht Dialoge in diesem Szenario (darunter vier mit Zeitdruck) aufgenommen und untersucht. Der kommentierte Auszug in Bild 2 zeigt einige Phänomene und Fragestellungen, die bei ressourcenadaptiver Dialogführung entstehen.

Es werden mit READY zwei Typen von Ressourcenbeschränkungen untersucht:

1. Der Dialogpartner kann mehr oder weniger extremen *Zeitbeschränkungen* unterliegen; diese stellen wiederum auch für READY Zeitbeschränkungen dar, da READY als kooperatives System entworfen ist. Eine Zeitbeschränkung kann auch mitten im Dialog auftreten, z.B. wenn der Akku für das Funktelefon auszugehen droht; hier ist eine reaktive Umplanung des Dialogs erforderlich.
2. *Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses* werden spürbar, wenn $\mathcal{P}$ durch die Menge der aktuell zu verarbeitenden Information überfordert wird. Beispielsweise kann es für $\mathcal{P}$ zu schwierig sein, eine komplexe Anweisung zu einem ihm bisher unbekannten Eingriff im Motorraum zu behalten und auszuführen. Im Gegensatz zu einer außerhalb der Psychologie gängigen Auffassung ist das Arbeitsgedächtnis nicht lediglich ein Speicher mit einer Kapazität von ungefähr sieben Zellen; vielmehr umfaßt es unterschiedliche Teilsysteme und Prozesse, die an der Dialogführung beteiligt sein können.

In diesem Bericht wird skizziert, auf welche interdisziplinären Vorarbeiten bei der Entwicklung von READY zurückgegriffen wird, wie die Gesamtarchitektur und die Kernmodule von READY konzipiert sind und wie neue empirische Forschung die Entwicklung des Systems leitet.

1 Interdisziplinäre Grundlagen

Obwohl ressourcenadaptive Dialogführung bisher weder in der Psychologie noch in der KI als Forschungsschwerpunkt galt, sind auf beiden Gebieten zahlreiche Beiträge zu finden, die Anhaltspunkte für die Entwicklung von READY bieten.

1.1 Beiträge aus der Psychologie

Innerhalb der Psychologie lassen sich drei breite Kategorien potentiell relevanter Beiträge unterscheiden.

Die *normative Forschung zur Ressourcenadaptivität* leitet wissenschaftlich fundierte Richtlinien ab. Beispielsweise untersuchen Psychologen auf dem Gebiet der kognitiven Ergonomie schon seit den 70er Jahren, wie man beim Entwurf eines interaktiven Systems die Beschränkungen der Benutzerressourcen Zeit und Arbeitsgedächtnis berücksichtigen kann (s. z.B. Olson & Olson, 1990; Norman, 1983). Andere Richtlinien betreffen die Frage, wie man die Verständlichkeit eines geschriebenen Textes verbessern kann, indem man die genaue Rolle des Arbeitsgedächtnisses beim Textverstehen in Betracht zieht (s. z.B. Kemper et al., 1993; Kintsch & Vipond, 1979).

Deskriptive Forschung zur ressourcenadaptiven Dialogführung wirft Licht auf die ressourcenadaptiven Strategien, die Menschen für entsprechende Dialogsituationen entwickelt haben. Es wird z.B. untersucht, wie Sprecher ihr Verhalten einer experimentell auferlegten Zeitbeschränkung anpassen (s. z.B. Rummer et al., 1995). Auch einige in der Diskursanalyse beobachtete Verhaltenstendenzen können teilweise als Folgen ressourcenadaptiver Strategien ausgelegt werden, die der Zeitersparnis bzw. der Schonung des Arbeitsgedächtnisses dienen (s. z.B. Garrod & Clark, 1993; Heath & Luff, 1991; Snow & Ferguson, 1977).

