

Gisela Zifonun

## FORMALE REPRÄSENTATION NATÜRLICHSPRACHLICHER ÄUSSERUNGEN

1. Problemstellung
  - 1.1. Notwendigkeit einer internen Repräsentation
  - 1.2. Funktionen von Repräsentationssprachen in Informationssystemen mit natürlichsprachlicher Ein- und Ausgabe
    - 1.2.1. Semantiksprachliche Funktion
    - 1.2.2. Die IR-Sprache als Modellbeschreibungssprache
    - 1.2.3. Die IR-Sprache als Grundlage des Schlußsystems
    - 1.2.4. Verwendung der IR-Sprache zur Datenbasis-Abfrage
  - 1.3. Typen von Repräsentationssprachen in der KI
    - 1.3.1. Deskriptive vs. prozedurale Semantik
    - 1.3.2. Netzwerkdarstellung und Darstellung durch Formelsprachen
2. Konkretisierung: Die IR-Sprache KS
  - 2.1. Charakterisierung von KS
  - 2.2. Syntaktische Beschreibung von KS
    - 2.2.1. Sorten
    - 2.2.2. Wohlgeformtheitsbedingungen für Formeln
    - 2.2.3. Wohlgeformtheitsbedingungen für Terme
    - 2.2.4. Korrespondenzen zwischen einigen Typen von NS-Nominalphrasen und KS-Termen
  - 2.3. Schlußbemerkung

Anmerkungen

## 1. Problemstellung und Überblick

### 1.1. Die Notwendigkeit einer internen Repräsentation

Beim Entwurf von natürlichsprachlichen Informations-, Frage-Antwort- und Problemlösungssystemen wird allgemein davon ausgegangen, daß nicht die natürliche Sprache selbst das Medium der 'internen Repräsentation des Wissens' ist.

Dabei wird unter 'interner Repräsentation des Wissens' die Darstellung aller Informationen verstanden, die als Informationen über den Gegenstandsbereich des Problemlösungs- oder Informationssystems (IS) betrachtet werden im Gegensatz etwa zu Informationen über die Funktionsweise des Systems selbst. Die interne Repräsentation ist dabei diejenige Darstellungsform, über der Fragebeantwortung und Problemlösung durchgeführt werden, ohne daß eine Umformung in eine andere Sprache zwischengeschoben würde.

Das 'Wissen' über den Gegenstandsbereich des Systems kann sich dabei auf sogenanntes 'Weltwissen' über einen konkreten Realitätsausschnitt, eine sogenannte 'Mikrowelt', beziehen, die bei anwendungsbezogenen Systemen gleichzusetzen ist mit dem Anwendungsbereich; es kann sich jedoch durchaus um jeden möglichen Wissensbereich auch außerhalb einer konkreten Realität handeln. Die Wahl des anthropomorphen Terminus 'Wissen' ist dabei bemerkenswert: Das System teilt mit seinem Konstrukteur und/oder Benutzer dessen Wissen über den Gegenstandsbereich, es übernimmt dessen Sicht, die Welt zu sehen, zu strukturieren und zu interpretieren.

Ausgeschlossen seien bei diesem Begriff des 'Wissens' neben dem Systemwissen auch diejenigen Daten, die sich auf die sprachliche Vermittlung dieses Wissens etwa durch eine natürliche Sprache beziehen. Nicht zum 'Wissen' des Systems im engeren Sinne gehörig ist daher etwa eine syntaktische oder semantische Beschreibung des Deutschen, sofern es sich nicht um ein Informationssystem über Syntax und Semantik des Deutschen handelt, sondern um ein beliebiges Informationssystem mit Deutsch als Interaktionssprache.

Warum nun dient in einem Informationssystem mit beispielsweise Deutsch als Interaktionssprache nicht Deutsch als Sprache der

internen Repräsentation? Normales Deutsch erfüllt aufgrund bestimmter Eigenschaften, die es wohl mit allen natürlichen Sprachen teilt, nicht die Anforderungen, die die formal definierten Problemlösungsoperationen an die ihnen zugrundegelegte interne Darstellung stellen. Solche Eigenschaften sind das Vorhandensein von Mehrdeutigkeiten auf der morphologischen, syntaktischen und lexikalischen Ebene und von Redundanzen ebenfalls auf den verschiedenen Analyseebenen.

Für ein Informationssystem ist beispielsweise die freie Wortstellung, die im Deutschen aufgrund starker morphologischer Kennzeichnung syntaktisch differenter Werte gewährleistet sein kann, leicht verzichtbar, ja vielmehr im Interesse der Ökonomie und Effizienz eher hinderlich. Wird nun also im IS für die Sprachelemente der internen Repräsentation (IR) eine strikte Ordnung festgelegt, so ist die morphologische Diversität überflüssig. Die IR-Sprache kann eine Sprache der unflektierten Stämme sein. Dies gilt analog für syntaktischen und semantischen Variantenreichtum. Es ist ausreichend, wenn es z.B. e i n e strukturelle und lexikalische Möglichkeit zur Individuenkennzeichnung gibt gegenüber mehreren wie im deutschen Beispiel:

*der Verfasser von Waverley*  
*derjenige, der Waverley verfaßt hat*  
*der Autor von Waverley.*

Die Notwendigkeit, daß die Sprache der IR im Verhältnis zur natürlichen Sprache disambiguiert, redundanz- und paraphrasenfrei sei, ist daher unabhängig von der Verarbeitungsqualität allein durch die Bedingungen der Effizienz des Systems gegeben. Bestünde nur sie, so könnte die Sprache der IR ein nach diesen Maßgaben gereinigtes, formalisiertes Deutsch sein.

Soll das System jedoch über die intelligenten Fähigkeiten zur Schlußfolgerung, zur Fragebeantwortung aufgrund von Schlußfolgerungen, zum Entwurf von Handlungsplänen oder zur Rekonstruktion von Geschehnissen aufgrund schlußfolgernder Verknüpfung verfügen, so sind weitergehende Anforderungen an die IR-Sprache gestellt: Über ihr müssen formale Ableitungsregeln definiert sein, d.h. also Regeln, die aufgrund der syntaktischen Form von Einheiten

der IR wirksam werden, etwa nach dem Vorbild logischer Ableitungsregeln wie modus ponens. Sie sind das formale Äquivalent der schlußfolgernden Intelligenz des Systems. Formalisiertes Deutsch kann diesen Anforderungen nicht gerecht werden: Die Definition von formalen Schlußregeln für deutsche Sätze setzt die Explikation ihrer Bedeutung voraus ebenso wie die eindeutige Kenntlichmachung der ermittelten semantischen Funktionen. IR in der Künstlichen Intelligenz (KI) muß daher weitgehend zum Medium der formalen Kunstsprache als IR-Sprache greifen, wenn auch gerade im sprachorientierten Zweig teilweise die Meinung vertreten wird, formalisiertes Englisch oder eine beliebige natürliche Sprache sei in geeigneter Anordnung und mit Rückführung auf Primitive "self explaining".<sup>1</sup>

## 1.2. Funktionen von Repräsentationssprachen in Informationssystemen mit natürlichsprachlicher Ein- und Ausgabe

### 1.2.1. Semantiksprachliche Funktion

Die formale Kunstsprache der IR steht zu der natürlichen Eingabe- (und Ausgabe-) Sprache (NS) im Verhältnis der 'Semantiksprache'. Eine Sprache  $L_2$  ist Semantiksprache für eine Sprache  $L_1$ , wenn

- (1) mindestens ein Teil aller in  $L_1$  ausdrückbaren Inhalte in  $L_2$  ausdrückbar sind;
- (2) für die beiden Sprachen eine Übersetzungsrelation definiert ist, so daß mindestens ein Teil aller Ausdrücke von  $L_1$  eine Übersetzung in  $L_2$  haben.

Diese Übersetzungsrelation kann bezogen sein auf einen Handlungszusammenhang  $C$ .<sup>2</sup> Dann ist in  $C$  ein Ausdruck  $a_2 \in L_2$  eine Übersetzung eines Ausdrucks  $a_1 \in L_1$  gdw. die Inhalte, die nach der Intention derjenigen, die mit  $a_1$  in  $C$  interagieren, mit  $a_1$  in  $C$  ausgedrückt werden sollen, auch mit  $a_2$  ausgedrückt werden.

- (3) für die Sprache  $L_2$  eine semantische Interpretation angebar ist, die aufgrund der Übersetzungsrelation auf  $L_1$  induzierbar ist.<sup>3</sup>

'In C in Übersetzungrelation stehen' heißt daher nicht interlingual synonym sein. Der Begriff der Synonymie würde voraussetzen, daß alle Inhalte, die beliebige Sprecher von  $L_1$  mit  $a_1$  vermitteln, auch mit  $a_2$  vermittelt werden können. Die beiden Ausdrücke müßten in allen Gebräuchen, die von ihnen regelhaft gemacht werden können, übereinstimmen. Dies ist jedoch im Verhältnis von  $L_1$  und  $L_2$  zumindest immer dann kaum der Fall, wenn  $L_2$  eine formale Kunstsprache ist. Denn  $L_2$  ist in der Regel ärmer als  $L_1$ , da sie ja zu bestimmten Zwecken und für bestimmte Handlungszusammenhänge entworfen ist, etwa zum formalen Schließen o.ä.

Dies gilt in besonderem Maße für Semantiksprachen, die als Repräsentationssprachen in ISen fungieren - etwa im Gegensatz zu rein spracherklärenden Semantiksprachen. Was ein Benutzer des IS mit  $a_1 \in L_1$  ausdrücken will, entspricht einem durch den Handlungszusammenhang des IS vorgegebenen eingeschränkten Gebrauch von  $a_1$ , nicht der Totalität der möglichen Gebräuche, die dieser Sprecher von  $a_1$  machen kann.

Aufgrund des zweiten Abschnittes von (2) wird deutlich, daß die Konstruktion von  $L_2$  und die Festlegung der Übersetzungsrelation auf Hypothesen über die Bedeutung von Ausdrücken von  $L_1$  (NS) beruhen, die durch die semantische Interpretation gemäß (3) expliziert werden. Die semantische Interpretation, die für  $L_2$  angegeben wird, ist natürlich nur für diejenigen strukturellen und lexikalischen Ausdrucksmöglichkeiten von NS als indirekte semantische Beschreibung auffaßbar, für die es in  $L_2$  Übersetzungen im Sinne von (2) gibt. Für solche Ausdrücke, die Übersetzungen in  $L_2$  haben, ist die induzierte semantische Beschreibung keine vollständige Interpretation, sondern eine auf den Übersetzungsbegriff bezogene Interpretation.

Die Verwendung einer Semantiksprache in einem IS setzt bestimmte Bedingungen, die die angestrebte linguistisch-semantische Erklärung beeinträchtigen oder zumindest einschränken können. Solche Einschränkungen betreffen z.T. die skizzierten Auswirkungen des Ökonomieprinzips wie Unterdrückung von Paraphrasen, Vernachlässigung bedeutungsleerer und bedeutungsarmer Lexeme in der semantischsprachlichen Übersetzung.

