

Einleitung

I. FERNZIEL DER COMPUTERLINGUISTIK

Die Übertragung von Information mit Hilfe einer natürlichen Sprache wie z. B. Chinesisch, Englisch oder Deutsch ist ein objektivierbarer und strukturierter Vorgang. Dies zeigt sich, wenn wir versuchen, mit Menschen zu kommunizieren, die eine fremde Sprache sprechen. Auch wenn uns selbst die Information, die wir als Sprecher vermitteln möchten, völlig klar ist, werden wir von unseren Gesprächspartnern nicht verstanden, wenn wir ihre Sprache nicht adäquat verwenden.

Das Ziel der Computerlinguistik ist es, die natürliche Informationsübertragung nachzubilden indem die Sprachproduktion des Sprechers und die Sprachinterpretation des Hörers auf geeigneten Computern modelliert werden. Dies läuft auf die Konstruktion kognitiver Maschinen (Robotern) hinaus, die frei in natürlicher Sprache kommunizieren können.

Die Entwicklung sprechender Roboter ist keine Fiktion, sondern eine reale, wissenschaftliche Aufgabe. Bemerkenswerterweise haben die bisherigen Sprachtheorien jedoch eine funktionale Modellierung der natürlichsprachlichen Kommunikationsmechanik gemieden und sich stattdessen auf periphere Aspekte wie Methodik, (Behaviorismus), angeborene Ideen (Nativismus) oder mathematisch-naturwissenschaftliche Wahrheit (Modelltheorie) konzentriert.

II. TURING-TEST

Die Aufgabe, die natürlichsprachliche Kommunikationsmechanik auf dem Computer zu modellieren, wurde 1950 von ALAN TURING (1912–1954) in der Form eines Spiels (*imitation game*) dargestellt, das heute als Turing-Test bekannt ist. In diesem Spiel hat ein Mensch (*interrogator*) zunächst die Aufgabe, Fragen an einen männlichen und einen weiblichen Kommunikationspartner in einem anderen Raum über einen Fernschreiber zu stellen, um herauszufinden, welcher von ihnen der Mann und welcher die Frau ist. Dabei wird gezählt, wie oft der Fragesteller seine Kommunikationspartner richtig klassifiziert und wie oft er sich von ihnen hinters Licht führen läßt.

Anschließend wird einer der beiden menschlichen Kommunikationspartner durch einen Computer ersetzt. Der Computer besteht den Turing-Test, wenn er den Mann

oder die Frau, die er in dem Spiel ersetzt, so gut simuliert, daß der Fragesteller seine neuen Kommunikationspartner ebenso oft richtig bzw. falsch klassifiziert wie die alten. Auf diese Weise wollte Turing die Frage *Can machines think?* durch die Frage *Are there imaginable digital computers which would do well in the imitation game?* ersetzen.

III. ELIZA-PROGRAMM

Von seiner ursprünglichen Intention her erfordert der Turing-Test die Konstruktion eines künstlichen Agenten, dessen Sprachverhalten von seinem natürlichen Vorbild nicht zu unterscheiden ist. Dies beinhaltet Vollständigkeit der sprachlichen Datenabdeckung und der funktionalen Modellierung in Echtzeit. Zugleich ist der Test darauf angelegt, alle Aspekte zu vermeiden, die nichts mit dem sprachlichen Verhalten zu tun haben.¹

Der Turing-Test sagt jedoch nichts darüber aus, wie die kognitiven Strukturen modelliert werden sollen, damit der künstliche Agent das *imitation game* gewinnt. Deshalb ist es möglich, die Täuschung des Fragestellers – und nicht die funktionale Modellierung der Kommunikation auf dem Computer – als das Ziel der Turing-Tests mißzuverstehen. Dies hat Weizenbaum 1965 mit seinem Eliza-Programm gezeigt.