Schließlich findet man eine Fülle *deskriptiver Forschung zu Ressourcenbeschränkungen bei der Sprachverarbeitung*. Diese beschreibt Auswirkungen von Ressourcenbeschränkungen, denen ressourcenadaptives Dialogverhalten sich anpassen kann und sollte. Gathercole und Baddeley (1993) bieten eine breite Übersicht; ein vielbeachtetes Simulationsmodell wurde von Just und Carpenter (1992) vorgestellt.

1.2 Beiträge aus der Künstlichen Intelligenz

Einige adaptive Dialogsysteme haben Dialogstrategien realisiert, die mehr oder weniger explizit die *Ressourcenbeschränkungen des Dialogpartners berücksichtigen* — z.B. durch das gezielte

Weglassen (s. Cawsey, 1993; Gertner, 1994) oder Wiederholen (s. Walker, 1993) ausgewählter Informationen.

Mehrere natürlichsprachliche Systeme haben die Technik der *Antizipationsrückkopplung* angewandt: Bevor (oder nachdem) das System eine Äußerung generiert, simuliert es den Versuch des Dialogpartners, die Äußerung zu interpretieren; so kann das System Interpretationsproblemen vorbeugen (s. z.B. Jameson & Wahlster, 1982; Wahlster et al., 1993; Ndiaye & Jameson, 1996). Dieser Technik kommt bei der Dialogführung unter Ressourcenbeschränkung eine besondere Bedeutung zu, weil hier Ellipsen und andere kontextabhängige Äußerungen eine wichtige Rolle spielen.

Für die Berücksichtigung der eigenen Zeitbeschränkungen des Systems bieten sich KI-Techniken für die Planung unter Zeitbeschränkung an. Ein für READY relevanter Ansatz betrifft die *approximative inkrementelle Planung* (s. z.B. Segre & Turney, 1992): Ein Planer erzeugt zunächst einen approximativen, aber trotzdem ausführbaren Plan; dieser wird dann inkrementell verifiziert bzw. verbessert, solange es die Zeit zuläßt. Bei einem zweiten Ansatz werden *multiple Ausführungsarchitekturen* (s. Ogasawara & Russell, 1993) eingesetzt: Diese sind unterschiedliche Realisierungen der gleichen Agentenfunktionalität. Sie können zusammen eine höhere Effizienz als eine einzige Implementation erreichen, wenn das System die Planung auf einer Meta-Ebene steuert und dabei jeweils zwischen den möglichen Realisierungen entscheidet.

Eine *ressourcenadaptive Architektur* ist für das Gesamtsystem READY erforderlich, so daß es sich wechselnden Zeitbeschränkungen anpassen kann. Der Begriff eines *Anytime-Algorithmus* (s. Dean & Boddy, 1988) spielt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle. Ein Anytime-Algorithmus liefert auch bei vorzeitiger Terminierung ein Ergebnis. Das Ergebnis wird monoton als Funktion der investierten Verarbeitungszeit bzgl. einer Qualitätsmetrik besser; eine solche Funktion wird als *Performanzprofil* bezeichnet (s. Russell & Wefald, 1991).

2 Architektur und Hauptkomponenten von READY

2.1 Grobarchitektur

Die beiden Hauptkomponenten von READY sind ein Dialogplaner und ein Modul zur Modellierung relevanter Aspekte des Gesprächspartners (Bild 3).

Der Dialogplaner erzeugt inkrementell einen Plan für das Dialogverhalten von READY. Die inhaltlichen Aspekte des Dialogplans — im wesentlichen die erforderlichen Diagnose- und Reparaturschritte — entwickelt er aufgrund der Ergebnisse aus der Komponente für die Aktionsplanung. Hierbei bezieht er sich auf das schrittweise aufgebaute Modell der Ressourcenbeschränkungen von $\mathcal{P}$. Die für die Benutzeräußerungen verwendeten semantischen Repräsentationen codieren auch einige performanzorientierte Aspekte, z.B. Sprechgeschwindigkeit, Häsitationen und Selbstkorrekturen.