Zum anderen und wichtigeren Teil schränkt die Bindung des Übersetzungsbegriffs und damit der semantischen Interpretation an einen konkreten Handlungszusammenhang die linguistisch-semantische Erklärungsfunktion ein, zumindest, wenn man es als Aufgabe der Semantik ansieht, 'die Bedeutung' eines Ausdrucks vollständig zu beschreiben. Das IS konstituiert den Handlungszusammenhang 'Informationsgewinnung', innerhalb dessen der Mensch-Maschine-Dialog auf das Eingeben und Abfragen faktischen Wissens, gesicherter 'Wahrheiten' ausgerichtet ist. Die Anzahl der innerhalb dieses 'faktischen Diskurses' möglichen Sprachhandlungen ist gegenüber der Diversität natürlichen Sprachverhaltens verschwindend gering. Es werden lediglich Aussagen gemacht und Fragen gestellt. Für Sprachhandlungen wie Zweifeln, Hinterfragen, Lügen oder auch nur 'Nur-Glauben' anstelle von Behaupten ist kein Anlaß gegeben. Allerdings sind solche Informationssysteme des faktischen Diskurses sicherlich nicht die einzige und die einzig erstrebenswerte Ausprägung natürlichsprachlicher Dialogsysteme. Vorstellbar sind daneben zunächst Dialogsysteme zum Zwecke linguistisch-kommunikativer Forschung, in denen unterschiedliche Dialogformen simuliert werden. Inwieweit anwendungsfähige Informationssysteme variierte Formen der sprachlichen Interaktion sinnvoll integrieren können, muß noch überlegt werden. Aber auch in der bisher erprobten pragmatisch so eingeschränkten Form macht die Computersimulation der sprachlichen Interaktion deutlich, in welcher Weise Sprachhandlungen in größere Handlungskomplexe einbezogen sind: Die genuin sprachliche Teilstrategie Informationsgewinnung kann Teil einer übergreifenden Strategie 'Planentwurf', 'Geschehenssteuerung' o.ä. sein.

### 1.2.2. Die IR-Sprache als Modellbeschreibungssprache

Neben der semantiksprachlichen Funktion, natürlichsprachliche Eingaben in das IS zu interpretieren, sie für die problemlösenden Operationen aufzubereiten bzw. die natürlichsprachliche Ausgabe des Systems vorzubereiten, hat die IR-Sprache die Aufgabe, den Gegenstandsbereich des Systems zu beschreiben, bzw. das 'Wissen'

über die zugrundeliegende Mikrowelt in geeigneter Weise darzustellen.

Beide Aufgaben sind nicht wohl separiert, da ja das Weltmodell über NS-Eingaben und ihre semantiksprachliche Repräsentation aufgebaut werden kann. Das Repräsentationsproblem "Wie wird Weltwissen am geeignetsten strukturiert und durch Zeichen repräsentiert?" tritt jedoch auch in Systemen ohne natürlichsprachlichen Zugang auf, bei denen das Weltwissen intern repräsentiert vor jedem Funktionieren des Systems vorgegeben ist.<sup>4</sup> Insofern ist diese Funktion von der sprachinterpretierenden systematisch zu trennen.

Interne Repräsentationssprachen in der KI werden meist unter dem Modellbeschreibungsaspekt entworfen und diskutiert - daher auch bei der Namensgebung des Bereichs der direkte Bezug auf das Wissen. Im Vordergrund stehen dabei die Probleme der Konstruktion von Modellen für Mikrowelten, die aus konkreten physikalischen Objekten aufgebaut sind, welche sich in bestimmten dynamisch veränderbaren Beziehungen zueinander befinden. Solche klassischen Mikrowelten der KI sind die Blockwelt WINOGRADS, 1972, die mannigfach variiert wurde oder auch die Situationskonstellation des monkey-banana-Problems.<sup>5</sup> Neben diesen konkret-dynamischen Modellwelten, die auch um die Problematik der Darstellung von kontinuierlichen Prozessen<sup>6</sup> erweitert werden können, werden in Informationssystemen außerhalb der KI eher statisch-hierarchische Modelle betrachtet. Sie finden Anwendung, wo es um die Strukturierung eines Wissensbereichs im Sinne einer Klassifikation geht, etwa bei der Thesaurus-Erstellung, bei automatischen Enzyklopädien oder auch bei Datenbanksystemen im organisatorisch-administrativen Bereich.

### 1.2.3. Die IR-Sprache als Grundlage des Schlußsystems

Es wurde bereits festgehalten, daß die IR-Sprache in einem problemlösenden Informationssystem für formale schlußfolgernde Operationen geeignet sein muß. In der KI wurde das Problem des Repräsentierens zum Zwecke des Schließens völlig abgetrennt von den übrigen Repräsentationsaspekten. Es wurde als das Problem des

automatischen Beweisens von Theoremen<sup>7</sup> aufgefaßt, die aus einem möglichst abstrakten Gegenstandsbereich wie der Mathematik oder Logik genommen wurden. Hier wurde selbstverständlich auf die formalen Logiksprachen der Aussagenlogik, der Prädikatenlogik erster Stufe und ansatzweise der Prädikatenlogik zweiter Stufe als Repräsentationssprache zurückgegriffen. Diese Ansätze wurden in den 60-er Jahren zu automatischen Beweissystemen des Resolution-Prinzips ausgebaut.

Kam jedoch als zweite Aufgabenstellung neben dem Deduzieren die Modellbeschreibung hinzu, so war der Rückgriff auf Logiksprachen nicht mehr so selbstverständlich. Einerseits wurde versucht, die Beschreibung dynamischer Modelle in einen modalen Logikkalkül bzw. Situationskalkül<sup>8</sup> zu integrieren, andererseits wurden - etwa seit 1970 - sogenannte "very high level" Programmiersprachen<sup>9</sup> entwickelt, mit denen versucht wird, das Problem des Schließens auf eine kalkülunabhängige Weise zu lösen, indem das in einer entsprechenden Modellbeschreibungssprache formulierte Wissen zur Steuerung des schlußfolgernden Programms, zur Selektion und Ordnung plausibler Inferenzschritte herangezogen wird. Diese Vorgehensweise ist in der Literatur mit den Stichwörtern 'prozedurale Darstellung', 'prozedurale Sprachen' oder 'prozedurale Semantik' verbunden.

#### 1.2.4. Verwendung der IR-Sprache zur Datenbasis-Abfrage

Nach semantiksprachlichen Grundsätzen wird man davon ausgehen, daß einzugebende Informationen, also Aussagen, in der gleichen internen Form repräsentiert werden wie Fragen, da beide Sprechakte auf die gleichen propositionalen Gehalte Bezug nehmen. Die IR-Sprache sollte demgemäß Fragen und Aussagen lediglich durch unterschiedliche Sprechaktindikatoren unterscheiden, während die Darstellung von Propositionen oder Satzkernen in Aussagen sich nicht von der Darstellung von Propositionen, die in Fragen enthalten sind, unterscheidet.

Diese grundsätzliche Identität von - technisch gesprochen - Ab-



speicherungs- und Abfragesprache ist in der Praxis der Konstruktion von Datenbanksystemen außerhalb der KI nicht gewährleistet. So werden etwa nach dem CODDSchen Relationenmodell Informationen in einer einfachen relationalen Sprache, deren Einheiten das sogenannte Relationenmodell konstituieren, abgespeichert, während für die Datenabfrage verschiedene Abfragesprachen wie ALPHA, SQUARE<sup>10</sup> hinzudefiniert sind.

Der Versuch, die vier Funktionen einer IR-Sprache in Informationssystemen gegeneinander abzugrenzen, hat wohl deutlich gemacht, daß die linguistisch orientierte semantiksprachliche Funktion durchaus nicht im Vordergrund stehen muß. In der KI spielte und spielt die Modell-Beschreibung und -Handhabung die führende Rolle. Sprachinterpretation ist, z.B. bei WINOGRAD dieser Rolle untergeordnet und stark in sie eingepaßt. Von daher ist auch die bei WINOGRAD, 1972 programmatisch formulierte Benutzung des Weltwissens auf allen Stufen der Sprachanalyse und die nur lasche Unterscheidung von Wissen über die Bedeutung der Wörter und Wissen über das Funktionieren der Blockwelt motiviert.<sup>11</sup>

### 1.3. Typen von Repräsentationssprachen in der KI

#### 1.3.1. Deskriptive vs. prozedurale Semantik

In der KI werden gewöhnlich zwei Typen von Repräsentationssprachen unterschieden: deskriptive und prozedurale Sprachen. Deskriptive Sprachen beschreiben die zugrundeliegende Mikrowelt in Form von deklarativen Sätzen; prozedurale Sprachen geben in Form von Anweisungen an, wie die zugrundeliegende Mikrowelt sich zu verhalten hat, bzw. wie mit ihr umzugehen ist. So kann das Wissen über die Situation des Affen-Bananen-Problems - stark vereinfacht - deklarativ wie folgt dargestellt werden:

- (A) Situationspezifisches Wissen: Ein Affe befindet sich in einem Raum. In einiger Höhe hängt/liegt eine Banane. In dem Raum befindet sich eine Kiste. Die Kiste hat eine solche Höhe, daß der Affe auf ihr stehend die Banane erreichen kann.

- (B) Allgemeinwissen: Affen können sich bewegen. Affen können bewegliche Gegenstände bis zu einem gewissen Gewicht befördern. Affen können klettern usw.
- (C) Folgerungen aus (A) und (B): Der Affe kann die Kiste unter die Banane tragen. Der Affe kann auf die Kiste steigen. Der Affe kann die Banane von der Kiste aus erreichen.

Die entsprechende prozedurale Darstellung setzt das Wissen über mögliche Handlungskonstellationen in Anweisungen zu zielgerichtetem Handeln um:

Du willst die Banane erreichen, die da oben hängt.  
 Kannst du dich bewegen, speziell auch klettern?  
 Wenn ja, kannst du bewegliche Gegenstände befördern?  
 Wenn ja, stelle fest, ob sich in dem Raum, in dem du bist, ein beweglicher Gegenstand befindet?  
 Du hast eine Kiste als einen solchen Gegenstand ausgemacht.  
 Trage sie unter die Banane!  
 Klettere auf die Kiste!  
 Strecke deinen Arm aus!  
 Kannst du die Banane erreichen?  
 Wenn ja, okay.

Übersetzt in das Vokabular einer prozeduralen Sprache entsprechen diesen umgangssprachlichen Handlungsweisungen sogenannte "Theoreme",<sup>12</sup> die jeweils eine Zielsituation mit den sie sukzessive ermöglichenden Vorgängersituationen verknüpfen. Ein Beispiel für ein Theorem, das einen Ausschnitt des monkey-banana-Problems etwa in Anlehnung an die PLANNER-Theorem-Formulierung WINOGRADS beschreibt, wäre:

```
(DEFTHEOREM TC-GRASP
  (THCONSE (X Y Z) (# GRASP $?X)
    (THGOAL (# HANGING $?X $?Y))
    (THGOAL (# MOVE $?Z (UNDER $?X)) (THUSE TC-MOVE))
    (THGOAL (# CLIMB $?Z) (THUSE TC-CLIMB))
    (THGOAL (# MOVEHAND $?X) (THUSE TC-MOVEHAND))
    (THASSERT (# GRASPING $?X))))
```

Dieses Theorem legt fest, daß ein Gegenstand X ergriffen ist ( $\# \text{ GRASP } \#?X$ ), wenn folgende Teilziele erfüllt sind: Es muß verifiziert sein, daß X an einer Stelle Y hängt ( $\# \text{ HANGING } \#?X \#?Y$ ). Das nächste Teilziel ist, daß ein Gegenstand Z an eine Stelle unterhalb von X bewegt wird; dabei gilt für die Verwirklichung des Teilziels ( $\text{THGOAL } (\# \text{ MOVE } \#?Z \text{ (UNDER } \#?X))$ ) wiederum, daß gewisse Bedingungen erfüllt sein bzw. bestimmte Aktionen ausgeführt werden müssen. Die Verifikation dieser Bedingungen bzw. die Durchführung dieser Aktionen wird durch den Aufruf des Theorems (TC-MOVE) initiiert. Die gleiche Struktur gilt für die folgenden Teilziele 'auf Z steigen' ( $\# \text{ CLIMB } \#?Z$ ) und 'die Hand zu X bewegen' ( $\# \text{ MOVEHAND } \#?X$ ). Sind alle Teilziele erfüllt, so kann die Zielsituation 'X ergreifen' behauptet werden: ( $\text{THASSERT } (\# \text{ GRASPING } \#?X)$ ). Solche Theoreme sind - verglichen mit Logiksprachen - nicht-logische Axiome über Fakten der Mikrowelt, die jedoch nicht aufgrund ihrer syntaktischen Struktur deduktiv verwendet werden, sondern Programme konstituieren, die durch den Interpretier der very-high-level-Programmiersprache interpretiert werden.

