

WISSENSDARSTELLUNG BEI LEIBNIZ¹

Peter Jaenecke

Zusammenfassung: Anhand elementarer Prinzipien zur Darstellung von Wissen wird erläutert, worin Wissensdarstellung aus heutiger Sicht besteht und wie Wissen dargestellt werden kann. Die meisten Prinzipien finden sich schon bei LEIBNIZ; sie bieten daher einen bequemen Zugang zu seinen Ideen. Am Beispiel der Wissensdarstellung mit formalen Sprachen wird gezeigt, daß LEIBNIZ versuchte, Wissen formal darzustellen und daß seine *characteristica universalis* als Frühform der formalen Sprachen anzusehen ist. Über Sinn und Zweck der Wissensdarstellung gibt das LEIBNIZ-Programm Auskunft. Typische, bislang wenig verstandene Begriffe aus diesem Programm wie ‚ars iudicandi‘ und ‚ars inveniendi‘, erhalten über die formalsprachliche Wissensdarstellung eine einfache Erklärung.

1 Einleitung

Die Aktualität eines älteren Autors beruht selten auf seinen konkreten Ergebnissen; zu groß ist der zeitliche Abstand, zu schnell die Entwicklung, als daß sie noch Geltung beanspruchen könnten. Für grundlegende Ideen gilt dies nicht: ihre ersten Verwirklichungsversuche können zwar ebenfalls überholt sein, sie selbst aber erweisen sich oft als überraschend aktuell. Im folgenden wird gezeigt, daß dies im hohen Maß auf die von LEIBNIZ im Umkreis seiner *ars characteristica* geäußerten Gedanken zur Wissensdarstellung zutrifft.

Auf den ersten Blick scheint solch ein Nachweis kaum mit nennenswerten Schwierigkeiten verbunden zu sein, gilt es doch lediglich zwischen alten und zeitgenössischen Ideen eine Beziehung herzustellen. Doch LEIBNIZ verwendet ungewohnte, ja sogar irreführende Begriffe, die eine Einordnung erschweren, zudem hinterläßt er seine Ideen nicht in geschlossener Form. Wissensdarstellung ist ferner kein aktuelles Forschungsgebiet, weder in der Philosophie noch in den Sprachwissenschaften. Es gibt dort nichts, woran sich anknüpfen ließe; Bezugspunkt bleibt somit allein das Fach ‚Wissensdarstellung‘ als Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz. In dieser KI-Wissensdarstellung liegt jedoch der Schwerpunkt auf der Implementierung von Anwendungen; sprachtheoretische Grundlagenfragen werden kaum reflektiert, so daß auch hier keine direkten Anknüpfungspunkte vorhanden sind. Doch dafür bietet sie wenigstens durch ihre Methoden und ihren begrifflichen Rahmen eine sichere Orientierungshilfe. Eine weitere Schwierigkeit erwächst aus der einseitig an logischen Vorstellungen ausgerichteten philosophischen Interpretationstradition, die aufgrund ihrer ideologischen Natur dem Verständnis von LEIBNIZ‘ Ideen hemmend entgegensteht. Außerdem ist zu beachten, daß früheres Gedankengut nicht schon deswegen Aktualität besitzt, weil es moderne Erkenntnisse vorwegnimmt oder weil es noch immer Gültigkeit hat. Denn was zum festen Bestandteil des heutigen Wissens gehört, kann schwerlich als aktuell gelten: Zur Aktualität eines Themas gehört auch stets ein zeitgenössisches Defizit, das es aufzuzeigen gilt.

Aus diesen Vorgaben ergibt sich folgende Gliederung: Anhand der *elementaren Prinzipien zur Darstellung von Wissen* (Kap. 2) wird erläutert, worin Wissensdarstellung aus heutiger Sicht besteht und wie Wissen dargestellt werden kann. Die meisten Prinzipien finden sich schon bei LEIBNIZ; sie bieten daher einen bequemen Zugang zu seinen Ideen. Am Beispiel der *Wissensdarstellung mit formalen*

¹ Frühere Versionen: *Elementary principles for representing knowledge* (1996), *Wissensdarstellung bei Leibniz* (2002).

Sprachen (Kap. 3) wird gezeigt, daß LEIBNIZ versuchte, Wissen formal darzustellen und daß seine *characteristica universalis* als Frühform der formalen Sprachen anzusehen ist. Über Sinn und Zweck der Wissensdarstellung gibt das *LEIBNIZ-Programm* Auskunft (Kap. 4). Typische, bislang wenig verstandene Begriffe aus diesem Programm wie ‚ars iudicandi‘ und ‚ars inveniendi‘ erhalten über die formalsprachliche Wissensdarstellung eine einfache Erklärung. Das abschließende Resümee behandelt einige Mißverständnisse über die Wissensdarstellung. Im Anhang findet sich ein einfaches, aber nichttriviales Darstellungsbeispiel aus dem Gebiet der syntaktischen Mustererkennung.

Zum leichteren Verständnis wurden fortlaufende, durch ‚« »‘ gekennzeichnete Beispiele in die etwas trockenen theoretischen Ausführungen eingeflochten.

2 Elementare Prinzipien zur Darstellung von Wissen

2.1 Über den Unterschied zwischen Semiotik und Darstellungstheorie

Semiotik und Darstellungstheorie haben mit Zeichen und ihren Bedeutungen zu tun. Man könnte daher annehmen, es handle sich hier nur um zwei Namen für ein und dieselbe Sache. Dieser Eindruck entsteht allerdings nur deshalb, weil ‚Darstellen‘ mit ‚Bedeutungszuweisung‘ identifiziert wird. Zwischen beiden besteht jedoch ein grundlegender Unterschied: Während Wörter ihre Bedeutung durch gelernte Vereinbarungen „zugewiesen“ bekommen, braucht die Bedeutung von Sätzen nicht im voraus gelernt zu werden. Sie ergibt sich zu einem kleinen Teil aus der Bedeutung der Wörter, zum größten Teil aber aus der Stellung der Wörter zueinander. Der hier durchscheinende, an LEIBNIZ erinnernde Kombinationsgedanke steht in den Sprachwissenschaften im Gegensatz zu unklaren Kon-

text- bzw. Kodierungsvorstellungen nicht hoch im Kurs. Betrachtet man ein Wort und seine Bedeutung als ein Beziehungspaar, so läßt sich die Gesamtheit aller dieser in einer natürlichen Sprache vorkommenden Paare noch mit einer gewissen Berechtigung als Kode deuten, der im Verlauf des Spracherwerbs zumindest teilweise auswendig gelernt werden muß. Wer jedoch das Darstellen von Inhalten in bestimmten Sätzen als einen Kodiervorgang ansieht,² verkennt das Wesen jeder Sprache, das darin besteht, die Anordnung als Ausdrucksmittel zu gebrauchen. Müßte nämlich auch die Bedeutung aller Sätze einer Sprache einzeln gelernt werden, so machte dies zwar eine Verständigung nicht unmöglich, aber die Sprachökonomie, die es erlaubt, mit wenigen Wörtern viele sinnvolle Sätze von unterschiedlichem Inhalt zu bilden, ginge dabei verloren.

Während sich die Semiotik mit Zeichen im weitesten Sinn beschäftigt, untersucht die Darstellungstheorie, wie durch Anordnung von Zeichen oder anderen Sprachbausteinen eine ganz bestimmte Bedeutung übermitteln werden kann. Bildlich ausgedrückt läßt sich die Semiotik mit Baustoffkunde, die Darstellungstheorie mit Architekturlehre vergleichen. Nun sind zwar für einen Architekten Kenntnisse über die zum Bauen notwendigen Materialien unerlässlich, aber darüber hinaus gilt es, eine architektonische Idee zu verwirklichen; sie entspricht dem darzustellenden Inhalt, ihre Verwirklichung dem Darstellen. Nicht jede Anhäufung von Baumaterial stellt ein Gebäude dar, es kommt vielmehr ganz wesentlich auf die richtige Anordnung an: Darstellungsprinzipien sind somit Gestaltungsprinzipien. Die hierbei auftretenden Probleme unterscheiden sich grundlegend von denen der Materialkunde, und ebensowenig wie sich Baustile in Begriffen der Materialkunde ausdrücken lassen, ebensowenig helfen semiotische Begriffe beim Lösen einer Darstellungsaufgabe.

² wie z.B. ECO (1991): *Semiotik*; siehe vor allem sein Kapitel *Theorie des Codes* (p. 76ff).

Das bisher Gesagte bezieht sich auf Inhalte allgemein, gilt also für wissenschaftliche und künstlerische Gestaltung gleichermaßen. Wissensdarstellung ist enger: sie beschränkt sich auf die Darstellung von Inhalten, verstanden als Produkte wissenschaftlicher Arbeit. Um im obigen Bild zu bleiben: Neben vielen Bauten, bei denen der architektonischen Phantasie große Freiheiten zugestanden werden, gibt es Nutzbauten, projiziert nur für einen ganz bestimmten Zweck. Ästhetische Gesichtspunkte bleiben auch hier nicht ganz unberücksichtigt, aber sie sind von untergeordneter Bedeutung. Die Architektur wird maßgeblich durch die dem Gebäude zugeordnete Aufgabe bestimmt; sie entspricht dem darzustellenden Wissen, ihre Verwirklichung der Wissensdarstellung.

LEIBNIZ formulierte die Idee der Wissensdarstellung so:

»Wenn es möglich wäre, Symbole oder Zeichen zu finden, die sich dazu eignen, alle unsere Gedanken ebenso gradlinig und stringent auszudrücken wie die Arithmetik die Zahlen oder wie die Geometrie die Figuren darstellt, dann könnten alle Dinge, soweit sie dem Schlußfolgern unterworfen sind, in der gleichen Weise behandelt werden wie es in der Arithmetik und Geometrie getan wird.«³

Zwischen seiner Charakterisierung und der folgenden, aus der Künstlichen Intelligenz stammenden Definition besteht inhaltlich kein grundsätzlicher Unterschied:

„Wissensdarstellung ist die Zeichensprachliche Repräsentation von Objekten, Fakten und Regeln in operationaler Form für einen Handlungsträger mit Zeichenverarbeitender Fähigkeit.“⁴

Einen Handlungsträger, verstanden als Obergriff von Mensch und Rechner, mußte LEIBNIZ noch nicht hervorheben. „Symbole oder

Zeichen‘ dagegen entsprechen der Zeichensprachlichen Repräsentation, ‚alle unsere Gedanken‘ dem Wissen, hier reduziert auf Objekte, Fakten und Regeln. Ferner weist die als Beispiel angeführte Arithmetik und Geometrie auf Zeichensprachliche Operationen und somit auf die Verwendung von künstlichen Sprachen hin, die gegebenenfalls erst konstruiert werden müssen.⁵

„Wissensdarstellung“ wird im folgenden als Bestandteil einer allgemeinen Sprachtheorie verstanden; sie ist nicht mit dem gleichnamigen KI-Fach zu verwechseln, das als angewandte Wissensdarstellung gelten kann. Die Wissensdarstellung betrifft somit

- die Konstruktion, oder, sofern bereits vorhanden, das Auffinden eines für das darzustellende Wissen geeigneten Sprachmittels sowie
- die Darstellung des Wissens selbst.

