

NATÜRLICHSPRACHLICHE KI-SYSTEME: ENTWICKLUNGSSTAND UND FORSCHUNGSPERSPEKTIVE

W. Wahlster
Universität Hamburg

ABSTRACT. After 20 years of research the first natural language AI Systems are beginning to enter the commercial market. Although computational models for many of the linguistic, communicative and cognitive abilities underlying intelligent language behavior are still open issues for basic research, an engineering discipline for natural language interfaces is emerging. The paper surveys the state-of-the-art in natural language AI Systems with Special emphasis on the Situation in Germany and discusses future directions for basic and applied research. Hot topics in current natural language processing research are identified and illustrated with examples.

Zielsetzung der Übersicht

Der vorliegende Aufsatz versucht, einen Überblick zum Entwicklungsstand im Bereich der natürlichsprachlichen KI-Systeme und zu aktuellen Fragestellungen der sprachorientierten KI-Forschung zu geben. Die Komplexität und die Breite des hier zu behandelnden Fachgebietes machen es unmöglich, einen solchen Überblick mit einer allgemeinverständlichen Einführung in die Modelle und Methoden der Sprachverarbeitung zu kombinieren. Im Gegensatz zu den neueren Überblicksartikeln von Grosz [18], Hendrix [26] und Fauser/Rathke [16] liegt der Schwerpunkt der folgenden Übersicht auf natürlichsprachlichen Systemen der Künstlichen Intelligenz, in denen Deutsch als Interaktionssprache benutzt wird. Die vorliegende Arbeit unterscheidet sich in ihrer Zielsetzung außerdem von den Übersichtsaufsätzen von Lenders [31] und Eisenberg [13], indem sie nicht zur KI-Forschung gehörende Aufgabenstellungen der maschinellen Sprachverarbeitung völlig ausklammert. Da hauptsächlich deutschsprachige KI-Systeme als Beispiele verwendet werden und sich die linguistischen Probleme bei der Sprachverarbeitung für eine Fremdsprache oft völlig anders stellen, schien es wenig sinnvoll, den Beitrag auf Englisch zu verfassen. Die Zielgruppe, an die sich dieser Überblick wendet, besteht einerseits aus Wissenschaftlern, die auf einem anderen Teilgebiet der KI arbeiten, andererseits aber auch aus interessierten Informatikern und Linguisten, die sich über den Entwicklungsstand in der Bundesrepublik und die internationalen Forschungsperspektiven der sprachorientierten KI informieren möchten.

Fachgebiete, Forschungsschwerpunkte und Arbeitsrichtungen

Der Entwurf, die Implementation und die praktische Erprobung natürlichsprachlicher Systeme sowie die Erforschung der damit verbundenen theoretischen Grundlagen bilden seit dem Erfolg von Winograds SHRDLU-System [54] anfangs der 70iger Jahre ein etabliertes und weiterhin expandierendes Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) Forschung, dessen Nutzen für hochentwickelte Industriegesellschaften unbestreitbar ist (vgl. [28], [47]).

Dabei spricht man in der sprachorientierten KI-Forschung von *natürlichsprachlichen Systemen* (NSS, vgl. [49]), wenn

- eine Teilmenge der in das System eingegebenen oder vom System ausgegebenen Nachrichten natürlichsprachlich codiert ist und
- zur Verarbeitung der Nachrichten syntaktische und semantisch-pragmatische Verfahren zur Analyse und Generierung natürlicher Sprache eingesetzt werden.

Die erste Bedingung sichert, daß auch solche Systeme als NSS bezeichnet werden können, die neben einer natürlichsprachlichen Ein- oder Ausgabe auch anders codierte Nachrichten mit ihrer Umgebung austauschen. Beispielsweise wird in einem laufenden KI-Projekt der Firma BBN [5] ein NSS

entwickelt, das auf Eingaben des Benutzers wie (1), in der eine natürlichsprachliche Äußerung mit einer Zeigehandlung verknüpft ist, mit einer entsprechenden Veränderung der gezeigten Graphik und einer zusätzlichen natürlichsprachlichen Ausgabe (z.B. der Rückfrage *'Ist das genau genug?'*) reagieren kann.

- (1) BEN: *Entferne diesen* < der Benutzer zeigt z.B. mit einem Lichtgriffel auf ein graphisches Objekt, das er auf dem Sichtgerät sieht > *Zustand und zeige mir den Rest genauer.*

In der sprachorientierten KI-Forschung wird langfristig durchaus angestrebt, die vielfältigen Möglichkeiten der Integration von Mimik, Gestik und anderen nicht-verbalen Handlungen in einen natürlichsprachlichen Dialog, wie sie der alltäglichen menschlichen Kommunikation zugrundeliegen, auch für die Mensch/Maschine-Kommunikation verfügbar zu machen.

Die zweite Bedingung verhindert, daß Systeme, die lediglich einfachste Zeichenkettenoperationen über natürlichsprachlich codierten Texten durchführen (z.B. Texteditoren, sprachstatistische Systeme) als NSS aufgefaßt werden können.

Für die sprachorientierte KI-Forschung sind als Ausgangspunkt neben der *Informatik*, besonders Ergebnisse und Methoden der Fachwissenschaften *Linguistik* und *Psychologie* relevant, genauso wie für das Theorembeweisen die Mathematik oder für Teile der Bildverarbeitung die Physik notwendige Grundlagen liefern.

Neben der KI gibt es mindestens noch die folgenden drei, ebenfalls interdisziplinären Forschungsgebiete, die wichtige Beiträge zur Entwicklung natürlichsprachlicher Systeme leisten:

- die Linguistische Datenverarbeitung (LDV)
- die Informationswissenschaft (IuD)
- die Kognitionswissenschaft

Zur Zeit gelten als Hauptarbeitsgebiete der sprachorientierten KI-Forschung die ersten drei der im folgenden genannten Forschungsschwerpunkte:

- Frage-Antwort-Systeme und Dialogsysteme
- Textverstehende Systeme
- Verstehen gesprochener Sprache
- Natürlichsprachliche Wissensaufnahme
- Natürlichsprachliche Programmierung
- 'Abstract'-Generierung
- Sprachliche Bildbeschreibung
- Automatische Übersetzung

Das bisher erfolgreichste Arbeitsgebiet ist die Konstruktion von Frage-Antwort- und Dialogsystemen, die oft als sog. natürlichsprachliche Schnittstellen einen besonders komfortablen Zugang zu den in der folgenden Liste zusammengestellten Systemklassen ermöglichen:

- Datenbanksysteme und Methodenbanksysteme
- Wissensbasierte Experten- und Beratungssysteme
- Tutorielle KI-Systeme
- Theorembeweiser
- Szenenanalysensysteme
- Graphik-Systeme

In der anwendungsorientierten KI-Forschung haben sich zwei Arbeitsrichtungen¹ herausgebildet, die sich hauptsächlich durch ihre Beurteilung der natürlichen Sprache als Kommunikationsform für den Mensch/Maschine-Dialog unterscheiden. Der Ausgangspunkt der ersten Arbeitsrichtung ist folgende These:

Die an die natürliche Sprache gebundenen Kommunikationsformen zwischen Menschen sind optimal für die Mensch/Maschine-Kommunikation geeignet. Daher muß das Ziel beim Entwurf natürlichsprachlicher KI-Systeme die möglichst vollständige Rekonstruktion aller syntaktischen, semantischen und pragmatischen Merkmale natürlichen Sprachverhaltens und der damit verbundenen kognitiven Leistungen sein.