Das Eliza-Programm simuliert einen Psychiater, der den menschlichen Fragesteller dazu animiert, immer mehr von sich und seinen Problemen zu sprechen. Die Struktur von Eliza beruht auf Schablonen, in die bestimmte Wörter des Fragestellers – nun in der Rolle des Patienten – eingesetzt werden. Wenn der Fragesteller z. B. das Wort *mother* erwähnt, verwendet Eliza die Schablone *Tell me more about your ____*, um den Satz *Tell me more about your mother* zu erzeugen.

Aufgrund der Funktionsweise von Eliza wissen wir, daß Eliza den Dialog mit dem Fragesteller/Patienten nicht versteht. Die Konstruktion von Eliza ist also keine Modellierung der Kommunikation. Wenn wir den Dialog zwischen Eliza und ihrem Fragesteller/Patienten jedoch als Variante des Turing-Tests betrachten, dann ist das Computerprogramm Eliza insofern erfolgreich, als sich der Fragesteller/Patient verstanden *fühlt* und hier nicht zwischen einem menschlichen und einem künstlichen Kommunikationspartner in der Rolle des Psychiaters unterscheidet.

Die Aufgabe der Computerlinguistik ist die echte Modellierung der natürlichsprachlichen Kommunikationsmechanik, und nicht ein Vortäuschen unter Ausnutzen spezieller Eigenschaften spezifischer Gesprächssituationen – wie beim Eliza-Programm. Das heißt, die Computerlinguistik muß (i) die natürlichsprachliche Kommunikationsmechanik theoretisch erklären und (ii) die theoretische Erklärung praktisch verifizieren. Letzteres geschieht durch eine vollständige und allgemeine Implementierung, die sich vor allem in alltäglichen Kommunikationssituationen als funktionstüchtig erweisen muß – und nicht so sehr im Turing-Test.

¹ Als Beispiel erwähnt Turing 1950, S. 434, die Nachbildung der menschlichen Haut.

IV. ROBOTERMODELL NATÜRLICHSPRACHLICHER KOMMUNIKATION

Die Konstruktion sprechender Roboter bietet einen optimalen Rahmen für die systematische Darstellung der Grundbegriffe sowie der philosophischen, mathematischen, grammatikalischen und programmiertechnischen Aspekte der Computerlinguistik. Denn die Modellierung der natürlichsprachlichen Kommunikationsmechanik erfordert

- eine Sprachtheorie, die die natürliche Informationsübertragung in einer Weise erklärt, die funktional kohärent, mathematisch explizit und programmiertechnisch effizient ist,
- eine Beschreibung der Sprachdaten, welche für alle Komponenten der Sprachtheorie, also das Lexikon, die Morphologie, die Syntax, die Semantik sowie die Pragmatik und die Darstellung des internen Kontext empirisch vollständig ist, und
- einen Präzisionsgrad bei der Datenbeschreibung innerhalb dieser Komponent, welcher für die Programmierung geeignet ist.

Diese Bedingungen können nur durch harte, systematische, zielgerichtete Arbeit erfüllt werden, aber sie wird der Mühe wert sein.

Für die Theoriebildung ist die Konstruktion sprechender Roboter von Interesse, weil elektronisch implementierte Kommunikationsmodelle sowohl extern über ihr verbales Verhalten als auch intern über den direkten Zugang zu ihren kognitiven Zuständen getestet werden können. Der Weg zu einer unbeschränkten Mensch-Maschine-Kommunikation in natürlicher Sprache wird durch die Tatsache erleichtert, daß das funktionale Modell inkrementell entwickelt werden kann: Beginnend mit einem allgemeingültigen, aber vereinfachten System werden Schritt für Schritt neue Funktionen und neue Sprachen hinzugefügt.

Für die praktische Anwendung bedeutet die freie natürlichsprachliche Kommunikation mit Computern und Robotern eine maximal benutzerfreundliche Mensch-Maschine-Interaktion und erlaubt völlig neue Formen der Informationsverarbeitung. Die Verwendung künstlicher Programmiersprachen kann dann auf die Entwicklung und Wartung der Systeme durch Spezialisten beschränkt werden.