2.2 Inferenzen über Ressourcenbeschränkungen

Bei der Einschätzung von $\mathcal{P}$s Ressourcenbeschränkungen geht READY von angenommenen Kausalzusammenhängen zwischen vier Typen von Variablen aus (vgl. Bild 4). *Ursachen* sind Variablen, die grundsätzlich beobachtbar sind und die das Ausmaß von *Ressourcenbeschränkungen* bei $\mathcal{P}$ mit beeinflussen. Die Ressourcenbeschränkungen haben wiederum zunächst nicht-beobachtbare *interne Folgen*, die sich mehr oder weniger stark durch *Symptome* im beobachtbaren Dialogverhalten von $\mathcal{P}$ äußern. Zur Modellierung solcher probabilistischen Kausalzusammenhänge eigenen sich bayessche Netze (s. Pearl, 1988), die bereits für die Benutzermodellierung im von den Verfassern entwickelten Dialogsystem PRACMA (s. Schäfer, 1994; Jameson et al., 1994; Jameson et al., 1995; s.a. Jameson, 1995) eingesetzt wurden. Ein bayessches Netz unterstützt sowohl *prädiktive* Inferenz (von oben nach unten in Bild 4) als auch *diagnostische* Inferenz (von unten nach oben).

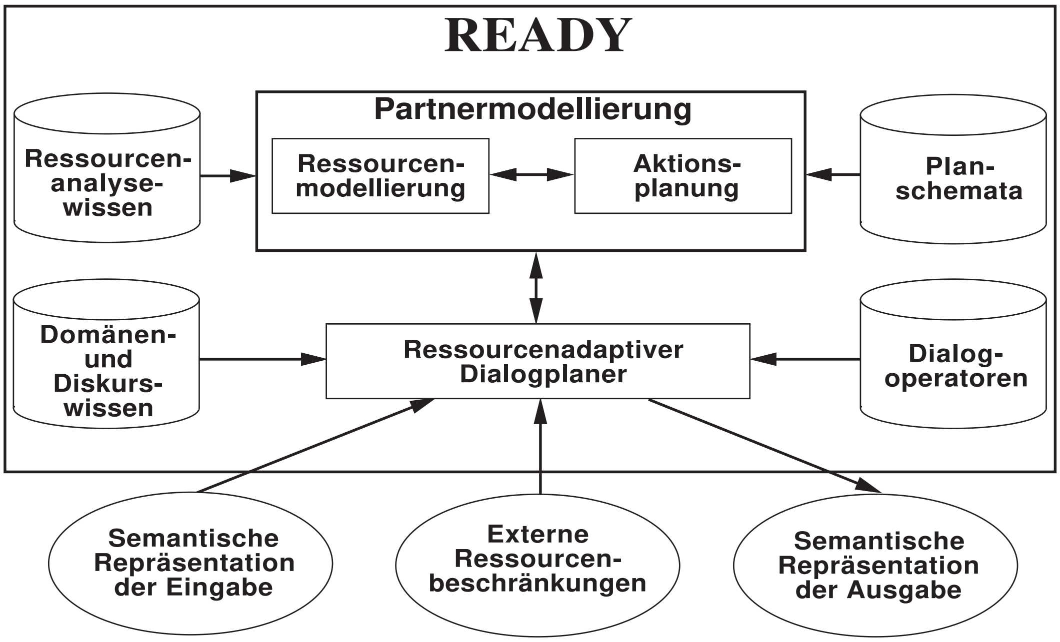

Bild 3: Grobarchitektur des Systems READY.

Eine Hauptaufgabe bei der Entwicklung dieses Moduls betrifft die genaue Definition von Variablen, wie sie in Bild 4 verwendet werden, sowie die quantitative Spezifikation ihrer Kausalzusammenhänge. Hierbei wird u.a. von eigenen empirischen Studien ausgegangen (vgl. Abschnitt 3). Längerfristig können auch Lernverfahren für bayessche Netze zum Einsatz kommen, die heute einen Schwerpunkt in der Forschung zur Unsicherheitsbehandlung in der KI bilden (s. z.B. Russell et al., 1995).

