

Peter Hellwig

Rechnen mit Sprache

Möglichkeiten und Probleme der maschinellen Sprachverarbeitung

Der folgende Artikel führt in Probleme ein, die der Versuch, Sprache unter semantischen Gesichtspunkten von Computern verarbeiten zu lassen, aufwirft. Geschildert wird die Auseinandersetzung über die Mechanisierbarkeit des Umgangs mit Sprache, die gegenwärtig unter Linguisten und Informatikern geführt wird. Damit verknüpft sind allgemein theoretische Fragen, insbesondere die nach dem Zusammenhang von Bedeutung und Weltwissen. Eine Systemarchitektur wird vorgeschlagen, welche die krasse Beschränkung sprachverarbeitender Computerprogramme auf kleinste Weltausschnitte mildern könnte. Das Ziel des Aufsatzes ist es, durch Einsicht in die theoretischen Grundlagen der Sprachverarbeitung einer Überschätzung des Computers als Kommunikationspartner entgegenzuwirken, ohne seinen Nutzen als Medium von Kommunikation zu schmälern.

0. Einleitung

„Maschinelle Sprachverarbeitung“, „Computerlinguistik“, „Linguistische Datenverarbeitung (LDV)“, „Künstliche Intelligenz“ sind Umschreibungen eines Forschungsfeldes, aus dem sich gegenwärtig eine akademische Disziplin entwickelt.¹ Was ist von dieser neuen Wissenschaft zu erwarten?

In weiten Kreisen der Öffentlichkeit gilt als ausgemacht, daß Computer alles können. Deshalb wird kaum in Zweifel gezogen, daß Computer eines Tages natürliche Sprachen verstehen und sprechen werden. Man erwartet, daß Computer in Zukunft Übersetzungen anfertigen, daß sie ärztliche Diagnosen stellen und Therapievorschlüsse machen werden, daß Gerichtsurteile automatisch erstellt werden und daß Unterrichtsprogramme eines Tages den Lehrer ersetzen werden. Es ist kein Wunder, daß diese Aussichten bei vielen Zeitgenossen Alpträume hervorrufen. 1984 ist nicht mehr weit. Ist der Große Bruder ein Computer?

Ich werde im folgenden darlegen, daß die Vermenschlichung des Computers, die aus diesen Erwartungen und Befürchtungen spricht, in keiner Weise gerechtfertigt ist. Wenn von sprachverarbeitenden Computern eine Gefahr ausgeht, dann in erster Linie aufgrund der oben geschilderten Erwartungshaltung selbst. Sie führt dazu, daß Computerprogrammen aus Unwissenheit eine Autorität zugestanden wird, die

(1) Einen Überblick über das Gebiet gewinnt man aus Wahlster (1982), Bátori/Krause/Lutz (1982), Fauser/Rathke (1981), Lenders (1980), Kolvenbach/Lötscher (1979), Bátori (1977), Wilks (1977), Simmons (1976). Eine Dokumentation der Studienmöglichkeiten und Berufsperspektiven enthält Krallmann/Krause (1981).

ihre Erfinder oft gar nicht für sie beanspruchen.² Aus diesem Grund könnte eine nüchterne Information über die theoretischen Möglichkeiten und Probleme der maschinellen Sprachverarbeitung auch schon in der Schule sinnvoll sein.³

1. Rechnen mit Sprache

Ein Computer ist zunächst einmal eine große Rechenmaschine. Um die Möglichkeiten, die er bietet, abschätzen zu können, sollten wir uns kurz mit dem Vorgang des Rechnens beschäftigen.

1.1. Der Vorgang des Rechnens

Kaum einer weiß auswendig, was 21 mal 52 ergibt. Wir kennen jedoch alle ein Verfahren, mit dem wir die Lösung finden können. Wir nehmen ein Blatt Papier, einen Bleistift, und schreiben:

$$\begin{array}{r} 21 \times 52 \\ \hline 105 \\ 42 \\ \hline 1092 \end{array}$$

Was haben wir gemacht? Wir haben früher einmal das Einmaleins gelernt. Dazu gehörten folgende Regeln:

$$\begin{array}{l} 1 \times 5 = 5 \\ 2 \times 5 = 10 \\ 2 \times 1 = 2 \\ 2 \times 2 = 4 \end{array}$$

Im Geiste haben wir nun die einzelnen Ziffern in den beiden zu multiplizierenden Zahlen mit den Ziffern links vom Gleichheitszeichen in diesen Regeln verglichen und sodann die Ziffer rechts davon auf das Papier geschrieben. Anschließend haben wir die in den Spalten des Zwischenergebnisses stehenden Ziffern addiert, wobei wir eine ebenfalls auswendig gelernte Regel benutzt haben, nämlich:

$$5 + 4 = 9$$

Letztlich war der ganze Rechenprozeß also nichts anderes als eine festgelegte Folge von Symbolvergleichen und Symbolerzeugungen aufgrund von Regeln. Da dabei nur die Form der Symbole eine Rolle spielt, ist der Vorgang mechanisierbar. Eine Rechenmaschine enthält ein Rechenwerk, in dem, den Regeln entsprechend, zu den gegebenen Ziffern die neuen Ziffern gebildet werden, sowie einen Speicher, in dem die Zwischenergebnisse aufbewahrt werden. Das Verfahren, nach dem eine Rechnung abläuft, heißt Algorithmus. Bei einer mechanischen Rechenmaschine sind die Algorithmen für die Rechnungen, die der Automat beherrscht, physikalisch reali-

(2) In diesem Zusammenhang ist die Lektüre von Weizenbaum (1977) zu empfehlen.

(3) Ausführlicher als hier, geschieht dies in Hellwig (1978a).

siert. Bei einem elektronischen Universalrechner ist dies nur für einige Grundoperationen der Fall. Die Vorschrift für eine bestimmte Berechnung aber kann selbst von außen eingegeben werden: Der Rechner ist programmierbar.

Um zu würdigen, was dies intellektuell bedeutet, muß man sich den Unterschied zwischen der Ausführung einer Rechnung und einer Beschreibung der Berechnung vergegenwärtigen. Eine Beschreibung besteht selbst aus Symbolen. Wie die Beschreibung in Operationen umzusetzen ist, ist wiederum zu berechnen, d. h., es muß einen Algorithmus auf einer höheren Stufe geben, nach dem die Symbole der verschiedenen möglichen Rechenvorschriften auf der darunter liegenden Stufe verarbeitet werden. Diese Stufung der Algorithmen und der Algorithmus-Beschreibungen kann theoretisch ad infinitum fortgesetzt werden. Jede neue Stufe bedeutet eine generellere Behandlung der dabei zusammengefaßten Rechenvorgänge. Die Beschreibung wird abstrakter und zugleich grundlegender, bis zuletzt die Ebene einer Folge von lauter Grundoperationen erreicht ist.

1.2. Nicht-numerische Rechenaufgaben

Man kann sagen: ein Problem ist mechanisierbar, wenn es auf Symbolmanipulationen reduziert werden kann. Ob es sich bei den Symbolen um Ziffern oder Buchstaben oder Kombinationen aus beidem handelt, ist gleichgültig.

Ohne weiteres mechanisierbar sind eine Reihe von Aufgaben in der Textverarbeitung. Dazu gehören die alphabetische Anordnung von Wörtern, das Herstellen von Konkordanzen und Registern, das Editieren von Skripten mit Seitenzählung, Einfügen von Fußnoten usw.

Ebenfalls mechanisierbar ist das Aufsuchen von Eintragungen in einer Datenbank. Eine Datenbank hat man sich vorzustellen als eine Sammlung von Tabellen. Z. B. könnten die Zeilen einer Tabelle bibliographische Angaben enthalten, mit Autornamen, Titeln und Erscheinungsjahren als Spalten. Jede Anfrage an eine Datenbank ist in eine Vorschrift für das Aufsuchen von Symbolen in Tabellen umzuwandeln. Z. B. würde die Frage „Welche Arbeiten von Minsky sind vor 1970 erschienen?“ gemäß der Datenbanklogik lauten: „Suche das Wort ‘Minsky’ in der Spalte für Autoren und dazu dann alle Zahlen kleiner ‘1970’ in der Spalte für Erscheinungsjahre und drucke die entsprechenden Zeilen!“ Obwohl die Tabellen einer Datenbank sprachliches Material enthalten, ist die Verarbeitung doch völlig oberflächlich. Die Bedeutung dessen, was die Datenbank enthält, wird beim Entwurf der Tabellenstruktur festgelegt und nicht etwa den Eingabedaten selbst entnommen. Eingaben, für die nicht vorab ein Tabellenplatz vorgesehen wurde, können nicht aufgenommen werden.

Eine Aufgabe, die man zunächst auch leicht mit einem Computer lösen zu können glaubte, war die Übersetzung. Es zeigte sich aber bald, daß eine Wort-für-Wort-Übersetzung nicht ausreichen würde. „Ich weiß es nicht“ ergäbe so z. B. „I white it not“ statt „I don’t know“.⁴ Seit Mitte der sechziger Jahre ist in der Fachwelt der Op-

(4) Solcherart Ergebnisse produzieren die heute auf dem Markt befindlichen Taschen-Sprachcomputer. Siehe ‚test‘, Zeitschrift der Stiftung Warentest, Heft 12/1981, S. 62–64.

timismus bezüglich der baldigen Entwicklung funktionierender Übersetzungsmaschinen geschwunden. Man beschäftigt sich seither und bis heute hauptsächlich mit der Erforschung der theoretischen Grundlagen. Die wenigen im Einsatz befindlichen Übersetzungssysteme, wie z. B. das Programm SYSTRAN, lassen viel zu wünschen übrig.

