In R. H. Kluwe und M. May (Hrsg.), *Proceedings der 2. Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft*, Universität Hamburg, März 1996, S. 59-61.

Inferenzen über das Arbeitsgedächtnis eines Dialogpartners

Anthony Jameson, Universität des Saarlandes

Im Auto erwarten wir keine komplexen Gesprächsbeiträge von dem Fahrer, während dieser gerade durch eine schwierige Kreuzung navigiert. Allgemeiner: In alltäglichen Dialogsituationen haben die Teilnehmer zumindest ein vages Bild davon, wie das Arbeitsgedächtnis des Dialogpartners belastet ist und inwieweit es noch beansprucht werden kann.

Die hier beschriebene Forschungsarbeit hat als Ziel eine möglichst präzise Beschreibung der Inferenzen, die ein Sprecher $\mathcal{S}$ über das Arbeitsgedächtnis seines Dialogpartners $\mathcal{P}$ machen kann. Die Ergebnisse sollen in einem neuen Dialogsystem READY (**Re**source-**A**daptive **D**ialog S**y**stem, s. Wahlster u.a., 1995) verwertet werden. Das System READY ($\mathcal{S}$) führt Dialoge in Situationen, in denen der Benutzer $\mathcal{P}$ einer teilweise erheblichen Belastung des Arbeitsgedächtnisses ausgesetzt ist.[1]

Einschlägige Vorarbeiten Relevante psychologische Vorarbeiten betreffen (a) die Rolle des Arbeitsgedächtnisses bei der Sprachverarbeitung (s. z.B. Gathercole & Baddeley, 1993; Herrmann & Grabowski, 1994); (b) Strategien, die Dialogteilnehmer anwenden, um die Arbeitsgedächtnisbelastung des Partners zu berücksichtigen (s. z.B. Levelt & Kelter, 1982); sowie (c) aus Forschung abgeleitete Vorschriften zur Berücksichtigung von Arbeitsgedächtnisbeschränkungen (s. z.B. Kemper u.a., 1993). Unabhängig hiervon sind auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz einige interaktive Systeme zu finden, die das eine oder andere Maß für die kognitive Belastung des Benutzers dynamisch berechnen (s. z.B. Kashihara u.a., 1995). Noch erforderlich ist aber eine Integration von psychologischen Befunden und Theorien mit geeigneten Inferenztechniken der Künstlichen Intelligenz. Außerdem ist neue empirische Forschung in Dialogsituationen erforderlich, da sich die oben umschriebenen psychologischen Arbeiten größtenteils auf das Lesen geschriebener Texte beziehen.

Untersuchte Dialogsituation In einer ersten empirischen Studie wurden acht Dialoge aufgenommen, transliteriert und analysiert, die dem Beispielszenario vom System READY entsprechen: Ein Kfz-Mechaniker (in der Rolle von $\mathcal{S}$) gab über Funktelefon Pannenhilfe an Autofahrer (in der Rolle von $\mathcal{P}$), die an einem Winterabend mit ihrem Fahrzeug am Straßenrand standen. Mehrere Aspekte der Situation sollten eine teilweise hohe Arbeitsgedächtnisbelastung erzeugen, besonders bei $\mathcal{P}$: mangelnde Vertrautheit mit einigen der auszuführenden Handlungen, technische Probleme mit dem Funktelefon, sowie (bei vier der acht Dialoge) experimentell erzeugter Zeitdruck. Als Beispiel kann der folgende Wortwechsel aus einem Dialog mit Zeitdruck dienen; die Autofahrerin hat gerade auf Anweisung des Mechanikers die Motorhaube geöffnet:

> **Fahrerin:** <Pause> Wie geht' n ... wie hält denn das Ding? <Stöhnen>
>
> **Mechaniker:** Ach so äh <Zögern> <Pause> äh auf der rechten Seite liegt <Zögern> glaube ich <Zögern> ein Stab, auf der rechten Seite. Am äh auf' m Kotflügel, sozusagen.

Mögliche beobachtbare Symptome Eine Analyse der Transliterationen ergab eine Reihe beobachtbarer Aspekten vom Verhalten der Dialogteilnehmer, die möglicherweise Symptome für hohe Arbeitsgedächtnisbelastung darstellen und daher bei entsprechenden Inferenzen verwendet werden können (s. Tabelle 1). Die oben erwähnten sprachpsychologischen Vorarbeiten erlauben eine vorläufige Zuordnung dieser Verhaltensaspekte zu theoretischen Variablen, die durch Arbeitsgedächtnisbelastung beeinflußt werden. Die in Tabelle 1 postulierten Zusammenhänge sind aber vorerst nur als Arbeitshypothesen anzusehen.