Diese Arbeitsrichtung wurde bisher am meisten verfolgt. Die zweite Arbeitsrichtung geht von folgenden Prämissen aus:

Die an die natürliche Sprache gebundenen Kommunikationsformen zwischen Menschen sollten für die Mensch/Maschine-Kommunikation noch durch neue technische Möglichkeiten wie Mehrkanalkommunikation, überlappende Ein/Ausgabeoperationen und Graphik ergänzt werden. Daher wird nicht die perfekte Nachbildung menschlicher Kommunikationsformen angestrebt, sondern der Entwurf möglichst effizienter, neuer Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine, die neben den für natürliches Sprachverhalten typischen Eigenschaften auch auf technischen Neuentwicklungen (z.B. interaktive Umgebung der LISP-Maschinen, Alto, Jericho, Dorado usw.) basieren.

Ein Beispiel für ein Projekt, in dem die zweite Arbeitsrichtung verfolgt wird, enthält der Bericht von Hayes/Reddy [23].

Wissensbereiche und Anwendungssituationen für natürlichsprachliche Systeme

Natürlichsprachliche Systeme zeichnen sich durch *zielgesteuertes Verhalten* aus, wobei das Hauptziel meist aus einer *Hilfestellung* für den Systembenutzer besteht, z.B. bei der

- Auskunftserteilung (z.B. PLIDIS [30], USL [34], BACON [20], HAM-RPM [21])
- Beratung (z.B. GUS [k], POL [48])
- Kooperation bei der Lösung einer Aufgabe (z.B. BBN-Graphik-System [5])
- Ausbildung (z.B. SCHOLAR [11])

In letzter Zeit wurden auch experimentelle NSS entwickelt, deren Verhalten zusätzlich durch solche vorgegebenen Ziele gesteuert wird, die keine reine Hilfsfunktion des Systems bewirken; solche Ziele sind z.B.

- Informationsgewinnung durch das System (z.B. ULLY [23], TEIRESIAS [12], KLAUS [19])
- Verkauf (z.B. Hotelreservierungssituation in HAM-RPM [27])

Selbstverständlich werden anfangs jegliche 'Systemziele' entweder bereits beim Entwurf eines KI-Systems fest vorgegeben oder beim Systemstart explizit als Parameter übergeben (z.B. in POLITICS [8], das verschiedene 'politische Zielvorstellungen verfolgen' kann). Abstrakt betrachtet kann allerdings auch das Verhalten eines menschlichen Gesprächspartners in einigen Situationen dadurch charakterisiert werden, daß dieser versucht, eine z.B. durch seine berufliche Rolle (für einen Angestellten im Reisebüro: Urlaubsberatung mit Verkaufsabsicht) von außen vorgegebene Intention im Rahmen seiner eigenen kommunikativen und kognitiven Fähigkeiten (z.B. Planung von Subzielen, Gesprächsstrategien, tendenziöse Beschreibung von Sachverhalten) zu verwirklichen.

¹ Während der Arbeitstagung 'Models of Dialogue: Theory and Application, die am 15./ 16. Januar 1981 in Linköping stattfand, wurden diese beiden Arbeitsrichtungen anschließend an das Einführungsreferat von S. Hägglund und U. Hein diskutiert. Es wurde gefordert, daß zur Zeit beide Arbeitsrichtungen weiterverfolgt werden.

Obwohl zunächst lediglich aus wissenschaftlichem Erkenntnisinteresse heraus entwickelt, zeichnen sich künftige Anwendungssituationen für die letztgenannte Klasse von KI-Systemen ab, in denen die typisch menschlich-persönlichen Züge des Gesprächspartners eine untergeordnete Rolle spielen (z.B. Expertengespräche, vgl. [22]). Durch die kommerzielle Entwicklung von sog. Heim- und Hobbycomputern ist schon jetzt abzusehen, daß darüber hinaus natürlichsprachliche Systeme auch für reine *Unterhaltungszwecke* (z.B. sprachbasierte Spiele) konstruiert werden, eine m.E. gesellschaftspolitisch sehr fragwürdige Perspektive.

NSS werden heute grundsätzlich als *wissensbasierte Systeme* konzipiert, d.h. sie beruhen nicht etwa auf einem einzigen allgemeinen Algorithmus zur Sprachanalyse und -generierung sondern auf mehreren interagierenden Komponenten, die jeweils auf spezielle in der *Wissensbasis* enthaltene *Wissensquellen* zugreifen (vgl. [46]). Im allgemeinen bestehen NSS mindestens aus zwei Wissensbereichen: den diskursbereichsunabhängigen Wissensquellen, die das für intelligentes Sprachverhalten notwendige *allgemeine Hintergrundwissen* enthalten, und den diskursbereichsabhängigen Wissensquellen, die zumeist *situations- und anwendungsspezifisches Faktenwissen* und *Inferenzregeln* zur Verfügung stellen. Typische Beispiele für diskursbereichsunabhängige Wissensquellen sind:

- Lexikon
- Grammatische Regeln
- Begriffliches Wissen
- Allgemeine Inferenzregeln
- Dialogstrategien

In neueren Dialogsystemen kommen als dritter Bereich noch *dialogbezogene Wissensquellen* hinzu, in denen sich während des Dialogs ergebende Information temporär gespeichert wird. Typische Beispiele für dialogbezogene Wissensquellen sind:

- Fokus
- Inferenzgedächtnis
- Partnermodell
- syntaktische und semantische Dialoggedächtnisse