2.3 Ressourcenadaptive Dialogplanung

Bild 5 gibt ein Beispiel ressourcenadaptiver Dialogplanung, bei dem der Planer mitten in einer Äußerung seinen Dialogplan drastisch anpaßt. Die linke Spalte zeigt, wie READY seine Erörterung ohne Berücksichtigung von Zeitdruck fortsetzen würde; die rechte Spalte zeigt ein eindeutiges Symptom von Zeitdruck beim Dialogpartner sowie die neu geplanten Äußerungen des Systems. In den Bildern 6 und 7 ist zu sehen, wie diese beiden Dialogstrukturen mit den Begriffen der Rhetorical Structure Theory (RST, s. Mann & Thompson, 1987; Rösner & Stede, 1993) repräsentiert werden. Auffällig in Bild 7 sind der Verzicht auf das motivierende Beispiel EX1 und die Ersetzung der Aufforderungssequenz R2, R3 durch eine elliptische Aufforderung in R4.

Die ressourcenadaptive Dialogplanung umfaßt zwei Hauptaufgaben:

1. *Aus erkannten Ressourcenbeschränkungen werden ressourcenadaptive Anforderungen an die Dialogplanung abgeleitet.* Diese sind allgemeine rhetorische Ziele, die abhängig vom Kontext auf unterschiedliche Weise erreicht werden können. Beispielsweise werden in Bild 5 aufgrund der Unterbrechung in etwa die folgenden ressourcenadaptiven Anforderungen aufgestellt: “Die Länge der Systemanweisungen sollte minimal sein, ohne daß dadurch die Zeit zum Verstehen und Ausführen durch $\mathcal{P}$ wesentlich verlängert wird.”
2. *Ressourcenadaptive Anforderungen werden auf speziellere Parameter zur Beeinflussung der Dialogplanung abgebildet.* Beispielsweise scheint der Benutzer in Bild 5 über gutes Hintergrundwissen zu verfügen und legt auf motivierende Erläuterungen offenbar keinen Wert. In diesem Kontext

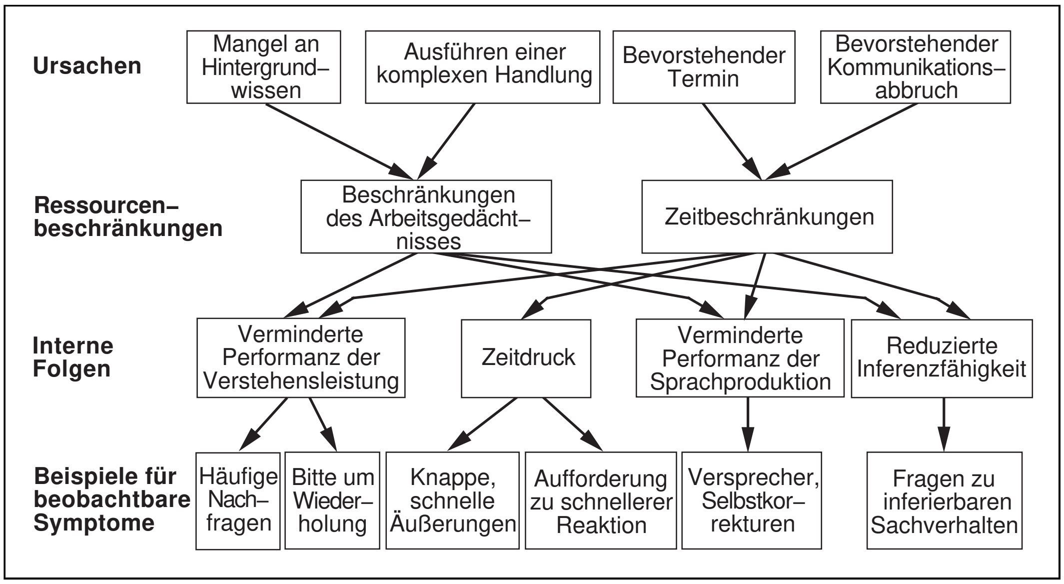

Bild 4: Kausalzusammenhänge, die als Grundlage für Inferenzen über Ressourcenbeschränkungen dienen können. (Ein Pfeil von A nach B bedeutet, daß A B beeinflußt.)