Beide Vorgänge müssen nicht notwendig als zeitlich nacheinander ablaufend gedacht werden; erfahrungsgemäß ergänzen sie sich wechselseitig.

2.2 Darstellungsprinzipien

Natürliche Sprachen erscheinen stets als bedeutungsvolle Zeichensysteme, so daß für ihren Gebrauch die Frage, wie sie zu ihren Inhalten gekommen sind, ohne Belang zu sein scheint. Bei künstlichen Sprachen gibt es diese günstige Ausgangsposition nicht; hier drängen sich die Fragen auf:

³ A VI.4A, 6 = C 155 = X 90.

⁴ LAUBSCH (1985): *Techniken der Wissensdarstellung*, p. 48.

⁵ Die Deutung der ars characteristica als Wissensdarstellung findet sich in der Leibnizliteratur offenbar nur bei MITTELSTRASS (1979): *The Philosopher's Conception*, p. 604.

- Wie ist es überhaupt möglich, Inhalt in einen künstlichen Formalismus zu bringen?⁶
- Wie muß man dabei vorgehen?

Die Darstellungsprinzipien insgesamt beantworten die zweite Frage. Die ersten drei Prinzipien behandeln allgemeine Darstellungsaspekte; die Prinzipien 4 und 5 beziehen sich auf die Aufbereitung des darzustellenden Materials und die Prinzipien 6 – 8 auf die Darstellung selbst. Die Antwort auf die erste Frage ergibt sich als Schlußfolgerung aus den Prinzipien.

Strukturbildung

Voraussetzung für die Darstellung von Inhalten ist ein Darstellungssystem, dessen Elemente mindestens zwei Eigenschaften aufweisen: eine Anordnungs- und eine Darstellungseigenschaft. Darüber hinaus können die Elemente noch andere, bei der Darstellung nicht beachtete Eigenschaften oder Merkmale haben. Die Anordnungseigenschaft ist eine Eigenschaft, die es erlaubt, eine Lagebeziehung zwischen den Elementen einzuführen. Sie ergibt sich oft automatisch dadurch, daß die Elemente räumlich angeordnet werden können. Die Lage eines Elementes relativ zu den Lagen der anderen Elemente muß eindeutig sein, d.h. (in Abwandlung des entsprechenden physikalischen Gesetzes): wo ein Element ist, kann sich kein zweites aufhalten. Die Anordnungsseigenschaft dient daher auch zur Abrenzung der Elemente; sie individualisiert sie. Im Gegensatz dazu können sich bezüglich der Darstellungseigenschaft die Elemente im gleichen Zustand befinden. Mit *Zustand* ist hier ein bestimmter Sta-

tus der Darstellungseigenschaft gemeint. Die Anzahl der möglichen Zustände einer Darstellungseigenschaft ist ihre *Wertigkeit* n ; sie muß größer als Eins sein.

«Bei einem weißen Blatt Papier sind die „Elemente“ die Bildpunkte; ihre Anordnungseigenschaft ist ihre unterschiedliche Lage und die Darstellungseigenschaft ist ihre Färbbarkeit. Die für die Darstellung zugelassenen Farben repräsentieren die Zustände, die ein Bildpunkt einnehmen kann. Läßt man n verschiedene Farben für einen Bildpunkt zu, so handelt es sich um ein n -wertiges Darstellungssystem, d.h. jeder Bildpunkt befindet sich genau in einem der n Farbzustände. Sieht man von der Farbe ab, mit der etwas auf ein Blatt Papier geschrieben wurde, unterscheidet man also dort nur weiße und nichtweiße Punkte, ist das Darstellungssystem zweiwertig und jedes seiner Bildpunkte enthält genau 1 bit Information; ein Blatt Papier entspricht dann einem Speicher in einem Rechner. Läßt man nur eine einzige Farbe zu, etwa die Farbe weiß, dann kann man auf dem Blatt Papier nichts darstellen: die Wertigkeit muß mindestens Zwei sein.»

Wenn alle Elemente den gleichen Zustand einnehmen, ist das Darstellungssystem inhaltsleer; wir bezeichnen es als *Darstellungsraum*. Ein n -wertiges System hat genau n verschiedene gleichberechtigte Darstellungsräume. Sie enthalten einen Inhalt, wenn mindestens eines ihrer Elemente sich in seinem Zustand von den anderen unterscheidet.

«Ein zweiwertiges Blatt Papier ist ohne Inhalt, wenn alle Bildpunkte entweder weiß oder nichtweiß sind; diese beiden Fällen stellen die beiden gleichberechtigten Darstellungsräume dar. Es handelt sich bei ihnen gewissermaßen um unbeschriebene Blätter. Weist das Blatt hingegen irgendwelche Tintenspuren und leere Stellen auf, unterscheiden sich somit bestimmte Bildpunkte voneinander, so enthält es Inhalt, auch wenn zunächst nicht bekannt ist, um welchen es sich dabei handelt.»

⁶ Die Problematik, die sich hinter dieser Frage verbirgt, wird kaum thematisiert; Ausnahme: SCHNELLE (1991): *From Leibniz to Artificial Intelligence*, p. 64.

Daraus folgt unmittelbar das Darstellungsprinzip

P_1 Inhalt in einem Darstellungssystem erfassen heißt, in einem seiner Darstellungsräume einen Teilraum ausgrenzen.

Mit dem Ausgrenzen ist stets eine bestimmte Anordnung verbunden.

Jede Inhaltsdarstellung ist gemäß dem Darstellungsprinzip P_1 ein Ausgrenzen von Möglichkeiten. In diesem Sinn ist ‚Inhalt darstellen‘ gleichbedeutet mit ‚Inhalte ausschließen‘. Indem also bestimmte Inhalte aus der Menge aller möglichen Inhalte herausfallen, werden andere Inhalte, nämlich gerade die gewünschten, herausgehoben, d.h. dargestellt.

P_1 bezieht sich sowohl auf kontinuierliche als auch auf diskrete Darstellungssysteme. Erstere haben nicht abzählbar unendlich viele Elemente und Zustände, bei den letzteren sind bei Bedarf ebenfalls unendlich viele Elemente und Zustände zugelassen, aber sie müssen abzählbar sein, so daß ihnen umkehrbar eindeutig Zeichen zugeordnet werden können.

«Bei einer zweiwertigen Papierdarstellung äußert sich die Diskretheit dadurch, daß ein Schriftzug stets eine endliche Breite besitzt und Farbunterschiede vernachlässigt werden; somit gibt es nur die diskreten Zustände ‚weiß‘ und ‚nichtweiß‘.

Ein Beispiel für einen kontinuierlichen Darstellungsraum ist die kartesische Ebene. Sie spannt über die x - und y -Achse einen inhaltslosen zweidimensionalen Raum auf, dargestellt durch das kartesische Produkt $\mathbb{R} \times \mathbb{R}$, wobei \mathbb{R} für die Menge der reellen Zahlen und das Produkt für die Menge aller Punkte dieser Ebene steht. Ein Punkt wird durch seine Koordinaten, also durch ein Wertepaar (x, y) gekennzeichnet. Inhalt in dem Raum darstellen heißt, eine bestimmte Punktmenge dieser Ebene auszeichnen. Dies kann eine abzählbare Punktmenge $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots\} \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}$ sein, wo-

bei die Anordnung durch die Indizes festgelegt wird, oder ein nichtabzählbare, beschrieben durch eine reelle Funktion. Die kartesische Ebene repräsentiert somit ein unendlich großes weißes Blatt Papier mit „kontinuierlichen“ Bildpunkten, die ausgewählte Punktmenge entspricht dann z.B. graphisch einer Kurve auf diesem Blatt.»

Kennt man von einem Darstellungssystem die Anzahl der Elemente und die ihrer Zustände, so kann man daraus berechnen, wie viele verschiedene Darstellungsmöglichkeiten das System bietet. Es zeigt sich, daß bereits wenige Elemente mit wenigen Zuständen zu einer sehr großen Anzahl von Darstellungsmöglichkeiten führen.

«Mit 26 Buchstaben lassen sich knapp 12 Millionen fünfbuchstabile Wörter bilden, und ein elektronischer Speicher der Länge 300 bit (nicht byte, KByte, MByte oder gar GByte) kann

$$2^{300} \approx 2 \cdot 10^{90}$$

Zustände annehmen – eine außerordentlich große Zahl. Zum Vergleich: Man schätzt die Anzahl der Elementarteilchen des gesamten Weltalls auf etwa 10^{90} ; Wörter mit 300 bit Länge reichten somit aus, um jedem Elementarteilchen umgekehrbar eindeutig einen Vor- und Nachnamen zuzuordnen.»

Es ist bemerkenswert, daß wir mit einem einzigen unserer elektronischen Speicher, der ja selbst materieller Natur ist, mehr Objekte beschreiben können, als es weltallweit gibt, und zwar um aberwitzig viele Größenordnungen mehr, denn 300 bit stellen in Gigabytezeiten einen unbedeutenden Speicherumfang dar. Diese unvorstellbar große, mit wenigen Mitteln handbare Vielfalt ist eine wichtige und daher häufig ausgenutzte Darstellungseigenschaft.

P_1 ist ein sehr allgemeines Prinzip, das insbesondere auch für hierarchisch miteinander verbundene Darstellungssysteme gilt. Gegeben sei ein aus diskreten Elementen bestehendes Darstellungssystem, das, je nach dem, wie seine Elemente besetzt sind, verschiedene Zustände einnehmen kann. Gedanklich läßt sich nun solch ein System vervielfältigen; dabei soll sich jedes der neuen Systeme in seinem Zustand von den anderen unterscheiden. Auf diese Weise gewinnt man eine Menge von wohlunterschiedenen, selbst aber keinen Veränderungen unterliegenden Objekten, die nun ihrerseits als Elemente eines höherstufigen Darstellungssystems verwendet werden können. Wir bezeichnen diese Objekte als *Träger* und eine bestimmte Menge von ihnen als *Trägermenge*. Anordnungseigenschaft ist in den meisten Fällen die Reihungsmöglichkeit der Träger.