Mit der prozeduralen Darstellung handelt man sich auch Probleme ein. So wirkt die prozedurale Darstellung von "Fakten", d.h. wahren Aussagen, gezwungen. Sie müssen als Anweisung, den Satzgehalt als wahr zu betrachten, interpretiert werden.

Am angemessensten erscheint prozedurale Interpretation im Zusammenhang des Nachdenkens über oder Nachspielens von Handlungen oder Prozessen, also der klassischen KI-Konstellation von Ausgangssituation, Zielsituation und der Möglichkeit zielgerichteter Aktionen bzw. der Möglichkeit zur zielgerichteten Initiation von Prozessen. Während in einer deskriptiven Darstellung, wie bereits angedeutet, die Objekte und Relationen der Problemstellung im Prädikatenkalkül oder Situationenkalkül beschrieben werden, wobei nach den üblichen Schlußregeln deduziert wird, und im günstigsten Fall die Beschreibung der Zielsituation nach endlich vielen Deduktionsschritten mithilfe zusätzlicher Axiome aus der Beschreibung der Ausgangssituation ableitbar ist, werden bei prozeduraler Behandlung durch die Anwendung bestimmter "Prozeduren", "Theoreme", "Methoden", "Aktors" - oder wie diese Art von Programmen heißen mögen - sukzessive Transformationen des ursprünglichen Modells

herbeigeführt, die im günstigsten Fall in der Herbeiführung des Zielzustandes enden.

Transformationen sind schlußfolgernde Operationen in einem dynamischen Modell; sie entsprechen daher Ableitungen in einem Situationskalkül. Das Prinzip ist auch auf nicht-dynamische Modelle übertragbar und somit auf Deduktionen im Sinne der klassischen Prädikatenlogik.

Der Schluß

Alle Menschen sind fehlbar.  
Turing ist ein Mensch.  
Also ist Turing fehlbar.

konstituiert ebenfalls eine Handlungsanweisung:

Wenn du verifizieren willst, daß Turing fehlbar  
ist, so verifiziere, daß er ein Mensch ist.

und somit, ersetzt man 'Turing' durch eine entsprechende Variable, ein PLANNER-Theorem:

$$(THCONSE (X) (FALLIBLE \#?X) \\ (THGOAL (HUMAN \#?X))).$$

Hier wird besonders deutlich, daß das prozedurale Theorem Schlußregeln - unter anderem modus ponens - und das nicht-logische Axiom über den Zusammenhang zwischen Menschsein und Fehlbarkeit integriert.

Auf diese Weise sind Transformations- oder Inferenzschritte, die Ableitungen in der deskriptiven Darstellung ersetzen, besonders eng an das Weltwissen geknüpft. Daraus resultiert, daß das Inferenzverfahren selektiv ist: "World knowledge" steuert die problemlösenden Operationen. Darin sehen ihre Verfechter den Hauptvorteil prozeduraler Sprachen, denn nur so könne wirksam der "kombinatorischen Explosion" rein syntaktischer Verfahren begegnet werden.

Das wesentliche Problem, das durch das prozedurale Konzept aufgeworfen wird, ist das seiner semantischen Explikation und damit zusammenhängend des Nachweises, ob und inwiefern prozedurale Darstellung bestimmten nicht-prozeduralen Repräsentationsformen

vergleichbar oder überlegen ist. Hier scheinen die Meinungen der Verfechter beider Vorgehensweisen dahinzugehen, daß kein grundsätzlicher Deskriptivitätsunterschied vorliegt. Dies gilt dann, wenn man, wie HAYES<sup>13</sup> vorschlägt, die modelltheoretische semantische Interpretation von Sprachausschnitten in beiden Formalismen einem Vergleich zugrundelegt.

Allerdings ist die Zuordnung von syntaktischer Form und Bedeutung durch eine Interpretationsfunktion für prozedurale Formalismen keineswegs noch so geklärt wie für deskriptive, auf logischer Notation beruhende. Vielmehr wird diese Zuordnung oft erst aufgrund von Übersetzungen in logiksprachliche Ausdrücke rekonstruierbar.

Allerdings war mit der Idee der prozeduralen Repräsentation nicht nur der Wunsch nach inferentieller oder prozeßhafter Modellbeschreibung verbunden, sondern es sollten gleichzeitig auch Strategien für die Funktionsweise des auf die prozedurale Sprache anzuwendenden Interpreters ausdrückbar sein.

HAYES klärt dieses doppelte und in prozeduralen Sprachen nicht immer geglückt realisierte Anliegen als das Bestreben zwei verschiedene "domains" zu repräsentieren, den eigentlichen "domain of discourse", die Mikrowelt, und den Bereich des Systemverhaltens. Beide Bereiche können selbstverständlich in derselben Sprache beschrieben werden, auch und vor allem in Sprachen auf der notationellen Basis der Prädikatenlogik.<sup>14</sup>

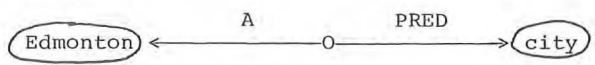
Die Prozedur, somit eine spezielle Art des Computerprogramms, kommt der Neigung der Computerwissenschaft, Wissen in Berechnungsvorschriften, in Algorithmen einzubetten, entgegen. Darüberhinaus glaubt der mentalistisch orientierte Zweig der KI, im Begriff der Prozedur einen Schlüsselbegriff für die erstrebte Angleichung intelligenter Systeme an die Denk- und Verstehens-"prozesse" des menschlichen Gehirns zu finden. Die kontroversen Ansätze deskriptiver und prozeduraler Repräsentation stehen jedoch auch, wie WINOGRAD feststellt, für die "artificial intelligence incarnation of the old philosophical distinction between 'knowing that' and 'knowing how'".<sup>15</sup> 'Knowing how' bezogen auf semantische Analyse erinnert an WITTGENSTEINS Auffassung von der Bedeutung als Re-

gel des Gebrauchs, ebenso wie die Blockwelt WINOGRADs den Gedanken an manches der Sprachspiele WITTGENSTEINS nahelegt.

Es kann allerdings nicht angenommen werden, daß mit der globalen Anwendung des Prinzips der prozeduralen Interpretation die Probleme 'was ist die Bedeutung dieses Wortes?' oder 'was sind Bedeutungen?' gelöst werden, ebensowenig wie diese Vorgehensweise der differenzierten und eindringenden Analyse WITTGENSTEINS gerecht wird.<sup>16</sup>

### 1.3.2. Netzwerkdarstellung und Darstellung durch Formelsprachen

Wohl eine Ebene unterhalb der Unterscheidung von deskriptivem und prozeduralem Ansatz ist eine weitere Distinktion einzuordnen: die zwischen Netzwerkdarstellung und Darstellung durch Formelsprachen. Zunächst handelt es sich hier um einen Notationsunterschied. Die Netzwerkdarstellung beruht auf graphentheoretischen Begriffen: Ein semantisches Netz ist ein gerichteter Graph, d.h. eine Menge von Knoten und Kanten, wobei eine Kante jeweils zwei Knoten miteinander verbindet. Ein Netz ist dann, wie das folgende einfache Beispiel SCHUBERTS<sup>17</sup> zeigt, nur eine andere - zweidimensionale - Darstellung für eine Menge von geordneten Paaren:



Berücksichtigen wir, daß 'O' den "propositional node" (pn) repräsentiert, so schreiben wir zunächst in geordneter Paar-Schreibweise:

- (pn, Edmonton)
- (pn, city)

Da die Kanten etikettiert sind, erschöpft die geordnete Paar-Schreibweise jedoch nicht den Informationsgehalt des Netzes. Nehmen wir das Etikett als Relationsnamen für die jeweils zwischen den Elementen des Pairs geltende Relation, so ergibt sich in gewöhnlicher prädikatenlogischer Syntax:

- A(pn, Edmonton)
- PRED(pn, city).

Diese Rückführung auf prädikatenlogische Syntax zeigt jedoch, daß die konkrete Einsetzung von Knoten- (= Argument-) und Relations- (= Kanten-) Namen und damit die intendierte semantische Interpretation nicht im Einklang ist mit den Konventionen eines üblichen interpretierten Kalküls erster Stufe. Diejenigen Zeichen, die - der gewöhnlichen Interpretation nach - die Eigenschaften von Objekten der zu beschreibenden Welt oder Relationen zwischen ihnen bezeichnen, tauchen nicht als Relationsnamen auf, sondern (hier: city) als Argumentnamen, während die Relationsnamen - in diesem Beispiel - arbiträre Zeichen sind.

Diese Eigentümlichkeit geht zurück auf den zentralen Begriff des Konzept-Knotens, in dem bereits die Unterschiede zwischen Individuum und Menge bzw. Prädikat virtuell aufgehoben sind, da es sowohl Individuenkonzepte als auch Prädikats- und Mengenkonzepte gibt, so daß jeweils zusätzliche Beziehungen zwischen z.B. Individuenkonzepten (Edmonton) und Prädikatkonzepten (city) geschaffen werden müssen, will man sie durch eine etikettierte Kante verbinden.

Diese Technik bietet einer rein formalen semantischen Interpretation möglicherweise wenig Schwierigkeiten, wenn man von den Konzepten als den Individuen des Modells ausgeht. In der Verwendung als Semantiksprache kann man jedoch auf Schwierigkeiten stoßen, da viele semantische Funktionen gerade auf der Unterscheidung von Individuen- und Prädikatsausdrücken und ähnlichen Typunterscheidungen beruhen. Die Differenzierung zwischen Allgemeinbegriffen ("universal concepts") wie 'Stuhl' und den aus ihnen bildbaren Individuenbegriffen wie 'der bestimmte Stuhl 1' kommt dann noch durch die unterschiedliche Benennung von Knoten mit einerseits 'Stuhl' andererseits 'Stuhl 1', 'Stuhl 2' usw. wieder herein, ohne daß die Zusammenhänge zwischen Allgemeinbegriff und zugehörigem Individuenbegriff, die in der natürlichen Sprache syntaktisch wohldeterminiert und durch entsprechende semantische Regeln interpretiert sind, in dieser Notation ersichtlich würden.

Auch die Etikettierung der Kanten mit bedeutungsleeren labels wie A, B und C in den Beispielen SCHUBERTs wirkt bei der sprachinterpretierenden Anwendung von Netzwerksprachen störend. Ihre Erset-

zung durch potentiell bedeutungsvolle Etiketten wie Agens, Rezipiens, Objekt führt zu einer tiefenkasus-orientierten Variante des semantischen Netzes, die durch SCHANK und seine Mitarbeiter, BRUCE, SIMMONS u.a. im Bereich der KI vertreten ist. Die auf FILLMORE zurückgehende Repräsentation des einfachen Satzes auf der Basis von Kasusrahmen der Prädikatsverben wird in der KI durch die Auffassung von Kasusrahmen-Strukturen als konzeptuelle Strukturen in höherem Maße als in der entsprechenden linguistischen Literatur mentalistisch gefärbt. Dabei macht SCHANK mit der Setzung von nur wenigen primitiven Akten oder Aktionen, um die entsprechend Kasusrahmen Aktanten arrangiert sind, recht starke Hypothesen über für alle Sprachteilhaber gleichartige "Konzeptualisierungen" von Handlungen und Sprachhandlungen, denn durch diese wenigen "primitive acts" soll ein wesentlicher Teil menschlicher Weltfassung abgedeckt sein.