Während noch anfangs der 70iger Jahre das diskursbereichsabhängige Wissen der meist rein experimentellen NSS verglichen mit dem Hintergrundwissen des Systems recht kleine Datenbestände bildete, zeichnen sich die heutigen NSS meist durch Wissensbasen realistischer Größe aus. Obwohl für die von neueren NSS abgedeckten Gegenstandsbereiche Bezeichnungen wie 'Mikrowelt, Miniwelt, Spielzeugwelt', die von unseriösen Kritikern der sprachorientierten KI-Forschung fälschlicherweise auch heute noch benutzt werden, irreführend sind, unterscheiden sich NSS von traditionellen Informationssystemen dadurch, daß sie über einen Bestand an allgemeinem Hintergrundwissen verfügen und für komplexe, heterogene Wissensbereiche, aber weniger für homogene Massendaten entwickelt wurden. Die semantische Reichhaltigkeit der gewählten Bereiche anwendungsspezifischen Wissens wird durch die folgende, alphabetisch geordnete Zusammenstellung von ausgewählten NSS und ihren Diskursbereichen verdeutlicht (die Auswahl erfolgte nicht unter qualitativen Gesichtspunkten sondern in Hinblick auf die Dokumentation eines breiten Anwendungsspektrums und unter besonderer Berücksichtigung deutschsprachiger Systementwürfe, die durch einen Stern gekennzeichnet sind²):

- * ATN-BIC: Wegebeschreibungen [33]
- * BACON: medizinische Daten des BGA, Kongreßreisen [20]

² Eine Zusammenstellung von 54 NSS bis 1977 findet man in [50].

- BLAH: US-Einkommenssteuergesetze [52]
- CO-OP: Militärausrüstung [29]
- * Erlanger System für gesprochene Sprache: Fahrplanauskünfte über IC-Bahnverkehr [25]
- * FAS-80: Dokumentation einer Programmbibliothek [55]
- GUS: Reiseplanung [4]
- * HAM-RPM: Straßenverkehrsszene, Hotelreservierung [27]
- * KIPUS: Arbeitsmarktberichte [14]
- LADDER: Ausrüstungs- und Personalbestand der Marine [43]
- LUNAR: Gesteinsproben der Apollo-11-Expedition [56]
- * NATAN: Meldungen über militärische Kampfhandlungen [32]
- PHLIQUA1: Computerinstallationen [7]
- PLANES: Betriebsstatistik der Luftwaffe [51]
- * PLIDIS: Abwässerüberwachung [30]
- POL: Schiffsbeladung ,[48]
- * USL: Personaldaten, Schulnoten [34]

Wie die angeführte Zusammenstellung zeigt, zeichnen sich zwei Anwendungsschwerpunkte ab:

- Buchungs- und Reservierungssituationen
- Verwaltungs- und Planungsbereich

Beispiele für den Entwicklungsstand in der Bundesrepublik

Um einen Eindruck vom Entwicklungsstand deutschsprachiger Systeme zu vermitteln, werden im folgenden Dialogbeispiele für vier größere, in der Bundesrepublik entwickelte NSS angeführt, allerdings ohne dabei auf Einzelheiten der zugrundeliegenden Verarbeitungsprozesse und Wissensquellen einzugehen.

Das vom Wissenschaftlichen Zentrum Heidelberg der IBM Deutschland entwickelte System USL (User Specialty Languages, [34]) übersetzt natürlichsprachliche Anfragen in eine auf der Relationenalgebra basierende formale Sprache Information System Base Language (ISBL) und wertet die ISBL-Ausdrücke über einer relationalen Datenbank aus (vgl. Fig. 1). Bei USL handelt es sich um ein anwendungsorientiertes NSS mit breitem sprachlichem Wissen, dessen kommunikative und kognitive Fähigkeiten bezogen auf die in der KI geltenden Standards gering sind.

BEN: *Welcher Mitarbeiter des Managers Schmidt wohnt in Heidelberg?*
 ISBL-Ausdruck:
 $((\text{WOHN}; C2 = \text{'HEIDELBERG'}) * (\text{MITARBEITER} * (\text{MANAGER}; C1 = \text{'SCHMIDT'}); C2 = C3); C1 = C3\%C1$

SYS: *Braun.*

BEN: *Wer verdient mehr als sein Manager?*
 ISBL-Ausdruck:
 $((\text{VERDIEN} * (\text{VERDIEN} * \text{MANAGER}; C1 = C3) ; C2 > C4); C1 = C6)\%C1$

SYS: *Niemand.*

Fig. 2: Beispielsequenz mit dem System USL

Das am Institut für deutsche Sprache in Mannheim entwickelte System PLIDIS (Problemlösendes Informationssystem mit Deutsch als Interaktionssprache, [30]) verfügt mit der sog. Konstruktsprache (KS) über eine wesentlich mächtigere Repräsentationssprache als USL (vgl. Fig. 2).

BEN: *Von welchen Laboren wurden die letzten 5-Proben des Betriebs Gärtner&Klinger untersucht?*

Ergebnis der KS-Überführung (PASS2):

```
(LAMBDA X7
  (EXIST X6.STOFFKOLL
    (EXIST X8.INT
      (EXIST X3.ABSTROBJ
        (UND
          (LETZTNVOR
            5
            <LAMBDA X5.STOFFKOLL
              (EXIST X2.ORT
                (EXIST X3.BETRIEB
                  (EXIST X4.INT
                    (UND (BETRIEB GAERTNER&KLINGER X2.ORT)
                      (PROBE X3.BETRIEB X4.INT X5.STOFFKOLL>
                        HEUTE X6.STOFFKOLL)
                      (LABORBERICHT X7 X6.STOFFKOLL X8.INT
                        X9-ABSTROBJ) ) ) ) ) ) ) ) ) )
```

SYS: *CHEMISCHES-UNTERSUCHUNGS-LABORATORIUM*
CHEMISCHE-LANDESUNTERSUCHUNGSANSTALT

Fig. 2: Beispiel für die Performanz von PLIDIS

Wie PLIDIS so weist auch das an der TU Berlin entwickelte System BACON (Berlin Automatic Construction of Semantic Networks, [20]) neben den sprachlichen auch inferentielle Fähigkeiten, aber nur geringfügige kommunikative Fähigkeiten auf (vgl. Fig. 3).