«So kann man ein Blatt Papier, dessen Bildpunkte alle weiß sind, als erstes Element einer Trägermenge, dessen Bildpunkte bis auf den ersten alle weiß sind, als zweites Element ansehen usw. bis zu dem Fall, wo alle Bildpunkte schwarz sind. Jedes dieser Blätter ist ein Träger im obigen Sinn, alle zusammen bilden eine Trägermenge. Ein Blatt als Träger im höherstufigen System hat nun den gleichen Status wie zuvor seine Bildpunkte; die Trägermenge entspricht der früheren Menge der Bildpunkte.»

Nicht jede Zusammenstellung von Trägern ist sinnvoll; einen Inhalt innerhalb der durch die Trägermenge gegebenen Möglichkeiten erfassen, bedeutet, aus ihr Träger auswählen und in bestimmter Weise anordnen. Dies entspricht der Darstellung von Inhalten nach Darstellungsprinzip P_1 , das nun in einer anderen Formulierung lautet:

P_1^* Inhalt darstellen heißt, in einer Trägermenge eine Teilmenge ausgrenzen.

Ausgrenzen schließt wiederum eine bestimmte Anordnung der Teilmengenelemente ein.

«Eine bestimmte Menge von Bildern stellt eine Trägermenge dar, denn auch mit einer Bildfolge kann etwas ausgesagt werden. Es handelt sich dabei um einen Inhalt, der in keinem der Bilder enthalten ist, aus denen die Folge zusammengestellt wurde, sondern sich allein aus der Anordnung der Bilder ergibt.

Die Einfügung einer Darstellungshierarchie bewirkt nochmals eine beträchtliche Steigerung der Darstellungsmächtigkeit. So kann man mit einer Digitalkamera bei einer Auflösung von 1 Mpixel und 24 bit pro Pixel

$$(2^{24})^{10^6} = 2^{24.000.000} \approx 10^{7.224.700}$$

verschiedene Bilder machen. Ein einzelnes Bild entspricht einem Träger, die Menge dieser möglichen Bilder der Trägermenge; sie

erlaubt etwa $\sum_{k=1}^{10^{7.224.700}} k!$ verschiedene Anordnungen.»

Bei natürlichen Sprachen gibt es mehrere Hierachiestufen, wobei meist nur die obersten im Blickfeld stehen. Die unterste Stufe bildet das Alphabet. Durch Kombination der Zeichen aus dem Alphabet entstehen Wörter, durch Kombination von Wörtern Sätze und durch Kombination von Sätzen Texte.

Auf diesen Stufen werden unterschiedliche Inhalte erfaßt: Nicht jede Zeichenkombination ergibt in einer natürlichen Sprache ein sinnvolles Wort, es müssen daher bestimmte Zeichenkombinationen aus der Menge aller möglichen hervorgehoben werden. Hierfür gibt es allerdings in den natürlichen Sprachen keine Regel, so daß fortlaufend neue, sinnhafte Wörter gebildet werden können, während alte aus dem Wortschatz verschwinden. Allerdings scheiden viele Zeichenkombinationen aus, weil sie gegen die phonologische Struktur der natürlichen Sprache verstoßen, indem sie gar nicht oder nur schwer ausgesprochen werden können.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse auf der nächsten Hierarchiestufe: Nicht jede Wortkombination führt zu einem syntaktisch korrekten Satz einer natürlichen Sprache und nicht jeder syntaktisch korrekte Satz ist sinnvoll. Wann er sinnvoll ist, läßt sich nicht allgemein, d.h. durch bestimmte Regeln angeben, dafür besitzt eine natürliche Sprache eine hohe Plastizität. Man könnte daran denken, aus der Menge aller möglichen Sätzen nur die syntaktisch korrekten als Trägermenge auszuwählen. Die Darstellungseigenschaft wäre wiederum die Nachbarschaftsbeziehung von Wörtern; sie wird durch die Grammatik festgelegt.⁷ Aber es gibt große Schwierigkeiten, die Grammatikregeln einer Sprache vollständig aufzuzählen.⁸

Bei künstlichen Sprachen beschränkt man sich meist auf eine zweistufige Hierarchie: die aus einem bekannten Alphabet gebildeten Wörter sind die Träger, eine bestimmte Menge von ihnen ergeben eine Trägermenge. Eine besondere, häufig verwendete Trägermenge ist die Menge aller Wörter, erzeugt aus einem gegebenen Alphabet. Die erste Entscheidung, die bei einer Wissensdarstellung getroffen werden muß, ist die Wahl einer geeigneten Trägermenge zusammen mit einem Ausgrenzungsverfahren.

Minimale Sprachmächtigkeit

Experimentelle Ergebnisse beziehen sich auf Einzelfälle; sie liefern Faktenwissen. Verallgemeinert führen sie zu allgemeinen Aussagen oder Gesetzeswissen, das wiederum, soll es angewandt wer-

⁷ Daß sich die Grammatik einer natürlichen Sprache auch noch auf weitere Merkmale wie Flexion, Kasus usw. bezieht, sei hier nur am Rande erwähnt.

⁸ LEHNER (1993): *Grammatikentwicklung* hat für ein nichttriviales Grammatikfragment der deutschen Sprache eine Prologimplementierung geliefert. Nach einem der Gründe befragt, warum es nur bei einem Fragment geblieben ist, antwortete der Autor: Es konnte mir niemand sagen, was genau im Deutschen ein Satz ist (mündliche Mitteilung).

den, Faktenwissen voraussetzt. Sowohl für Gesetzes- als auch für Faktenwissen muß es daher sprachliche Ausdrucksmöglichkeiten geben. Beide Bereiche gehören jedoch zwei verschiedenen Abstraktionsebenen an: sie erfordern somit auch je eigene Sprachmittel:

- P₂ Im Darstellungsformalismus müssen mindestens zwei verschiedene, aber miteinander verbundene Sprachstufen angelegt sein.

Eine Verallgemeinerung auf drei und mehr Stufen ist jederzeit möglich.

Bei einer Wertetabelle z.B. sind die angegebenen Werte die Individuen aus der unteren Abstraktionsebene. P₂ fordert, daß auch die Teilmenge selbst, aus der die Werte stammen, darstellbar sein muß; dies kann durch eine Regressionsfunktion geschehen. Funktionen erfordern aber andere Sprachmittel als tabellarische Zusammenstellungen. Beim Anwenden einer durch Buchstaben dargestellten Formel auf einen konkreten Fall, ist es notwendig, wieder auf die Zahlenebene zurückzugehen.

Darstellungstreue

Es gibt stets mehrere, sich hinsichtlich ihrer Qualität unterscheidende Möglichkeiten, einen Inhalt sprachlich zu erfassen. Wissen soll so gut wie möglich dargestellt werden; darunter ist folgendes zu verstehen:

- P₃ Die Wissensdarstellung muß darstellungstreu erfolgen. Ein Formalismus erfaßt das Wissen eines Objektbereiches darstellungstreu, wenn er es vollständig repräsentiert und wenn mit ihm keine Inhalte ausgedrückt werden können, die nicht zum darzustellenden Wissen gehören.

Darstellungstreue ist das Kriterium für die Exaktheit einer Darstellung. P_3 beruht auf der Einsicht, daß nicht jeder Inhalt durch jede Sprache gleich gut ausgedrückt werden kann. Daraus leitet sich die Verpflichtung ab, den Formalismus an den darzustellenden Inhalt anzupassen. Darstellungstreue darf nicht mit Wahrheit verwechselt werden: erstere bezieht sich auf die Korrektheit der Darstellung, letztere auf die Korrektheit des dargestellten Inhalts. Wenn ein Inhalt darstellungstreu erfaßt wurde, ist das Ziel der Wissensdarstellung erreicht; welchen Wahrheitsgehalt der Inhalt hat, darüber kann in der Wissensdarstellung nicht entschieden werden: auch Falsches läßt sich exakt darstellen. Darstellungstreue zu erreichen, ist nicht nur Sache der Wissenschaftler; sie ist auch jedem um den optimalen Ausdruck ringenden Künstler vertraut.

Um der Forderung nach Darstellungstreue nachkommen zu können, braucht man bei den Sprachmitteln freie Hand; deshalb ist es in der Regel notwendig, auf künstliche Sprachen auszuweichen. Die folgenden Prinzipien beziehen sich auf die Darstellung von Wissen in diesen Sprachen.

Als begleitendes Beispiel stellen wir uns die Aufgabe, ein Verfahren zu skizzieren, mit dem sich alle chemischen Stoffe darstellen lassen.

Analyse

Wissensdarstellung setzt voraus, daß der darzustellende Stoff systematisch geordnet vorliegt. Oft muß jedoch die systematische Ordnung erst durch eine Analyse des Sachgebietes gewonnen werden. Ein einfaches Beispiel für solch eine Analyse sind die vorbereitenden Schritte zur Lösung einer Textaufgabe: Bevor gerechnet, d.h. der mathematische Formalismus angewendet werden kann, gilt

es, die im umgangssprachlichen Text eingekleideten mathematischen Größen und Beziehungen herauszupräparieren. Allgemein ist es Ziel der Analyse, möglichst wenige elementare Einheiten zu ermitteln, auf die sich die Phänomene des Objektbereichs zurückführen lassen. Die Einheiten, auch ‚Primitive‘ genannt, stellen das dar, was später Zeichen zugeordnet werden muß; sie sind das unmittelbare Bindeglied zwischen der Objekt- und Gedankenwelt. Zu ihnen gehören Basisobjekte, Relationen und Operationen. Die Basisobjekte sind aus dem System ausgegrenzte Teilsysteme. Die Operationen betreffen alle Arten von Manipulationen, die mit den Basisobjekten ausgeführt werden können. Bei den Relationen werden verschiedene Objekte hinsichtlich einer bestimmten Eigenschaft miteinander verglichen.

P_4 Der darzustellende Objektbereich ist gedanklich in eine nichtleere Menge von Basisobjekten, in eine Menge von Relationen, und, falls erforderlich, in eine Menge von Operationen zu zerlegen.