V. VERWENDUNG VON PARSERN

In der Computerlinguistik werden natürliche Sprachen mit Programmen analysiert, die *Parser* genannt werden. Die Verwendung von Parsern wirkt sich auf die linguistische Forschung, die Aquisition von Mitteln und den wissenschaftlichen Alltag folgendermaßen aus:

– *Wettbewerb*

Konkurrierende Grammatiktheorien werden wissenschaftlich danach bemessen werden, wie gut sie für die Programmierung als Parser geeignet sind und wie gut sie in

eine funktionale Sprachtheorie passen, die die natürlichsprachliche Kommunikationsmechanik modelliert.

– *Finanzierung*

Programmiertechnisch effiziente und empirisch adäquate Parser für verschiedene Sprachen werden für eine unbegrenzte Vielzahl praktischer Anwendungen benötigt. Dies wird sich massiv auf die Verteilung von Mitteln für Forschung, Entwicklung und Lehre in diesem speziellen Bereich der Geisteswissenschaften auswirken.

– *Verifikation*

Die Programmierung von Grammatiken als Parser erlaubt die automatische Überprüfung ihrer empirischen Adäquatheit an beliebig großen Mengen realistischer Sprachdaten in den Bereichen der Wortformerkennung/-synthese, der syntaktischen Analyse/Generierung und der semantisch-pragmatischen Interpretation sowohl im Sprecher- als auch im Hörermodus.

Die Verifikation von Sprach- und Grammatiktheorien durch das Testen elektronisch implementierter Modelle in realen Anwendungen konstituiert eine neue Methode, die sich von denjenigen der traditionellen Philologie, theoretischen Linguistik, Psychologie, Philosophie und mathematischen Logik klar unterscheidet.

VI. THEORETISCHE ABSTRAKTIONSEBENE

Noch gibt es keine elektronischen Systeme, die die Funktionalität der natürlichen Sprachen so erfolgreich nachbilden, daß man sich mit ihnen in mehr oder weniger unbeschränkter Weise unterhalten kann. Zudem gibt es in der Forschung keine übereinstimmende Meinung darüber, wie der Prozeß der natürlichsprachlichen Informationsübertragung genau funktioniert.

Es stellt sich daher prinzipiell die Frage, ob ein realistisches Modell der natürlichsprachlichen Kommunikation überhaupt möglich ist. Ich möchte diese Frage anhand einer Analogie aus der jüngeren Wissenschaftsgeschichte beantworten.²

Die heutige Situation der Computerlinguistik entspricht in vielem der Entwicklung des mechanischen Fluges vor 1903.³ Viele hundert Jahre lang haben die Menschen Spatzen und andere Vögel beobachtet, um zu verstehen, wie sie fliegen. Ihr Ziel war es, sich auf möglichst ähnliche Weise in die Lüfte zu erheben.

Dabei hat sich herausgestellt, daß das Flattern für den menschlichen Flug nicht geeignet ist. Dies wurde gerne zum Anlaß genommen, den menschlichen Flugverkehr für prinzipiell unmöglich zu erklären, häufig mit dem frommen Spruch: “Wenn Gott gewollt hätte, daß die Menschen fliegen, hätte er ihnen Flügel verliehen.”⁴

Heute ist das Fliegen für die Menschen selbstverständlich geworden. Außerdem weiß man inzwischen, daß ein Spatz aufgrund derselben aerodynamischen Prinzipien

² Siehe auch CoL (= Hausser 1989a), S. 317.

³ In diesem Jahr gelang den Brüdern Orville und Wilbur Wright der erste motorisierte bemannte Flug.

in der Luft bleibt wie ein Jumbojet. Es gibt also eine bestimmte Ebene der Abstraktion, auf welcher der Flug des Spatzen und der Flug des Jumbojets in der gleichen Weise funktionieren.

Entsprechend wird bei der Modellierung natürlichsprachlicher Kommunikation in der Computerlinguistik eine abstrakte Theorie benötigt, die auf Menschen und Maschinen gleichermaßen zutrifft. Dabei besteht naturgemäß die Gefahr, die Abstraktionsebene entweder zu niedrig oder zu hoch anzusetzen. Wie beim Flug geht es auch hier darum, das korrekte Prinzip auf der korrekten Abstraktionsebene zu finden.