SCHUBERT unternimmt neben anderen<sup>18</sup> den Versuch, die primitive Form des semantischen Netzes, in dem mehrere Konzeptknoten durch etikettierte Kanten verbunden sind, so zu erweitern, daß die Ausdrucksmöglichkeiten der Prädikatenlogik erster Stufe erreicht werden. Zu diesem Zweck müssen Notationsweisen für Junktoren, Quantoren und Variablen eingeführt werden. Dieser Versuch zeigt noch deutlicher als die Repräsentation im einfachen Netz, daß es lediglich um die graphische Umsetzung bereits festgelegter syntaktischer Ausdrucksmöglichkeiten geht.

So erörtert SCHUBERT z.B. die graphische Verdeutlichung von Bezüglichkeiten, für die es in der linearen Schreibweise feste Konventionen gibt, wie die Anwendung von Junktoren auf die Gesamtproposition - sprich den Propositionalknoten - und die Repräsentierbarkeit von quantifizierten Variablen durch spezielle Knotenarten.<sup>19</sup> Dabei bedarf im besonderen die Umsetzung der in der prädikatenlogischen Schreibweise durch die lineare Ordnung ausgedrückten Skopusverhältnisse in die zweidimensionale Darstellung besonderer Überlegung.

Der Vorteil von Netzwerksprachen, die, wie gezeigt wurde, im wesentlichen als notationelle Varianten bestehender Repräsentationsformen angesehen werden können, soll darin liegen, daß durch die



intendierte - allerdings nicht immer eingehaltene - eindeutige Entsprechung zwischen nur e i n m a l repräsentiertem Knoten und Konzept, also zwischen Zeichen und Bedeutung bzw. Repräsentationseinheiten und Wissenskomplexen, ein strukturiertes Modell "analogischen" Charakters<sup>20</sup> entsteht. Diese analogische Organisation entspricht den Vorstellungen über optimale Datenstrukturen, wo alle Informationen zu einem "entry" zu einer "unique computer storage location"<sup>21</sup> gruppiert werden.

Daher werden Netzwerkdarstellungen als für die Zwecke des information retrieval besonders geeignet erachtet: Es ist jeweils nur notwendig, den Kanten zu folgen, die Knoten mit ihren Nachbarknoten zu verbinden, um relevante konzeptbezogene Informationen aufzufinden. Die netzwerkmanipulierenden Prozeduren haben genau diese Funktion.

Dieser Strukturgesichtspunkt kann jedoch auch statt im technischen in einem mentalistischen Sinne interpretiert werden, ähnlich wie dies beim prozeduralen Ansatz der Fall ist. Dann werden semantische Netze als memory-Modelle bezeichnet und als Analoga des menschlichen Gedächtnisses aufgefaßt.<sup>22</sup>

Wie eingangs angemerkt, liegt die Differenzierung Netzwerksprache versus Formelsprache eine Ebene unterhalb der Distinktion deskriptiv - prozedural. Prinzipiell ist daher letztere Differenzierung auf Netzwerkrepräsentationen anwendbar: Werden Netze prozedural interpretiert, so werden mit den primitiven Knoten des Netzes jeweils Inferenz-Prozeduren assoziiert. Wird im Sinne deklarativer Repräsentation auch Regelwissen im Netz dargestellt, so kommt dem Netzwerkinterpretier die Funktion eines Deduktionsmechanismus nach Theorembeweiser-Art zu. Die Anpassung von für die Syntax von Formelsprachen definierten Schlußregeln an das Zeichensystem von Netzwerksprachen - bzw. ihre notwendige Linearisierung in den Datenstrukturen des Computersystems - beruht allerdings auf einer vollständigen Reduzierbarkeit der Netzwerksprache auf den Prädikatenkalkül erster Stufe, was seinerseits die Wahl der speziellen Notationsweise fragwürdig macht.

## 2. Konkretisierung: Die IR-Sprache KS

### 2.1. Charakterisierung von KS

Die interne Repräsentationssprache, wie sie im Rahmen der Arbeiten an PLIDIS entwickelt wurde, die sogenannte 'Konstruktssprache' (KS) ist eine deskriptive Formelsprache, die sich am Prädikatenkalkül erster Stufe (PK) orientiert und gewisse Erweiterungen gegenüber PK aufweist. Sie hat in einem IS, speziell PLIDIS, genau die beschriebenen Funktionen der semantiksprachlichen Interpretation eines Ausschnitts einer natürlichen Sprache und der Modellbeschreibung; sie dient als Abspeicherungs- und Abfragesprache und ist sprachliche Basis des Problemlösers.

Primär waren jedoch die Gesichtspunkte der Interpretation natürlichsprachlicher Äußerungen und des Geeignetseins zum formalen Problemlösen. Die zu konstruierende IR-Sprache sollte daher der natürlichen Sprache, konkret dem Deutschen, möglichst "nahe" sein und möglichst nicht so stark vom PK abweichen, daß Theorembeweise nach dem Vorbild des PK unmöglich würden. Der Begriff der Nähe zu NS ist dabei so zu verstehen, daß

- a) der Übersetzungsbegriff im oben beschriebenen Sinne für das Verhältnis eines Ausschnitts von NS zu KS erfüllt ist;
- b) eine weitgehende Übereinstimmung in den Strukturprinzipien von NS und KS - im betrachteten Ausschnitt - vorliegt.

Anforderung b) ist sowohl von praktischem Interesse für die Definition einer effizienten Übersetzungsgrammatik als auch von theoretischer Bedeutung, wenn KS als Semantiksprache für NS, bzw. einen Ausschnitt einer NS fungieren soll.

Dabei setzt die grundsätzliche Entscheidung für eine Orientierung an PK einer Strukturentsprechung im Sinne von Oberflächennähe in folgenden Punkten Grenzen: Wortartunterscheidungen zwischen Adjektiven, Nomina und Verben werden nicht gemacht.<sup>23</sup> Ihnen entsprechen wie in PK in KS Prädikatsausdrücke. Ebenso steht die Beachtung des Ökonomieprinzips der Oberflächennähe von KS entgegen: Semantisch leere oder vermeidbare - d.h. in ihrer semantischen Funktion auf andere Weise erfaßbare - Ausdrücke der natürlichen

Sprache werden in KS nicht repräsentiert. Es werden daher Kasus- und Verbalendungsmorpheme unterdrückt, ebenso nicht-kommutierbare Präpositionen. KS befindet sich damit im Gegensatz zu rein erklärenden formalen Semantiksprachen, wie etwa den kategorialen Sprachen MONTAGUES oder CRESSWELLS, wo zumindest tendenziell für jeden Ausdruck eines gewählten NS-Ausschnitts eine semantiksprachliche Entsprechung definiert ist. Der Ausschnitt des Deutschen, für den KS als Semantiksprache angesehen werden kann, ist unter zwei völlig unterschiedlichen Gesichtspunkten auszugrenzen, nämlich nach

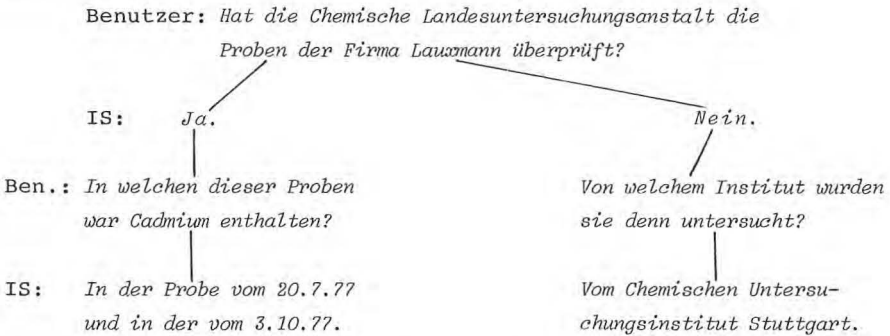
- dem Umfang des per Übersetzungslexikon als Entsprechung von deutschen Vokabular festzulegenden KS-Vokabulars;
- den strukturellen Ausdrucksmöglichkeiten.

Die Festlegung des KS-Vokabulars ist abhängig von der darzustellenden Mikrowelt und dem, meist fachsprachlichen, Vokabular, mit dem über die Mikrowelt geredet wird. Die bereichsabhängigen Vokabularfestlegungen für KS konstituieren jeweils eine 'KS-Einzelsprache'. Ein Beispiel für eine KS-Einzelsprache ist 'KS-Abwasserüberwachung'. Eine KS-Einzelsprache läßt semantiksprachliche Interpretation für genau den natürlichsprachlichen Ausschnitt zu, mit dem Informationen über den gewählten Weltausschnitt formuliert werden. Dieser im Beispielfall 'Abwasserüberwachung' zum Teil fachsprachliche Sprachausschnitt enthält jedoch immer einen starken Anteil Allgemeinwortschatz, für den in der KS-Einzelsprache ebenfalls Entsprechungen definiert sein müssen.

Die strukturellen Ausdrucksmöglichkeiten der IR-Sprache werden durch diejenige Untermenge von Sprachhandlungstypen, die in einem IS bestimmter Qualität vollziehbar sein müssen, systematisch determiniert. Auf diese Weise ergibt sich eine funktionale Bestimmung für den Grad der Nähe zu NS. Es handelt sich dabei im Falle von PLIDIS-KS um die Sprachhandlungstypen Frage und Antwort in einem faktischen Diskurs (wie in Abschnitt 1.2.1. eingeführt). Innerhalb dieser unabhängigen Sprachhandlungen muß insbesondere die Sprechhandlung 'Referenz' in vollem Umfang der natürlichsprachlichen Möglichkeiten in der Interaktion mit dem IS vollziehbar sein. Denn in der Kommunikation mit einem IS ist die Nennung

oder exakte Kennzeichnung und die spätere Bezugnahme auf Entitäten unterschiedlicher Art besonders wichtiger Bestandteil der Interaktion. In der IR-Sprache sind daher Ausdrucksmittel, mit denen diese Sprechakte, insbesondere der der Referenz auf verschiedene Arten von Entitäten, vollziehbar sind, bereitzustellen.

Eng damit verknüpft ist die Notwendigkeit, in IR die Existenzpräsuppositionen des natürlichsprachlichen faktischen Diskurses zu erhalten. Solche Präsuppositionen sind nämlich an die Sprechakte der Referenz mithilfe von definiten Nominalphrasen in Frage-Antwort-Dialogen geknüpft. Als Beispiel diene die folgende alternative Entwicklung eines simplen Dialogs aus dem PLIDIS-Anwendungsbereich:



In beiden Dialogalternativen wird vorausgesetzt, daß es Proben bei Lauxmann gibt, d.h. daß es Entitäten gibt, von denen gilt, daß sie bei einem Betrieb der Firma Lauxmann als Proben entnommen wurden.

Der Dialog bestätigt diese in der ersten Äußerung des Benutzers eingegangene Präsupposition im bejahenden und im verneinenden Verlauf: Denn auch die verneinende Antwort des IS negiert nur das mit der Frage als möglich aufgeworfene Faktum, daß die Chemische Landesuntersuchungsanstalt die Untersuchungen vornahm, nicht die Existenz von Proben bei Lauxmann. Gäbe es solche Proben nicht, bzw. wäre über sie im IS nichts bekannt, d.h. also gäbe es solche Proben nicht in der Welt des IS,<sup>24</sup> so müßte die erste Reaktion weder *ja* noch *nein* lauten, sondern:

*Es gibt ja keine solchen Proben.*

bzw.

*Über die Existenz solcher Proben ist dem IS ja nichts bekannt.*

Nun ist es mit den Mitteln des klassischen Prädikatenkalküls nicht möglich, Existenzpräsuppositionen auszudrücken: Ausdrücke, mit denen Sprecher von NS solche Präsuppositionen verbinden - definite Nominalphrasen -, werden im reinen Prädikatenkalkül auf Existenz *a u s s a g e n* zurückgeführt. Eine solche Rückführung ist kommunikativ unangemessen: Sie würde z.B. im obigen Dialog zur Antwort *nein* führen, wenn es keine Proben bei Lauxmann gibt.