BEN: *Welche Nebenwirkungen traten in den Dokumenten, in denen Human-Albumin angeschuldigt wurde, auf?*

SYS: *Schuettelfrost, Asthma, Atemnot und Dyspnoe.*

BEN: *In welchen Dokumenten, in denen Schuettelfrost auftrat, wurde Bisolvon verabreicht?*

SYS: *5/303.*

BEN: *In 5/303 wurde Bisolvon nicht verabreicht.*

SYS: *?Dem widerspricht der Datenbankeintrag:
 In 5/303 wurde SP Bisolvon verabreicht.
 Soll ich aendern?*

BEN: *Nein.*

SYS: *Habe nichts veraendert.*

Fig. 3: Beispieldialog mit BACON

Das an der Universität Hamburg implementierte System HAM-RPM (Hamburger Redepartnermodell, [21],[27]) stellt den Versuch dar, möglichst viele sprachliche, kommunikative und kognitive Leistungen, die intelligentem Dialogverhalten zugrundeliegen, in einem KI-System zu integrieren. Während es sich bei den Systemen USL, PLIDIS und BACON um eher anwendungsorientierte Projekte handelt, die von der Industrie bzw. dem BMFT gefördert wurden, ist das System HAM-RPM ein Ergebnis der von der DFG geförderten Grundlagenforschung im Bereich KI. Eines der wesentlichen Unterscheidungsmerkmale von HAM-RPM, das sich bereits aus einem Vergleich der angeführten Beispieldialoge ergibt, besteht darin, daß HAM-RPM über eine leistungsfähige Sprachgenerierungskomponente verfügt, in die neben syntaktisch-semantischem Wissen auch partnertaktische Überlegungen (z.B. in Fig. 4: der Versuch einer vom Benutzer offensichtlich erwünschten positiven Beantwortung) eingehen.

BEN: *Befindet sich in der Naehe jedes Bettes ein Nachttisch?*

SURF-Struktur:

```
(AF-D: IS
      (T-S: (Q-QT: E-) (LAMBDA: X97 (AF-A: ISA X97
      NACHTTISCH)))
      (LAMBDA: X95
      (AF-A: RAEUMLICH IN/ DER/ NAEHE X95
      (T-S: (Q-W: JED) (LAMBDA: X93 (AF-A:
      ISA X93 BETT])
```

Elliptifizierte SURF-Struktur der Antwort:

```
(LAMBDA: X106 (AF-A: RAEUMLICH IN/ DER/ NAEHE X106
      (T-S: (Q-W: (QW-H: FAST JED)) (LAMBDA: X107
      (AF-A: ISA X107BETT])
```

SYS: *Ja, in der Naehe von fast jedem.*

Fig. 4: Performanzbeispiel aus HAM-RPM

Die in Fig. 5 dargestellte 'Systemlandschaft' wurde mit dem Ziel entworfen, einen möglichst vollständigen Überblick zu den in der BRD und DDR entwickelten NSS sowie den einschlägigen Forschungszentren zu ermöglichen. Zur Bezeichnung der Städte in der Bundesrepublik werden dabei die jeweiligen Autokennzeichen benutzt. Als Kriterium für die Größe des Schriftzuges für die Systembezeichnung wird das Produkt aus der Projektgröße und dem Umfang, in dem Techniken der sprachorientierten KI zum Einsatz kommen, verwendet. Die an den einzelnen Orten entwickelten Systeme sind in chronologischer Reihenfolge geordnet. Der größere Teil der Projekte ist bereits abgeschlossen. Eingeklammerte Angaben verweisen auf Studien, die bestehende NSS in Hinblick auf spezielle Eigenschaften auswerten. Literaturhinweise für einige der angeführten Systeme, die der vorliegende Überblick aus Platzgründen nicht enthalten kann, findet man in [15], [31],[37].

- HH: HASY, SNP, HASE, HANSA,
HAM-RPM, SWYSS, GESA
- BI: EQBAS, HBASE, KOPRO, ATN-BIC
- BO: AUTOMATISCHE ÜBERSETZUNG
- E: DENTAL
- BN: ISLIB, (FRAGANT-STUDIE)
(LEXIKON-STUDIE)
- MA: ISLIB, PLIDIS
- HD: LIANA, SALAT, PLAIN, USL
- SB: SUSY
- KA: KAIFAS
- S: PROTEX, KIPUS, (FAS-STUDIE)
- M: CONDOR, NATAN
- KN: SALAT
- B: BACON
- OSTBERLIN: SYSAN
- DRESDEN: FAS-75/80
- ER: HEX, SPEECH-PROJEKT
- R: (EVALUIERUNGSSTUDIE)

Fig. 5: Geographie natürlichsprachlicher Systeme in BRD und DDR

Aktuelle Forschungsthemen der sprachorientierten KI-Forschung

Der folgende Abschnitt enthält eine Zusammenstellung und Einordnung aktueller Forschungsthemen der sprachorientierten KI, wie sie sich aufgrund einer Auswertung z.B. neuerer Tagungsbände einschlägiger internationaler Konferenzen (vgl. [35], [36], [37], [38], [39], [40]) und meiner Gespräche³ mit führenden Forschungsgruppen ergibt. Die Forschungsthemen betreffen sprachliche, kommunikative und kognitive Fähigkeiten von NSS. Obwohl diese Klassifikation der Fähigkeiten im folgenden als Gliederungshilfe benutzt wird, muß betont werden, daß in der KI-Forschung zwischen den einzelnen Fähigkeiten und damit auch zwischen den Verfahren zu ihrer formalen Rekonstruktion zahlreiche Interdependenzen gesehen werden. Denn es ist ja gerade die holistische Betrachtungsweise aller am Sprachverstehen und der Sprachproduktion beteiligten informationsverarbeitenden Prozesse, die KI-Ansätze von dem oft stark isolierenden Vorgehen in der reinen Linguistik und Psychologie unterscheiden.

³ Ich danke der DFG für die Unterstützung einer Vortragsreise durch die USA.

Wir unterscheiden im folgenden drei Forschungsstadien: zur Zeit weltweit besonders intensiv bearbeitete Forschungsthemen ('intensive Forschung'), Problemstellungen, die als wichtig erkannt wurden, zu denen aber erst wenige Lösungsansätze vorliegen ('beginnende Forschung') und ältere, noch nicht befriedigend gelöste Fragestellungen, die weiterhin verfolgt werden ('fortgesetzte Forschung').