Eine zu niedrig angesetzte Abstraktionsebene für die natürlichsprachliche Kommunikation illustrieren geschlossene Signalsysteme, wie man sie etwa bei einem Fahrkartenautomaten findet. Sie sind als Modell ungeeignet, weil ein wesentlicher Punkt der in Frage stehenden Modellierung nicht berücksichtigt wird. Dies ist die charakteristische Vielseitigkeit natürlichsprachlicher Kommunikation – also die Tatsache, daß dieselben Ausdrücke in den verschiedensten Äußerungskontexten sinnvoll eingesetzt werden können.

Eine zu hoch angesetzte Abstraktionsebene illustrieren dagegen naive anthropomorphe Erwartungen. So liegt ein Begriff von sprachlichem ‘Verstehen’, nach welchem sich das elektronische System bei der Lektüre des *Felix Krull* subtil amüsieren müßte, ebenso daneben, wie ein Begriff vom ‘Fliegen’, der Paarungsverhalten und Brutpflege von einem Jumbojet erwartet.⁵

VII. ANALYSE MENSCHLICHER KOGNITION

Die Geschichte des mechanischen Fluges zeigt, wie ein natürlicher Vorgang (Vogelzug) den Menschen eine konzeptuell einfache und klare Problemstellung vorgibt, die trotz größter Anstrengungen lange Zeit unlösbar war. Am Ende fand sich die Lösung im Rahmen einer abstrakten, mathematischen Theorie. Neben ihrem Erfolg als Grundlage des mechanischen Fluges ist diese Theorie auch in der Lage, die Funktionsweise des natürlichen Fluges zu erklären.

Deshalb hat die abstrakte Theorie der Aerodynamik zu einer neuen Wertschätzung der Natur geführt. Denn nachdem an Doppeldeckern, Turboprops und Jets ein immer besseres theoretisches und praktisches Verständnis der Flugprinzipien entwickelt

⁴ Irrationale Gründe gegen eine Modellierung der natürlichsprachlichen Kommunikationsmechanik liegen in einer tiefsitzenden, unbewußten Furcht vor künstlichen Wesen mit menschenähnlichem Aussehen und übermenschlichen Kräften. Der Erschaffung solcher *homunculi*, die schon in den frühesten Mythen vorkommen, haftet etwas Tabuverletzendes an. Zur Tabuisierung der Doppelgängerähnlichkeit siehe Girard 1972.

Allerdings gibt es in der Literatur neben düsteren Formen wie dem kabbalistisch inspirierten Golem und dem elektrisch initialisierten Geschöpf des Chirurgen Dr. Frankenstein auch heitere Varianten von Homunculi. Zu diesen gehören die klavierspielenden Puppenautomaten des 18. Jahrhunderts, in die man die anatomisch-physiologischen Erkenntnisse der Zeit einbrachte, sowie die mechanische Schönheit, die in *Hoffmanns Erzählungen* singt und tanzt. Der jüngeren Vergangenheit entstammt der Roboter C3P0 aus George Lucas' Film *Star Wars*, der eine stark zum Positiven gewandelte Einstellung gegenüber menschenähnlichen Robotern signalisiert.

⁵ Obwohl dies aus der Sicht der Spatzen durchaus gerechtfertigt erscheinen mag.

wurde, analysiert man heute wieder verstärkt die natürlichen Flugvorgänge, um ihre wunderbare Leistungsfähigkeit zu begreifen und in den Bau leiserer und effizienterer Flugzeuge einzubringen.