‚Objekt‘ wird hier als Oberbegriff von gedanklichen und empirischen Dingen verstanden. Basisobjekte können daher z.B. Grundbegriffe oder reale Objekte sein; sie können sich jedoch auch auf Objektbruchstücke beziehen, die es für sich nicht gibt.

«Um die chemischen Stoffe sprachlich erfassen zu können, muß zunächst bekannt sein, was ein chemischer Stoff ist. Eine Analyse wird ergeben, daß es chemische Elemente und die aus ihnen gebildeten chemischen Verbindungen gibt. Man wird ferner feststellen, daß die chemischen Elemente eine bestimmte Wertigkeit haben und daß manche von ihnen sogar in unterschiedlicher Wertigkeit auftreten können. Es empfiehlt sich daher, als Basisobjekte die chemischen Elemente zu wählen und dabei aus praktischen Gründen Elemente mit unterschiedlichen Wertigkeiten als unterschiedliche Basisobjekte aufzufassen. Danach ist also zweiwertiges Eisen ein anderes Basisobjekt als dreiwertiges. Relationen und Operationen gibt es in diesem einfachen Beispiel nicht; um die Elemente in einer Verbin-

dung darzustellen, genügt die räumliche Anordnung. Bestünde jedoch die Aufgabe, Reaktionsgleichungen zu beschreiben, so ergäbe sich als Operation das Zusammenfügen von chemischen Stoffen und als Relation eine Art Gleichheitsrelation, die das Reaktionsgleichgewicht charakterisiert.»

P₄ beruht auf der Annahme, daß die Welt aus realen, zueinander in Beziehung stehenden, eventuell auch miteinander wechselwirkenden Objekten besteht. Durch die Analyse wird ein Objektbereich gedanklich gewissermaßen in seine elementaren Einzelteile zerlegt, um die Gegenstücke zu den Sprachbausteinen zu bekommen. Dagegen ließe sich einwenden, daß nicht für alle Objektbereiche die diskursive Auffassung angemessen sei. Doch da Sprachen - auch die natürlichen - von Natur aus diskursiv sind, müssen solche Inhalte entweder dieser Sprachanforderung angepaßt werden, oder man muß, wenn dies zu einem Konflikt mit dem Treueprinzip führt, auf ihre sprachliche Darstellung verzichten.

Synthese

Während die Analyse dazu dient, die Primitiven herauszufinden, befaßt sich die Synthese damit, das darzustellende Wissen mit ihrer Hilfe auszudrücken:

P₅ Es müssen geeignete allgemeine Leitbegriffe und Regeln sowie elementare Strukturgesetze zur Erfassung des Objektbereiches aufgestellt werden.⁹

Wie weit die Analyse zu treiben ist, zeigt sich daran, ob die durch sie ermittelten Ausdruckselemente zur Erfassung des Wissens aus-

⁹ Leitbegriffe sind Begriffe, die für die Darstellung benötigt werden; es ist notwendig, sie von Begriffen zu unterscheiden, die selbst Gegenstand der Darstellung sein können.

reichen. Analyse und Synthese sind daher wechselseitig aufeinander bezogene Arbeitsgänge.

Da auch das Syntheseresultat sprachlich fixiert werden muß, die Darstellungssprache aber noch nicht zur Verfügung steht, ist man zunächst noch auf Ersatzsprachen angewiesen; meist wird es eine durch technische Mittel angereicherte natürliche Sprache sein. Das Syntheseresultat ist immer relativ: es hängt von der Wahl der Primitiven ab. Außerdem läßt der gleiche Satz von Primitiven verschiedene Strukturgesetze zu, denn es gibt viele Aspekte, nach denen Objekte geordnet werden können. Vereinfacht gilt: Je komplexer die Primitiven sind, desto einfacher werden i.a. die zugehörigen Regeln ausfallen und umgekehrt. Auch die Leitbegriffe und Regeln bedingen sich wechselseitig. Es ist daher problematisch von Strukturen zu sprechen, die in den Objekten zu finden seien und die umkehrbar eindeutig in einer Sprache abgebildet werden könnten. Die Synthese führt im allgemeinen nicht zu einem eindeutigen Ergebnis, d.h. es gibt oft mehrere gleichwertige Lösungen.

«Im Chemiebeispiel ist der oberste Leitbegriff ‚chemischer Stoff‘; er spaltet sich auf in ‚chemische Basisobjekte‘ und ‚chemische Verbindungen‘; letztere lassen sich weiter unterteilen in ‚anorganische Verbindung‘ und ‚organische Verbindung‘ und diese wiederum in ‚Säure‘, ‚Base‘, ‚Metalloxid‘, ‚Kohlenwasserstoffe‘ usw. oder auch nur in chemische Teilverbindungen wie OH- oder NH₂-Gruppe. Statt der historischen Einteilung anorganisch/organisch zu folgen, wäre es wohl aus systematischen Gründen günstiger, zunächst zwischen zyklischen und nichtzyklischen Verbindungen zu unterteilen. Hier zeigt sich, daß es mehrere, aus chemischer Sicht gleichwertige Synthesemöglichkeiten gibt, die sich aber in ihrem Darstellungsaufwand unterscheiden.»

Wie die Ergebnisse von Analyse und Synthese sprachlich zu erfassen sind, regeln die folgenden Prinzipien.

Kodierung

Die unmittelbar der Objektwelt, d.h. den Primitiven zugeordneten Zeichen heißen ‚Terminale‘, solche für die Leitbegriffe heißen ‚Nichtterminale‘:

P₆ Jedem Leitbegriff muß umkehrbar eindeutig ein Nichtterminal und jedem Primitiv umkehrbar eindeutig ein Terminal zugeordnet werden; ausgenommen ist diejenige Relation, die bereits durch die Verkettung der Zeichen dargestellt wird.

Solch eine Zuweisungsvorschrift zwischen den Zeichen und den Primitiven bzw. Leitbegriffen läßt sich als Kode (im Sinne der Kodierungstheorie) verstehen; über den Kode wird den Zeichen eine Bedeutung zugewiesen. Es ist dabei gleichgültig, welche Zeichen gewählt werden. Doch da die Ähnlichkeit eines Zeichens mit dem Ding, das es bezeichnet, als Gedächtnishilfe dienen kann, ist es manchmal für die Handhabung vorteilhaft, solche zu verwenden, denen man es ansehen kann, welche Funktion sie haben.¹⁰ Nur Terminale haben eine echte Stellvertreterfunktion: sie stehen als sinnlich Wahrnehmbares für etwas, das (eventuell nur vorübergehend) nicht sinnlich wahrnehmbar ist. Nichtterminale repräsentieren rein gedankliche, aber auf die Objektwelt Bezug nehmende Entitäten. Die Unterscheidung der beiden Zeichentypen bereitet die in P₂ geforderten zwei Sprachebenen vor.

«Als Terminale wird man die schon vorhandenen Zeichen für die chemischen Elemente verwenden ergänzt durch Zahlen, welche die Häufigkeit eines Elementes in der Verbindung anzeigen. Für die Leitbegriffe ‚chemischer Stoff‘, ‚chemisches Element‘, ‚Säure‘ usw. müssen geeignete Zeichen als Nichtterminale eingeführt werden.»

¹⁰ A VI.4A, 23-24; A VI.1 200.

Objektdarstellung

Die Basisobjekte eines Bereichs können Objektbruchstücke, aber auch bereits reale atomare Objekte sein; es wird nur gefordert, daß sich mit ihnen Objekte von beliebiger Komplexität zusammensetzen lassen. Wie solche Objekte sprachlich darzustellen sind, regelt

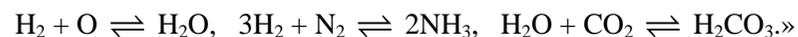
P₇ Ein Objekt wird in zwei Schritten dargestellt: Es wird zuerst gedanklich in seine Primitiven zerlegt, und mit Hilfe der ihnen zugehörigen Zeichen wird dann sein sprachlicher Ausdruck so gebildet, daß die Verhältnisse zwischen den Primitiven im Objekt den Verhältnissen zwischen den Terminalen entsprechen.¹¹

In P₆ wird eine Isomorphiebeziehung formuliert. Im Gegensatz dazu beruht die sprachliche Darstellung von Objekten nach P₇ auf einer strukturellen Äquivalenz, die nur noch eine Homomorphie zuläßt.

«Einfache Beispiele hierfür sind z.B. die chemischen Formeln



oder die Reaktionsgleichungen



Zeichen in künstlichen Sprachen entsprechen den Wörtern in den natürlichen; und wie die Wörter repräsentieren auch die Zeichen kein Wissen. Wissen ergibt sich erst, wenn etwas behauptet, d.h. wenn wenigstens zwei Dinge miteinander in Beziehung gesetzt werden. Wissen darstellen heißt daher: Zeichenketten bilden. P₇ bezieht sich auf die einfachste Art von Wissen: auf die Kenntnis, wie die Objekte aus den Primitiven aufgebaut sind. Es ist eine spezielle Art

¹¹ A VI.4A 916 = B 80f; ähnlich im *Dialog* A VI.4A, p. 24, p. 25.

von Faktenwissen. Umgekehrt wird durch Inbeziehungsetzen von zwei bisher nicht in Beziehung stehenden Objekten eine Behauptung aufgestellt. Man muß daher beim rechnergestützten „Verlinken“ von Textteilen sehr behutsam zu Werke gehen, wenn die Links, über die reine Verweisfunktion hinausgehend, Relationen darstellen, denn jeder unbegründete Link kommt einer falschen Aussage gleich.

Darstellung von Gesetzmäßigkeiten

Daß Wissensdarstellung über die einfache Objekterfassung hinausgeht, scheint erstmals LAMBERT klar formuliert zu haben:

»Die Zeichen der Begriffe und Dinge sind ferner im engeren Sinne wissenschaftlich, wenn sie nicht nur überhaupt die Begriffe oder Dinge vorstellen, sondern auch solche Verhältnisse anzeigen, daß die Theorie der Sache und die Theorie ihrer Zeichen miteinander verwechselt werden können ... Die Theorie der Sachen "sei" auf die Theorie der Zeichen zu reduciren ...«¹²

Danach unterscheidet LAMBERT zwei Arten von struktureller Äquivalenz: die in P₇ zum Ausdruck gebrachte zwischen den Objekten und ihrer sprachlichen Darstellung und die zwischen Sach- und Zeichentheorie:

P₈: Gesetzmäßigkeiten über die Objekte müssen formuliert werden als Gesetzmäßigkeiten zwischen den Zeichen.