- Sprachliche Fähigkeiten:
 - Intensive Forschung:
 - Flexibles und robustes Parsing, z.B. bei abgebrochenen, umformulierten und ungrammatischen Eingaben
 - Parser für gesprochene Sprache und deterministische Parser
 - Ellipsenauflösung und Elliptifizierung
 - Beginnende Forschung:
 - Erzeugung ausweichender Antworten
 - Verstehen deiktischer Ausdrücke
 - Analyse kontrafaktischer Konditionale
 - Semantisch-pragmatische Auswertung von Modalpartikeln
 - Erzeugung von Reduktionspartikeln
 - Fortgesetzte Forschung
 - Referenzsemantische Analyse und Generierung definiter Kennzeichnungen
 - Verstehen natürlicher Quantoren
 - Analyse und Generierung von Anaphern und Kataphern
 - Analyse und Generierung vager Ausdrücke
 - Behandlung von Präsuppositionsverletzungen in der Benutzereingabe
- Kommunikative Fähigkeiten
 - Intensive Forschung:
 - Erkennung und Erzeugung direkter und indirekter Sprechakte
 - Wechsel der Sprecherinitiative
 - Verfolgen von Dialogstrategien und Dialogtaktiken
 - Argumentative Fähigkeiten
 - Fähigkeit zur Überbeantwortung von Fragen
 - Beginnende Forschung:
 - Strategien zur Verstehenssicherung und -Überprüfung
 - Berücksichtigung phatischer Ausdrücke
 - Fortgesetzte Forschung:
 - Erkennung und Erzeugung von Dialog- und Textkohärenz oder -diskohärenz
 - Klärungsdialoge
 - Beherrschen ritualisierter Dialogabschnitte
 - Erkennen von Dialog- und Textabschnitten und -typen
 - Variabler Detaillierungsgrad der Systemantworten

- Kognitive Fähigkeiten
- Intensive Forschung:
 - natürlichsprachlicher Wissenserwerb
 - Planerkennung, Planerzeugung, Planabstimmung
 - Planung in Situationen mit multiplen Zielen, rekurrenten Zielen oder multiplen Akteuren
 - Aufbau und Verwaltung eines Partnermodells
 - Verstehen von Metaphern
 - Nicht-monotone Inferenzen
- Beginnende Forschung?
 - Koordination visueller Eingaben mit sprachlichem Verhalten
 - Verstehen indirekter Rede
 - Erzeugung tendenziöser, gefärbter Antworten
 - Einbringen von Subjektivität durch Glaubens- und Überzeugungssysteme
- Fortgesetzte Forschung:
 - Verbale Beschreibung zeitlicher Abläufe
 - Approximative Inferenzen
 - Aufbau von Dialog- und Textgedächtnissen
 - Objektbeschreibung als kognitiver Entscheidungsprozeß
 - Aufbau eines Inferenzgedächtnisses
 - Verstehen der logischen Beziehungen zwischen konjunktionlos aneinandergereihten Satzfolgen

Obwohl es wegen der Vielzahl der genannten Forschungsthemen im Rahmen der vorliegenden Übersichtsarbeit unmöglich ist, auf alle derzeit verfolgten Fragestellungen der sprachorientierten KI-Forschung einzugehen, sollen im folgenden wenigstens drei der genannten Problemkreise anhand ausgewählter Beispiele erläutert werden, wobei versucht wird, einen allgemeinen Entwicklungstrend herauszuarbeiten.

Die Systemreaktion In Fig. 6 ist ein typisches Beispiel für *kooperatives Dialogverhalten*. Es wird nicht nur die eigentlich erfragte Abfahrtszeit sondern zusätzlich auch noch das Abfahrtsgleis genannt, womit eine sog. *Überbeantwortung* vorliegt. Das gezeigte Systemverhalten mag gerade wegen seiner hohen Plausibilität und Natürlichkeit für einen KI-Laien trivial erscheinen.

BEN: Wann fährt der nächste Zug nach Frankfurt ab?

SYS: 16.34, Gleis 13.

Fig. 6: Beispiel für eine Überbeantwortung aufgrund einer Planerkennung

Doch wie die Arbeiten von Cohen, Perrault und Allen [10], [1] überzeugend nachweisen, erfordert die formale Rekonstruktion dieses Verhaltens in einem NSS aufwendige Planerkennungs- und Planerzeugungsprozesse. Um zu der in Fig. 6 angegebenen Überbeantwortung zu gelangen, muß das System ein allgemeines Verfahren mit folgender Grobstruktur anwenden:

- (1) Beobachte das Benutzerverhalten
- (2) Erkenne den Plan des Benutzers
- (3) Suche nach evtl. Hindernissen für den inferierten Plan, indem du die geplanten Schritte in einer gedachten Welt des Benutzers ausführst
- (4) Mache dir die evtl. entdeckten Hindernisse zum eigenen Ziel
- (5) Erzeuge einen Plan zum Erreichen dieses Ziels
- (6) Führe den Plan aus und gehe nach (1)

Bei Anwendung des skizzierten Verfahrens auf die Benutzerfrage in Fig. 6 inferiert das System zunächst als Plan des Benutzers, daß dieser mit dem Zug nach Frankfurt fahren will. Das System stellt dann fest, daß die fehlende Information über das Abfahrtsgleis ein Hindernis für den Plan des Benutzers darstellen könnte, und beseitigt dieses durch die Zusatzinformation. Das Beispiel verdeutlicht die oben bereits betonte Abhängigkeit kommunikativer Leistungen wie der Überbeantwortung von kognitiven Fähigkeiten der Planerkennung und -erzeugung.

Die zweite Frage-Antwort-Sequenz (vgl. Fig. 7) ist einem Hotelreservierungsdialog mit HAM-RPM entnommen und zeigt die Kombination sprachlicher Fähigkeiten zur semantisch-pragmatischen Verarbeitung von Partikeln wie 'sogar' und 'natürlich' (vgl. [27]) mit der kognitiven Fähigkeit, ein internes Modell des Dialogpartners aufzubauen, dem Dialogverlauf anzupassen und für die eigenen Dialogziele einzusetzen.

BEN: *Hat das Zimmer vielleicht sogar ein Fernsehgerät?*

SYS: *Ja, natürlich.*

Fig. 7: Beispiel für die Verarbeitung von Partikeln auf dem Hintergrund eines Partnermodells

'Sogar' signalisiert dem System u.a., daß der Benutzer das Vorhandensein eines Zimmerfernsehers für eine Normabweichung bzgl. der von ihm erwarteten Hotelkategorie hält. Aufgrund von allgemeinem Wissen über prototypische Benutzerpräferenzen wird das System im Partnermodell speichern, daß der Gast einen Zimmerfernseher wünscht. Daß dieser Schluß keineswegs trivial ist und Wissen über Präferenzen erfordert, wird evident, wenn man in der Benutzerfrage 'ein Fernsehgerät' gegen 'ein Regenloch in der Decke' austauscht. Angenommen, das angebotene Zimmer gehört zu einem Hotel der gehobenen Kategorie, dann wird das System nach Analyse der Benutzerfrage und weiteren Inferenzen schließlich im Partnermodell speichern, daß der Kunde ein Hotel geringerer Kategorie erwartet. Die elliptische Systemantwort 'Ja, natürlich' in Fig. 7 enthält wesentlich mehr Information als die einfache Bestätigung, da durch sie versucht wird, beim Benutzer eine Korrektur der vorher durch 'vielleicht sogar' signalisierten Erwartungshaltung herbeizuführen.