1.3. Logische Kalküle

Nicht-numerisches Rechnen ist aber in einem noch viel umfassenderen Sinn ein alter Traum. Seit der Antike beschäftigen sich die Philosophen mit den Regeln für folgerichtiges Denken. Aristoteles lehrte, daß die Gültigkeit eines Schlusses aus dem Aufbau der beteiligten Aussagen abzuleiten ist. Damit war die Logik als die Lehre von der formalen Seite des Denkens geboren. Da die Form der Gedanken nur in der Form einer Sprache greifbar ist, müßten sich letztlich alle Schlüsse auf zeichentheoretische Manipulationen reduzieren lassen, d. h., das Prinzip des Rechnens liegt auch dem Schlußfolgern zugrunde. Vorschriften für diese Art des Rechnens sind z. B. die syllogistischen Figuren, von denen Aristoteles bereits die grundlegenden aufgestellt hat und die die Scholastik zu einem in sich geschlossenen System fortentwickelt hat.

Nun erwies sich die Oberflächengestalt der natürlichen Sprachen allerdings als schlecht dazu geeignet, um alle Folgebeziehungen zwischen Aussagen in Form von Vorschriften für Symbolmanipulationen zu fassen. Gottfried Wilhelm Leibniz entwarf daher schon zwischen 1670 und 1690 den Plan zu einer Kunstsprache, die so konstruiert sein sollte, daß man mit ihr die Logik eines Gedankenganges, analog zum Rechnen in der Arithmetik, allein durch „Umwandlung der Charaktere und eine Art Kalkül“ überprüfen könnte.⁵ Der erste, der dieses Vorhaben bis zu einem gewissen Grad wirklich durchführte, war Gottlob Frege.⁶ Seine „Begriffsschrift“ war allerdings schwer lesbar. Erst in der Notation von Giuseppe Peano und Bertrand Russel trat die formale Logik endgültig ihren Siegeszug an. Inzwischen gibt es auch schon sog. Theorembeweiser, das sind Programme, die die Gültigkeit einer Formel relativ zu einer gegebenen Menge von Axiomen ermitteln.

Sehen wir einmal von Effizienzproblemen ab – bei einer großen Menge von Axiomen brauchen selbst schnelle Rechner für einen Beweis u. U. Stunden –, so ergibt sich daraus: Wenn natürlichsprachige Texte in eine Kunstsprache übersetzt werden könnten, in der sich alle logischen Ableitungen durchführen lassen, wäre eine wirkliche Informationsverarbeitung mit Computern möglich. Alles, was aus dem gespeicherten Wissen folgt, würde sich errechnen und bei der Beantwortung von Fragen einbringen lassen.

Da sich letztlich alle Bedeutungsunterschiede zwischen sprachlichen Einheiten in unterschiedlichen Möglichkeiten des Folgerns niederschlagen, wäre eine solche Übersetzung der natürlichen Sprache in einen Logikkalkül zugleich eine Bedeutungsbeschreibung. Die Linguistik entwickelt sich seit einiger Zeit in diese Richtung.

(5) Vgl. Leibniz (Ausgabe 1960), besonders S. 1–115.

(6) In Frege (1879).

Als Beispiel seien nur die generative Semantik und die Montague-Grammatik genannt. Zwischen Linguisten und Logikern findet ein intensiver Dialog statt. So möchte man meinen, daß auch die Realisierung der Sprachverarbeitung mit Computern nicht mehr weit ist. Leider muß ich im folgenden schildern, daß sich auf dem Weg dorthin noch eine Hürde nach der anderen auftürmt.

2. Formale Analyse: die erste Hürde

Angenommen, in einer Kunstsprache seien alle semantischen Zusammenhänge zwischen Aussagen als Regeln für Symbolmanipulationen reformulierbar. Die Voraussetzung dafür, daß Computer mit Aussagen in natürlicher Sprache rechnen könnten, wäre dann, daß die Übersetzung in die Kunstsprache ebenfalls mechanisierbar wäre. Mechanisierbar ist sie aber nur, wenn sie rein auf Formbasis möglich ist. Die erste Hürde, die auf dem Weg zum Sprachrechner genommen werden muß, ist also eine Analyse der Form der natürlichen Sprache.

2.1. Der hierarchische Aufbau der Sätze

In den letzten 25 Jahren sind formale Grammatiken entwickelt worden, die allen und nur den wohlgeformten Sätzen eine Strukturbeschreibung zuordnen. Zur Darstellung der Struktur werden oft Baumgraphen benutzt, wobei diese Bäume entweder die Gliederung in Konstituenten oder die Dependenz zwischen den Elementen des Satzes abbilden. Für die Computerlinguistik besteht die Aufgabe nun darin, Algorithmen für die Errechnung der hierarchischen Strukturen aus den eingegebenen Wortketten zu erstellen. Ein Programm, das solche Algorithmen anwendet, nennt man „Parser“.

Ein Parser muß drei Formebenen unterscheiden und gleichwohl alle drei in jedem einzelnen Satzelement zur Deckung bringen: die syntaktische Rollenstruktur, die Lexik und die Morphologie. Ein paar Beispiele mögen dies veranschaulichen:

- (1 a) Fritz wirft eine Kippe auf den Boden.
- (1 b) Fritz antwortet nicht auf Fragen.
- (1 c) Fritz regt sich leicht auf.
- (1 d) Fritz regt sich.

Auf der Ebene der Rollen (oder grammatischen Funktionen) besteht (1 a) aus Subjekt, Prädikat, Objekt und Richtungsadverbial, (1 b) aus Subjekt, Prädikat, Negationsoperator, Präpositionalobjekt, (1 c) aus Subjekt, Prädikat und Umstandsadverbial, (1 d) aus Subjekt und Prädikat. Die genannten Einheiten haben z. T. wiederum eine interne Rollenstruktur. Rollen müssen unbedingt explizit gemacht werden, denn aus ihnen geht der logische Aufbau des Satzes hervor, der die Grundlage für die späteren Rechenregeln ist.

Lexeme bilden die Konstanten innerhalb der Satzform. Von ihrem Inhalt wird in manchen logischen Berechnungen abgesehen werden. Gleichwohl muß festgestellt und symbolisiert werden, daß (1 a) z. B. das Lexem „werfen“, (1 b) das Lexem „ant-

worten“, (1 c) das Lexem „sich aufregen“ und (1 d) das Lexem „sich regen“ enthält. Morphologisch müssen Wortarten – wie Substantiv, Verb, Präposition usw. – und grammatische Kategorien – wie Kasus, Numerus, Genus usw. – unterschieden werden. Sie haben dienende Funktion bei der Ermittlung des Satzaufbaus. Z. B. ist in (1 a) aus der Kongruenz in Genus und Numerus ersichtlich, daß *eine* zu *Kippe* und *den* zu *Boden* gehört.

Jedes einzelne Wort partizipiert an allen drei Ebenen. So ist 'wirft' in (1 a) sowohl Prädikat des Satzes, Repräsentation des Lexems „werfen“ und morphologisch ein Verb in der 3. Person Singular. Da in der Eingabe nur die Wortformen gegeben sind, muß der Parser die übrige Information teils einem Lexikon entnehmen, teils durch Anwendung von Syntaxregeln auf die Wortfolge herausfinden.

Ein weitverbreiteter Typ von Analysealgorithmus ist der auf William W. Woods zurückgehende ATN-Parser.⁷ Er basiert im Kern auf einer Konstituentenstrukturanalyse, doch ist er technisch so realisiert, daß er praktisch jede beliebige Informationsquelle, einschließlich des Kontextes, ausnützen kann. Einen Parser, der eine Abhängigkeitsstrukturanalyse durchführt, enthält das System PLAIN.⁸ Die dafür benötigten Informationen sind in einem Valenzlexikon enthalten.

2.2. Probleme mit der linearen Gliederung

Die maschinelle Analyse der Rollenstruktur eines Satzes wird erheblich dadurch erschwert, daß die Wörter, die auf einer bestimmten Hierarchieebene gemeinsam eine Konstituente bilden, nicht immer beieinander stehen. Viele der heutigen Parser würden z. B. bei folgendem Satz noch kapitulieren:

(2) Äpfel, sagte sie, habe sie keine schönen.

Hier bilden natürlich *keine schönen Äpfel* und *sie habe keine schönen Äpfel* jeweils eine Konstituente.

Schwierigkeiten entstehen auch durch elliptische Fügungen, besonders im Rahmen der Koordination, wie z. B. in

(3) Die rechte Seite hat nach unten, die linke nach oben eine Öffnung.

Der erste Teilsatz in (3) ist um *eine Öffnung* und der zweite um *Seite hat* zu ergänzen. Ein Parser muß also fähig sein, ausgelassene Elemente aus dem Kontext zu rekonstruieren.

Bei den Beispielen (2) und (3) geht es nur darum, den hierarchischen Aufbau der Sätze richtig abzubilden. Man hat aber festgestellt, daß es eine lineare Gliederung gibt, die sozusagen quer zur Konstituentenstruktur liegt. Die Hierarchie der Konstituenten ist z. B. in den folgenden beiden Sätzen dieselbe. Trotzdem haben die Sätze verschiedene Bedeutung:

(4 a) Fritz hat zweimal ein Kind vor dem Ertrinken gerettet.

(4 b) Fritz hat ein Kind zweimal vor dem Ertrinken gerettet.

(7) ATN = „Augmented Transition Network“. Siehe Woods (1976). Zum Einstieg ist Pinkal (1980) zu empfehlen.

(8) PLAIN = „Programs for Language Analysis and INference“. Siehe Hellwig (1978 b).

Der Unterschied liegt in der verschiedenen Reichweite des quantifizierenden Adverbs. In der Logik werden solche Phänomene unter dem Stichwort „Skopus“ behandelt. Da sich völlig unabhängige Konstituenten, je nach der Wortfolge, im Skopus eines Elementes befinden können, sind die an sich so praktischen Baumgraphen zur Repräsentation der Struktur eines Satzes allein nicht ausreichend.