Weil Regularitäten sich auf eine Gesamtheit von Objekten beziehen und daher gedankliche Entitäten sind, muß in den sie beschreibenden Zeichenketten mindestens ein Nichtterminal vorkommen. Auch P₈ drückt nur noch eine Homomorphie aus. So benutzt man z.B. in der Physik Funktionen, die über der Menge der reellen Zahlen definiert sind, aber man fordert nicht, daß jede reelle Zahl eine

physikalische Entsprechung haben müsse. Beispiele für eine Zeichensprachliche Darstellung von Gesetzmäßigkeiten sind Gleichungen und Grammatikregeln.

«Angenommen, ‚S‘ sei das Zeichen für ‚Salz‘, ‚M‘ das für Metall und ‚¬M₀‘ das für Nichtmetalloxid, dann läßt sich das Gesetz ‚Salz ist eine Verbindung von Metall und Nichtmetalloxid‘ als einfache Grammatikregel

$$S \Rightarrow M \neg M_0$$

darstellen. Die Zeichen ‚S‘, ‚M‘ und ‚¬M₀‘ sind dabei Nichtterminale und müssen durch weitere Regeln ergänzt werden.»

2.3 Wie kommt Wissen in ein Zeichensystem?

Inhalt erfassen bedeutet nach P₁ Teilmengenbildung; darauf beziehen sich die drei letzten Prinzipien. Sie regeln die Erfassung von drei verschiedenen Inhaltsarten; es kommen daher drei verschiedene Teilmengen vor, so daß die Grundfrage der Darstellungstheorie ebenfalls eine dreiteilige Antwort erfordert: Einzelne Terminale werden aus der Menge aller möglichen Zeichen (willkürlich) ausgewählt; sie haben keinen Bezug zur Objektwelt, sondern erhalten ihre Bedeutung durch Zuweisung (P₆). Terminalketten repräsentieren die aus Primitiven zusammengesetzten komplexen Objekte. Sind die Primitiven eines Objektes und damit auch die zugehörigen Terminale bekannt, dann besteht jetzt die Trägermenge aus allen Ketten, die aus diesen Terminalen gebildet werden können. Von ihr muß eine Teilmenge gebildet werden; sie besteht nur aus einem einzigen Element, nämlich aus derjenigen Kette, bei der die in P₇ geforderte Strukturäquivalenz zum darzustellenden Objekt erfüllt ist. Die Kette erhält ihre Bedeutung ebenfalls durch Zuweisung, doch diese ist nicht mehr willkürlich, sondern an den Aufbau des darzustellenden Objekts gebunden. Terminale, ob als Einzelzeichen oder in Ketten,

¹² LAMBERT (1764), *Neues Organon* II, p. 16.

beziehen sich stets auf die Objektwelt. Trägermenge bei der dritten Inhaltsart sind die Menge aller Ketten, die aus *allen* Terminalen gebildet werden können. Aus dieser sind als Teilmenge alle diejenigen Ketten auszugrenzen, die im Sinne von P_7 sinnvoll sind. Bei endlichen Teilmengen kann dies durch Auflisten ihrer Elemente erfolgen. Doch ist das nur der triviale Fall; i.a. bezieht sich die Darstellung auf eine Teilmenge, die aus beliebig vielen nicht mehr auflistbaren Elementen besteht.¹³ Um diese von den anderen abgrenzen zu können, müssen Merkmale gefunden werden, die nur sie, nicht aber die anderen Elemente besitzen. Merkmale drücken Regularitäten aus, und zwar sowohl in der Zeichen- als auch in der Dingwelt; P_8 fordert eine Äquivalenz zwischen beiden.

Es bleibt noch zu klären, wie zwischen Sprach- und Objektwelt Strukturäquivalenzen zustande kommen können.

Weil Terminalketten, als sprachliche Gebilde, notwendig eine räumliche Anordnung haben müssen, Zeichen in einer Zeichenkette also immer in einer Beziehung zueinander stehen, verkörpern sie durch diese Beziehungsstruktur stets potentiell Faktenwissen, dem strukturäquivalentes reales Faktenwissen zugeordnet werden kann (P_7). Strukturäquivalenz besagt nicht, die Lagebeziehung der Zeichen müsse notwendig auch der Lagebeziehung der Dinge entsprechen, vielmehr kann irgendeine Relation zwischen den Dingen gemeint sein.

«Die Zeichenkette ‚H₂O‘ z.B. drückt aus, das zwei gleiche Zeichen mit einem anderen in Beziehung stehen. Man verwendet sie bekanntlich zur Beschreibung eines Wassermoleküls; aber sie eignete sich auch dazu, ir-

¹³ ‚Auflistbar‘ bedeutet: die Elemente können der Reihe nach alle angeführt werden. ‚Auflistbar‘ ist nicht mit dem mathematischen Begriff ‚abzählbar‘ zu verwechseln.

gendwelche anderen Verhältnisse zu erfassen, sofern diese mit ihr strukturäquivalent sind.»

Ferner weist jede auch willkürlich zusammengestellte Auswahl von Terminalketten eine Gesetzesstruktur auf, d.h. es gibt in ihr stets ähnliche, zu einer Klasse zusammenfaßbare und daher durch Regeln charakterisierbare Elemente: Wegen der willkürlichen Auswahl müßte es - so könnte man vermuten - sinnloser Inhalt sein. Doch es gibt kein äußeres Merkmal, wonach sich eine willkürliche Auswahl von einer sinnvollen unterscheiden ließe: jede Auswahl, jedes „abstrakte“ Zeichensystem verkörpert potentiell Gesetzeswissen (P_1) und kommt somit als Darstellungsmedium infrage. Da es allein auf Formen beruht, ist es „rein formales“ Gesetzeswissen. Aufgrund der Entsprechung von formalem und realem Gesetzeswissen (P_8) erhält ein leeres Zeichensystem seine Bedeutung.

Auch Gesetzmäßigkeiten müssen durch Zeichenketten (meist als ‚Regel‘ bezeichnet) dargestellt werden, doch die Beziehungen der Zeichen solcher Ketten beziehen sich nicht mehr ausschließlich auf die Objektwelt. Dies kommt dadurch zum Ausdruck, daß sie syntaktische Zeichen enthalten (z.B. den Regelpfeil) und mindestens ein Nichtterminal; darüber hinaus können auch Terminale vorkommen. Eine Regel kann nun sowohl als eine Gesetzesaussage oder als eine Handlungsvorschrift interpretiert werden. In der Wissensdarstellung sind somit Gesetzeswissen und prozedurales Wissen äquivalent.

3 Wissensdarstellung mit formalen Sprachen

Die Wissensdarstellung mit formalen Sprachen bietet die Möglichkeit, die Darstellungsprinzipien mit einfachen Mitteln zu veranschaulichen. Zugleich verschafft sie die zur Erläuterung der LEIBNIZschen Ideen notwendige moderne begriffliche Basis. Die

Ausführungen beschränken sich auf das Allernotwendigste; formale Sprachen erlauben noch tiefere Einblicke in die Darstellungsproblematik als hier angegeben.

3.1 Formale Sprachen: Grundbegriffe¹⁴

Gegeben sei ein Terminal-Alphabet Σ . Die Menge aller Sätze,¹⁵ die insgesamt mit den Elementen von Σ gebildet werden können, sei die Menge Σ^* . Eine formale Sprache L ¹⁶ ist definiert als eine wohlbestimmte Teilmenge von Σ^* . 'Wohlbestimmt' heißt: es ist genau festgelegt, welche Sätze aus Σ^* zu ihr gehören. Die Festlegung erfolgt über (Grammatik)regeln, die angeben, wie die Sätze zu bilden sind. Eine formale Sprache ist somit durch ihre Grammatik sowie durch Angaben darüber, wie die Grammatik zu handhaben ist, eindeutig festgelegt.

Grammatik für Wortstrukturen

Eine Grammatik für Wortstrukturen G setzt sich aus dem Quadrupel

$$G = (V_N, \Sigma, P, S);$$

zusammen, dabei ist

1. V_N das Alphabet der Nichtterminalen zur Erfassung der Leitbegriffe,
2. Σ das Alphabet der Terminalen zur Erfassung der Primitiven.
3. P ist eine endliche Menge von Ersetzungsregeln (Produktionen), bezeichnet durch $\alpha \Rightarrow \beta$, α und β stellen Zeichenketten über $V_N \cup \Sigma$ dar; α muß mindestens ein Zeichen aus V_N enthalten.
4. $S \in V_N$ ist das Startzeichen.

¹⁴ Genaueres s. z.B. SALOMAA (1973): *Formal Languages*.

¹⁵ Statt ‚Sätze‘ heißt es oft ‚Wörter‘. Im folgenden werden Wörter als Einheiten aufgefaßt, die in Σ als Zeichen vertreten sind. Folglich stellen die mit den Elementen von Σ gebildeten Zeichenketten Sätze dar.

¹⁶ Auch Produktionssystem (Semi-Thue-System, Regelsystem, kanonisches System) genannt.

Die Herleitung eines (syntaktisch korrekten) Satzes (Top-down Parsing) beginnt mit dem Startzeichen; sie endet erfolgreich, wenn keine Regel mehr angewandt werden kann und wenn die Zeichenkette nur noch aus Terminalen besteht. Bei der Syntaxanalyse (Bottom-up Parsing) verläuft die Ableitung in umgekehrter Richtung: Ausgehend von einer nur aus Terminalen gebildeten Zeichenkette wird versucht, durch Rückwärtsanwenden der Regeln das Startsymbol zu erreichen; gelingt dies, ist die Zeichenkette ein Satz der betreffenden Sprache, d.h. sie ist bezüglich der verwendeten Grammatik syntaktisch korrekt.