Das abschließende Beispiel in Fig. 8 enthält Dialogabschnitte, die kommunikative Fähigkeiten eines NSS beim Wechsel der Sprecher initiative und der Anwendung von Dialogstrategien aufzeigen. Im ersten Dialogabschnitt liegt die Initiative beim Hotelier, der Zimmerangebot notwendige Information (z.B. Art des Zimmers, Zeitraum) vom Gast zu erhalten versucht, die für ein. Im angegebenen Beispiel gibt der Hotelier dann durch die Frage 'Haben Sie noch einen besonderen Wunsch?' die Initiative ab. Nach einem Dialogabschnitt, in dem der Gast initiativ wird, übernimmt aufgrund einer Dialogstrategie des Hoteliers dieser wieder die Initiative, indem er fragt 'Darf ich das Zimmer für Sie buchen?'. Im einfachsten Fall, der in der aktuellen Version von HAM-RPM implementiert ist, bezieht sich die Strategie auf die Dialoglänge (der Hotelier drängt auf eine Buchung); in einem verfeinerten Modell sollte die Bitte um Bestätigung der Buchung erfolgen, wenn, laut Partnermodell der Kunde durch eine Systemantwort einen besonders guten Eindruck vom angebotenen Zimmer gewonnen hat.

	BEN: <i>040 58 29 13</i>
	SYS: <i>Hotel Alsterblick, guten Abend</i>
Eröffnungsskript	: Initiative liegt beim System
	SYS: <i>Ja, da Ist noch was frei. Haben sie noch einen besonderen Wunsch?</i>
Freier Dialog über Eigenschaften des angebotenen Zimmers	BEN: <i>Gibt es Im Zimmer ein ...</i>
	: Initiative liegt beim Benutzer
	SYS: <i>Ist selbstverständlich vorhanden.</i>
	SYS: <i>Darf Ich das Zimmer für sie buchen</i>
Buchungsskript	: Initiative liegt beim System
	BEN: <i>Auf Wiederhören.</i>

Fig. 8: Wechsel der Sprecherinitiative aufgrund einer Dialogstrategie

Die drei angegebenen Beispiele weisen auf einen deutlichen Trend in der sprachorientierten KI-Forschung hin: Die Analysekomponente zukünftiger NSS hat weniger das Ziel, eine rein wörtliche Interpretation der Benutzereingabe zu finden, sondern vielmehr, die mit der eingegebenen Äußerung verbundene Sprecherintention zu erkennen. Wie Fig. 9 zeigt, fließen in diesen Forschungstrend zwei vorher getrennte Wissenschaftsgebiete ein: die Sprechakttheorie der Linguistik und die in der KI entwickelten Planungssysteme.

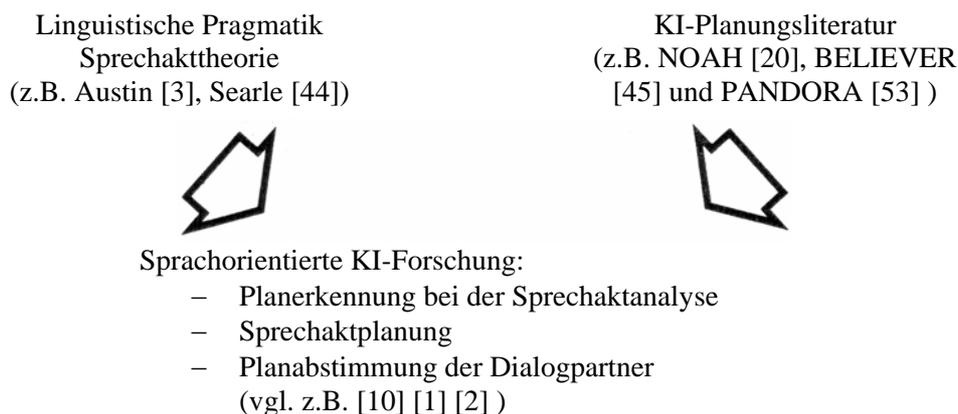


Fig. 9: Ein Entwicklungstrend der sprachorientierten KI-Forschung Zusammenfassung und Ausblick:

8 Thesen zur sprachorientierten KI

In den ersten vier der folgenden Thesen wird der Entwicklungsstand und die Forschungsperspektive für natürlichsprachliche KI-Systeme zusammengefaßt. Da die weiteren vier Thesen zur Ausbildungssituation und Förderungspolitik für das behandelte Fachgebiet in der sich an den Vortrag anschließenden Diskussion sehr positiv aufgenommen wurden, wurden sie auch in die schriftliche Version des Vortrags übernommen, obwohl sie nur indirekt mit der Forschungsperspektive und dem Entwicklungsstand in der Bundesrepublik zusammenhängen.

THESE 1:

Nach 20 Jahren Grundlagenforschung gibt es jetzt in den USA die ersten kommerziell einsetzbaren natürlichsprachlichen Systeme (z.B. ROBOT, UFER). Wichtige Grundkonzepte des Entwurfs, der Konstruktion und Implementation natürlichsprachlicher Systeme, die robust und produktreif sind,

wurden gefunden (natural language interface engineering). In der Bundesrepublik fehlt allerdings bisher ein in der Anwendung erfolgreiches deutschsprachiges System.

THESE 2:

Während die sprachorientierte KI-Forschung in den 70iger Jahren durch einen deutlichen Übergang von syntaktischen zu semantischen Fragestellungen gekennzeichnet war, scheint für den Anfang der 80iger Jahre typisch zu sein, Sprachverhalten im größeren Zusammenhang von allgemeinem zielgerichtetem Verhalten (Handeln, Planen, Problemlösen) zu sehen.

THESE 3:

Obwohl für die Hauptkomponenten eines natürlichsprachlichen Systems heute eine Auswahl von bewährten Modellen und Techniken zur Verfügung stehen, sind noch viele Einzelprobleme, auch in klassischen Gebieten wie der lexikalischen Analyse und des Parsing (z.B. Wortbildung, Ellipsen) ungeklärt und erfordern Grundlagenforschung in enger Zusammenarbeit mit Linguisten.