Daß die Reihenfolge der Satzglieder nicht gleichgültig ist, ist auch aus der sog. Thema-Rhema-Theorie bekannt. Man vergleiche:

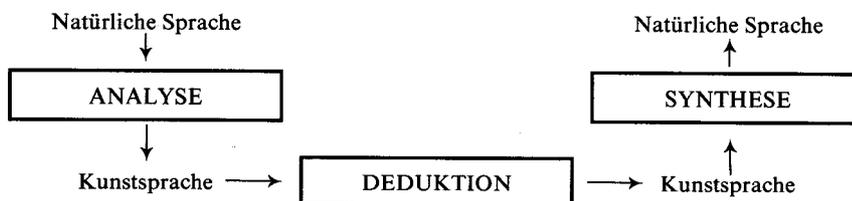
- (5 a) Nachrichtensammlung in extremistischen Organisationen ist Aufgabe des Verfassungsschutzes.
- (5 b) Aufgabe des Verfassungsschutzes ist Nachrichtensammlung in extremistischen Organisationen.

Die Rollenstruktur beider Sätze ist wiederum identisch. (5 a) stammt aus einem Kontext, in dem es darum ging, ob der Militärische Abschirmdienst (MAD) in extremistischen Organisationen Nachrichten sammeln dürfe. Die Fragestellung, auf die (5 a) eine Antwort gibt, lautet also: Wem obliegt die Nachrichtensammlung in extremistischen Organisationen? In einen solchen Kontext würde (5 b) nicht passen. Dagegen wäre (5 b) angemessen in einer Passage über das Thema: Was ist die Aufgabe des Verfassungsschutzes?

2.3. Ein einfaches Modell der Sprachverarbeitung

Daß man noch von keinem Computerprogramm sagen kann, es habe die erste Hürde endgültig genommen, liegt daran, daß der formale Aufbau der Sprachen selbst noch nicht völlig erforscht ist. Andererseits ist das, was Parser heute leisten, schon so viel, daß eine vollständige Syntaxanalyse jeder beliebigen Eingabe im Bereich des Möglichen zu liegen scheint.

Ein einfaches Modell der Sprachverarbeitung könnte nun so aussehen:



Das Gesamtsystem besteht also aus drei Subsystemen, einem, das Eingaben in natürlicher Sprache akzeptiert und Ausgaben in Kunstsprache produziert, einem, das zu kunstsprachlichen Eingaben logische Ableitungen und Antworten auf Fragen in Kunstsprache erzeugt, und einem, das aus kunstsprachlichen Formeln wieder Sätze in natürlicher Sprache macht.

In einem maschinellen Übersetzungssystem müßte an die Stelle der Deduktionskomponente eine Transferkomponente treten, die für jedes Sprachenpaar mit anderen Ersetzungsregeln versorgt wird. Für die Analyse und die Synthese könnte man

dieselben Programme wie bei der einsprachigen Verarbeitung verwenden. Dies ist grob die Architektur des geplanten Übersetzungssystems EUROTRA für die Europäische Gemeinschaft.

3. Faktor Weltwissen: die zweite Hürde

Bisher haben wir, um das Ziel einer maschinellen Informationsverarbeitung zu erreichen, eine rein syntaktische Strategie in Aussicht genommen. Wenn es Rechnen mit Sprache überhaupt gibt, so muß es unabhängig davon, was die Sätze konkret bezeichnen, vor sich gehen. Nun ist es aber unzweifelhaft, daß der Mensch in das Verstehen einer Äußerung alles Wissen einbringt, das er über den Gegenstandsbe- reich besitzt. Die maschinelle Sprachverarbeitung steht damit vor einer zweiten, hohen Hürde.

3.1. Die Furcht des Linguisten vor dem Universum

Das So-Sein der Welt ist der Rahmen dafür, was mit einer Äußerung gemeint sein kann. Wissen über mögliche Geschehnisse bestimmt z. B. die Entscheidung zwischen Homonymen:

(6 a) Der Ball war der zweite der Saison.

(6 b) Der Ball landete im Tor.

Geschichtliches Wissen spielt mit bei der Erfassung des syntaktischen Aufbaus eines Satzes⁹:

(7 a) Gibt es ein Buch über die Kulturrevolution im Springerverlag?

Gemeint ist dasselbe wie in

(7 b) Gibt es im Springerverlag ein Buch über die Kulturrevolution (in China)?

und nicht

(7 c) Gibt es über die Kulturrevolution im Springerverlag ein Buch (in irgendeinem Verlag)?

Wissen über Zahl und Art der Teile eines Dinges oder Lebewesens beeinflusst den Gebrauch des bestimmten oder unbestimmten Artikels:

(8 a) Die Schildkröte bewegte den Kopf. (= ihren Kopf)

(8 b) Die Schildkröte bewegte einen Kopf. (≠ ihren Kopf)

(8 c) Die Schildkröte bewegte ein Bein. (= ihr Bein)

Weltwissen ist schließlich ausschlaggebend für das Erfassen des Zusammenhanges in Texten, z. B. ob ein Satz eine Begründung für einen anderen abgibt, wie in (9 a), oder nicht, wie in (9 b)¹⁰:

(9) Das Beispiel findet man neben anderen in Fauser/Rathke (1981), S. 16.

(10) Beispiel aus Fillmore (1977), S. 75.

- (9 a) Der Wagen springt nicht an. Die Zündkerzen sind dreckig.
(9 b) Der Wagen springt nicht an. Der Aschenbecher ist dreckig.

Die maschinelle Sprachverarbeitung kann keines der mit diesen Beispielen belegten Phänomene auf sich beruhen lassen. Beim Übersetzen werden sie z. B. jedesmal zum Problem, wenn sich die Ausgangs- und Zielsprache in der Lexik oder der Syntax unterscheiden. Läßt sich die Wirkung des Faktors Weltwissen nicht mechanisieren, dann ist maschinelle Übersetzung schlechterdings unmöglich.

Linguisten haben sich verzweifelt dagegen gestemmt, den Zustand der Welt in die Beschreibung der Sprachkompetenz mit einbeziehen zu müssen. Ein Beispiel dafür ist der bekannte Artikel von 1963, mit dem Jerrold J. Katz und Jerry A. Fodor eine semantische Komponente für die generative Grammatik entworfen haben. Eine Theorie, die die außersprachliche Information berücksichtigen wollte, deren ein Sprecher zum Verständnis von Sätzen bedarf, müßte nach Ansicht der Autoren zur Universalwissenschaft werden und sei daher von vorneherein unmöglich.¹¹ Trotzdem lassen gerade Katz und Fodor das Weltwissen in die Grammatik eindringen, und zwar, da sie es aus lauter Furcht als linguistisches ausgeben, so, daß es tatsächlich Unheil stiftet. Katz und Fodor möchten z. B. erreichen, daß in

- (10) Der Mann tritt den bunten Ball.

unter den Lesungen für *Ball* die Lesung „Versammlung (zum Zwecke des geselligen Tanzes)“ ausgeschlossen wird. Dabei gehen sie von der Lexik aus. Die Bedeutung eines jeden Wortes wird nach den Prinzipien der Komponentenanalyse durch eine Menge semantischer Merkmale repräsentiert. Die beiden Bedeutungen von *Ball* werden z. B. wie folgt unterschieden:

- (11) Ball 1 → (physischer Gegenstand) (kugelförmig)
Ball 2 → (gesellschaftl. Aktivität) (groß) (Versammlung)

Die Merkmale sollen universellen, zumindest innersprachlichen Status haben. Man kann dies bereits bezweifeln. Folgeschwer ist aber auf jeden Fall der Schritt von der Lexik in die Syntax. Einem Verb wie *treten* sollen nämlich Beschränkungen für die Besetzungen der Subjekt- und Objektpositionen zugeordnet werden, wobei diese Beschränkungen mittels der lexikalischen Merkmale der infrage kommenden Substantive zu formulieren sind. Die Selektionsangaben zu *treten* lauten:

- (12) treten → (Subjekt: (menschlich) v (höheres Tier))
(Objekt: (physischer Gegenstand))

Man sieht, daß Ball 1, nicht aber Ball 2, von seinen Merkmalen her, für die Besetzung der Objektposition geeignet ist. Mit Hilfe der Lexikoneinträge (11) und (12) läßt sich (10) also tatsächlich mechanisch disambiguieren. In der einen oder anderen Abwandlung arbeiten bis heute nahezu alle Analyseprogramme nach diesem Prinzip.

(11) Vgl. Katz/Fodor (Ausgabe 1970), S. 217–219, und zum Folgenden S. 241–259.

Was ist hier aber eigentlich passiert? Wenn ein Satz geäußert wird, dann stehen doch in den Subjekt- und Objektpositionen Ausdrücke, die auf außersprachliche Gegenstände referieren. Diesen Gegenständen wird das vom Verb bezeichnete Prädikat zugesprochen. Selektionsmerkmale sind damit nichts anderes als Angaben, welcher Art die Dinge sind, auf die das Prädikat zutreffen kann. D. h. letztlich wird damit ein bestimmtes So-Sein des Objektbereiches im Lexikon festgeschrieben. Der Effekt, den dies hat, entspricht den schlimmsten Befürchtungen: Das derartig eingebaute Weltwissen spannt die Sprache auf ein Prokrustesbett. Es wäre unmöglich, sich andere Welten auszudenken und darüber zu sprechen.