Beispiel:

Gesucht ist eine Grammatik $G = (V_N, \Sigma, P, S)$ zur Konstruktion der Binärziffern $\{ 0, 1, 10, 11, 100, \dots \}$. Es gilt:

$$V_N = \{ S, A \}$$

$$\Sigma = \{ 0, 1 \}$$

$$S = \langle \text{Binärziffer} \rangle$$

- P:**
- (1) $\langle \text{Binärziffer} \rangle \Rightarrow A$
 - (2) $\langle \text{Binärziffer} \rangle \Rightarrow 1A$
 - (3) $A \Rightarrow 0A$
 - (4) $A \Rightarrow 1A$
 - (5) $A \Rightarrow 0$
 - (6) $A \Rightarrow 1$

Die Ziffer '1011' z.B. kann mit der obigen Grammatik folgendermaßen erzeugt werden:

$$\langle \text{Binärziffer} \rangle \Rightarrow^2 1A \Rightarrow^3 10A \Rightarrow^4 101A \Rightarrow^6 1011.$$

Die Zahlen über den Pfeilen geben die verwendete Regel an. Nach Vereinbarung ist es ein „Links-zuerst-Ansatz“, bei der die

Herleitungsrichtung von links nach rechts verläuft. Das in der Grammatik enthaltene Wissen besagt: eine Ziffer besteht aus einer beliebigen Null-Eins-Kombination, sofern sie keine führende Null aufweist; Ausnahme: eine einzelne Null. Ein anspruchsvolleres Beispiel aus der syntaktischen Mustererkennung ist im Anhang angegeben.

Aus dieser Kurzcharakteristik ergeben sich folgende Beziehungen zu den drei ersten Darstellungsprinzipien:

Trägermenge ist Σ^* , sie enthält alle Zeichenketten, die sich mit einem Terminal-Alphabet erzeugen lassen. Nicht jedes ihrer Elemente ist ein sinnvoller Satz. Gesetzeswissen darstellen heißt, die nicht sinnvollen von den sinnvollen Sätzen abzugrenzen. Letztere bilden - als Teilmenge von Σ^* - eine durch eine Grammatik charakterisierbare formale Sprache (P_1). Gesetzeswissen in einer formalen Sprache darstellen, bedeutet daher, eine geeignete Grammatik aufstellen.

Unterschiedliche Sprachebenen werden durch die Unterscheidung von Terminalen und Nichtterminalen ermöglicht (P_2). Die Terminale, aus denen die Sätze einer formalen Sprache bestehen, bilden den objektsprachlichen Anteil. Nichtterminale werden als „Hilfszeichen“ zur Darstellung der Grammatik gebraucht; sie gehen als Leitbegriffe in die Herleitung der Sätze, nicht aber in die Sätze selbst ein. Sie ermöglichen eine rekursive Regelanwendung, d.h. eine Regel kann - wie z.B. Regel 3 oder 4 im obigen Beispiel - beliebig oft angewendet werden, so daß die strukturellen Eigenheiten einer *unendlichen* Menge von Wörtern in einer sehr kompakten Weise durch wenige Zeichen und eine *endliche* Regelmenge erfaßt werden können.

Gesetzeswissen darstellungstreu in einer formalen Sprache darstellen heißt, ihre Syntax so festlegen, daß sie mit dem darzustellenden Wissen identisch ist (P_3). Das ist dann der Fall, wenn jeder ihrer Sätze Faktenwissen über das darzustellende Gebiet enthält, und wenn es kein Faktenwissen dieses Gebietes gibt, das nicht durch Sätze der Sprache erfaßt wurde. 'Wahr/sinnvoll' ist somit gleichbedeutend mit 'grammatisch korrekt', das Wissen wurde redundanzfrei dargestellt: die betreffende Sprache ist „reine Information“.¹⁷

Die Prinzipien $P_1 - P_3$ werden von LEIBNIZ nicht explizit erwähnt. In seinen Darstellungsversuchen befolgt er jedoch das erste Prinzip; das dritte hielt er wohl für selbstverständlich. P_2 hingegen scheint er nicht beachtet zu haben; wir werden später noch darauf zurückkommen.

3.2 *Characteristica universalis* als Frühform einer formalen Sprachen

Daß LEIBNIZ nach heutigem Verständnis danach strebte, Wissen mit formalen Sprachen darzustellen und daß seine *characteristica universalis* als Frühform einer formalen Sprache anzusehen ist, läßt sich bereits aus Äußerungen wie der folgenden erschließen:

Die ars characteristica ist die Kunst, Zeichen so zu gestalten und anzuordnen, daß sie Gedanken wiedergeben, oder so, daß die Beziehungen, die sie zueinander haben, so sind, wie die Gedanken sie zueinander haben. Ein Ausdruck [solch einer künstlichen Sprache]

¹⁷ ‚Redundanzfrei‘ bezieht sich hier auf die inhaltliche Ebene, d.h. es kann nichts weggelassen werden ohne den Inhalt zu verfälschen, und jeder Zusatz ist überflüssig. Im Zeichenbereich kommt jedoch noch weiterhin Redundanz vor, und zwar sogar auf zwei verschiedenen Ebenen: Zum einen gibt es von einem Objektbereich i.a. beliebig viele darstellungstreu, also inhaltlich gleichwertige Varianten, die sich aber hinsichtlich ihres Umfangs, z.B. hinsichtlich der Anzahl der Grammatikregeln, erheblich voneinander unterscheiden können. Zum anderen ist eine Grammatik ein normaler Text, dessen Umfang sich stets mit üblichen Kompressionsverfahren reduzieren läßt.

*ist die Aneinanderreihung von Zeichen, die den Gegenstand, der ausgedrückt wird, darstellen.*¹⁸

Bestärkt wird diese Auffassung aber vor allem durch seine zahlreichen Arbeiten im Sinne der Darstellungsprinzipien P₄ – P₇.

Analyse, Synthese, Kodierung

Formale Sprachen sind immer dann gute Darstellungsmittel, wenn sich das Wissen aus wenigen Primitiven durch rekursive Anwendung weniger Regeln aufbauen läßt. Dies ist auch LEIBNIZ' Grundgedanke: Die Vielfalt der Objekte hält er nur für scheinbar; sie entstehe durch die unendliche Zahl von Möglichkeiten, in denen eine endliche Zahl von Grundideen/begriffe miteinander kombiniert werden können. Er nimmt an, daß komplexe Dinge in elementare Bestandteile zerlegbar sind und daß es Grundrelationen gibt, mit denen sich die Teile wieder zu einem komplexen Ganzen „kombinieren“ lassen. LEIBNIZ denkt z.B. an die Zerlegung von zusammengesetzten Begriffen in Unterbegriffe, diese wiederum in noch elementarere Begriffe usw. bis zu den nicht weiter zerlegbaren „letzten“ Begriffen.¹⁹ Auf diese Weise ließen sich alle menschlichen Gedanken auf nur wenige "ursprüngliche" zurückführen,²⁰ die, einmal gefunden, gewissermaßen als Alphabet der menschlichen Gedanken dienen könnten.

LEIBNIZ unterscheidet klar zwischen Basisobjekten (Grundbegriffe oder Grundgedanken, logische Ausdrücke, elementare geometrische Figuren) und Relationen (Äquivalenz, Ordnungsrelationen,

¹⁸ A VI.4A, 916 = B 80f; ähnlich A VI.4A, 23-24.

¹⁹ A VI.4A, 538ff = GP VII 292ff.

²⁰ A VI.4A, 919 = GP VII 205 = X 112.

Ähnlichkeit, Kongruenz)²¹ und ordnet ihnen umkehrbar eindeutig Zeichen zu.²² Er kannte somit die Prinzipien P₄ – P₆. Damit hatte er sich die Grundvoraussetzungen für eine Wissensdarstellung in formalen Sprachen geschaffen.

Lex expressionum

LEIBNIZ scheint erstmals erkannt zu haben, daß Darstellung auf struktureller Äquivalenz zwischen Objekt- und Zeichenwelt beruht (P₇):

Das Darstellungsgesetz ist dies: so wie sich die Gedanken eines darzustellenden [komplexen] Dinges aus jener [einfachen] Dinge Gedanken zusammensetzen, so muß des [komplexen] Dinges Ausdruck zusammengesetzt werden aus den diesen [einfachen] Dingen [zugeordneten] Zeichen.«²³

In zahlreichen „Kalkülfragmenten“ befaßt er sich damit, einen Satz von geeigneten Regeln aufzustellen, um solch verschiedene Bereiche wie Logik, Geometrie, Optik, Differentialrechnung usw. zu erfassen. LULLUS und andere Vorgänger, sogar der frühe LEIBNIZ selbst, waren auf sehr einfache "Grammatiken" vom Typ 'alle Kombinationen von' oder 'alle Permutationen von' fixiert. Dabei sollten alle Kombinationen der 'notiones irresolubiles' wahre Sätze ergeben. LEIBNIZ probierte auch andere „Grammatiken“ aus.²⁴ So operierte er, die Gödelisierung vorwegnehmend, mit der Multiplikation von

²¹ Bezüglich Begriffe: A VI.4A, 964 = X 15f; A VI.4A 157 = X 24f; A VI.1 192-200. Bezüglich der Geometrie: GM V 141-171 = E 243-276; GM V 178-183 (Analysis situs); GM II 20-25 = E 276-286; A VI.4A, p. 340 = X 60.

²² A VI.1 200; A VI.4A, p. 918 = X110f.

²³ A VI.4A, 182 = E 459; ähnlich im *Dialog* A VI.4A, p. 24, p. 25.

²⁴ A VI.4A, 923 = GP VII 31. Es trifft daher nicht zu, LEIBNIZ habe ausschließlich eine kombinatorische Auffassung des Begriffs vertreten.

Primzahlen um Aussagen zu kombinieren.²⁵ Man muß daher annehmen, daß er Prinzip P_8 ebenfalls kannte; genauer: er identifizierte es fälschlicherweise mit P_7 . Das ist im wesentlichen der Grund für seine geringen Erfolge.

Offenbar konnte er sich nicht von seiner Idee lösen, Wörter als "Rechensteine" zu gebrauchen. Das hatte zur Folge, daß er – unter Mißachtung von P_2 - nur Terminale benutzte, also Zeichen, die einen direkten Bezug zur Dingwelt haben. Es lassen sich zwar mit ihnen beliebig komplexe Objekte beschreiben, aber seine "Grammatikregeln" sind, weil sie sich auf Terminale beziehen, in ihrer Komplexität und damit in ihrer Ausdrucksmächtigkeit beschränkt: sie können nur Umformungen, aber nicht die rekursive Erzeugung von Terminalketten beschreiben. Hierzu sind Nichtterminale erforderlich; ihre Bedeutung scheint LEIBNIZ nicht erkannt zu haben, obwohl er die Rekursivität mehrfach erwähnt²⁶ und sie z.B. anhand der Binärziffern veranschaulicht.²⁷

Die Wissensdarstellung mit echten formalen Sprachen schränkt durch Wahl eines geeigneten Terminal-Alphabets die Trägermenge zunächst nur ein, um dann zusätzlich die sinnvollen Sätze über eine Grammatik aus ihr herauszuheben. Der Kombinationsansatz kann als Grenzfall dieses Ansatzes angesehen werden. Er beruht auf der sehr einfachen „Grammatikregel“ ‚alle Zeichenkombinationen bilden‘; damit fällt aber die dadurch ausgezeichnete Teilmenge mit der Trägermenge Σ^* zusammen. Soll die Darstellungstreue nicht verletzt werden, so ist der Kombinationsansatz darauf angewiesen, eine ge-

haltvolle Trägermenge zu finden. Die ganze Last der Darstellung ruht somit auf dem Herausfinden der „wahren“ Primitiven, eine Aufgabe, mit der LEIBNIZ viel Zeit vergeudete. Denn es ist nicht sicher, ob für solch eine Grammatik überhaupt geeignete Primitive gefunden werden können. Liegt hingegen die Grammatik nicht fest, dann ist eine Primitivenwahl möglich, aber sie ist nicht eindeutig, so daß es auch hier keine wahren Primitive geben kann.