Auf die Computerlinguistik übertragen, zeigt dieses Beispiel, daß unser mathematisch-technologischer Lösungsansatz keinesfalls ein fehlendes Interesse an der Analyse des menschlichen Sprachvermögens impliziert. Vielmehr ist es so, daß eine Untersuchung des speziell Menschlichen am sprachlichen Kommunikationsprozeß überhaupt erst dann wirklich sinnvoll ist, nachdem eine prinzipielle Modellierung der natürlichsprachlichen Kommunikationsmechanik geleistet worden ist und sich in massiven Anwendungen konkret bewährt hat.

VIII. INNERE UND ÄUSSERE WAHRHEITEN

In den Wissenschaften kann man zwischen inneren und äußeren Wahrheiten unterscheiden. Innere Wahrheiten sind konzeptuelle Modelle, die von Wissenschaftlern zur Erklärung von Phänomenen entwickelt und benutzt und von relevanten Teilen der Gesellschaft eine gewisse Zeit lang für wahr gehalten werden. Beispiele sind das ptolemäische (geozentrische) System der Planeten oder Bohrs Atommodell.

Äußere Wahrheiten sind die nackten Tatsachen der externen Realität; sie existieren, ungeachtet ob es kognitive Agenten gibt, die sie wahrnehmen, oder nicht. Diese Tatsachen können mehr oder weniger genau gemessen und mit Hilfe konzeptueller Modelle erklärt werden.

Weil sich die Erklärungsmodelle im Lauf der Geschichte immer wieder geändert haben, müssen die inneren Wahrheiten als *Hypothesen* angesehen werden. Ihre Rechtfertigung besteht vor allem darin, inwieweit sie sich bei einer systematischen Beschreibung äußerer Wahrheit an ausreichend großen Daten als nützlich erweisen.

Speziell in den Naturwissenschaften haben sich die inneren Wahrheiten im Lauf der letzten fünfhundert Jahre kontinuierlich weiterentwickelt. Dies zeigt sich an der zunehmenden Übereinstimmung von theoretischen Vorhersagen und Daten sowie an einer Konsolidierung, die sich in einer zunehmenden mathematischen Präzision und funktionalen Kohärenz der konzeptuellen Teilmodelle manifestiert.

Die heutige Linguistik zeichnet sich dagegen durch eine übergroße Vielfalt konkurrierender Sprach-⁶ und Grammatiktheorien⁷ aus. Wie in den Naturwissenschaften gibt es jedoch auch in der Linguistik eine äußere Wahrheit, die durch Vollständigkeit der sprachlichen Datenabdeckung und der funktionalen Modellierung approximiert werden kann.

⁶ Beispiele sind Behaviorismus, Strukturalismus, Nativismus, Sprechakttheorie, Modelltheorie, der Ikonismus von Givón 1985, der Neostrukturalismus von Lieb 1985 und der systemische Ansatz von Halliday 1992, um nur einige zu nennen.

⁷ Bekannt unter Akronymen wie TG (mit den Zwischenstufen ST, EST, REST und GB), LFG, GPSG, HPSG, CG, CUG, FUG etc. Diese Theorien/Formalismen konzentrieren sich primär auf die konzeptuelle Fundierung innerer Wahrheiten, z. B. 'psychologische Realität', 'angeborenes Wissen', 'explinatorische Adäquatheit', 'Universalien', 'Prinzipien' usw., anhand von ausgewählten Beispielen.

IX. LINGUISTISCHE VERIFIKATION

Der Bezug zwischen innerer und äußerer Wahrheit wird mit Hilfe einer *Verifikationsmethode* hergestellt. In den Naturwissenschaften hat sich hierfür die Reproduzierbarkeit von Experimenten herausgebildet. Das heißt, unter denselben Anfangsvoraussetzungen müssen sich immer wieder dieselben Messungen ergeben.

Diese Methodik ist einerseits nicht unproblematisch, weil experimentelle Daten oft unterschiedlich interpretiert werden und somit verschiedene – ja theoretisch widersprüchliche – Hypothesen stützen können. Andererseits sind die Bedingungen dieser Methodik so minimal, daß es sich inzwischen keine naturwissenschaftliche Theorie mehr leisten kann, sie abzulehnen. Deshalb ist die Reproduzierbarkeit von Experimenten geeignet, die rivalisierenden Kräfte im Betrieb der Naturwissenschaften immer wieder in konstruktiver Weise zu kanalisieren.