THESE 4:

Bisher wurde anspruchsvolle sprachorientierte KI-Forschung, die hohe Anforderungen an Rechenzeit und Speicherplatz stellt, durch die zu geringe Verfügbarkeit entsprechender Betriebsmittel behindert. Durch Einführung von Spezialhardware wie den LISP-Maschinen zeichnet sich jetzt eine Lösung des Hardware-Problems ab, die wegen der relativ geringen Kosten langfristig auch Anwendungen von natürlichsprachlichen Systemen in kleineren und mittleren Betrieben, Organisationen und Verwaltungen ermöglichen wird.

THESE 5:

Es herrscht noch immer ein großer Mangel an Informatikern mit guten Kenntnissen in sprachorientierter KI und Linguistik. Der Vermittlung der in der sprachorientierten KI-Forschung entwickelten Methoden sollte ein fester Platz im Lehrplan der Informatik und Informationswissenschaft zugewiesen werden. Entsprechende Ausbildungskapazitäten und eine kontinuierliche Forschungsentwicklung können nur durch die Einrichtung entsprechender Hochschullehrerstellen und einen zügigen Ausbau der Studiengänge Informatik mit Anwendung Linguistik und Informationswissenschaft erreicht werden.

THESE 6:

Bisher fehlt ein Standardwerk im Bereich der natürlichsprachlichen KI-Systeme, das alleine zur Ausbildung verwendet werden kann. Die bisher erschienen KI-Lehrbücher decken die sprachorientierte KI-Forschung nur schlecht ab. Die Grundausbildung wird immer noch durch mangelnde deutschsprachige Literatur über NSS erschwert.

THESE 7:

Seit langem geförderte Großprojekte zur Sprachverarbeitung, die oft linguistische und informatische ad-hoc-Verfahren einsetzen, sollten zu Gunsten mehrerer mittlerer KI-Projekte zügig abgeschlossen werden. Aufgrund der schnellen Weiterentwicklung von KI-Techniken sind NSS mit einer Entwicklungszeit von mehr als 5 Jahren schon veraltet, bevor es zu ihrem praktischen Einsatz kommt.

THESE 8:

Es sollte in den Projektzielen von sprachorientierten KI-Vorhaben eine klarere Trennung zwischen Grundlagenforschung und Anwendungsforschung vorgenommen werden, so daß mangelnder Anwendungserfolg nicht durch zusätzliche Grundlagenforschung oder umgekehrt mangelnde wissenschaftliche Ergebnisse nicht durch Anwendungsdruck entschuldigt werden können.

Literatur

- [1] Allen, J., Perrault, C.: Participating in dialogues: understanding via plan deduction. In: Proc. of the second national Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, Toronto 1978
- [2] Appelt, D.E.: Problem solving applied to language generation. In: Proc. of the 18th annual meeting of the Association for Computational Linguistics, Philadelphia 1980
- [3] Austin, J.L.: How to do things with words. Cambridge, Ma. 1962
- [4] Bobrow, D.G., Kaplan, R.M., Kay, M., Norman, D.A., Thompson, H., Winograd, T. : GUS - a frame-driven dialog System. In: AI, 8, 2, 155-173, 1977
- [5] Brachman, R.J., Bobrow, R.J., Cohen, P.R., Klovstad, J.W., Webber, B.L., Woods, W. A.: Research in natural language understanding. Annual Report, BBN Report No. 4274, Cambridge, Ma. 1979
- [6] Brecht, W.: Natürlichsprachliche Ansätze zu Datenbanksystemen. In: Krallmann, D.(ed.): Kolloquium zur Lage der Linguistischen Datenverarbeitung. Essen 1978
- [7] Bronnenberg, W.J.H.J., Bunt, H.C., Landsbergen, S.P.J., Scha, R.J.H., Schoenmakers, W.J., van Utteren, E.P.C.: The question answering System PHLIQUA1. In: Bolc, L. (ed.): Natural language question answering Systems. München, London: Hanser/Macmillan 1980
- [8] Carbonell, J.G.: POLITICS: An experiment in subjective understanding and integrated reasoning. In: Schank, R.C., Riesbeck, C.K. (eds.): Inside Computer understanding: five programs and miniatures. N.J.: Erlbaum 1980
- [9] Christaller, Th, Metzging, D. (eds.) Augmented Transition Network Grammatiken. Teil 1 und Teil 2, Berlin: Einhorn 1979 und 1980
- [10] Cohen, P.R.: On knowing what to say: pianning speech acts. Univ. of Toronto, Dept. of Computer Science, Technical Report No. 118, 1978
- [11] Collins, A., Warnock, E.H., Aiello, N.E., Miller, M.C.: Reasoning from incomplete knowledge. In: Bobrow, D.G., Collins, A.(eds.): Representation and understanding: Studies in cognitive science. N.Y.: Academic 1975
- [12] Davis, R.: Applications of meta level knowledge to the construction, maintenance and use of large knowledge bases. In: Davis, R., Lenat, D.(eds.) Knowledge-based Systems in Artificial Intelligence. N.Y.: McGraw Hill 1980
- [13] Eisenberg, P.: Computerlinguistik. In: Althaus, H.P. , Henne, H. , Wiegand, H.E.(eds.): Lexikon der Germanistischen Linguistik. Tübingen: Niemeyer 1980
- [14] Fauser, A.: Inferenz und Kohärenz in KIPUS. In: Rollinger, C.-R., Schneider, H-J. (eds.) Inferenzen in natürlichsprachlichen Systemen der Künstlichen Intelligenz. Berlin: Einhorn 1980
- [15] Fauser, A., Roesner, D.: Computational Linguistics in West Germany - a selected bibliography. Univ. Stuttgart, Inst, für Informatik, 1979