READY: **Es tut mir leid (A1), aber Sie werden das Rad wohl wechseln müssen. (R1) Wenn Sie nämlich so weiterfahren würden, könnte es passieren, (M1)**

ohne Zeitdruck	**mit Zeitdruck**
daß das Rad beschädigt wird, wenn Sie z.B. über eine holprige Straße fahren. (EX1) Ziehen Sie erst die Handbremse. (R2) Sichern Sie dann den Wagen (M2), indem Sie Keile vor die Räder legen. (R3)	**P: [Unterbrechung] Ja, schon gut. Ich hab's eilig.** **READY: Okay. (C1) Wagen vor dem Wegrollen (M3) sichern. (R4)**

Bild 5: Beispiel ressourcenadaptiver Dialogplanung in READY, abhängig von einer Unterbrechung durch den Benutzer $\mathcal{P}$. (In Klammern werden jeweils Diskurseinheiten gemäß RST markiert.)

können die ressourcenadaptiven Anforderungen daher in etwa auf folgende Spezifikationen für den Dialogplaner abgebildet werden: (a) “Lasse Anweisungen zu Handlungen weg, deren Notwendigkeit ein Autofahrer mit gutem Hintergrundwissen selber erkennen könnte.” (b) “Verwende keine Äußerungsteile, die lediglich der Motivation dienen.”

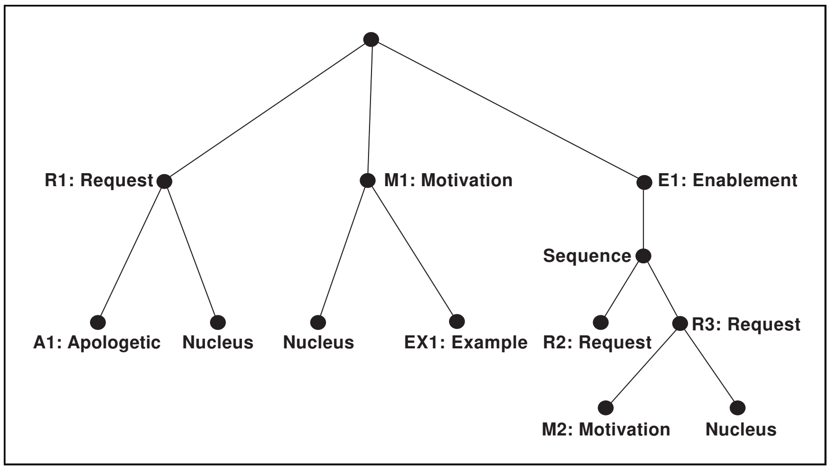

Bild 6: RST-Darstellung des Dialogverlaufes in Bild 5 ohne Zeitdruck.

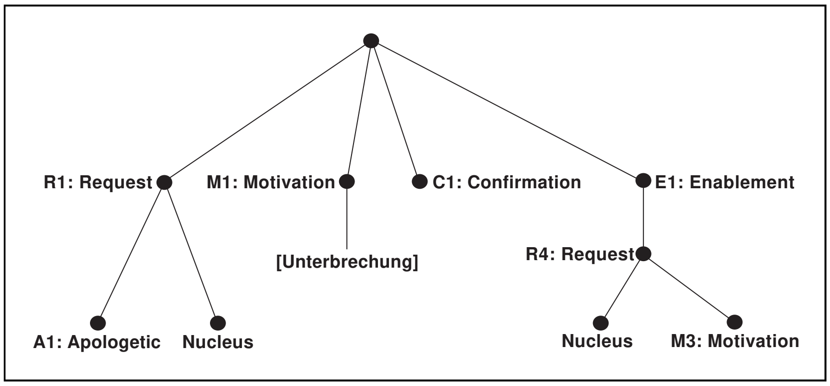

Bild 7: RST-Darstellung des Dialogverlaufes in Bild 5 mit dem ausdrücklichen Hinweis auf Zeitdruck.