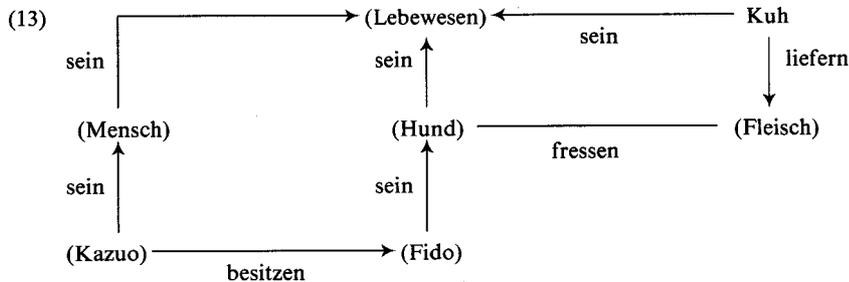
3.2. Die Scheuklappen des Informatikers

Es gibt sozusagen zwei Truppen, die auf dem Feld der maschinellen Sprachverarbeitung vorrücken. Die Angehörigen der einen sind von Haus aus Linguisten. Für sie ist die linguistische Datenverarbeitung ein Anwendungsfeld für ihre Sprachtheorien. Die Angehörigen der anderen Truppe sind von Haus aus Informatiker. Für sie ist die Sprachverarbeitung in erster Linie ein Mittel zu dem Zweck, die im Computer gespeicherten Daten dem menschlichen Benutzer leichter zugänglich zu machen. Während Linguisten im allgemeinen Skrupel haben, die Ebene der Semantik im konkret Bezeichneten anzusiedeln – wenn schon Extensionen, dann bitte solche in allen möglichen Welten! –, steht für den Informatiker das Wissen im Vordergrund, das seine Datenbank über die gegebene Welt enthält. Dies gilt es auf Fragen hin auszugeben – möglichst unabhängig davon, wie es formuliert ist. Die meisten Informatiker gehen daher von vorneherein von der Analyse eines gegebenen Weltzustandes aus. Am extremsten ist der Weltkontakt bei Robotern, in denen ein Computer mit Sensoren, z. B. einer Kamera, verbunden ist, so daß er Daten direkt aus der Umwelt gewinnt. Steht er außerdem z. B. mit einem Greifarm in Verbindung, kann der Roboter selbst wieder auf die Umwelt einwirken. Um den Roboter richtig steuern zu können, muß im Computer ein Abbild des gegebenen Weltzustandes gespeichert sein. Es ist verständlich, daß den Informatiker zunächst interessiert, wie ein solches Abbild überhaupt aussehen könnte, und nicht so sehr, wie es sprachlich zu repräsentieren wäre.

Komplexe Zusammenhänge kann man sich oft in einem Netzgraphen veranschaulichen. Ein solcher Graph enthält eine Menge Punkte, die sog. Knoten, sowie Linien, die die Punkte verbinden, die sog. Kanten. Die Punkte können irgendwelche Elemente, die Kanten irgendwelche Relationen zwischen den Elementen symbolisieren. Netzförmige Strukturen sind für die elektronische Datenspeicherung grundlegend. Einzelne Datenelemente werden im Computer nämlich in sog. Zellen aufbewahrt. Jede Zelle hat eine bestimmte Identifikationsnummer, die sog. Adresse. Relationen zwischen Elementen können nun dadurch festgehalten werden, daß bei jeder Zelle die Adressen derjenigen Zellen gespeichert werden, deren Inhalte mit dem der ersten in Relation stehen. Netzgraphen lassen sich also sehr gut in Computern repräsentieren, so daß man beim intellektuellen Entwurf einer Datenstruktur ohne weiteres von den Netzzeichnungen auf dem Papier ausgehen kann.

Einen bestimmten Weltzustand kann man sich gut als eine Menge von Objekten

vorstellen, zwischen denen Relationen bestehen. Es liegt daher nahe, das Abbild des Weltzustandes als ein Netz zu organisieren, dessen Knoten den Objekten in der Welt und dessen Kanten den Relationen zwischen ihnen entsprechen. Diese Art der Welt Darstellung ist denn auch in der Informatik weit verbreitet. Eines der Netze, die zur Illustration angeführt werden, sieht so aus¹²:



Was dieses Netz beinhaltet, läßt sich folgendermaßen in Sätzen ausdrücken:

- (14) Kazuo besitzt Fido.
 Kazuo ist ein Mensch.
 Fido ist ein Hund.
 Hunde fressen Fleisch.
 Kühe liefern Fleisch.
 Menschen, Hunde, Kühe sind Lebewesen.

Anhand des Netzes können Fragen beantwortet werden wie

- (15) Frißt Fido Fleisch?
 Ist Kazuo ein Lebewesen?

Ein Programm überprüft dabei, ob es einen Weg im Netz vom Knoten (Fido) zu (Fleisch) bzw. von (Kazuo) zu (Lebewesen) gibt, in dem die erfragte Relation zwischen beiden vorkommt. Man kann dies die „Labyrinth“-Methode der Deduktion nennen, im Gegensatz zur Ableitungsmethode, bei der Sätze durch Transformationen aus anderen Sätzen erzeugt werden.

Es sind inzwischen schon weit raffiniertere Netzformen entwickelt worden als die des obigen Beispiels. Insbesondere wird zwischen Knoten für Objekte in der Welt und Knoten für die Kategorien, die den Objekten zugesprochen werden, unterschieden. Ein modernes semantisches Netz enthält demnach in der Regel einen Teil für referentielle und einen Teil für begriffliche Zusammenhänge sowie Relationen zwischen den Elementen beider Teile.¹³

Für das Sich-Zurechtfinden in den Weltabbildern spielt die Idee des Rahmens (engl. *frame*) z. Zt. eine große Rolle.¹⁴ Es gibt viele Abwandlungen. Gemeinsam ist allen, daß ein Frame ein Muster für einen Zusammenhang im Weltmodell ist, z. B. für ei-

(12) Vgl. Fauser/Rathke (1981), S. 45.

(13) Zu Einzelheiten siehe z. B. Norman/Rumelhart (1978).

(14) Der Begriff stammt von Marvin Minsky. Vgl. dazu Wilks (1976), S. 193.

ne wiederkehrende Situation, einen stereotypen Handlungsablauf, eine gewohnte Objektkonstellation. Der Rahmen für die Gebehandlung wird z. B. folgendermaßen beschrieben¹⁵:

GEBEN ist ein HANDELN
HANDELNDER: eine Person
NUTZNIESSER: eine Person oder mehrere
GEGENSTAND: ein physisches Objekt

Frames können hierarchisch angeordnet werden. Dann übernehmen die untergeordneten die Charakteristika der übergeordneten und schränken sie zugleich ein. Der Rahmen für die Bezahlhandlung lautet z. B.:

BEZAHLEN ist ein GEBEN
GEGENSTAND: Geld
GRUND: eine Verpflichtung

Zur Beschreibung komplexerer Weltausschnitte werden Frames kombiniert. Solche größeren Strukturen sind z. B. sog. Szenen. Typische Szenenfolgen ergeben wiederum eine Einheit, ein sog. Skript. Berühmt ist z. B. das Restaurantskript, in dessen erster Szene jemand ein Restaurant betritt, sich einen Platz sucht und sich hinsetzt. In der 2. Szene wird die Speisekarte gebracht, studiert und das Essen bestellt. In der 3. Szene wird gegessen, wobei Frames beteiligt sind wie Löffel in die Hand nehmen, in die Suppe tauchen, zum Mund führen usw. In der 4. Szene bezahlt der Kunde und verläßt das Restaurant. Das ist ein Ablauf, wie er täglich millionenfach auf der Welt vorkommt.

Die Benutzung der Skripten, Szenen, Rahmen durch den Computer kann man sich wie das Abarbeiten eines Fragebogens vorstellen. Mit dieser Methode versuchen die Informatiker nun auch die Analyse natürlichsprachiger Einheiten zu vereinfachen. Das vorhandene Weltwissen ist dabei von vorneherein federführend. Gewisse Wörter lösen Frames aus, also z. B. das Wort *gibt* das GEBEN Frame. Dieses erwartet einen HANDELNDEN, einen NUTZNIESSER und einen GEGENSTAND. Im Eingabesatz wird daher nach Ausdrücken gesucht, die diesem Stereotyp entsprechen, die also eine Person, eine weitere Person und einen physischen Gegenstand bezeichnen. Gewisse syntaktische Informationen, wie z. B. die Kasus, können auch noch in das Frame gepackt werden. Eine genaue morphologische und syntaktische Analyse wird aber für unnötig gehalten. Da von einem bestimmten Weltraum ausgegangen wird, kommen Mehrdeutigkeiten erst gar nicht auf.

Letztlich ist dieses Verfahren ein Versuch, im voraus festzulegen, was gesagt werden wird, und wie die Welt, über die gesprochen wird, aussieht. Das erste System dieser Art war 1969 der „Roboter“ SHRDLU von Terry Winograd, mit dem man eine Unterhaltung über eine Menge bunter Bauklötze führen konnte.¹⁶ Inzwischen sind viele andere Systeme entwickelt worden, die aber alle nur mit kleinsten Weltausschnitten arbeiten, wie der chemischen Zusammensetzung von Mondgestein (LUNAR), der Abwässerkontrolle (PLIDIS), der Risikomeldungen für Arzneimittel (BACON), der

(15) Fauser/Rathke (1981), S. 46.

(16) Siehe Winograd (1977).

Reservierung von Hotelzimmern (HAM-RPM), u. a. Die Beschränkung auf solche Mikrowelten liegt in der Natur des Ansatzes. Je mehr der Anwendungsbereich nämlich ausgeweitet werden würde, um so mehr Frames für die Interpretation des einzelnen Satzes gäbe es, bis man schließlich wieder bei allen syntaktisch möglichen Lesungen landen würde. Verglichen damit, daß man in natürlicher Sprache auch über ganz Neues und Unvorhergesehenes sprechen kann, haben sich diese Mikrowelt-Systeme noch nicht weit von den vorformatierten Datenbanken in Tabellenform entfernt. Das Problem des Faktors Weltwissen ist umgangen, aber nicht gelöst. Der Preis für diese Scheuklappen ist die Fachidiotie des Computersystems.

3.3. Kognitive Psychologie als deus ex machina

In der „computer science“ der Vereinigten Staaten gab es von Anfang an eine Tendenz, sich an die Psychologie anzulehnen. Man stellte sich vor, daß die maschinelle Datenverarbeitung eines Tages weitgehend dem menschlichen Umgang mit Information entsprechen könne. Von dieser Grundannahme ausgehend, etablierte sich in der Informatik die Richtung der sog. „Künstlichen Intelligenz“. Sie hat auf die maschinelle Sprachverarbeitung großen Einfluß.