Die Konstruktsprache weicht daher in der Behandlung referentieller Ausdrücke von PK ab. Sie versucht den natürlichsprachlichen Möglichkeiten durch einen ausgebauten Termbildungsmechanismus nachzukommen. In ihm soll die Bildung von Übersetzungsäquivalenten für definite und indefinite NP im Singular und Plural ermöglicht werden. Ebenfalls müssen Entsprechungen für kennzeichnende Ausdrücke, die natürlichsprachliche Relativsätze oder attributive Adjektive enthalten, definierbar sein.

Das Prinzip bei der Festlegung und Differenzierung von Termen ist selbstverständlich jedoch nicht an der NS-Ausdrucksseite orientiert, sondern an ihrer logisch-semanticen Qualität: KS differenziert zwischen Individuentermen, Bezeichnungen für Elemente von Mengen, Bezeichnungen für Mengen. Auf der natürlichsprachlichen Seite fungieren singularische Nominalphrasen als Bezeichnungen für Individuen, wobei allerdings dieser ausdrucksseitigen Kategorie auch andere Funktionen (generischer Gebrauch des definiten Artikels usw.) zukommen. Pluralische Nominalphrasen bezeichnen gewöhnlich Elemente von Mengen, nicht Mengen im logischen Sinn einer gegenüber Individuenausdrücken höhertypisierten Einheit. Nur in wenigen Kontexten, z.B. in Konkurrenz mit Ausdrücken wie *in der Mehrheit sein, in der Minderheit sein, weniger werden* bezeichnen pluralische NP echte Mengen. Beispiele sind:

*Die Männer waren gegenüber den Frauen in der Minderheit.*

*Schornsteinfeger werden immer weniger.*

In der folgenden Beschreibung wird die Behandlung der höherstufigen Entität Menge ausgeklammert. Dagegen werden Bezeichnungen für die Elemente einer Menge als nicht-höherstufige Zusammenfassungen von Individuen, die wir 'Listen' nennen, behandelt. Den Ausdruck *die Kinder* im folgenden Beispielsatz fassen wir als Bezeichnung für eine solche Liste auf, die in diesem Falle die Zusammenfassung derjenigen Individuen ist, von denen gilt, daß sie Kinder von Hans sind:

*Die Kinder von Hans spielten im Garten.*

Dieser Satz macht keine Aussage über die Menge 'die Kinder von Hans', sondern über die Elemente dieser Menge.

Das semantiksprachliche Interesse an der adäquaten Repräsentation von referierenden Phrasen trifft sich mit der Notwendigkeit, bei der Datenbasisabfrage auf Mengen von Objekten zuzugreifen und mengentheoretische Operationen zu initiieren: Im Falle einer natürlichsprachlichen Abfrage ist ein Ausdruck wie

*Welche Proben wurden bei der Firma Meier und bei der Firma Kraus im Jahre 1977 entnommen?*

als Aufforderung, die Vereinigungsmenge der Menge der Proben der Firma Meier im Jahre 1977 und der Menge der Proben der Firma Kraus im Jahre 1977 zu bilden, aufzufassen. Die NS-Ausdrücke *welche* und *und* sind als Indikatoren für die auszuführenden Mengenoperationen zu betrachten. In KS dient ein Term, der die Elemente der entsprechenden Menge bezeichnet, als Entsprechung des NS-Ausdrucks. Er wird bei der Abfrage vom Termitterpreter im Sinne der Ermittlung der jeweiligen Menge aus der Datenbasis interpretiert (vgl. BERRY-ROGGHE/DILGER in diesem Band).

## 2.2. Syntaktische Beschreibung von KS

Die folgende Skizze der Syntax von KS wird ergänzt durch informelle Bedeutungserklärungen für Terme, da diese Ausdrücke aufgrund der Semantik des PK nicht vollständig erklärt sind. Es wird die

Syntax von KS - P r o p o s i t i o n e n beschrieben, pragmatische Operatoren sind nicht aufgeführt.

### 2.2.1. Sorten

In KS wird das natürlichsprachliche Prinzip der Regelung von Koinzidenzen zwischen Teilausdrücken durch semantische Selektionsbeschränkungen übernommen, und zwar in der auf der logischen Ebene entsprechenden Form des sortierten Kalküls.

Auf der semantischen Ebene bedeutet das: Ebenso wie Selektionsrestriktionen der natürlichen Sprache eine aufgrund der Kommunikation in dieser Sprache und für die Kommunikation mit dieser Sprache gültige Strukturierung des zugrundeliegenden Weltmodells angeben, setzen KS-Aussagen einen strukturierten Individuenbereich voraus, in dem Individuen in Sorten klassifiziert sind. Die Sorten bilden eine gerichtete Menge bezüglich der Mengeneinklusion.

Die Festlegung konkreter Sorten wird im Rahmen von PLIDIS vom jeweiligen Weltmodell abhängig gemacht und daher im Rahmen von KS-einzelsprachlichen Festlegungen abgehandelt.

Die Sortenfestlegung für die KS-Einzelsprache 'Abwasserüberwachung' wird im Beitrag von BERRY-ROGGHE et al. in diesem Band angegeben. Damit wird für den gegenwärtigen Stand darauf verzichtet, - den Zusammenhang zwischen ausgangssprachlichen semantischen Restriktionen und bereichsorientierten Klassifizierungen in KS-Sorten exakt zu klären; - die Grenzen bzw. Überschneidungen zwischen fachsprachlicher und gemeinsprachlicher Sortenstruktur zu definieren.

Für die Syntax von KS resultiert aus der Sortiertheit des Individuenbereichs, daß Individuensymbole sortierte Symbole sein müssen und für jedes n-stellige Prädikatsymbol das n-Tupel seiner Argumentsorten definiert sein muß. Es ist daher eine Menge von Sortensymbolen gegeben, auf der eine Halbordnung (in Zeichen  $\leq$ ) definiert ist, die als Mengeneinklusion zwischen Sorten interpretiert wird. Da in diesem Zusammenhang auf die Festlegung konkreter Sorten verzichtet wurde, sind die Sortensymbole abstrakter Natur.

Die Menge  $S$  der Sortensymbole sei

$$S = \{s_i \mid i \in \mathbb{N}\}.$$

Zu der Funktion, Selektionsbeschränkungen der natürlichen Sprache wiederzugeben, kommt hinzu, daß die Sortiertheit der Sprache Vorteile für die Verarbeitung in einem IS mit sich bringt: Der Überführungsalgorithmus von PLIDIS benutzt die Sorten zur Selektion geeigneter Übersetzungsentsprechungen; der Problemlöser benutzt die Sorten zur Einschränkung des Suchraums, da bei Vorgabe sortierter Terme sowohl beim Termitterpreter als auch beim Theorembeweiser der Individuenbereich, der mögliche Belegungen des gesuchten Terms liefert, auf die Sorte, die dem jeweiligen sortierten Term entspricht, eingeschränkt wird.<sup>25</sup>

In der vorliegenden Definition von KS werden alle Terme so aufgefaßt, daß ihnen als semantische Interpretationen Elemente des sortierten Individuenbereichs zugeordnet werden. Es wird nicht berücksichtigt, daß es möglicherweise auch für eine IR-Sprache notwendig ist, neben der Extension von Ausdrücken ihre Intension zu berücksichtigen, ebensowenig wie daß es eventuell auch bezeichnende Ausdrücke für Entitäten höheren Typs, also Eigenschaften, "relations-in-intension" usw. geben muß.

### 2.2.2. Wohlgeformtheitsbedingungen für Formeln

In KS wird eine Unterscheidung zwischen Operationssymbolen und gewöhnlichen Relationssymbolen gemacht, wobei Operationen wie üblich als mehrdeutige, d.h. an der letzten Stelle eindeutige Relationen aufgefaßt werden. Diese Distinktion wird für die Bildung von Formeln nicht relevant, da hier beide Symbolarten nur in ihrer Funktion als Prädikatssymbole verwendet werden. Sie spielt nur bei der Bildung von Termen eine Rolle.

/1/ Operationssymbole und Relationssymbole von KS sind Prädikatssymbole von KS.

/2/ Wenn  $P$  ein  $n$ -stelliges Prädikatssymbol ist,



$$\langle s_{i_1}, \dots, s_{i_n} \rangle$$

das Argumentsortentupel von  $P$  und

$$t_1^{s_{i_1}}, \dots, t_n^{s_{i_n}}$$

Terme jeweils der Sorten  $s_{i_1}, \dots, s_{i_n}$  sind, dann ist

$$(P \ t_1^{s_{i_1}} \ \dots \ t_n^{s_{i_n}})$$

eine atomare Formel von KS.

Beispiel:

$P =$  KOLLEGE Argumentsortentupel:  $\langle \text{natper}, \text{natper} \rangle$

Es seien HANS und FRANZ Terme der Sorte natper, dann ist

$$(KOLLEGE \ HANS \ FRANZ)$$
$$'Franz \ ist \ Kollege \ von \ Hans'$$

eine atomare Formel von KS.

Kommentar:

Zur Wiedergabe von Verbalsätzen in NS, die Aussagen über zeitlich festgelegte Handlungen, Zustände oder Vorgänge machen, dienen in KS Aussagen, die aus Prädikaten, speziell Operationssymbolen mit folgendem Argumentsortentupel gebildet werden:

$$\langle s_{i_1}, \dots, s_{i_{n-2}}, \text{int}, \text{sit} \rangle \quad \text{bzw.}$$
$$\langle s_{i_1}, \dots, s_{i_{n-2}}, \text{int}, \text{akt} \rangle \quad \text{bzw.}$$
$$\langle s_{i_1}, \dots, s_{i_{n-2}}, \text{int}, \text{zus} \rangle \quad \text{usw.}$$

wo das Sortensymbol int die Sorte 'Zeitintervall' bezeichnet und die Sortensymbole akt ('Aktion') und zus ('Zustand') als Untersorten der Sorte 'Situation' (sit) aufzufassen sind.

Die NS-Aussage

*Hans kommt am 23.7.77 von Frankfurt nach Mannheim.*

wird mit Hilfe von

$P =$  KOMM Argumentsortentupel:  $\langle \text{natper}, \text{ort}, \text{ort}, \text{int}, \text{akt} \rangle$

wie folgt wiedergegeben

$$(KOMM \ HANS \ FRANKFURT \ MANNHEIM \ 77/07/23 \ AKTn)$$

wo AKTn der Name derjenigen Aktion ist, die darin besteht, daß Hans am 23.7.77 von Frankfurt nach Mannheim gekommen ist. Für solche Aktions- und Situations-Entitäten kennt NS keine Namen, sie werden im IS als Kombinationen von Sortensymbol und Nummern erzeugt und vergeben.

Aufgrund der Tatsache, daß Verbalsätze jeweils mithilfe expliziter Zeitangaben in KS wiedergegeben werden, ist die Berücksichtigung von Tempora, also Zeitstufenbezeichnungen, verzichtbar. Die Einordnung als vergangen oder gegenwärtig ergibt sich für den Benutzer des IS aus dem Verhältnis des im KS-Satz angegebenen Zeitintervalls zu der realen Dialogzeit. Die deiktische Komponente bei Zeitangaben und Verbaltempora wird daher aus KS verlagert, deiktische Zeitadverbien wie *heute*, *gestern* müssen durch die Überführungskomponente auf kalendarische Daten abgebildet werden. Kalendarische Daten werden in den Beispielen vereinfachend als Individuenkonstanten repräsentiert.<sup>26</sup>

Nicht-atomare Formeln werden mithilfe der gewöhnlichen Junktoren und Quantoren des PK erster Stufe gebildet, wobei wir von der polnischen Präfixnotation Gebrauch machen. Die Menge der Formeln von KS kann daher rekursiv wie folgt definiert werden:

/3/ Atomare Formeln sind Formeln.