4 LEIBNIZ-Programm

Die bisherigen Ausführungen bezogen sich auf die technischen Aspekte der Darstellung; dabei wurde stillschweigend vorausgesetzt, daß Wissensdarstellung etwas Nützliches sei. Doch wozu dient eigentlich Wissensdarstellung? Welche Vorteile ergeben sich durch sie? Die Antworten auf diese Fragen sind in den unter dem Namen ‚LEIBNIZ-Programm‘ zusammengefaßten Zielen enthalten. Es ist wie folgt charakterisiert:

Das LEIBNIZ-Programm ist die Suche nach einer künstlichen Sprache als Darstellungsformalismus für ein bestimmtes Wissensgebiet, um

- Wissen kompakt und eindeutig zu erfassen,
- Sicherheit zu bieten,
- kontroverse Aussagen zu entscheiden und
- neue Aussagen zu erzeugen.

Wissen kompakt und eindeutig erfassen

Ein einfaches von LEIBNIZ häufig erwähntes Beispiel für eine kompakte Wissensdarstellung ist das Ziffernschema, das im Prinzip jede ganze Zahl darzustellen erlaubt. Darauf wiederum baut die auf dem kleinen Einmaleins und einem universellen Algorithmus beru-

²⁵ Sein "Logikkalkül ist detailliert beschrieben in: SWOYER, CHRIS (1994): *Leibniz's Calculus of Real Addition*.

²⁶ A VI.4A, 969 = X 21, A VI.4A, 157 = X 24f, A VI.4A, 157 = X 25, A VI.4A, 158-159 = X 27, A VI.4A, 921 = GP VII 206 = X 114.

²⁷ A VI.4A, 158 = X 25f.

hende schriftliche Multiplikation auf, mit der typischen Eigenschaft, daß sich mit ihr jedes „Teilwissen“ (Produkt) aus einer kleinen Menge von Anfangswissen plus einem überschaubaren Regelwerk herleiten läßt.

Sicherheit durch Zeichenoperationen

Unser Verstand, so LEIBNIZ, ist von unsicherer Zuverlässigkeit und wird, »sobald er sich von der Erfahrung entfernt, sogleich von der Dunkelheit der Dinge und ihrer Vielfalt verwirrt, er wird beherrscht von trügerischen Mutmaßungen und eitler Meinung und vermag kaum ohne Widerwärtigkeiten voranzukommen.«²⁸ Durch schrittweises regelgeleitetes Umformen dagegen können lange Gedankenreihen nachvollzogen werden, denn jedes Zwischenergebnis enthält Information über die nächsten ausführbaren Schritte.²⁹ Indem der Verstand strikt die Regeln befolgt, erhält er eine Art Ariadnefaden, der ihm erlaubt, sich im Labyrinth seiner Gedankengänge zurechtzufinden³⁰ und seine Gedanken in geordnete Bahnen zu halten.³¹ Zeichen tragen zur Sicherheit bei, weil sie Gedanken aus dem der Wahrnehmung unzugänglichen Gebiet des Geistes in das Gebiet sichtbarer Objekte verlagern; Gedanken werden so vor Augen geführt, und durch Zeichenoperationen lassen sie sich gewissermaßen mit den Händen greifen.³²

²⁸ A VI.4A, p. 717 = E 187.

²⁹ A VI.2, 481.

³⁰ A VI.4A, 102 = C 351 = X 96 et passim; GP VII 14, 22 et passim; Filum cogitandi: A VI.4A, 537 = GLK 13f;

³¹ A VI.2, 481.

³² A VI.4A, 714 = C 335 = E 185; A VI.4A, 102 = C 351 = X96; A VI.4A, 537 = C 420; GP VII 11, 14, 22, 57 usw.; A VI.4A, 5 = C 155 = X 90; A VI.4A, p. 717 = E 187, A VI.4A, p. 723 = E 196; LEIBNIZ: *Unvorgreifliche Gedanken*, § 5.

Sprache als (Denk)werkzeug (organon mentis)

LEIBNIZ faßt Sprache als Werkzeug auf, »durch das wir nicht nur in der Bildung von Urteilen geleitet, sondern auch zu neuen Erfindungen gebracht werden«³³. Dies sollte durch die ars iudicandi und ars inveniendi geschehen. Für beide „Künste“ gibt es unter der Voraussetzung, daß die Darstellungstreue erfüllt ist, eine einfache formalsprachliche Deutung: Der ars iudicandi entspricht die Syntaxanalyse (Bottom-up Parsing), mit der entschieden wird, ob eine beliebige Zeichenkette syntaktisch korrekt, d.h. Satz der zugehörigen formalen Sprache ist und damit zu den wahren/sinnvollen Sätzen des erfaßten Gebietes gehört. Statt einen unfruchtbaren Streit über die Wahrheit einer Aussage zu führen, ließe sich so eine für jeden bindende Entscheidung herbeirechnen. Die ars inveniendi dagegen entspricht der Top-down Methode, mit der im Prinzip alle "Aussagen" eines Gebietes systematisch generiert und damit neue "Wahrheiten" entdeckt werden können. Beide Verfahren beruhen auf der gleichen Grammatik; sie unterscheiden sich nur darin, wie sie angewendet wird.³⁴

Eine Grammatik aufzustellen, welche die Formeln für alle chemischen Stoffe enthält, scheint auf den ersten Blick kein besonders schwieriges Problem zu sein. Genauer betrachtet zeigt sich jedoch, daß es sich um eine sehr anspruchsvolle, bislang noch ungelöste Aufgabe handelt. Wie sich nämlich sehr schnell herausstellt, besteht ihre Lösung darin, den Kern der Bindungstheorie als System von Grammatikregeln darzustellen. Es ist nicht schwer sich vorzustellen, daß allein das Zusammenstellen solch eines Regelwerks die Einsicht in die Bindungstheorie vertiefen kann. So unterscheidet man in der

³³ A VI.4A, p. 717 = E 187.

³⁴ Es ist interessant, daß auch LEIBNIZ an eine Sprache denkt, die beide „Künste“ zugleich ermöglicht (A VI.4A, 264 = GP VII 184).

Chemie zwischen Ionenbindung, polarer Bindung und Atombindung. Aus Sicht des Grammatiksystems könnte sich aber herausstellen, daß diese Unterteilung wenig systematisch ist und durch eine andere ersetzt werden sollte. Die *ars iudicandi* bedeutet hier, eine gegebene Formel daraufhin zu prüfen, ob sie syntaktisch korrekt ist; trifft dies zu, beschreibt sie einen chemischen Stoff, andernfalls nicht. Die *ars inveniendi* bezieht sich darauf, aus der Grammatik Formeln herzuleiten, die noch unbekannte chemische Verbindungen beschreiben. Bei jeder Anwendung der Grammatik kann sich ein Fehler herausstellen, etwa daß sie eine Formel zuläßt, zu der keine chemische Verbindung gehört oder daß sie eine Formel von einer chemischen Verbindung unzulässigerweise ausschließt. In beiden Fällen ist entweder die Bindungstheorie nicht richtig in Grammatik umgesetzt worden oder die Bindungstheorie selbst weist noch Defizite auf. Anhand der fraglichen Formel läßt sich meist schnell erkennen, was am Regelwerk geändert werden muß, um sie entweder auszuschließen oder sie als gültige Formel aufzunehmen. Die Änderungen am Regelwerk wiederum können eine Korrektur der Bindungstheorie zur Folge haben. Neues Wissen entsteht also nicht nur durch Ableiten von Formeln aus der Grammatik, sondern auch bei der Fehlerbehebung.

*

Wer mit Wissensdarstellung nicht vertraut ist, kann bei Durchsicht der zahlreichen Fragmente leicht den Eindruck gewinnen, LEIBNIZ habe verworrene Ziele verfolgt. Doch der scheinbar chaotische Eindruck läßt sich durch die Vielfalt der von ihm untersuchten Themen und durch die unterschiedlichen Teilaufgaben erklären, die eine Wissensdarstellung mit sich bringt. Die folgende Übertragung seiner Begriffe in heutige Ausdrucksweise soll der Orientierung dienen. Sie spiegelt trotz ihrer Anlehnung an formale Sprachen die verschiede-

nen, für die Realisierung des LEIBNIZ-Programms notwendigen Teilaufgaben wider:

<i>characteristica universalis</i>	Formale Sprache
<i>ars characteristica</i>	Wissensdarstellung ³⁵
<i>ars inveniendi</i>	Top-down Parsing
<i>ars iudicandi</i>	Bottom-up Parsing
<i>analysis</i>	Primitivenwahl
<i>synthesis</i>	Begriffe erkennen und Grammatik erschließen
<i>encyclopedia</i>	Gesamtheit der wissenschaftlichen Erkenntnisse ³⁶
<i>scientia generalis</i>	Wissenschaftstheorie ³⁷

Resümee

Die heute unter ‚*ars characteristica*‘ zusammengefaßten Arbeiten von LEIBNIZ betreffen nur zu einem geringen Teil die symbolische Logik; der Hauptteil bezieht sich auf die formalsprachliche Darstellung von Wissen aus den verschiedensten Gebieten. Dies folgt aus den von ihm erkannten Darstellungsprinzipien und aus seinen zahlreichen fragmentarischen Darstellungsversuchen.