Nun ist ja in der Tat Wissen, wie es zum Erfassen dessen, was gesagt wird, notwendig ist, in erster Linie etwas Psychologisches. Die Welt, über die wir sprechen, ist stets gedanklich vermittelt. Liegt es darum nicht nahe, sich dem Faktor Weltwissen von der psychologischen Seite her zu nähern? Es ist auch unzweifelhaft, daß das, was wir über einen Objektbereich erfahren, im Langzeitgedächtnis nicht als eine Folge von Sätzen gegenwärtig ist. Niemand kann einen etwas längeren Text nach dem erstmaligen Hören wortgetreu wiederholen. Gleichwohl kann er sehr wohl das darin mitgeteilte Wissen für die Zukunft parat haben. Der Hörer oder Leser eines Textes scheint sich auch nicht sehr lange mit der morphologischen und syntaktischen Analyse der Sätze aufzuhalten. Die meisten der formal möglichen Lesungen eines Satzes kommen ihm erst gar nicht in den Sinn.

Angesichts der „kombinatorischen Explosion“ herkömmlicher syntaktischer Analysen und formal-logischer Ableitungen plädieren daher z. Zt. viele aus dem Lager der Künstlichen Intelligenz für mehr „psychologischen Realismus“ in der Sprachverarbeitung. Das Funktionieren der Maschine soll mit dem menschlichen Verhalten nicht nur ergebnisgleich, sondern auch ablaufgleich sein.¹⁷ Damit wären die zu entwickelnden Computersysteme nichts weniger als Theorien über das menschliche Gedächtnis und Denken selbst. Dieser Anspruch, der nicht selten mit messianischem Eifer vorgetragen wird, erklärt die extrem anthropomorphe Redeweise dieser Richtung: der Computer „versteh“, „lernt“, „weiß“, „folgert“. Dieser Psychologismus in der Informatik trifft zusammen mit einer „kognitiven Wende“ in der Psychologie, derzufolge die menschliche Psyche vornehmlich als Informationsverarbeitungsprozeß anzusehen ist, und deren Anhänger nun ihrerseits reichlich Metaphern aus der Computertechnologie benutzen.

Maschinelle Sprachverarbeitung ist nach diesem Ansatz also idealerweise Simula-

(17) Vgl. Batori (1981), S. 60.

tion von Sprachverstehen. Beim Verstehen von Sprache spielen zweifellos zwei kognitive Größen die entscheidenden Rollen: Wissen und Inferenzen. Was findet man nun in der Künstlichen Intelligenz an konkreten Entwürfen zur Modellierung dieser beiden Größen?

Da wird zunächst einmal die Netzdarstellung allgemein als Abbild des menschlichen Gedächtnisses aufgefaßt. Man spricht von „kognitiven Netzen“. Die Knoten darin stellen sog. „Konzepte“, das sind kleinste mentale Einheiten, dar. Die Kanten entsprechen Verknüpfungen verschiedener Art zwischen Konzepten.¹⁸ Das Verstehen eines Satzes liegt in seiner „Konzeptualisierung“, d. h. in den Änderungen im kognitiven Netz, die er zur Folge hat. Was Inferenzen betrifft, also die Induktion und Deduktion von Wissen, so werden sie als Durchläufe durch das kognitive Netzwerk interpretiert. Jeder Inferenz entspricht ein Pfad von Konzept zu Konzept über die verbindenden Kanten. Wir haben in 2.3. mit dem Weg von (Fido) über (Hund) zu (frißt Fleisch) schon ein Beispiel besprochen. Hier kommt hinzu, daß die Pfade nicht nur eine bestimmte Strukturierung des Objektbereiches darstellen sollen, sondern daß das Verfolgen von Pfaden zugleich als psychische Aktivität interpretiert wird. Es gibt viele Forscher, die dem sog. prozeduralen Aspekt des Wissens große Bedeutung beimessen. Um diesen abzubilden, werden den Knoten im Netz Anweisungen in Programmiersprache beigegeben, die der Computer ausführt, z. B. indem er zu einem anderen Knoten übergeht, wo er u. U. wieder eine andere Anweisung vorfindet. Von irgendeinem Knoten kann so ein Anstoß ausgehen, der sich durch das ganze Netz ausbreitet. Assoziationen und Folgerungen laufen so gewissermaßen von selbst ab. Das Gedächtnis ist aktiv.

Kennzeichnend für viele Systeme der Künstlichen Intelligenz sind zwei weitere Züge: der Reduktionismus und die Prototyp-Semantik. Ersterer ist der Versuch, die große Menge der in der natürlichen Sprache symbolisierten Begriffe durch einige wenige elementare Konzepte in wechselnder Kombination und Spezifizierung zu ersetzen.¹⁹ Dies Bestreben, das in der Philosophie eine lange Tradition hat, hat in der Linguistik zuletzt der Merkmalssemantik zugrunde gelegen. Die lexikalische Zerlegung von *Ball* nach Katz und Fodor, die ich oben angeführt habe, ist dafür ein Beispiel. Daß dieses Prinzip gerade von den Informatikern wiederentdeckt wurde, ist nicht zufällig. Beim Programmieren eines Computers ist es selbstverständlich, daß für Teilaufgaben, die in gleicher Weise an mehreren Stellen zu lösen sind, nur einmal ein Programm geschrieben wird. Mit wechselnden Parametern kann ein solches Unterprogramm im Laufe einer Gesamtberechnung beliebig oft aufgerufen werden. Ein Beispiel wäre etwa das oben in 2.2. angeführte GEBEN-Frame, das als Unterprogramm realisiert sein könnte, welches vom BEZAHLEN-Frame, aber auch von anderen aufgerufen wird. Eine solche Architektur ist, besonders im Rahmen von „aktiven Netzen“, verfahrenstechnisch günstig. Daraus wird nun von der psychologisierenden Richtung in der Informatik gefolgert, daß es beim Menschen genauso

(18) Einen interessanten Einblick in eine ausgearbeitete Theorie der kognitiven Netze gibt Hays (1976). Siehe auch Norman/Rumelhart (1978).

(19) Einer der namhaftesten Protagonisten dieser Richtung ist Roger C. Schank. Siehe Schank (1976).

sein muß, daß also z. B. „bezahlen“ im kognitiven Netz durch „Geld geben“ oder durch eine Reduktion auf noch primitivere Konzepte, wie „machen, daß der andere Geld hat“, zu repräsentieren sei.

Die Prototyp-Semantik ist eine psychologische Rechtfertigung des Frame-Ansatzes in der Sprachbeschreibung.²⁰ Ein Frame ist, wie wir gesagt haben, ein Muster für gleichartige Ausschnitte im netzartig dargestellten Weltmodell. Psychologisch gesehen, ist ein Frame eine Abstraktion des Typischen aus vielen erlebten Einzelfällen. So hat man z. B. eine Vorstellung davon, wie eine typische Tasse aussieht, wie groß sie ist, daß sie einen Henkel hat, u. a. Ein Prototyp ist ein Gegenstand, auf den ein Frame genau zutrifft. Nun kann man auf zwei Weisen darangehen, die Bedeutungen sprachlicher Zeichen zu beschreiben. Zum einen kann man die Begriffe, die mit den Spracheinheiten verknüpft sind, in Opposition zueinander setzen und versuchen, sie aufgrund von unterscheidenden Merkmalen gegeneinander abzugrenzen. Dieser Ansatz liegt den meisten lexikalischen Theorien in der Linguistik zugrunde. Man kann aber auch einfach einen Prototyp der Gegenstände, die unter den jeweiligen Begriff fallen, beschreiben. Dies scheint das Üblichere zu sein, wenn ein Kommunikationspartner einem anderen den Gebrauch eines Wortes erklärt. Um jemandem mitzuteilen, was *Tasse* bedeutet, wird man angeben, wie eine typische Tasse aussieht, und nicht alle Grenzfälle zwischen Tassen, Bechern, Gläsern usw. erörtern.

Charles J. Fillmore legt überzeugend dar, daß ein Linguist, der einen Informanten nach den Grenzen für den Gebrauch eines Wortes befragt, gar nicht dessen wirkliches Verständnis des Wortes untersucht. „Was vom Informanten statt dessen verlangt wird, ist ein Urteil darüber, ob er bereit ist, ein Frame, das er mit einer vertrauten und wohl-definierten Situation verbindet, auf eine Situation auszudehnen, für die er kein Frame hat, oder ob er bereit ist, ein neues Frame für eine neue Situation zu errichten und dafür ein Wort aus einem anderen Rahmen zu übernehmen.“²¹ Die Verknüpfung von sprachlichen Elementen mit Gegenständen aus einer Welt der Prototypen, wie sie in der Künstlichen Intelligenz häufig vorgenommen wird, ist also zunächst kein unplausibler semantischer Ansatz.

Über Wert oder Unwert des Beitrags der Künstlichen Intelligenz zur Erklärung des menschlichen Sprachverstehens werden heftige Diskussionen geführt.²² Ich meine, daß man folgendes festhalten muß: Wissen ist als mentale Gegebenheit nicht zugänglich, sondern immer nur auf der Ebene einer Symbolisierung faßbar. Die natürlichste und überlegenste Form der Symbolisierung von Wissen ist die Sprache. Sobald wir uns unser eigenes Wissen bewußtmachen, auch in der Introspektion, tun wir dies in Sprache. Psychologische Experimente und Untersuchungen von Aphasikern, über die man der geistigen Realität näher zu kommen trachtet, benutzen als Beobachtungsdaten in erster Linie wiederum Sprachverhalten. Auch die kognitiven Netze der Künstlichen Intelligenz symbolisieren Wissen nur. Sie bewegen sich da-

(20) Vgl. dazu den interessanten Artikel Fillmore (1977).

(21) Fillmore (1977), S. 69, meine Übersetzung.