---

[1] Auch wichtig bei READY ist der Umgang mit Zeitbeschränkungen bei sowohl $\mathcal{P}$ als auch $\mathcal{S}$; hierauf kann in diesem Beitrag nicht eingegangen werden.

Tabelle 1: Mögliche Folgen der Arbeitsgedächtnisbelastung eines Dialogteilnehmers

Beobachtbare Symptome einer verhältnismäßig hohen Belastung des Arbeitsgedächtnisses	Durch Arbeitsgedächtnisbelastung beeinflußte nicht-beobachtbare Variable
Pausen, Zögern	Zeitbedarf für Äußerungsplanung
Ungenaue Formulierungen, Versprecher	Semantische Tiefe der Äußerungsplanung
Beschränkung auf einfache Strukturen	Fähigkeit zur Bildung komplexer syntaktischer Strukturen
Fragen nach bereits erwähnten Tatsachen	Fähigkeit, Informationen kurzfristig zu speichern
Fragen nach inferierbaren Sachverhalten	Inferenzfähigkeit
Nachfragen, Bitten um Wiederholung	Fähigkeit zum Verstehen semantisch dichter bzw. syntaktisch komplexer Äußerungen
Stöhnen, Fluchen	Frustration wegen Überforderung

Ansatz zur idealisierten Modellierung der Inferenzen Parallel zur empirischen Untersuchung dieser Hypothesen werden mögliche Repräsentationen der entsprechenden Inferenzen erprobt. Der erste Ansatz verwendet bayessche Netze (Pearl, 1988). Diese eignen sich besonders für Inferenzen aufgrund von probabilistischen Kausalzusammenhängen wie den in Tabelle 1 dargestellten. Bayessche Netze wurden in letzter Zeit mehrfach für Inferenzen über Benutzerkognitionen eingesetzt (s. z.B. Jameson u.a., 1995; Jameson, 1995).

Abbildung 1 gibt einen Überblick einer möglichen Anwendung auf das oben gegebene Beispiel. Sie zeigt einen Teil des bayesschen Netzes, das das System $\mathcal{S}$ nach der Analyse der Äußerung der Fahrerin ("Äußerung 1") dynamisch aufbaut. Jeder Knoten entspricht einer (beobachtbaren oder nicht-beobachtbaren) Variablen. Mit jedem Knoten verbindet $\mathcal{S}$ zu jedem Zeitpunkt eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über die möglichen Werte der entsprechenden Variablen. Ein Pfeil von einem "Eltern"-Knoten A nach einem "Kind"-Knoten B repräsentiert die Annahme, daß die Variable von A die Variable von B kausal (mit)beeinflußt. Der Kausalzusammenhang zwischen einem Kindknoten und seinen Elternknoten wird jeweils durch eine Tabelle bedingter Wahrscheinlichkeiten quantifiziert. Beispielsweise ist die bedingte Wahrscheinlichkeit eines hohen Wertes der Variablen DIFFERENZIERTHEIT DER WORTWAHL BEI ÄUßERUNG 1 verhältnismäßig hoch bei hohen Werten der Variablen TIEFE DER SEMANTISCHEN VERARBEITUNG FüR ÄUßERUNG 1. Qualitative Hinweise auf die Art der bedingten Wahrscheinlichkeiten sind in diesem Fall bei Power (1985) zu finden; die genauere Quantifizierung solcher Zusammenhänge bildet ein Hauptziel unserer Forschung.

Nach der Analyse von Äußerung 1 kann $\mathcal{S}$ sicher sein, welchen Wert die beobachtbaren Variablen SELBSTKORREKTUR BEI ÄUßERUNG 1 und DIFFERENZIERTHEIT DER WORTWAHL BEI ÄUßERUNG 1 haben. Über die nicht-beobachtbare Variable TIEFE DER SEMANTISCHEN VERARBEITUNG FüR ÄUßERUNG 1 kann $\mathcal{S}$ nur unsichere Hypothesen haben; die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten werden durch die Beobachtungen für die beiden Kind-Knoten beeinflußt, über die diagnostische Aufwärtspropagation. Es erscheint jetzt wahrscheinlich, daß die semantische Verarbeitung von dieser Äußerung verhältnismäßig oberflächlich war. Diese Einschätzung führt wiederum zu einer höheren Einschätzung von BELASTUNG DES ARBEITSGEDäCHTNISSES; die Aufwärtspropagation berücksichtigt hierbei, daß auch andere Faktoren wie ZEITDRUCK für TIEFE DER SEMANTISCHEN VERARBEITUNG FüR ÄUßERUNG 1 mitverantwortlich sein können.