/4/ Es seien NICHT (einstellig), UND, ODER, IMPLIK, AEQUIV (zweistellig) die aussagenlogischen Junktoren,  $p$  und  $q$  seien Formeln von KS, dann sind

(NICHT  $p$ )  
(UND  $p$   $q$ )  
(ODER  $p$   $q$ )  
(IMPLIK  $p$   $q$ )  
(AEQUIV  $p$   $q$ )

Formeln von KS.

/5/ Es seien FÜRALL und EXIST die Quantoren,  $x^Si$  eine Variable der Sorte  $s_i$  und  $p$  eine Formel, dann sind

(FÜRALL  $x^Si$   $p$ )  
(EXIST  $x^Si$   $p$ )

Formeln von KS.

### 2.2.3. Wohlgeformtheitsbedingungen für Terme

/6/ Sortierte Variable und Konstanten sind Terme von KS.

Beispiel für Individuenkonstanten:

HANS        Sorte: natper

SITØ1      Sorte: sit

FRANKFURT Sorte: ort

/7/ Es sei  $p$  eine Formel,  $x^{s_i}$  eine Variable der Sorte  $s_i$ , dann ist

$(\text{LAMBDA } x^{s_i} p)$

ein Term von KS, dessen Sorte  $s_i$  ist.

Beispiele:

- (1)  $(\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{VATER } x^{\text{natper}} \text{ HANS}))$   
'diejenige Person/diejenigen Personen, deren Vater Hans ist'  $\Leftrightarrow$  'die Kinder von Hans'.
- (2)  $(\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{KOLLEGE HANS } x^{\text{natper}}))$   
'diejenigen Personen, die Kollegen von Hans sind'  
 $\Leftrightarrow$  'die Kollegen von Hans'.
- (3)  $(\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{EXIST } y^{\text{natper}} (\text{KOLLEGE } x^{\text{natper}} y^{\text{natper}})))$  'diejenigen Personen, die Kollegen haben'.
- (4)  $(\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{UND } (\text{KOLLEGE HANS } x^{\text{natper}})$   
 $(\text{VATER } x^{\text{natper}} \text{ FRANZ})))$   
'diejenigen Personen, die sowohl Kollegen von Hans als auch Kinder von Franz sind'.

Informale semantische Erklärung:

Durch einen LAMBDA-Term bezeichnen wir 'Listen' von Individuen, die die Formel  $p$  bezüglich der abstrahierten Stelle erfüllen, d.h. die Elemente der Extension des Prädikats

$(\text{LAMBDA } x^{s_i} p)$

Mit (1) bezeichnen wir somit die Elemente der Menge

$\{x \mid (\text{VATER } x \text{ HANS})\}$

/7.1./ Wenn  $p$  eine atomare Formel ist, deren letztes Argument abstrahiert ist, d.h. wenn der LAMBDA-Term die Form

$$(\text{LAMBDA } x^{s_{i_n}} (P t_1^{s_{i_1}} \dots t_{n-1}^{s_{i_{n-1}}} x^{s_{i_n}}))$$

hat, wo  $s_{i_1}, \dots, s_{i_n}$  das Sortentupel von  $P$  ist, schreiben wir zum Zweck der Abkürzung

$$(P t_1^{s_{i_1}} \dots t_{n-1}^{s_{i_{n-1}}})$$

Beispiel:

$$(\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{KOLLEGE HANS } x^{\text{natper}}))$$

kann abgekürzt werden als

$$(\text{KOLLEGE HANS}).$$

Als Zeichen für die Gleichheit von Formeln aufgrund dieser Abkürzungskonvention verwenden wir '='.

/7.2./ LAMBDA-Terme, die aus atomaren Formeln gebildet sind, deren Prädikatsymbol bezüglich der abstrahierten Stelle eindeutig ist, sind Individuenterme. Individuenterme bezeichnen das Element einer einelementigen Liste. Alle anderen LAMBDA-Terme sind Listenterme.

/7.3./ Wenn in einem Term

$$(\text{LAMBDA } x^{s_i} (P t_1^{s_{i_1}} \dots t_{n-1}^{s_{i_{n-1}}} x^{s_i})) = (P t_1^{s_{i_1}} \dots t_{n-1}^{s_{i_{n-1}}})$$

$P$  ein Relationssymbol ist, so liegt bezüglich der abstrahierten Stelle keine Eindeutigkeit vor. Somit ist der Term nach /7.2./ ein Listenterm. Wir nennen Terme dieser Form relationale Listenterme.

Beispiel:

$$(\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{KOLLEGE HANS } x^{\text{natper}})) =$$

$$(\text{KOLLEGE HANS})$$

'die Kollegen von Hans'.

/7.4./ Operationssymbole von KS werden nach ihrem Verhalten bei der Termbildung in zwei Gruppen differenziert:

Strikt zuordnende Operationssymbole sind eindeutig bezüglich der letzten Stelle, auch wenn die Argumentterme Listenterme sind.

Zuordnend singuläre Operationszeichen sind eindeutig bezüglich der letzten Stelle nur dann, wenn alle Argumentterme Individuenterme sind.

/7.5./ Nach /7.2./ und /7.4./ sind Terme der Form

$$\begin{aligned}
 & (\text{LAMBDA } x^{s_i} (F t_1^{s_{i_1}} \dots t_{n-1}^{s_{i_{n-1}}} x^{s_i})) = \\
 & (F t_1^{s_{i_1}} \dots t_{n-1}^{s_{i_{n-1}}})
 \end{aligned}$$

wo  $F$  ein strikt zuordnendes Operationssymbol ist, Individuenterme von KS.

Beispiele:

$$\begin{aligned}
 (5) (\text{LAMBDA } x^{\text{akt}} (\text{KOMM HANS FRANKFURT MANNHEIM} \\
 77/07/23 x^{\text{akt}})) = \\
 (\text{KOMM HANS FRANKFURT MANNHEIM } 77/07/23)
 \end{aligned}$$

'das Kommen von Hans von Frankfurt nach Mannheim am 23.7.77'

$$\begin{aligned}
 (6) (\text{LAMBDA } x^{\text{akt}} (\text{KOMM } (\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{KOLLEGE HANS} \\
 x^{\text{natper}})) \text{FRANKFURT MANNHEIM } 77/07/23 x^{\text{akt}})) = \\
 (\text{KOMM } (\text{KOLLEGE HANS}) \text{FRANKFURT MANNHEIM } 77/07/23) \\
 \text{'das Kommen der Kollegen von Hans von Frankfurt nach} \\
 \text{Mannheim am 23.7.77'}.
 \end{aligned}$$

Kommentar:

Strikt zuordnend sind Operationssymbole mit dem Sortentupel

$$\langle s_{i_1}, \dots, s_{i_{n-2}}, \text{int}, \text{sit} \rangle$$

bzw. mit den Untersorten von sit anstelle von sit selbst, also die KS-Entsprechungen von NS-Verben. Wir nehmen an, daß solche KS-Prädikate bezüglich der letzten Stelle, also bezüglich der bezeichneten Situation eindeutig sind, auch wenn die Argumente im Definitionsbereich Listenterme sind. D.h. wir nehmen z.B. an, daß das Kommen der Kollegen von Hans eine Situation konstituiert, nicht ebenso viele Situationen, wie es Kollegen von Hans gibt.

/7.6./ Nach /7.2./ und /7.4./ sind Terme der Form

$$\begin{aligned} & (\text{LAMBDA } x^{S_i} (F t_1^{S_{i_1}} \dots t_{n-1}^{S_{i_{n-1}}} x^{S_i})) \quad \equiv \\ & (F t_1^{S_{i_1}} \dots t_{n-1}^{S_{i_{n-1}}}) \end{aligned}$$

wo  $F$  ein zuordnend singuläres Operationssymbol ist und  $t_1, \dots, t_{n-1}$  Individuenterme sind, Individuenterme.

Beispiel:

$$\begin{aligned} (7) & (\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{VATER HANS } x^{\text{natper}})) \quad \equiv \\ & (\text{VATER HANS}) \\ & \text{'der Vater von Hans'}. \end{aligned}$$

/7.7./ Nach /7.2./ und /7.4./ sind Terme der Form

$$\begin{aligned} & (\text{LAMBDA } x^{S_i} (F t_1^{S_{i_1}} \dots t_{n-1}^{S_{i_{n-1}}} x^{S_i})) \quad \equiv \\ & (F t_1^{S_{i_1}} \dots t_{n-1}^{S_{i_{n-1}}}) \end{aligned}$$

wo  $F$  ein zuordnend singuläres Operationssymbol ist und mindestens einer der Terme  $t_1, \dots, t_{n-1}$  ein Listenterm ist, Listenterme. Wir gruppieren diese Listenterme den relationalen Listentermen zu.

Beispiel:

$$\begin{aligned} (8) & (\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{VATER } (\text{LAMBDA } y^{\text{natper}} (\text{KOLLEGE HANS} \\ & y^{\text{natper}})) x^{\text{natper}})) \quad \equiv \\ & (\text{VATER } (\text{KOLLEGE HANS})) \\ & \text{'die Väter der Kollegen von Hans'}. \end{aligned}$$

Semantische Erklärung:

Der vorliegende Fall von Termeinbettung - sie kann durch rekursive Anwendung der Termbildungsregeln für LAMBDA-Terme zu mehrfachen Schachtelungen führen - stellt semantisch eine Generalisierung des einfachen Falls der Termbildung dar:

Wenn wir mit

(KOLLEGE HANS)

die Elemente einer Menge N

$N = \{x \mid (\text{KOLLEGE HANS } x)\}$

bezeichnen, so bezeichnen wir mit

(VATER (KOLLEGE HANS))

die Elemente der Vereinigungsmenge M

$M = \bigcup_{x \in N} (\text{VATER } x)$

wobei für alle  $x \in N$  gilt:

$(\text{VATER } x) = \{y \mid (\text{VATER } x \ y)\}$

/8/ Wenn  $t^{s_i}$  ein relationaler Listenterm (nach /7.3./ oder /7.7./) ist, so ist

(JOTA  $t^{s_i}$ )

ein Individuenterm der Sorte  $s_i$ .

Beispiel:

(9) (JOTA (KOLLEGE HANS))

'der Kollege von Hans'

(10) (JOTA (VATER (KOLLEGE HANS)))

'der Vater der Kollegen von Hans'

Semantische Erklärung:

Die Präfigierung mit JOTA zeigt an, daß es sich bei dem Denotat der präfigierten Liste um eine einelementige Liste handelt. Einelementige Listen sind per definitionem identifizierbar mit dem in ihnen enthaltenen Element. Anders als bei Termen nach /7.5./ und /7.6./ ist die Singularität des Bezeichneten nicht eine notwendige Folge der Eindeutigkeit des Prädikatszeichens, sondern ein zufälliges Faktum der beschriebenen Welt.

/9/ Wenn  $t_1^{s_1}, \dots, t_n^{s_n}$  Terme jeweils der Sorten  $s_1, \dots, s_n$  sind, dann ist

(LISTE  $t_1^s \dots t_n^s$ )

ein Listenterm (aufgezählter Listenterm) der Sorte

$s_h$  gdw für alle  $i \in \{1, \dots, n\}$

$$s_i \leq s_h$$

Beispiele:

(11) (LISTE HANS FRANZ)

'Hans und Franz'

(12) (LISTE HANS (KOLLEGE FRANZ))

'Hans und die Kollegen von Franz'

Semantische Erklärung:

Durch einen aufgezählten Listenterm bezeichnen wir die Elemente der Vereinigungsmenge derjenigen Mengen, deren Elemente wir durch die Argumentterme bezeichnen.

/10/ Wenn  $t_1^s$  und  $t_2^s$  relationale oder aufgezählte Listenterme sind, oder Listenterme gemäß /10/ oder /11/ jeweils der Sorten  $s_i$  und  $s_j$ , dann ist

(ET  $t_1^s$   $t_2^s$ )

ein Listenterm der Sorte  $s_h$  gdw

$$(s_i = s_h \wedge s_i \leq s_j) \vee (s_j = s_h \wedge s_j \leq s_i)$$

Beispiel:

(13) (ET (KOLLEGE HANS) (FREUND FRANZ))

'diejenigen, die sowohl Kollegen von Hans als auch Freunde von Franz sind'.