(22) Eine scharfe Auseinandersetzung, an der sich von linguistischer Seite B. E. Drescher, N. Hornstein, F. A. Fodor und von der Informatikseite Ph. N. Johnson-Laird, R. C. Schank, R. Wilensky, T. Winograd beteiligten, fand in den Heften 4 (1976), 5 (1977) und 6 (1978) der Zeitschrift ‚Cognition‘ statt.

mit letztlich auf der sprachlichen Ebene, nicht auf der mentalen. Bezeichnenderweise werden die Symbole in den vorgeschlagenen Netzen immer in natürlicher Sprache erläutert. Wenn es aber keinen anderen Zugang zur Kognition gibt, als über die Symbolisierung in einer Sprache, dann ist es ein Zirkelschluß, von der kognitiven Psychologie Aufschlüsse über die Sprache zu erwarten. Wir sind in jedem Fall auf die Analyse des Sprachgebrauchs zurückgeworfen. Diese Analyse psychologisch zu deuten, steht jedem frei, löst aber keinerlei Probleme.

Der Reduktionismus unterstellt, daß die Symbolisierung in natürlicher Sprache viel aufwendiger sei, als es zur Repräsentation des psychisch-realen Wissens eigentlich notwendig ist. Dies ist eine unplausible Annahme, denn wozu sollten dann die natürlichen Sprachen ihre differenzierte Symbolik entwickelt haben? Das Arbeiten mit reduziertem Vokabular ist vielmehr nur solange möglich, wie die Welt, über die zu reden sein wird, ebenfalls wenig differenziert ist, so daß bestimmte Inferenzen sozusagen kurzgeschlossen werden können.

Prototypen spielen sicherlich bei der Bestimmung von Bedeutung eine Rolle. Man muß sich nur bewußt sein, daß das Typische nicht einfach in der Welt existiert. Es ist das Ergebnis einer stetigen Auseinandersetzung des einzelnen mit der Welt und einer andauernden interpersonalen Verständigung über die Welt. Prototypen sind daher nichts Festes, sondern unterliegen – teils mehr, teils weniger – der Veränderung. Der Kern der Semantik muß deshalb in den sprachlichen Mitteln gesucht werden, die die Kommunikationspartner in die Lage versetzen, sich über Prototypen, ihre Beschaffenheit und ihren Zusammenhang im Objektbereich überhaupt zu verständigen.

4. Anlauf zur Überwindung der Fachidiotie bei Computern

Wie wir gesehen haben, steht die Entwicklung von Computerprogrammen, die mit Sprache rechnen, immer noch vor der zweiten Hürde. Die notwendige Abhängigkeit der Sprachverarbeitung vom Objektbereich wurde bisher in eine rigorose Beschränkung auf kleinste Objektbereiche verkehrt. Die Folge ist, daß so gut wie keines der Systeme, die natürliche Sprache als Eingabe zulassen, einen Anwender gefunden hat. Solange nur völlig überschaubare Mikrowelten bewältigt werden können, besteht einfach kein Bedarf nach Benutzung eines so flexiblen und deshalb auch aufwendigen Symbolsystems, wie es die natürliche Sprache ist. Im folgenden werde ich darlegen, wie diese Hürde neuerlich angegangen werden sollte.

4.1. Wissensvermittlung in natürlicher Sprache

Um den springenden Punkt meines Vorschlags deutlich zu machen, muß ich etwas ausholen. Am Anfang dieses Artikels habe ich darauf hingewiesen, daß durch eine Stufung von Algorithmen und Algorithmus-Beschreibungen eine generellere Lösung für viele Einzelprobleme erreicht werden kann. Eine ähnliche Stufung ist auch in wissenschaftlichen Theorien zu beobachten, woraus sich Phasen der Theorieentwicklung ergeben.

In der ersten Phase der linguistischen Theoriebildung wird vorgefundenes sprachliches Material klassifiziert. Es werden Vorschriften erstellt, nach denen die Belege den verschiedenen Klassen zuzuordnen sind. Diese Vorschriften können relativ unabhängig voneinander sein: Für die verschiedenen Klassen gibt es verschiedene Entdeckungsprozeduren. Das Ergebnis auf dieser Stufe der Sprachbeschreibung sind die traditionellen inventarisierenden Grammatiken. Zu jedem Einzelphänomen lassen sich aber immer neue Belege finden, so daß niemals alle möglichen Vorkommen von Sprache inventarisiert sein können.

Die linguistische Theoriebildung tritt in ihre zweite Phase ein, wenn nicht mehr Belege sortiert werden, sondern versucht wird, Regeln zu formulieren, nach denen alle möglichen Vorkommen von Sätzen zu bilden sind. Endgültig setzte sich dieser Ansatz mit dem Aufkommen der generativen Grammatik durch. Die Sprache wird nun von einer Stufe aus betrachtet, auf der es einen allgemeinen Algorithmus gibt, der alle Regeln für die Einzelercheinungen verarbeitet. Chomsky hat diese Stufe, etwas psychologisierend, als die Beschreibung der Kompetenz eines idealen Sprechers und Hörers interpretiert.

Nachdem nun die Sprachtheorie um den Faktor Weltwissen erweitert worden ist, muß es zu einer ähnlichen Entwicklung wie vorher in der Syntax kommen. Die gegenwärtige Phase ist noch davon geprägt, daß aktuelle Wissensbestände gesichtet und klassifiziert werden. Das Ergebnis sind Inventare von Frames, Szenen, Skripten. Bislang werden sie unmittelbar zur Identifizierung des in sprachlichen Äußerungen enthaltenen Wissens benutzt. Es hat aber keinen Zweck, so fortzufahren und zu versuchen, alles mögliche Wissen zu inventarisieren.

Analog zur generativen Wende in der Syntax muß jetzt eine Abstraktionsstufe erreicht werden, auf der Beschreibungen beliebiger Wissensbestände durch einen allgemeinen Algorithmus verarbeitet werden. Nur dieser allgemeine Algorithmus gehört in die Programmarchitektur. In Kreisen der Künstlichen Intelligenz tut man sich viel darauf zugute, die Kompetenz-Linguistik durch Berücksichtigung der Performanz im Kontext des Weltwissens überwunden zu haben. Dies ist eine Verkennerung der Tatsache, daß letztlich jede Theorie den Abstraktionsgrad einer Kompetenzbeschreibung anstreben muß. Im neuen Paradigma von Sprache und Wissen ist die Kompetenz zu beschreiben, nach der alle möglichen Äußerungen relativ zu beliebigen Wissensbeständen interpretiert werden.

Es gibt nun freilich einen Unterschied, wie die Syntaxkompetenz und die Kompetenz, Weltwissen einzusetzen, im Gesamtsystem zu verankern sind. Die Syntaxregeln können, da sie die innere Struktur der Sprache betreffen, ein für allemal in das System aufgenommen werden. Die Wissensbeschreibungen dagegen müssen, da sie die Außenwelt betreffen, von außen kommen. Das sprachverarbeitende System muß so konstruiert werden, daß ihm jederzeit neues Wissen vermittelt werden kann. Das wichtigste Medium der Vermittlung von Wissen ist aber die natürliche Sprache. Daraus folgt: Ein hinreichend generelles sprachverarbeitendes System muß das aktuelle Wissen über den Objektbereich prinzipiell aus den eingegebenen Texten entnehmen. In der Systemarchitektur selbst hat das aktuelle Wissen nichts zu suchen.

4.2. Wie läßt sich der hermeneutische Zirkel umgehen?

Der Leser wird den hermeneutischen Zirkel natürlich bemerkt haben, der in diesem Ansatz steckt: Einerseits ist das Verständnis der einzelnen Äußerungen vom Ganzen des vorhandenen Wissens abhängig. Andererseits setzt sich das Ganze des Wissens aus den einzelnen verstandenen Äußerungen zusammen. Um diesem Zirkel zu entgehen, müssen wir differenzieren: Zum Verständnis einer Äußerung gehört einerseits, daß man sie zu einer außersprachlichen Wirklichkeit in Bezug setzt. Andererseits gehört dazu, sie in Folgerungszusammenhänge einzuordnen. Die Trennung dieser beiden Aspekte ist der Schlüssel zur Lösung des Problems.

In 1.3. haben wir festgehalten, daß die Gültigkeit eines Schlusses allein vom Aufbau der beteiligten Aussagen abhängt. Obwohl sich die Ausdrücke nicht auf etwas Bekanntes beziehen lassen, sieht man, daß (16 c) aus (16 a) und (16 b) folgt:

(16 a) Odif ist ein Dnuh.

(16 b) Dnuhs serfen Schielf.

(16 c) Odif serft Schielf.

Einen gleichfalls gültigen Schluß erhalten wir, wenn wir *Odif* gegen *Fido*, *Dnuh* gegen *Hund*, *serfen* gegen *fressen*, *Schielf* gegen *Fleisch* austauschen. Die Folgerichtigkeit hängt also nicht an diesen Ausdrücken, die ich deskriptive Terme nennen will. Was wir jedoch nicht verändern dürfen, ist das Prädikat *ist ein* in (16 a), die Quantifizierungen, die in den Sätzen stecken, sowie die syntaktischen Rollen, in denen die deskriptiven Terme stehen. Diese unter dem Folgerungsgesichtspunkt Unveränderlichen nenne ich „logische Konstituenten“⁽²³⁾.

Wenn wir davon ausgehen, daß die Bedeutung eines Ausdrucks die Regel für seinen Gebrauch ist, dann müssen wir also grundsätzlich zwei Sorten von Bedeutungen unterscheiden. Die Gebrauchsregeln für die konstruierten Ausdrücke *Odif*, *Dnuh*, *Schielf* und *serfen* wie für die deutschen Wörter *Fido*, *Hund*, *Fleisch* und *fressen* müssen notgedrungen auf Unterschiede im Objektbereich Bezug nehmen, weil ihre Funktion eben darin besteht, auf bestimmte außersprachliche Gegenstände oder Handlungen zu verweisen. Ich komme auf sie in 4.3. zurück. Anders die logischen Konstituenten! Sie stiften formale Zusammenhänge, die die Grundlage der Schlußfolgerungen bilden. Man kann für ihren Gebrauch Regeln aufstellen, ohne auf ein bestimmtes So-Sein der Welt zurückgreifen zu müssen.