2.4 Ressourcenadaptive Architektur

Ressourcenadaptive Anforderungen können auch die Zeit betreffen, die dem System für seine eigene Verarbeitung zur Verfügung steht. Da sämtliche Systemmodule zur Rechenzeit des Systems beitragen, verwendet READY eine ressourcenadaptive Systemarchitektur (s. Bild 3). Die verschiedenen Systemkomponenten werden flexibel gestaltet, wobei für einige zentrale Komponenten mehrere alternative Verarbeitungsverfahren realisiert werden.

Zur optimalen Zuteilung von Rechenzeit und Aufgaben werden globale Strategien angewendet; so können Aufgaben etwa durch iterative Expansion oder durch Verwendung alternativer Module fristgerecht gelöst werden (vgl. Abschnitt 1.2). Beispielsweise werden dem System verschiedene Aktionsplanungsansätze zur Verfügung gestellt, die Anytime-Verhalten mit unterschiedlichen Performanzprofilen zeigen.

Für die Integration und Komposition mehrerer Anytime-Komponenten in READY werden Methoden verwendet, die zur Laufzeit optimale Ressourcenallokationen für die verschiedenen Komponenten vornehmen.

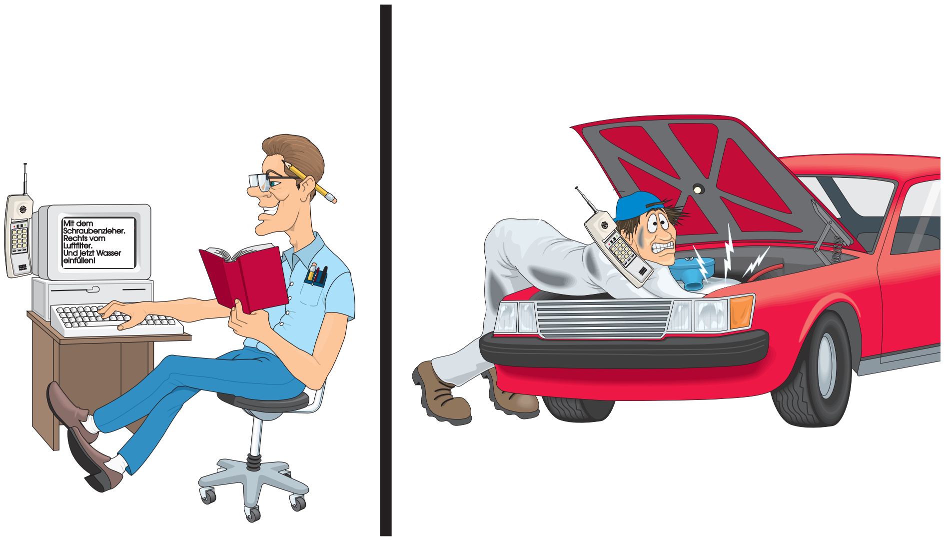

Bild 8: Skizze einer Wizard-of-Oz-Studie zur Evaluation der zeitbezogenen ressourcenadaptiven Strategien.

3 Empirische Grundlagen

Bei der Entwicklung von READY werden neben KI-Techniken aus zwei Gründen auch psychologische Forschungsmethoden eingesetzt: (a) Techniken zur Berücksichtigung menschlicher Ressourcenbeschränkungen müssen auf Einsichten über diese Ressourcenbeschränkungen, ihre Ursachen und ihre Folgen beruhen (vgl. Bild 4). (b) Menschen haben durch lange Erfahrung raffinierte Strategien zur ressourcenadaptiven Dialogführung entwickelt, die als Ausgangspunkte für den Entwurf maschineller Strategien dienen können.