Semantische Erklärung:

Durch einen ET-Term bezeichnen wir die Elemente der Schnittmenge derjenigen Mengen, deren Elemente durch die Argumentterme bezeichnet werden.

Bemerkung zur Sortenrestriktion:

Der ET-Term übernimmt die Sortenspezifikation des Argumentterms mit der untergeordneten Sorte. Dies entspricht dem na-



türlichsprachlichen Gebrauch: Bei durchschnittsbildenden Adjektivphrasen z.B. kann das Adjektiv einer generelleren Sorte zugehören, das Nomen einer untergeordneten, spezielleren. Die gesamte Nominalphrase mit attributivem Adjektiv hat die speziellere Sorte des Nomens:

*die guten Menschen*  $\leftrightarrow$  *diejenigen, die sowohl gut als auch Menschen sind.*

/11/ Wenn  $t_1^{s_i}$  und  $t_2^{s_j}$  Listenterme nach /7.2./, /7.3./, /7.7./, /9/, /10/ oder /11/ jeweils der Sorten  $s_i$  und  $s_j$  sind, dann ist

(COMPL  $t_1^{s_i}$   $t_2^{s_j}$ )

ein Listenterm der Sorte  $s_j$  gdw  $s_i \leq s_j$ .

Beispiel:

(14) (COMPL (KOLLEGE HANS) (FREUND FRANZ))

'diejenigen Freunde von Franz, die nicht Kollegen von Hans sind'.

Semantische Erklärung:

Wenn wir mit  $t_2^s$  die Elemente einer Menge M bezeichnen und mit  $t_1^s$  die Elemente einer Menge N, dann bezeichnen wir mit (COMPL  $t_1^{s_i}$   $t_2^{s_j}$ ) die Elemente der Menge M-N.

/12/ Wenn  $t^{s_i}$  ein Listenterm nach /7.2./, /7.3./, /7.7./, /9/, /10/, oder /11/ der Sorte  $s_i$  ist und QU ein Quantifikator von KS, dann ist

(QU  $t^{s_i}$ )

ein quantifizierter Listenterm der Sorte  $s_i$ . Quantifikatoren sind die natürlichen Zahlen und die Symbole

ALL, EIN, VIEL, MEIST.

Beispiel:

(15) (3 (KOLLEGE HANS))

'drei Kollegen von Hans'

(16) (EIN (KOLLEGE HANS))

'einige Kollegen von Hans'

Semantische Erklärung:

Aussagen, die quantifizierte Listenterme enthalten, werden durch Elemente von Untermengen derjenigen Menge erfüllt, deren Elemente durch den Listenterm selbst bezeichnet werden<sup>27</sup>. Die Kardinalität der Untermenge ist im Falle der natürlichen Zahlen exakt spezifiziert, im Fall von EIN, VIEL, MEIST jedoch vage und durch detailliertere semantische Untersuchungen festzulegen.

/13/ Wenn  $t^s_i$  ein Listenterm der Sorte  $s_i$  ist, so ist

(RESPEKTIV  $t^s_i$ ) oder kürzer (RESP  $t^s_i$ )

ein Listenterm der Sorte  $s_i$ .

Kommentar:

Die Präfigierung eines Listenterms mit RESPEKTIV betrifft immer mehrere Vorkommen dieses Listenterms in einer Formel. Sie zeigt an, daß die Formel nur wahr wird, wenn für alle Vorkommen des Listenterms jeweils das gleiche Element derjenigen Menge eingesetzt wird, deren Elemente durch den Listenterm bezeichnet werden.

D.h., wo  $P$  ein dreistelliges,  $Q$  und  $R$  zweistellige Prädikatsymbole und  $t$  und  $s$  Terme sind (wobei die Sortenspezifikation unberücksichtigt bleiben kann), ist

$(P (\text{RESP}(Q t) (R (\text{RESP}(Q t))))s)$

äquivalent mit

$\forall x ((Q t x) \rightarrow (P x (R x)s))$

RESPEKTIV kann somit als Wiedergabe des natürlichsprachlichen Reflexiv- oder Possesivpronomens dienen, z.B.

(WASCH (RESP (LISTE HANS FRANZ) (RESP (LISTE HANS FRANZ))))

'Hans und Franz waschen sich'

(WASCH (RESP (LISTE HANS FRANZ) (HAND (RESP (LISTE HANS FRANZ))))<sup>28</sup>

'Hans und Franz waschen ihre Hände' bzw.

'Hans und Franz waschen sich die Hände'.

#### 2.2.4. Korrespondenzen zwischen einigen Typen von NS-Nominalphrasen und KS-Termen

Im folgenden werden die KS-Übersetzungen wichtiger Nominalphrasentypen präsentiert. Damit sollen die Ausdrucksmöglichkeiten, die in KS für den referentiellen Bezug auf Objekte vorhanden sind, mit den entsprechenden Möglichkeiten des Deutschen verglichen werden.

In Abschnitt 2.1. wurde auf die Bedeutung solcher referierender Ausdrücke unterschiedlichster Art für die Interaktionssituation des Informationssystems hingewiesen.

Da die Übersetzung von Nominalphrasen (NP) in KS mit der logischen Funktion der NP variiert, nicht mit ihrer NS-Ausdrucksseite, gibt es keine eindeutigen ausdrucksseitigen Zuordnungen. Wir orientieren uns an der Form der NS-NP als Ordnungsprinzip.

a1 der Nukleus der NP ist ein Eigename, der in KS als Individuenkonstante übersetzt wird

*der Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  HANS

*die Firma G+L*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  G+L

a2 der Nukleus der NP ist ein Nomen, das in KS als zuordnend singuläres Operationszeichen übersetzt wird, und die Attribute sind ebenfalls definite singularische NP bzw. Nomen

*der Vater von Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (LAMBDA  $x^{\text{natper}}$   
(VATER HANS  $x^{\text{natper}}$ )) =  
(VATER HANS)

a3 der Nukleus der NP ist ein Nomen, das in KS als strikt singuläres Operationszeichen übersetzt wird

*die Ankunft der Brüder von Hans am 24.12.77 in Mannheim*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$   
(LAMBDA  $x^{\text{sit}}$  (ANKOMM (BRUDER HANS) MANNHEIM 77/12/24  $x^{\text{sit}}$ ))  
= (ANKOMM (BRUDER HANS) MANNHEIM 77/12/24)

Dies ist der Fall der Übersetzung von deverbativen Nominalisierungen.

a4 der Nukleus der NP ist ein Nomen, das in KS als Relationszeichen übersetzt wird: Jotapräfigierter relationaler Listenterm

*der Bruder von Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (JOTA (LAMBDA  $x^{\text{natper}}$   
(BRUDER HANS  $x^{\text{natper}}$ ))  
= (JOTA (BRUDER HANS))

a5 der Nukleus der NP ist ein Nomen, das in KS als zuordnend singuläres Operationszeichen übersetzt wird, und mindestens ein Attribut ist eine pluralische NP: Jotapräfigierter Listenterm

*der Vater der Kollegen von Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (JOTA (VATER  
(KOLLEGE HANS)))

b pluralische definite NP in der Funktion der Kennzeichnung von Elementen von Mengen: Repräsentation durch KS-Listenterme

b1 der Nukleus der NP ist ein Nomen, das in KS als Relationszeichen übersetzt wird

*die Brüder von Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (BRUDER HANS)

b2 der Nukleus der NP ist ein Nomen, das in KS als zuordnend singuläres Operationszeichen übersetzt wird, und mindestens ein Attribut ist eine pluralische NP bzw. Aufzählung

*die Gatten der Schwestern von Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (GATTE (SCHWESTER HANS))

*die Gatten von Emma und Frieda*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (GATTE (LISTE EMMA FRIEDA))

c singularische indefinite NP: Repräsentation durch Listenterm, der durch die natürliche Zahl 1 quantifiziert ist

*ein Kollege von Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (1 (KOLLEGE HANS))

d pluralische indefinite NP: Repräsentation durch Listenterm, der durch EIN quantifiziert ist

*Kollegen von Hans*  
*einige Kollegen von Hans*  $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (EIN (KOLLEGE HANS))

e restriktive Relativsätze: Repräsentation durch LAMBDA-Terme

e1 ohne Bezugs-NP

*diejenigen, die am 24.12.77 in Mannheim angekommen sind*  
 $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (LAMBDA  $x^{\text{natper}}$  (EXIST  $x^{\text{sit}}$  (ANKOMM  $x^{\text{natper}}$  MANNHEIM  
77/12/24  $x^{\text{sit}}$ )))

e2 mit Bezugs-NP

*die Kollegen von Hans, die am 24.12.77 in Mannheim angekommen sind*  
 $\xleftrightarrow{\ddot{u}}$  (LAMBDA  $x^{\text{natper}}$  (UND (KOLLEGE HANS  $x^{\text{natper}}$ )  
(EXIST  $x^{\text{sit}}$   
(ANKOMM  $x^{\text{natper}}$  MANNHEIM  
77/12/24  $x^{\text{sit}}$ ))))

f Nominalphrasen mit attributivem Adjektiv, das extensional verstanden wird: LAMBDA-Term aus UND-verknüpfter Formel

*die freundlichen Kollegen von Hans*

$$\begin{aligned} \leftarrow \ddot{u} \rightarrow & (\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{UND} (\text{FREUNDLICH } x^{\text{natper}} \\ & (\text{KOLLEGE HANS } x^{\text{natper}}))) = \\ & (\text{ET} (\text{FREUNDLICH}) (\text{KOLLEGE HANS})) \end{aligned}$$

Die Einbettung der verschiedenen Termarten als Argumente einer Formel von KS soll durch das abschließende Beispiel veranschaulicht werden:

*Die Kollegen von Hans und die Gatten derjenigen Schwestern von Fritz, die am 24.12.77 in Mannheim angekommen sind, sind befreundet.*

$$\begin{aligned} \leftarrow \ddot{u} \rightarrow & (\text{FREUND} (\text{LAMBDA } x^{\text{natper}} (\text{KOLLEGE HANS } x^{\text{natper}})) \\ & (\text{LAMBDA } y^{\text{natper}} (\text{GATTE} (\text{LAMBDA } z^{\text{natper}} \\ & (\text{UND} (\text{SCHWESTER FRITZ } z^{\text{natper}}) \\ & (\text{EXIST } x^{\text{sit}} \\ & (\text{ANKOMM } z^{\text{natper}} \\ & \text{MANNHEIM 77/12/24} \\ & x^{\text{sit}})))))) \\ & y^{\text{natper}}))) \end{aligned}$$

### 2.3. Schlußbemerkung

Die Konstruktsprache ist in ihrem gegenwärtigen Entwicklungsstand eingeschränkt auf die Formulierung von Propositionen, die in einem Frage-Antwort-Dialog des faktischen Diskurses Anwendung finden.

Für diese Propositionen und ihre Teilausdrücke ist eine modelltheoretische Semantik definierbar, die hier jeweils für den Bereich der Terme informal angedeutet wurde.

In dem konkreten Verwendungszusammenhang eines Informationssystems IS hat die Datenbasis des IS die Funktion eines Modells für

eine gewisse Menge von Ausdrücken einer KS-Einzelsprache. Dieses Modell im Sinne der Modelltheorie ist eine Menge von Objekten und eine Menge von Relationen zwischen diesen Objekten.

Die Propositionen der KS-Einzelsprache, die im IS verwendet werden, sind wahr bezüglich dieses Modells, wenn sie Relationen beschreiben, die in diesem Modell bestehen.