Welche Möglichkeiten für ein flexibles Sprachverarbeitungssystem ergeben sich nun daraus? Nehmen wir als Beispiel noch einmal den Ausschnitt aus dem Netz (13) in 2.2.:

(17 a) Fido ist ein Hund.

(17 b) Hunde fressen Fleisch.

(17 b) ist im Sinne der Frame-Theorie ein stereotypes Wissen über Hunde, an das die Information (17 a) angeschlossen werden kann, so daß folgt:

(17 c) Fido frißt Fleisch.

(23) Der Terminus stammt aus Hinst (1974), S. 49. Siehe auch Hellwig (1977).

Formal können wir die Ableitung von (17 c) aus (17 a) erreichen, indem wir statt des Satzes (17 b) folgende Regel in die Wissensbasis aufnehmen:

(18) SUBJEKT: z ┌— SUBJEKT: z
 PRÄDIKAT: ist ein Hund └— PRÄDIKAT: frißt Fleisch

SUBJEKT und PRÄDIKAT sind die logischen Konstituenten, die wir bei dieser Ableitung auseinanderhalten müssen. 'z' ist eine Variable, für die irgendein Ausdruck in der Rolle SUBJEKT stehen darf. Die Regel besagt, daß, wenn ein Satz das Muster „SUBJEKT: z, PRÄDIKAT: ist ein Hund“ erfüllt, ein Satz nach dem Muster „SUBJEKT: z, PRÄDIKAT: frißt Fleisch“ konstruiert werden soll, wobei für 'z' in beiden Mustern derselbe Ausdruck stehen muß. Eine solche Regel heiße „Folgerungsregel“.

Die Aussagen unter (17) sowie die Folgerungsregel (18) gelten nur für einen bestimmten Weltzustand.²⁴ Soll das sprachverarbeitende System mit beliebigen Wissensbeständen umgehen können, dürfen daher Folgerungsregeln wie (18) nicht Teil des Programms sein. Dessen Kontrollstruktur muß vielmehr um eine Stufe abstrakter sein. Es muß Regeln geben, nach denen die Folgerungsregeln aus den eingegebenen Wissensbeschreibungen erst abgeleitet werden. Solche Regeln mögen „Metaregeln“ heißen. Eine Metaregel, nach der generische Sätze des Deutschen zu verarbeiten sind, könnte etwa so aussehen:

(19) SUBJEKT: x, generisch ⇒ [SUBJEKT: z ┌— SUBJEKT: z]
 PRÄDIKAT: y └— PRÄDIKAT: y]

Was hier vor dem Pfeil steht, ist das Muster für die Anwendung der Regel; was in den eckigen Klammern steht, ist das Muster für das Ergebnis. Durch Anwendung der welt-unabhängigen Regel (19) auf den Satz (17 b) entsteht genau die welt-bezogene Folgerungsregel (18). Diese wiederum kann auf (17 a) angewendet werden und wir erhalten (17 c). Die Abarbeitung eines herkömmlichen, dreiteiligen Syllogismus geschieht also in Form von zwei aufeinanderfolgenden Regelanwendungen, einer rein innersprachlich motivierten Metaregel und einer von der Zustandsbeschreibung des Objektbereichs abhängigen Folgerungsregel. Aufgrund derselben Regel (19) würde aus (20 a) und (20 b) das Gegenteil von (17 c), nämlich (20 c), gefolgert werden:

- (20 a) Fido ist ein Hund.
- (20 b) Hunde fressen kein Fleisch.
- (20 c) Fido frißt kein Fleisch.

Metaregeln müssen für die gesamte logische Form der Eingabesprache aufgestellt werden. Durch sie wird der Teil der Semantik von Äußerungen, der dem logischen Rechnen zugrunde liegt, vollständig abgetrennt von dem Teil, der in Bezug zu einem bestimmten Weltmodell steht. Auf diese Weise läßt sich der hermeneutische

(24) Wenn gelten soll, daß Hunde nicht ausnahmslos, sondern nur normalerweise Fleisch fressen, müßte die Regel lauten: „SUBJEKT: z, PRÄDIKAT: ist ein Hund“ ─ „SUBJEKT: z, PRÄDIKAT: frißt wahrscheinlich Fleisch“. Auf die damit eingeführte sog. nicht-monotone Logik kann ich hier nicht näher eingehen.

Zirkel aufbrechen. Die Metaregeln ergeben zusammen mit den Syntaxregeln die generelle Deduktionsfähigkeit des Systems. Sie erlauben es, aus Eingaben einer bestimmten Form Folgerungsregeln abzuleiten. Die Menge der so erzeugten Folgerungsregeln bestimmt die aktuelle Deduktionsfähigkeit des Systems. Sie definiert den Rahmen (die „Frames“) für das, was im aktuellen Objektbereich der Fall sein kann. In diesen Rahmen werden die übrigen Eingaben eingepaßt und dabei disambiguiert. Die Anwendung der Folgerungsregeln ergibt, was im aktuellen Objektbereich wirklich der Fall ist. Mit ihrer Hilfe können konkret Fragen beantwortet werden. Wenigstens im Prinzip müßte sich durch eine solche dreistufige Systemarchitektur die Hürde, die der Faktor Weltwissen für das Rechnen mit Sprache darstellt, überwinden lassen.²⁵

4.3. Folgen für die Lexikologie

Zu fragen ist noch, wo im Zusammenhang von Sprach- und Weltwissen die Bedeutungen der deskriptiven Elemente anzusiedeln sind. Diese sind es hauptsächlich, die die Lexikologie beschäftigen.

Die deskriptiven Sprachelemente – Substantive, Adjektive, Verben – dienen dazu, auf außersprachliche Entitäten Bezug zu nehmen. Ihr Erlernen muß daher irgendwie die Fähigkeit einschließen, sie mit Welterfahrung in Bezug zu bringen, und setzt daher diese Welterfahrung selbst voraus. Computern ist aber in der Regel die Außenwelt nicht zugänglich, so daß hier eine grundsätzliche Divergenz zwischen menschlichem Sprachverstehen und den Möglichkeiten der maschinellen Sprachverarbeitung vorzuliegen scheint.

Nun ist es ja aber keineswegs so, daß ich alle Gegenstände, von denen ich mir einen Begriff mache, aus eigener Anschauung kenne. Und wenn mir die Bedeutung eines Wortes nicht klar ist, z. B. die von *Snob*, muß ich mir nicht unbedingt ein Objekt zeigen lassen, das mit dem Wort benannt werden kann. Ich kann auch im Lexikon nachschlagen und lese dort etwa:

(21) Ein Snob ist ein vornehm tuender, aber ungebildeter Mensch.

Das fragliche Wort wird hier dadurch erläutert, daß sein Begriff in eine Beziehung zu anderen Begriffen gebracht wird. Man kann dies verallgemeinern und eine solche relative Bedeutungsbeschreibung für alle Ausdrücke ins Auge fassen. Da diese Beschreibung in der natürlichen Sprache erfolgen kann, benötigen wir für sie keine neue Komponente in unserem sprachverarbeitenden System. Wir brauchen nur ein Lexikon, bestehend aus Einträgen wie (21). Die logische Konstituentenstruktur der Eintragungen determiniert die darin hergestellten semantischen Beziehungen. Indem wir auf die Sätze, in denen das Lexikon formuliert ist, die Metaregeln anwenden, erhalten wir eine Menge von Folgerungsregeln, welche alle sich aus der lexikalischen Semantik ergebenden Ableitungen ermöglicht.

(25) Das geschilderte Konzept liegt dem von mir entwickelten Programmsystem PLAIN zugrunde.

Welchen Status aber haben solche Sätze wie (21)? Wird damit letztlich Sprachwissen oder Weltwissen zum Ausdruck gebracht? Wie wir in 3.1. am Beispiel von Katz und Fodor gesehen haben, tendieren viele Linguisten dazu, das Verhältnis der lexikalischen Einheiten zueinander als ein rein innerlinguistisches zu betrachten. Der Wortschatz in seinem Zusammenhang wird wie ein festes Netz aufgefaßt, das über beliebige Objektbereiche geworfen werden kann. Ein Satz wie (21) hätte mit anderen Worten einen analytischen Status, d. h. sein Zutreffen wäre, im Unterschied zu synthetischen Sätzen, ohne Empirie entscheidbar.

In der Praxis scheitert dieser Ansatz. Sobald man daran geht, die Bedeutungen der lexikalischen Einheiten relativ zueinander zu beschreiben, ist man auf den Vergleich dessen angewiesen, was in gedachten Situationen unter die jeweiligen Begriffe fallen würde. Nie wird man dabei allen möglichen Situationen gerecht. Paradoxerweise rührt die Domänenbeschränktheit der gegenwärtigen Computersysteme nicht zuletzt daher, daß die Bedeutungen der Lexeme für domänenunabhängig gehalten werden, oder zumindest, während das System im Einsatz ist, der Modifikation entzogen sind.