Die Einschätzung von BELASTUNG DES ARBEITSGEDäCHTNISSES durch $\mathcal{S}$ wird nicht nur von beobachteten Symptomen beeinflußt sondern auch von Annahmen über mögliche Ursachen.

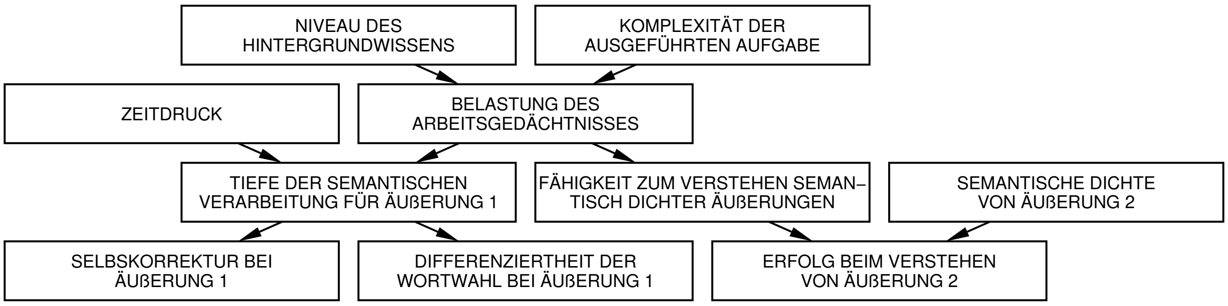

Abbildung 1: Teil eines bayesschen Netzes für Inferenzen in bezug auf das Dialogbeispiel.

Hier kann $\mathcal{S}$ beispielsweise einschätzen, inwieweit die versuchte Ausführung der Aufgabe "Motorhaube befestigen" das Arbeitsgedächtnis von $\mathcal{P}$ beansprucht haben kann; hierzu muß $\mathcal{S}$ sowohl die Komplexität dieser Aufgabe als auch das Niveau von relevantem Hintergrundwissen bei $\mathcal{P}$ einschätzen.

Diese Inferenz beeinflußt wiederum die Planung der nächsten Äußerung von $\mathcal{S}$. Nach prädiktiver Abwärtspropagation erwartet $\mathcal{S}$ eine verhältnismäßig geringe Fähigkeit von $\mathcal{P}$, Anweisungen mit hoher propositionaler Dichte zu interpretieren. Diese Einschätzung sollte die Äußerungsplanung bei $\mathcal{S}$ selber beeinflussen; ein mögliches Ergebnis ist die Äußerung 2, die wegen ihrer hohen Redundanz auch bei niedrigen Werten von FäHIGKEIT ZUM VERSTEHEN SEMANTISCH DICHTER ÄUßERUNGEN zu bewältigen sein müßte.

Schlußwort Der hier dargestellte Ansatz erfordert an vielen Punkten sowohl begriffliche Verfeinerung als auch weitere empirische Forschung. Der Ansatz scheint es aber zu erlauben, zu diesem Thema erstmals differenzierte Hypothesen zu formulieren und diese empirisch zu überprüfen — durch eine Integration unterschiedlicher Befunde und theoretischer Begriffe aus der Psychologie mit einer Modellierungstechnik aus der Künstlichen Intelligenz.

Literatur

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

Herrmann, T. & Grabowski, J. (1994). *Sprechen: Psychologie der Sprachproduktion*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Jameson, A. (1995). Numerical uncertainty management in user and student modeling: An overview of systems and issues. *User Modeling and User-Adapted Interaction, 5,* 193–251.

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.

Kashihara, A., Hirashima, T. & Toyoda, J. (1995). A cognitive load application in tutoring. *User Modeling and User-Adapted Interaction, 4,* 279–303.

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

Levelt, W. J. M. & Kelter, S. (1982). Surface form and memory in question answering. *Cognitive Psychology, 14,* 78–106.

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

Power, M. J. (1985). Sentence production and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 37A,* 367–385.

Wahlster, W., Jameson, A., Ndiaye, A., Schäfer, R. & Weis, T. (1995). Ressourcenadaptive Dialogführung: Ein interdisziplinärer Forschungsansatz. *Künstliche Intelligenz, 9* (6), 17–21.