Der Gebrauch von KS-Propositionen in den Sprechakten Aussage oder Frage kann durch die Präfigierung der Operatoren '.' (Aussage) und '?' (Frage) repräsentiert werden:

(.(EXIST  $x^{sit}$  (KOMM HANS MANNHEIM 77/12/24  $x^{sit}$ )))  
'Hans kommt am 24.12.77 nach Mannheim.' im Sinne der Aussage 'es ist wahr, daß Hans am 24.12.77 nach Mannheim kommt.'  
  
(?(EXIST  $x^{sit}$  (KOMM HANS MANNHEIM 27/12/24  $x^{sit}$ )))  
'Kommt Hans am 24.12.77 nach Mannheim?'

Die Bedeutung dieser Operatoren kann jedoch im Rahmen der rein extensionalen modelltheoretischen Interpretation nicht direkt repräsentiert werden. Vielmehr werden sie durch das IS pragmatisch interpretiert, indem sich das IS entsprechend diesen Indikatoren verhält. Wird der Indikator '.' verwendet, so erweitert das System sein Modell um eine neue Instanz einer Relation zwischen Objekten, beziehungsweise es läßt sein Modell unverändert, wenn diese Instanz bereits vorhanden ist. Wird der Indikator '?' verwendet, so prüft das IS die Gültigkeit der enthaltenen Propositionen gegenüber dem Modell der Datenbasis ab.

Dieser Interpretationsvorgang wird im einzelnen im Beitrag von BERRY-ROGGHE und DILGER in diesem Band beschrieben. Dort wird der Aspekt der Algorithmisierung der Interpretation von KS-Fragen bezüglich der Datenbasis betont.

## Anmerkungen

- 1 Dies trifft u.a. für die Arbeiten von Schank und Wilks zu: Die interlinguale Repräsentationssprache in Wilks, 1973 und seinen übrigen Arbeiten ist aus "Elementen" aufgebaut, die "Sinne von englischen Wörtern" (S. 123) ausdrücken.  
Die Zeichen für diese Sinne sind wiederum englische Wörter, z.B. FLOW mit dem "Sinn" 'moving as liquids do'.  
Wilks argumentiert einerseits, daß eine prädikatenlogische Sprache für die Zwecke der interlingualen Repräsentation bei der maschinellen Übersetzung zu aufwendig sei. Andererseits hält er generell modelltheoretisch orientierte Repräsentationssprachen für KI-unangemessen, da der Begriff der Wahrheitsbedingung nicht "computable" sei. Vgl. dazu vor allem auch Wilks, 1976b. Zu einer gegenläufigen Argumentation vgl. Hobbs/Rosenschein, 1977.
- 2 Der Begriff des Handlungszusammenhangs soll die Gesamtheit intentionaler Interaktionen bezeichnen, in die eine spezielle Handlung/Sprachhandlung eingebettet ist. Er bleibt hier notwendigerweise vage, seine Definition würde die Festlegung von Interaktionstypen voraussetzen. Ein Beispiel für einen Handlungszusammenhang in diesem Sinne wird mit dem Handlungszusammenhang 'Informationsgewinnung' im folgenden gegeben.
- 3  $L_2$  hat demnach gegenüber  $L_1$  genau die Funktion, die Montague der Sprache der intensionalen Logik gegenüber einem Fragment des Englischen zuspricht, vgl. Montague/Schnelle, S. 48, K. 5.2. Zu einer formalen Beschreibung dieses Übersetzungsbegriffs und seiner Realisierung in einem IS vgl. Wulz, in diesem Band.
- 4 Hayes, 1977 weist darauf hin, daß Repräsentationen im KI-Bereich "vision" oder "scene analysis" sprachunabhängig sein müssen und daß hier sogar häufig die Repräsentationseinheiten schwerlich in NS umsetzbar sind: "Much of what a vision program needs to represent may not be readily expressible in English (e.g. 2-dimensional patterns of light and shade)" (S. 560).
- 5 Das Affen-Banane-Problem wird in mehreren Varianten vielfach in der Literatur behandelt. Die klassische Formulierung findet sich in McCarthy, 1968.
- 6 Vgl. dazu Hendrix, 1973.
- 7 Zum automatischen Beweisen vgl. Dilger in diesem Band mit Hinweisen auf die Literatur zum Thema.
- 8 In einem modalen KI-Kalkül werden Aktionen und Veränderungen durch die Modaloperatoren "can", "cause" und "canult" darstellbar gemacht, denn die an Handlungen oder Veränderungen geknüpften Fakten sind nicht grundsätzlich oder immer wahr, sondern nur möglicherweise und in bestimmten Fällen, z.B. der Verursachung durch andere Fakten.  
In McCarthy und Hayes wird anstelle des problematisch zu handhabenden Modalkalküls ein Situationenkalkül vorgeschlagen:

It is possible to gain the expressive power of modal logic without using modal operators by constructing an ordinary truth-functional logic which describes the multiple-world semantics of modal logic directly. To do this we give every predicate an extra argument (the

world-variable, or in our terminology, the situation variable. (...)  
The resulting theory will be expressed in the notation of the situation calculus; the proposition  $\phi$  has become a propositional fluent  $\lambda s.\phi(s)$ , and the 'possible worlds' of the modal semantics are precisely the situations" (S. 495).

Zum Situationskalkül vgl. auch McCarthy, 1968, Green, 1969, McCarthy/Hayes, 1969, Hayes, 1971 und Pople, 1972.

- 9 So u.a. die Programmiersprachen PLANNER (Hewitt, 1969, Hewitt, 1972 und Sussman/Winograd/Charniak, 1971), QA4 (Rulifson/Derksen/Waldinger), Q-LISP (Reboh/Sacerdoti, 1973), CONNIVER (McDermott/Sussman, 1972).
- 10 Vgl. zu ALPHA Codd, 1971, Zu SQUARE Boyce/Chamberlin/King/Hammer, 1975.
- 11 Vgl. dazu die Kritik Sgalls: Er hält die Beschreibung des Zusammenspiels der verschiedenen Wissens Ebenen in der KI, speziell bei Winograd, 1972 für instruktiv auch für linguistisch-kommunikative Analysen, hält aber an der systematischen Separierbarkeit und unabhängigen Beschreibbarkeit des "Sprachsystems" fest.
- 12 Der Begriff des Theorems in prozeduralen Sprachen ist wohl zu unterscheiden vom logischen Theorembegriff. Er wird im folgenden Text erläutert. In den PLANNER-ähnlichen Sprachen werden "consequent theorems" und "antecedent theorems" unterschieden. Bei dem folgenden Beispiel handelt es sich um ein consequent theorem. Winograd, 1974 beschreibt die Distinktion wie folgt:  

In the consequent case we say 'Here is what I want, go try to do it' while in the antecedent case, the message is 'Here is what I've just found, what can you do with it?'" (S. 55).
- 13 Hayes, 1977, 559. Ähnlich schon Hayes, 1974, 64 ff.
- 14 Hayes, 1977 weist darauf hin, daß der Objektbereich 'Strategie' durch Aussagen über Beweise, ihr Erfolgtsein bzw. Nicht-Efolgtsein z.T. erfaßt und in einer Logiksprache beschrieben werden kann.
- 15 Winograd, 1975, 186.
- 16 Auf Wittgenstein als Wegbereiter des prozeduralen Ansatzes beruft sich Wilks, 1976b.  
Die Assoziation zu Wittgenstein liegt immerhin näher als der Vergleich der "imperativen" Semantik Winograds und der Prozeduralisten mit der formalen Semantik der Montague-Grammatik. Sgall, 1976, 158f. stellt diesen Vergleich an und beruft sich auf die Auffassung von Bedeutungen als Funktionen von Entitäten bestimmter Art in Entitäten bestimmter Art. Der mathematische Funktionsbegriff hat jedoch m.E. wenig mit dem anthropomorphen Begriff des "Imperativen" zu tun, ganz davon abgesehen, daß ja die prozedurale Beschreibung zunächst ein uninterpretierter Formalismus ist.
- 17 Schubert, 1976, 166.
- 18 Z.B. Simmons/Chester, 1977; dort weitere Literatur.



- 19 Schubert, 1976, 175 ff., besonders 176: "This first of all requires a distinction between existentially and universally quantified nodes. A simple method is the use of solid lines for existentially quantified concept nodes and broken lines for universally quantified nodes."
- 20 Vgl. Hayes, 1974, 66.
- 21 Schubert, 1976, 164.
- 22 Diese Idee lag bereits dem ersten Entwurf eines semantischen Netzes bei Quillian, 1968 zugrunde, der sein Netz als "semantic memory" bezeichnete. Weitere Arbeiten in dieser Richtung sind neben den Arbeiten Schanks die von Rumelhart/Lindsay/Norman, 1972, Rumelhart/Norman, 1973 oder Abelson, 1973.
- 23 Allerdings werden die KS-Repräsentationen von NS-Verben mit einer speziellen Sortenstruktur ausgestattet, vgl. dazu unten.  
Wortartunterscheidungen zwischen Verben, Nomina (common nouns) und Adjektiven werden bei Semantiksprachen auf kategorialer Basis, so bei Lewis, 1972, Cresswell, 1973 und Montague, 1973 - in verschiedener Weise -, durch die Zuweisung unterschiedlicher Kategorien gemacht. Dies ist entsprechend der zentralen Idee dieser Semantiksprachen notwendig, weil die syntaktische Kategorienzuordnung, die gemäß der Funktion in NS-Ausdrücken geschieht, und die semantische Kategorienzuordnung eindeutig aufeinander bezogen sind.
- 24 Zum Verhältnis natürlichsprachlicher Dialogpartner vs. 'Welt des IS' sind folgende Anmerkungen zu machen:
- a) Die Voraussetzungen, die der menschliche Dialogpartner macht, gelten immer bezüglich der Welt des IS im Sinne des abgespeicherten Modells, nicht bezüglich der Außenwelt, über die geredet wird. Denn es hat ja nur Sinn, über dasjenige Informationen gewinnen zu wollen, wovon bekannt ist, daß es im Modell überhaupt seinen Platz hat.
  - b) Wir müssen annehmen, daß die Welt des IS 'geschlossen' ist, d.h. daß alle relevanten Informationen über den Anwendungsbereich, sofern es sich um eine im IS erfaßte Problemstellung handelt, abgespeichert sind. Wir können daher im Anwendungsbereich 'Abwasserkontrolle' annehmen, daß es keine Proben innerhalb des gewählten regionalen Gebietes gibt außer den im IS abgespeicherten. Negierte Aussagen müssen daher bei der "closed world"-Hypothese nicht abgespeichert werden. Was zu einem im IS präsenten Thema nicht repräsentiert ist, ist nicht der Fall.
- 25 Vgl. die Beiträge von Dilger und Wulz in diesem Band. Zum Gebrauch sortierter Kalküle im Rahmen der KI vgl. Hayes, 1969, 539, Hayes, 1971, 500 und Sandewall, 1970. Zu einem logischen Sortenkalkül, der auch linguistische Aspekte berücksichtigt, vgl. Thomason, 1972.
- 26 Diese Repräsentation setzt die Annahme voraus, daß die Zeit aus diskreten Zeitpunkten, die als Individuen auffaßbar sind, besteht. Diese Auffassung mag für praktische Zwecke in einem IS angehen. Geht man von der Vorstellung der Zeit als Kontinuum aus, so ist jede Zeitangabe als Angabe eines Intervalls aufzufassen, dem als Extension eine unendlich große Menge von in ihm enthaltenen Intervallen zukommt. Eine solche Zeitangabe ist als Listenterm zu repräsentieren.

- 27 Dabei ist selbstverständlich zu berücksichtigen, daß quantifizierte Ausdrücke ("quantifier phrases") keine Individuen bezeichnen, vgl. Montague, 1973.
- 28 Neben RESPEKTIV ist beim weiteren Ausbau von KS auch eine Entsprechung für das natürlichsprachliche *gegenseitig* vorzusehen, das die nicht-parallele Abarbeitung von Listen vorschreibt. Beispiel: *Hans und Franz waschen sich gegenseitig die Hände.*