Ein weiterer Aspekt der wissenschaftlichen Wahrheitsfindung hat sich in der mathematischen Logik herausgebildet. Dies ist das Prinzip der formalen Widerspruchsfreiheit, das in der Methode der Axiomatisierung und der regelbasierten Ableitung von Theoremen realisiert wird.

Für sich allein genommen ist die quasi-mechanische Rekonstruktion mathematischer Prinzipien losgelöst von den empirischen Fakten naturwissenschaftlicher Meßdaten. Aber als logisches Grundgerüst der Theoriebildung in den Naturwissenschaften hat sich die Axiomatisierung als hilfreiche Ergänzung des Reproduzierbarkeitsprinzips bewährt. Deshalb spricht man im Deutschen zu Recht von den *mathematisch-naturwissenschaftlichen* Fächern.

In der Linguistik hat man entsprechende Verifikationsmethoden schmerzlich vermißt. Um den Mangel auszugleichen, ist wiederholt der Versuch unternommen worden, die Linguistik entweder zu einem naturwissenschaftlichen oder zu einem logisch-mathematischen Fach umzustilisieren. Solche Versuche sind zum Scheitern verurteilt, und zwar aus folgenden Gründen:

- Das Reproduzierbarkeitsprinzip setzt wohldefinierte, punktuelle Experimente voraus, bei denen gemessen wird. Die Daten der Linguistik sind jedoch Konventionen, die sich in der Sprachgemeinschaft im Laufe von Jahrhunderten herausgebildet haben und die sich bei den einzelnen Sprechern-Hörern als deren muttersprachliche Intuitionen (Sprachgefühl) niederschlagen. Diese Art von Daten ist für naturwissenschaftliche Experimente ungeeignet.
- Die Axiomatisierung setzt voraus, daß die Theoriebildung auf einer hohen Abstraktionsstufe zu einem – wenn auch oft vorläufigen – Abschluß gekommen ist, wie dies z. B. bei der Newtonschen Mechanik, der Thermodynamik oder der Relativitätstheorie gegeben ist. In der heutigen Linguistik ist jedoch weder eine theoretische Konsolidierung noch eine auch nur annähernd vollständige Datenerfassung zu finden, weshalb eine Axiomatisierung ins Leere greifen muß.

Glücklicherweise besteht keine Notwendigkeit, die linguistische Methodik über Anleihen bei den Nachbarwissenschaften zu fundieren. Denn als Parser realisierte Grammatiken können auf dem Computer an beliebig großen Mengen realer Daten automatisch getestet werden. Diese spezifische Verifikations-/Falsifikationsmethode ist charakteristisch für die Computerlinguistik und kann als deren Gegenstück zur Reproduzierbarkeit von Experimenten in den Naturwissenschaften angesehen werden.

X. EMPIRISCHE DATEN UND IHR THEORETISCHER RAHMEN

Die computerlinguistische Methodik muß durch eine Sprachtheorie ergänzt werden, die die Zielsetzung der empirischen Analyse vorgibt und den Rahmen bildet, in den die Teilkomponenten ohne Widerspruch oder Redundanz eingebettet werden. Die Entwicklung eines solchen theoretischen Rahmens ist außerordentlich schwierig, wie sich in der Wissenschaftsgeschichte immer wieder gezeigt hat.

Zum Beispiel setzte man sich in den Anfängen der Astronomie lange vergeblich mit dem Problem auseinander, die in unserem Sonnensystem beobachteten Daten in einer formalen Gesamttheorie zu erklären und in diesem Rahmen korrekte Vorhersagen zu machen. Erst KEPLER (1571–1630) und NEWTON (1642–1727) gelang es, zu einer empirisch genauen und funktional einfachen Beschreibung zu gelangen. Die Voraussetzung war eine profunde Umwälzung in der Theorie der Astronomie.