Zur Erarbeitung empirischer Grundlagen für die Modellbildung werden wie in der empirischen Vorstudie (Bild 2) Dialogaufnahmen im Beispielszenario gemacht. Diese werden so aufgenommen und analysiert, daß einige der in Bild 4 gezeigten Kausalzusammenhänge quantifiziert werden können. Außerdem werden Reaktionen von den Dialogteilnehmern und von unabhängigen Versuchspersonen auf Aspekte der Dialoge erfaßt (s. Ericsson & Simon, 1993); so können Hypothesen über die von Menschen angewandten ressourcenadaptiven Dialogstrategien und ressourcenbezogenen Inferenzen abgeleitet werden.

Schon bevor das gesamte System READY weit genug entwickelt ist, um selbständig Dialoge mit Versuchspersonen zu führen, werden einige der im System realisierten ressourcenadaptiven Strategien empirisch evaluiert. Hierzu wird die Wizard-of-Oz-Technik angewandt, wie in Bild 8 veranschaulicht. Der Versuchsleiter übernimmt die Interpretation der Äußerungen der Versuchsperson und teilt dem System ihre Bedeutung über eine Menü-Schnittstelle mit. Die durch READY gewählten Äußerungen werden mit Hilfe vorbereiteter Sprachaufnahmen an die Versuchsperson übermittelt. READY wird jeweils mitgeteilt, ob die Versuchspersonen unter Zeitdruck stehen; aber in der Hälfte der Fälle ist diese Mitteilung falsch. Die Effektivität der Dialogstrategien von READY wird anhand folgender Frage geprüft: Sind die von READY gewählten Äußerungen tatsächlich wirkungsvoller, wenn READY über das Bestehen von Zeitdruck beim Dialogpartner richtig informiert ist?

4 Schlußwort

Das Thema der ressourcenbeschränkten Verarbeitung genießt zur Zeit großes Interesse in der KI-Forschung. Dieses Interesse wird das Gewicht der Kognitionswissenschaft innerhalb der KI vergrößern, denn bei diesem Thema sind nicht nur die Probleme häufig beim Menschen anzutreffen, sondern auch deren Lösungen in Form von ressourcenadaptiven kognitiven Prozessen.

Literatur

(Arbeiten aus der Arbeitsgruppe der Verfasser sind unter `http://zaphod.cs.uni-sb.de/KI/` verfügbar.)

Cawsey, A. (1993). Planning interactive explanations. *International Journal of Man-Machine Studies, 38,* 169–199.

Dean, T. L. & Boddy, M. (1988). An analysis of time-dependent planning. *Proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence*, St. Paul, MN, 49–54.

Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data* (Verb. Aufl.). Cambridge, MA: MIT Press.

Garrod, S. & Clark, A. (1993). The development of dialogue co-ordination skills in schoolchildren. *Language and Cognitive Processes, 8,* 101–126.

Gathercole, S. E. & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*. Hove, UK: Erlbaum.

Gertner, A. S. (1994). Responding to users' informational needs in time-critical situations. *Proceedings of the Fourth International Conference on User Modeling*, Hyannis, MA, 127–132.

Heath, C. & Luff, P. (1991). Collaborative activity and technological design: Task coordination in London Underground control rooms. In L. Bannon, M. Robinson, & K. Schmidt (Hrsg.), *Proceedings of the Second European Conference on Computer-Supported Cooperative Work* (S. 65–80). Dordrecht, Niederlande: Kluwer.

Jameson, A. (1995). Numerical uncertainty management in user and student modeling: An overview of systems and issues. *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Im Druck.

Jameson, A., Kipper, B., Ndiaye, A., Schäfer, R., Simons, J., Weis, T. & Zimmermann, D. (1994). Cooperating to be noncooperative: The dialog system PRACMA. In B. Nebel & L. Dreschler-Fischer (Hrsg.), *KI-94: Advances in artificial intelligence* (S. 106–117). Berlin: Springer.

Jameson, A., Schäfer, R., Simons, J. & Weis, T. (1995). Adaptive provision of evaluation-oriented information: Tasks and techniques. In C. S. Mellish (Hrsg.), *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (S. 1886–1893). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.