In 4.2. hatten wir Folgerungsregeln bzw. die Sätze, auf die sie zurückgehen, zum Wissen über den Objektbereich gerechnet und gesagt, daß sie nicht Teil des sprachverarbeitenden Programms sein dürfen, sondern von außen kommen müssen. Was, wenn wir die lexikalische Semantik zu diesem sich dynamisch mit den Einsichten über den Objektbereich verändernden Wissen schlagen würden? Die sprachtheoretische Konsequenz dieser Zuordnung wäre, daß weder die Bedeutungen der deskriptiven Terme noch der Zustand des Objektbereiches endgültig feststünden. Ich meine, daß vieles für diese Annahme spricht.²⁶

Das So-Sein der Welt in seiner prototypischen Erscheinung ist uns nicht einfach gegeben, sondern wir setzen uns fortwährend damit auseinander. Unser Reden über die Dinge kann von dieser Auseinandersetzung nicht getrennt werden. Vielmehr geht die Differenzierung im Objektbereich Hand in Hand mit der Differenzierung im Gebrauch der Wörter. Beide sind Gegenstand einer fortwährenden interpersonalen Verständigung. Dadurch daß wir einen Gegenstand als den und den identifizieren und als typischerweise so und so beschaffen charakterisieren, verständigen wir uns zugleich über die Bedeutung des Ausdrucks, mit dem wir den Gegenstand bezeichnen. Und wenn wir uns umgekehrt die Bedeutung eines Ausdrucks klarmachen wollen, müssen wir uns zugleich über die Identifizierbarkeit und den typischen Charakter eines Gegenstandes verständigen. Es ist bezeichnend, daß Bedeutungserklärungen normalerweise nicht von metasprachlicher Warte aus gegeben werden, sondern daß dabei schlicht, wie z. B. auch in (21), auf Dinge in der Welt referiert wird. Zwar gibt es viele Gegenstände, über die wir ziemlich einheitlich verständigt sind. Es sind dies vor allem die physikalischen Objekte, die wir mit unseren Sinnen erfassen. Entsprechend macht die Bedeutung der Ausdrücke, die wir zu ihrer Bezeichnung benutzen, einen stabilen Eindruck. Hinsichtlich anderer Gegenstände sind wir

(26) Vgl. zum Folgenden das Kapitel 3.2.2. in Wiegand (1981).

zu einem geringeren Grad vorverständnis. Wahrscheinlich zählen dazu schon die Verhaltensweisen, die einen Snob auszeichnen, gar nicht zu reden von so strittigen Gegenständen wie Freiheit, Demokratie, Sozialismus. Die Bedeutungen der entsprechenden Ausdrücke müssen wir daher ständig aufs Neue aushandeln.

Hieraus folgt für die Lexikologie, daß es keinen prinzipiellen Unterschied zwischen lexikalischer Semantik und dem typisierten Weltwissen gibt, wobei letzteres abhängig ist vom kommunikationsgeschichtlichen Stand der Verständigung über das So-Sein des Objektbereiches. Für unser maschinelles Sprachverarbeitungssystem folgt daraus, daß die lexikalische Semantik dynamisch aus den eingegebenen Beschreibungen des aktuellen Objektbereichs abgeleitet werden muß.

5. Abschließende Bemerkung

Um die maschinelle Sprachverarbeitung flexibel zu machen, mußten wir schrittweise den Weltbezug aus der Programmarchitektur ausgliedern und in die Eingabe verlagern. Der Computer blieb damit, was er ist: ein Rechner. Die Konsequenz ist, daß Computer nicht als Kommunikationspartner, sondern nur als Kommunikationsmedien angesehen werden sollten.

Von einem Kommunikationspartner muß man verlangen, daß er für das, was er sagt, die Verantwortung übernehmen kann. Er muß dazu letztlich Zugang zur Wirklichkeit haben. Zwar wissen wir vieles auch nur vom Hörensagen. Aber die Forderung, daß im Verständigungsprozeß über die Welt wenigstens irgendwer die empirischen Grundlagen zur Verfügung hat, ist unverzichtbar. Insofern unser Kommunikationspartner sich nicht selbst auf Erfahrung berufen kann, müssen wir davon ausgehen, daß er wenigstens die Vertrauenswürdigkeit seiner Gewährsleute beurteilen kann. All dies ist bei Computern nicht der Fall. Sie reproduzieren, womit sie gefüttert worden sind. Verantwortlich für den Wirklichkeitsbezug sind die, die die Daten eingeben. Sie muß man gegebenenfalls zur Rechenschaft ziehen. Um der drohenden Gefahr der Entpersonalisierung entgegenzuwirken, sollte man statt von Mensch-Maschine-Kommunikation besser von Mensch-Mensch-Kommunikation mittels Maschine sprechen.

Als Rechner könnte der Computer allerdings ein sehr nützliches Kommunikationsmedium sein. Die Fülle von Informationen, die uns zu schaffen macht, läßt sich durch Symbolverarbeitung ordnen und unseren individuellen Interessen entsprechend abrufbar machen. Insofern es gelingt, die logische Form der Sprache in Gestalt von Rechenregeln zu operationalisieren, können die über dieses Medium übermittelten Aussagen zudem auf ihre Widerspruchsfreiheit und ihre Konsequenzen hin überprüft werden. Bis zu diesem Fernziel sind freilich noch viele Hürden zu überwinden. Über die Probleme, welche z. B. die Abhängigkeit der Textstruktur von der Pragmatik aufwirft, habe ich in diesem Artikel gar nichts gesagt.

Der Wert der maschinellen Sprachverarbeitung für die linguistische Theoriebildung wird aus dem obigen aber schon deutlich geworden sein. Nur in einem Computermodell ist es nötig und möglich, viele Teilkomponenten einer Sprachtheorie zu integrieren und ihr Zusammenspiel praktisch zu überprüfen.

Literatur

- Bátori, I. S. (1977): Linguistische Datenverarbeitung, Computerunterstützte Sprachforschung und EDV für Philologen. In: Sprache und Datenverarbeitung 1/1977, S. 2–11.
- Bátori, I. S. (1981): Die Grammatik aus der Sicht kognitiver Prozesse. Tübingen.
- Bátori, I. S./Krause, J./Lutz, H.-D. (Hrsg., 1982): Linguistische Datenverarbeitung. Versuch einer Standortbestimmung im Umfeld von Informationslinguistik und Künstlicher Intelligenz. Tübingen.
- Eisenberg, P. (Hrsg., 1976): Maschinelle Sprachanalyse. Beiträge zur automatischen Sprachbearbeitung I. Berlin (West).
- Eisenberg, P. (Hrsg., 1977): Semantik und künstliche Intelligenz. Beiträge zur automatischen Sprachbearbeitung II. Berlin (West).
- Fausser, A./Rathke, Ch. (1981): Studie zum Stand der Forschung über natürlichsprachige Frage/Antwort-Systeme. Bundesministerium für Forschung und Technologie. Forschungsbericht ID 81-006. Mai 1981.
- Fillmore, Ch. J. (1977): Scenes-and-frames semantics. In: A. Zampolli (Ed.): Linguistic Structures Processing. Amsterdam, New York, Oxford, S. 55–81.
- Frege, G. (1879): Begriffsschrift. Eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens. Halle.
- Hays, D. G. (1977): Kognitive Netzwerke: Formen und Prozesse. In: Eisenberg (1977), S. 86–112.
- Hellwig, P. (1977): Ein Computermodell für das Folgern in natürlicher Sprache. In: Eisenberg (1977), S. 59–85.
- Hellwig, P. (1978a): Formal-desambiguierte Repräsentation. Vorüberlegungen zur maschinellen Bedeutungsanalyse auf der Grundlage der Valenzidee. Stuttgart.
- Hellwig, P. (1978b): PLAIN – Ein Programmsystem zur Sprachbeschreibung und maschinellen Sprachbearbeitung. In: Sprache und Datenverarbeitung 1/1978, S. 16–31.
- Hinst, P. (1974): Logische Propädeutik. Eine Einführung in die deduktive Methode und logische Sprachanalyse. München.
- Katz, J. J./Fodor, J. A. (Ausgabe 1970): Die Struktur einer semantischen Theorie. In: H. Steger (Hrsg.): Vorschläge für eine strukturelle Grammatik des Deutschen. Darmstadt, S. 202–268.
- Kolvenbach, M./Lötscher, A./Lutz, H.-D. (Hrsg., 1979): Künstliche Intelligenz und natürliche Sprache. Sprachverstehen und Problemlösen mit dem Computer. Tübingen.
- Krallmann, D./Krause J. (Hrsg., 1981): Linguistische Datenverarbeitung und Informationswissenschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Studiengänge, Berufsaussichten, Förderung. LDV-Fittings e. V. Essen/Regensburg.
- Leibnitz, G. W. (Ausgabe 1960): Fragmente zur Logik. Ausgewählt und übersetzt von F. Schmidt. Berlin (Ost).
- Lenders, W. (1980): Linguistische Datenverarbeitung – Stand der Forschung. In: Deutsche Sprache 3/1980, S. 213–264.
- Norman, D. A./Rumelhart, D. E. (1978): Strukturen des Wissens. Wege der Kognitionsforschung. Stuttgart.
- Pinkal, M. (1980): ATN-Syntax. In: Studium Linguistik 8/9, S. 79–89.
- Schank, R. C. (1977): Computer, primitive Aktionen und linguistische Theorien. In: Eisenberg (1977), S. 113–141.
- Simmons, R. F. (1976): Frage-Antwort-Systeme in natürlicher Sprache. In: Eisenberg (1976), S. 204–242.
- Wahlster, W. (1982): Natürlichsprachliche Systeme. Eine Einführung in die sprachorientierte

- KI-Forschung. In: Bibel, W./Siekmann, J. (Hrsg.): Ein Kurs in Künstlicher Intelligenz. Heidelberg.
- Weizenbaum, J. (1977): Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Frankfurt a. M.
- Wiegand, H. E. (1981): Pragmatische Informationen in neuhochdeutschen Wörterbüchern. In: Germanistische Linguistik 3–4/1979. Hildesheim, New York, S. 139–271.
- Wilks, Y. (1977): Sprachverstehende Systeme in der künstlichen Intelligenz. Überblick und Vergleich. In: Eisenberg (1977), S. 180–230.
- Winograd, T. (1977): Ein prozedurales Modell des Sprachverstehens. In: Eisenberg (1977), S. 142–179.
- Woods, W. W. (1976): Netzwerkgrammatiken für die Analyse natürlicher Sprache. In: Eisenberg (1976), S. 98–136.

Dr. Peter Hellwig, Germanistisches Seminar der Universität, 6900 Heidelberg