Diese Umwälzung betraf die *Strukturhypothese* (Übergang vom Geo- zum Heliozentrismus), die *funktionale Erklärung* (Übergang von Kristallsphären zur Gravitation im leeren Raum) und das *mathematische Modell* (Übergang von dem komplizierten System der Epizyklen zur Form der Ellipse). Zudem wurde das neue System auf einer Abstraktionsebene angesetzt, die den Fall eines Apfels und die Bahn des Mondes als verschiedene Instantiierungen derselben allgemeinen Prinzipien erklärt.

In der Linguistik ist eine entsprechende Umwälzung in der wissenschaftlichen Theoriebildung seit langem überfällig. Denn obwohl das ursprüngliche Verhältnis von empirischen Daten und theoretischer Problemstellung in der Linguistik nicht weniger klar ist als in der Astronomie, wurde eine vergleichbare Konsolidierung in der Form einer umfassenden, verifizierbaren, funktionalen Sprachtheorie bisher nicht erreicht.⁸

XI. PRINZIPIEN DER SLIM-SPRACHTHEORIE

Die Analyse der natürlichsprachlichen Kommunikationsmechanik sollte nach den allgemeinsten methodischen, empirischen, ontologischen und funktionalen Prinzipien strukturiert werden. Die in diesem Buch entwickelte SLIM-Sprachtheorie basiert auf den Prinzipien der oberflächenkompositionalen, linearen, internen Abgleichung. Diese Prinzipien sind wie folgt definiert.

⁸ Wissenschaftsgeschichtlich entspricht die Fragmentierung der heutigen Linguistik dem Entwicklungsstand von Astronomie und Astrologie vor Kepler und Newton.

1. *Surface compositional* (methodisches Prinzip): Die syntaktisch-semantische Komposition baut nur konkrete Wortformen zusammen, unter Ausschluß von Null-Elementen, Identitätsabbildungen oder Transformationen.
2. *Linear* (empirisches Prinzip): Die Produktion und Interpretation von Äußerungen basiert auf einer streng zeitlinearen Ableitungsordnung.
3. *Internal* (ontologisches Prinzip): Die Produktion und Interpretation von Äußerungen wird als ein Sprecher-Hörer-interner, kognitiver Prozeß analysiert.
4. *Matching* (funktionales Prinzip): Die sprachliche Referenz auf vergangene, gegenwärtige oder zukünftige Objekte oder Ereignisse wird als eine Abgleichung zwischen wörtlicher Sprachbedeutung und Verwendungskontext modelliert.

Obwohl die vier Elementarprinzipien jeweils unterschiedlichen Bereichen (Methodik, Ontologie etc.) angehören, hängen sie im Rahmen der SLIM-Sprachtheorie eng zusammen. Das funktionale Prinzip der Abgleichung (4, *matching*) läßt sich z. B. nur programmiertechnisch realisieren, wenn es vom Gesamtsystem ontologisch als (3) interne Prozedur eines kognitiven Agenten behandelt wird. Entsprechend sind die Prinzipien der (1) Oberflächenkompositionalität und der (2) Zeitlinearität von der Kommunikationsmechanik her nur dann wirklich durchführbar und motiviert, wenn die Gesamtheorie auf *Internal Matching* (3, 4) basiert.

Zusätzlich zur Interpretation seiner einzelnen Buchstaben ist das Akronym SLIM auch als Wort im Sinne von *schlank* motiviert. Denn in ihrer mathematischen und programmiertechnischen Ausarbeitung erweist sich die SLIM-Sprachtheorie in den Bereichen der Syntax, der semantischen Interpretation und der Pragmatik als effizient – sowohl relativ im Vergleich zu bestehenden Alternativen als auch absolut nach den Maßstäben der formalen Komplexitätstheorie.