Jameson, A. & Wahlster, W. (1982). User modelling in anaphora generation: Ellipsis and definite description. *Proceedings of the Fifth European Conference on Artificial Intelligence*, Orsay, Frankreich, 222–227.

Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review, 99,* 122–149.

Kemper, S., Jackson, J. D., Cheung, H. & Anagnopoulos, C. A. (1993). Enhancing older adults' reading comprehension. *Discourse Processes, 16,* 405–428.

Kintsch, W. & Vipond, D. (1979). Reading comprehension and readability in educational practice and psychological theory. In L.-G. Nilsson (Hrsg.), *Perspectives on memory research: Essays in honor of Uppsala University's 500th anniversary* (S. 329–365). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Mann, W. C. & Thompson, S. A. (1987). Rhetorical structure theory: Description and construction of text structures. In G. Kempen (Hrsg.), *Natural language generation: New results in artificial intelligence, psychology, and linguistics* (S. 85–95). Dordrecht, Niederlande: Nijhoff.

Ndiaye, A. & Jameson, A. (1996). Predictive role taking in dialog: Global anticipation feedback based on transmutability. *Proceedings of the Fifth International Conference on User Modeling*, Kailua-Kona, HI.

Norman, D. A. (1983). Design rules based on analyses of human error. *Communications of the ACM, 26,* 254–258.

Ogasawara, G. H. & Russell, S. J. (1993). Planning using multiple execution architectures. In R. Bajcsy (Hrsg.), *Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (S. 1394–1399). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.

Olson, J. R. & Olson, G. M. (1990). The growth of cognitive modeling in human-computer interaction since GOMS. *Human-Computer Interaction, 5,* 221–265.

Pearl, J. (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.

Rösner, D. & Stede, M. (1993). Zur Struktur von Texten: Eine Einführung in die Rhetorical Structure Theory. *Künstliche Intelligenz, 7* (3), 14–21.

Rummer, R., Grabowski, J. & Vorwerg, C. (1995). Kontrollprozesse beim Sprechen: Flexibilität und Determination der ereignisbezogenen Äußerungsplanung. *Zeitschrift für Psychologie, 203,* 25–51.

Russell, S., Binder, J., Koller, D. & Kanazawa, K. (1995). Local learning in probabilistic networks with hidden variables. In C. S. Mellish (Hrsg.), *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (S. 1146–1152). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.

Russell, S. J. & Wefald, E. H. (1991). *Do the right thing: Studies in limited rationality*. Cambridge, MA: MIT Press.

Schäfer, R. (1994). Multidimensional probabilistic assessment of interest and knowledge in a non-cooperative dialog situation. In C. G. Thomas (Hrsg.), *ABIS 94 — GI Workshop: Adaptivität und Benutzermodellierung in interaktiven Softwaresystemen* (S. 46–62). Sankt Augustin: Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung.

Segre, A. M. & Turney, J. S. (1992). SEPIA: A resource-bounded adaptive agent. In J. Hendler (Hrsg.), *Proceedings of the First International Conference on Artificial Intelligence Planning Systems* (S. 303–304). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.

Snow, C. E. & Ferguson, C. A. (Hrsg.) (1977). *Talking to children: Language input and acquisition*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Wahlster, W., André, E., Finkler, W., Profitlich, H.-J. & Rist, T. (1993). Plan-based integration of natural language and graphics generation. *Artificial Intelligence, 63,* 387–427.

Wahlster, W., Jameson, A., Ndiaye, A., Schäfer, R. & Weis, T. (1995). READY: Ressourcenadaptive Dialogführung. In W. H. Tack (Hrsg.), *Ressourcenadaptive kognitive Prozesse: Finanzierungsantrag 1996 – 1997 – 1998*. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.

Walker, M. A. (1993). *Informational redundancy and resource bounds in dialogue*. Dissertation, University of Pennsylvania. Verfügbar als Report IRCS-93-45, Institute for Research in Cognitive Science.