- [16] Fauser, A. , Rathke, C: Studie zum Stand der Forschung über Frage-Antwort-Systeme, (im Auftrag der GID), Vorversion, Univ. Stuttgart, Inst. für Informatik, Februar 1981
- [17] Görz, G.: The HEX-System: Experiences with an expectation-based parser. In: Bolc, L. (ed.): Natural language based Computer Systems. München, London: Hanser, Macmillan 1980
- [18] Grosz, B.J.: Utterance and objective: issues in natural language communication. In: Proc. of 6IJCAI, S. 1067-1076, 1979
- [19] Haas, N., Hendrix, G.G.: An approach to acquiring and applying knowledge. In: Proc. of the first national Conference on artificial intelligence, Stanford Univ., S. 235 - 239, 1980
- [20] Habel, C.U., Rollinger, C.-R., Schmidt, A., Schneider, H.-J.: A logic-oriented approach to automatic text understanding. In: Bolc, L. (ed.): Natural language based Computer Systems. München, London: Hanser/Macmillan 1980
- [21] v. Hahn, W., Hoepfner, W., Jameson, A.: The anatomy of the natural language dialogue System HAM-RPM. In: Bolc, L. (ed.) Natural language based Computer Systems. München, London: Hanser/Macmillan 1980
- [22] v. Hahn, W. Computer als Dialogpartner - Simulation von Sprachverstehen. Schriftl. Version eines öffentl. Vortrags der DFG im Wissenschaftszentrum Bonn- Bad Godesberg, erhältlich als HAM-RPM Bericht, Univ. Hamburg, Germanisches Seminar, 1981
- [23] Hayes, P, Reddy, R.: An anatomy of graceful interaction in spoken and written man-machine communication. Carnegie-Mellon Univ., Dept. of Computer Science, Report CS-79-144, 1979
- [24] Hayes, P.J., Rosner, M.A.: ULLY: A program for handling conversations. In: Proc. of the AISB summer Conference, Juli 1976
- [25] Hein, H.W.: A System for understanding continuous German speech. In: Siekmann, J. (ed.): Proc. of GWAI-81, Informatik-Fachberichte, Berlin, Heidelberg, N.Y.: Springer 1981
- [26] Hendrix, G.G.: Future prospects for computational linguistics. In: Proc. of the 18th annual meeting of the Association for Computational Linguistics, Philadelphia 1980
- [27] Jameson, A., Hoepfner, W., Wahlster, W.: The natural language system HAM-RPM as a hotel manager: some representational prerequisites. In: Proc. der 10. Jahrestagung der GI, Saarbrücken, Informatik-Fachberichte 33, Berlin, Heidelberg, N.Y. : Springer 1980
- [28] Kalgren, H., Walker, D.E.; Economic impact of research on natural language. Vervielf. Vortragstext, Kopenhagen 1980
- [29] Kaplan, S.J.: Cooperative responses from a portable natural language data base query system. Stanford Univ., Heuristic Programming Project, Report HPP-79" 19, 1979
- [30] Kolvenbach, M. , Loetscher, A., Lutz, H.D. (eds.): Künstliche Intelligenz und natürliche Sprache. Sprachverstehen und Problemlösen mit dem Computer. Tübingen: Narr 1979
- [31] Lenders, W.: Linguistische Datenverarbeitung - Stand der Forschung. In: Deutsche Sprache, 3, S. 213-264, 1980

- [32] Liebisch, G.: Das Konzept der natürlich-sprachlichen Datenbankschnittstelle NATAN. In: Krallmann, D.: Dialogsysteme und Textverarbeitung. Essen 1980
- [33] Metzger, D.: Tools for a procedural dialog model and some problems of application. In: Hägglund, S. , Hein, U. (eds.): Proc. of the International Workshop on Models of Dialogue: Theory and application, Linköping Univ., 1981
- [34] Ott, N.: Das experimentelle auf natürlicher Sprache basierende Informationssystem USL. In: Nachr. für Dokumentation , 30, 3, S. 129-139, 1979
- [35] Proceedings of the AISB-80 Conference, Amsterdam, Juli 1980
- [36] Proceedings of the first annual national Conference on artificial intelligence. Stanford Univ., August 1980
- [37] Proceedings of the first international Workshop on natural language communication with Computers. Univ. Warschau, Inst. für Informatik, Sept. 1980
- [38] Proceedings of the second Workshop on theoretical issues on natural language processing, Urbana-Champaign, Illinois, Juli 1978
- [39] Proceedings of the 8th International Conference on Computational linguistics, Tokio,1980
- [40] Proceedings of the 18th annual meeting of the Association for Computational Linguistics, Philadelphia, 1980
- [41] Rollinger, C.-R., Schneider, H.-J.: Inferenzen in natürlichsprachlichen Systemen der Künstlichen Intelligenz. Berlin: Einhorn 1980
- [42] Sacerdoti, E.D.: A structure for plans and behavior. N.Y. : Elsevier 1977
- [43] Sacerdoti, E.D.: Language access to distributed data with error recovery. In: Proc. of the SUCAI, Cambridge, Ma. , S. 196-202, 1977
- [44] Searle, J.S.: Speech acts: an essay in the philosophy of language. Cambridge, Ma. 1969
- [45] Sridharan, N.S., Smith, D.: Design for a plan hypothesizer. In: Proc. of the AISB/GI Conference on artificial intelligence, Univ. Hamburg, S. 315-323, 1978
- [46] Schefe, P.: Arten von Wissen und Inferenzen in natürlichsprachlichen Systemen. In: Rollinger, C.-R., Schneider, H.-J. (eds.): Inferenzen in natürlichsprachlichen Systemen der Künstlichen Intelligenz. S. 1-36, Berlin: Einhorn.
- [47] Schmidt, A., Schneider, H.-J.: Natürlichsprachliche Frage-Antwort-Systeme - Bedeutung, Realisierung, Ausblick. In: Krallmann, D.: Zur Lage der Linguistischen Datenverarbeitung. Essen 1978
- [48] Thompson, B.H.: Linguistics analysis of natural language communication with Computers. In: Proc. of the 8th international Conference on computational linguistics, S. 190-201, Tokio 1980
- [49] Wahlster, W.: Die Repräsentation von vagem Wissen in natürlichsprachlichen Systemen der Künstlichen Intelligenz. Univ. Hamburg, Fachbereich Informatik, Bericht IFI-HH-B-38/77, 1977

- [50] Waltz, D.L.: Natural language interfaces. In: SIGART Newsletter, 61, 1977
- [51] Waltz, D.L.: An english language question answering system for a large relational database. In: CACM, 21, 7, 526-539, 1978
- [52] Weiner, J.L.: BLAH - A System which explains its reasoning. In: AI, 15, 1, S. 19-48, 1980
- [53] Wilensky, R.: Meta-Planning: Representing and using knowledge about planning in problem solving and natural language understanding. U.C. Berkeley, EECS Dept., Memo No. 80/33, 1980
- [54] Winograd, T.: Understanding natural language. N.Y.: Academic 1972
- [55] Witschas, W., Zänker, F., Heibig, H.: FAS-80 - A natural language information system. In: Proc. of the first international Workshop on natural communication with computers. Univ. Warschau, Inst. für Informatik, S. 120-124, 1980
- [56] Woods, W., Kaplan, R.M., Nash-Webber, B.: The lunar sciences natural language in-formation System. BBN Report No. 2378, Cambridge, Ma. 1972