XII. HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGEN

Die SLIM-Sprachtheorie ist auf einer Abstraktionsebene definiert, auf der die natürlichsprachliche Kommunikationsmechanik von Menschen und von entsprechend konstruierten kognitiven Maschinen über dasselbe allgemeine Funktionsprinzip eines *Surface compositional Linear Internal Matching* erklärt werden. Dies ist eine wesentliche theoretische Voraussetzung für eine unbeschränkte Mensch-Maschine-Kommunikation in natürlicher Sprache.⁹ Ihre Realisierung erfordert allgemeingültige und effiziente Lösungen in folgenden Teilbereichen.

⁹ Zudem ist *Strukturhypothese* der SLIM-Sprachtheorie eine regelmäßige, streng zeitlineare Ableitungsordnung – im Gegensatz zu konventionellen Grammatiksystemen, die auf Konstituentenstrukturen beruhen. Die *funktionale Erklärung* der SLIM-Sprachtheorie zielt auf ein Modell der natürlichsprachlichen Kommunikationsmechanik in der Form eines sprechenden Roboters ab – und nicht auf die angeborene Sprachfähigkeit des Menschen unter Ausschluß der Sprachverwendung (Performanz). Das *mathematische Modell* der SLIM-Sprachtheorie ist der moderne fortsetzungsbasierte Algorithmus der LA-Grammatik – und nicht die substitutionsbasierten Algorithmen der letzten 60 Jahre.

Erstens muß das *Verstehen* natürlicher Sprache durch den Hörer modelliert werden. Dieser Vorgang wird als das automatische Einlesen und vor allem das korrekte Einordnen von Propositionen in eine Datenbank realisiert (siehe Kapitel 23). Die semantischen Elementarkonzepte werden auf natürliches oder künstliches Wahrnehmen und Handeln gegründet.

Zweitens muß die *Konzeptualisierung* des Sprechers modelliert werden, also die Erzeugung der Inhalte, die vom Sprecher in natürliche Sprache umgesetzt werden. Die Konzeptualisierung wird als eine autonome Navigation durch die Propositionen der internen Datenbank realisiert. Nach dem Motto *Speech is verbalized thought* (siehe Kapitel 24) wird die Sprachproduktion als eine direkte Reflexion (*Internal Matching*) des Navigationspfads analysiert.

Drittens müssen der Sprecher und der Hörer in der Lage sein, aus den Inhalten ihrer jeweiligen Datenbank Schlüsse zu ziehen. Diese *Inferenzen* werden in der SLIM-Sprachtheorie als eine spezielle Form der autonomen zeitlinearen Navigation durch die Datenbank realisiert, die in der Ableitung neuer Propositionen resultiert (siehe Sektion 24.5). Inferenzen spielen bei der pragmatischen Interpretation natürlicher Sprache sowohl beim Hörer als auch beim Sprecher eine wichtige Rolle.

Die formale Grundlage der autonomen Navigation ist eine verbundbasierte Netzwerkdatenbank, die verkettete Propositionen als eine Menge von Wort-Token speichert. Ein Wort-Token ist eine Merkmalstruktur, die u.a. die möglichen Fortsetzungen innerhalb der zugehörigen Proposition und von einer Proposition zu einer anderen spezifiziert. Diese neuartige Struktur heißt *Wortbank* und dient gewissermaßen als Schienennetz für die Navigation des mentalen Fokuspunkts. Die Navigation wird von geeigneten LA-Grammatiken motorisiert und gesteuert, die die möglichen Fortsetzungen von einem Wort-Token zum nächsten berechnen (siehe Sektion 24.2).

Die Wortbank und ihre Motoralgorithmen dienen als Steuerzentrale eines kognitiven Systems, das SLIM-Maschine genannt wird. Die Wortbank ist über die künstlichen Wahrnehmungs- und Handlungskomponenten der SLIM-Maschine mit der externen Realität verbunden. Die Interpretation von Wahrnehmungen, sowohl sprachlichen als auch nichtsprachlichen, resultiert in verketteten Propositionen, die in die Wortbank eingelesen werden. Die Produktion von Handlungen, sowohl sprachlichen als auch nichtsprachlichen, besteht in der Umsetzung von datenbankinternen Propositionen, die von der autonomen Navigation traversiert werden.