Durch seinen Plan, Schlußfolgern auf Zeichenoperationen zurückzuführen, nimmt LEIBNIZ theoretisch die Idee von wissensbasierten Systemen vorweg. Er liefert gewissermaßen die Ideen, für deren Verwirklichung erst heute die geeigneten Mittel zur Verfügung stehen. Er selbst mußte sich mit Federkiel und Papier begnügen, um so höher ist seine Leistung und seine Voraussicht in die Tragweite sei-

³⁵ Die Kunst mit einer Zeichensprache umzugehen (*ars characteristica*), darf nicht mit der Zeichensprache selbst, d.h. mit der *characteristica universalis* verwechselt werden.

³⁶ Diese Interpretation wird z.B. gestützt durch den Anfang von Fragment [*De l'usage de l'art des combinaisons*] (C 530 = VE 1335). Er lautet zunächst „Toute l'Encyclopedie ...“; dies wird von LEIBNIZ gestrichen und durch „Le corps entier des sciences ...“ ersetzt.

³⁷ Siehe A VI.4A, p. 511: "Logica est scientia generalis."

nes Ansatzes einzuschätzen. Es bedarf wenig Phantasie, sich vorzustellen, was er, mit einem leistungsfähigen Rechner ausgestattet, heutigentags zustande gebracht haben würde.

Darstellen ist eine gestalterische und somit kreative Tätigkeit, in deren Verlauf das darzustellende Wissen in eine systematische Ordnung gebracht und mit einem geeigneten Zeichensystem in Bezug gesetzt werden muß. Die Fragmente von LEIBNIZ zur *Encyclopaedia*, aber auch viele seiner Einzeluntersuchungen befassen sich mit dieser Aufgabe. Aus heutiger Sicht charakterisiert das nach ihm benannte Programm die Arbeit eines theoretischen Wissenschaftlers. Die Wissensdarstellung berührt daher auch grundlegende wissenschaftstheoretische Fragen, z.B. was eine Theorie ist und wie man sie aufstellt.³⁸ Die zeitgenössische analytische Wissenschaftstheorie muß hierauf die Antwort schuldig bleiben, denn mit der logischen Analyse fertiger (meist physikalischer) Theorien beschäftigt, fehlen ihr hierzu die notwendigen sprachtheoretischen Mittel. Eine die Darstellungsthematik mit einbeziehende Wissenschaftstheorie müßte von Grund auf anders aufgebaut werden als die analytische, denn die Logik oder etwa die Mengentheorie nach Bourbaki sind dann nur noch spezielle Darstellungsformalisten unter anderen, während sie jetzt die methodischen Richtlinien bestimmen.

In den Sprachwissenschaften herrscht noch häufig die Ansicht vor, Sprache erhalte ihren Inhalt, indem den Zeichen bzw. Wörtern eine Bedeutung zugewiesen werde. Diese einseitige Hervorhebung der Wörter führt zu einer Überbetonung des Begrifflichen in der Erkenntnistheorie, und die Sprachphilosophie verkümmert über weite Strecken zur bloßen Wortphilosophie. Nun setzt zwar Wissensdar-

stellung solch eine Zuordnung ebenfalls voraus, aber sie darf auf dieser Stufe nicht stehen bleiben, sondern muß, wie LEIBNIZ richtig erkannte, zusätzlich die Grammatik als Gestaltungsmittel mit einbeziehen. Da jedoch in den Sprachwissenschaften unter ‚Sprache‘ ausnahmslos die natürliche Sprache verstanden wird, deren Grammatik festliegt, ist die Darstellung von Inhalten durch eine Grammatik, genauer: durch einen Formalismus mit ganz bestimmten auf den Inhalt zugeschnittenen formalen Eigenschaften praktisch unbekannt. Hier liegt noch ein weites sprachtheoretisches Forschungsfeld brach. Auch in den übrigen Wissenschaften ist das Sprachbewußtsein wenig entwickelt. Man kennt weder die durch die Verletzung der Darstellungstreue entstehenden Folgen noch ist man sich der Vorteile bewußt, die Sprache als Werkzeug bieten kann: das Potential, das sich hier darbietet, ist ebenfalls noch weitgehend unausgeschöpft geblieben.³⁹

*

Große Leitmotive bleiben meist unausgesprochen; sie liegen dem Gefühl näher als dem Verstand, vergleichbar mit handlungsbestimmenden Visionen. Es liegt die Vermutung nahe, daß die Darstellungsidee für LEIBNIZ solch ein Leitmotiv war. Sie scheint von Jugend an die treibende Kraft für seine Universalität und eine der Ursachen für seine Kreativität gewesen sein. Denn sie ist universal und macht an Fachbereichsgrenzen nicht halt; sie erfordert in Zusammenhängen zu denken, den Stoff zu verstehen, zu ordnen, Falsches auszusondern, nach Regelmäßigkeiten zu suchen, Lücken zu schließen. Diese Idee sollte auch heute ihre Wirksamkeit noch nicht verloren haben.

³⁸ Siehe hierzu: JAENECKE (1997): *Knowledge organization due to theory formation*.

³⁹ Weiter Beispiele hierfür wurden zusammengestellt in Jaenecke (2007): *Folgerungen aus der Wissensdarstellung*.

Anhang

Erkennung menschlicher Chromosomen mit Hilfe der syntaktischen Mustererkennung⁴⁰

Abbildung 1 zeigt eine mikroskopische Aufnahme von menschlichen Chromosomen. Es besteht die Aufgabe, ein Programm für einen Rechner zu erstellen, das auf solchen mikroskopischen Aufnahmen die verschiedenen Chromosomenarten erkennt und sie auszählt.



Abbildung 1: Mikroskopische Aufnahme menschlicher Chromosomen.

⁴⁰ Das Beispiel wurde entnommen aus FU (1982): *Syntactic Pattern Recognition*, p.4, p. 111-112; es stammt ursprünglich aus LEDLEY et al. (1965): *FIDAC*.

Als erstes muß gemäß P_1 eine Trägermenge und ein Abgrenzungswerkzeug angegeben werden. Da die Aufgabe mit der syntaktischen Mustererkennung gelöst werden soll, kommt als Trägermenge nur eine Menge von Zeichenketten und als Abgrenzungswerkzeug nur eine Grammatik infrage.

Eine Grammatik enthält jeweils ein Alphabet für Terminale und Nichtterminale; beide gehören unterschiedlichen Sprachebenen an. Damit ist die von P_2 geforderte Mindestzahl von zwei Sprachebenen durch die Verwendung einer Grammatik automatisch gegeben.

P_3 verlangt Darstellungstreue. Dieses Prinzip nimmt eine Sonderstellung ein, denn Darstellungstreue läßt sich nicht durch gezielte methodische Maßnahmen erreichen. Zwar kann man oft sehr schnell erkennen, daß ein bestimmten Ansatz die Darstellungstreue verletzt, aber ob er sie erfüllt, kann nur durch Tests nachgeprüft werden.

P_4 betrifft die Analyse der in Abbildung 1 gezeigten Objekte. Operationen kommen bei dieser Aufgabe nicht vor, außerdem wird angenommen, daß keine besonderen Relationen eingeführt werden müssen, daß vielmehr die Anordnung der Zeichen in der Zeichenkette ausreicht, um die Objekte zu beschreiben. Dies ist keine selbstverständliche Annahme, denn es handelt sich um zweidimensionale Objekte, während eine Zeichenkette nur eindimensional ist. Der Übergang zur Eindimensionalität muß daher über die Basisobjekte erfolgen. Ein Blick auf die Abbildung 1 zeigt, daß im ersten Ansatz mindestens fünf Basisobjekte vorgesehen werden sollten: Konkaver und konvexer Bogen, gerade Linie, Verbindungstrakt, langgezogener Bogen. Einen Teil von P_6 vorwegnehmend, wird diesen Basisobjekten umkehrbar eindeutig die ersten Buchstaben des Alphabets als Terminale zugeordnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 dargestellt.

$$V_T = \left\{ \overset{\curvearrowright}{\cap}, |, \cup, \{, \smile \right\}$$

a b c d e

Abbildung 2: Durch die Analyse wurden fünf Basisobjekte identifiziert (P₄): konkaver und konvexer Bogen, Gerade, Verbindungstrakt und langgezogener Bogen. Diesen Objekten wurden die Terminala a, ..., e umkehrbar eindeutig zugeordnet (P₆).

P₇ beschreibt die Anwendung des Analyseergebnisses; sie wird vom Rechner ausgeführt. Er muß also zunächst ein Chromosom identifizieren und anschließend durch Konturverfolgung die Übersetzung von dessen Gestalt in eine Zeichenkette vornehmen. Abbildung 3 zeigt zwei Beispiele für diesen Schritt.

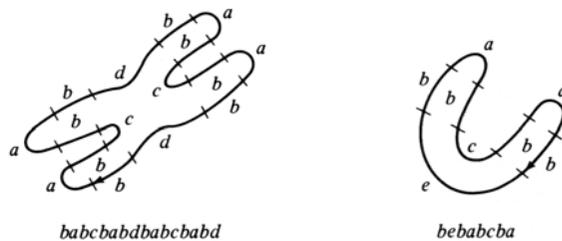


Abbildung 3: Darstellung der Chromosomen vom Typ submedian (links) und telozentrisch (rechts) in einer aus Terminalen bestehenden Zeichenkette. Der Übergang von der Bild- in die Zeichendarstellung wird vom Rechner ausgeführt.

Die Chromosomen können in Form und Größe variieren, d.h. zu einem Chromosomentyp gehört im allgemeinen eine große Anzahl von Zeichenketten, aber es gibt auch viele Zeichenketten, die nicht diesen Typ beschreiben. Die bisherigen Schritte betrafen die zeichensprachliche Repräsentation der Objekte, die folgenden beziehen sich auf die eigentliche Wissensdarstellung, in der durch eine Grammatik zum Ausdruck gebracht werden muß, welche Zeichen-

ketten zu welchem Chromosomentyp gehört; es ist dies die Ausgrenzungsaufgabe.

Nach P₅ müssen hierzu Leitbegriffe, Regeln und elementare Strukturgesetze aufgestellt werden. Ebenso wie bei der Wahl der Terminalen und in Abhängigkeit von ihr, besteht auch hier eine gewisse Wahlfreiheit. Zunächst wird man versuchen, die Chromosomen nach ihrer Form zu klassifizieren. So wurde in Abbildung 3 zwischen submedianen und telozentrischen Chromosomen unterschieden; die in Abbildung 1 gezeigten Objekte lassen noch weitere Unterscheidungen zu. Der Name eines Chromosomentyps ist einer der gesuchten Leitbegriffe; er steht an oberster Stelle einer den Typ erfassenden Begriffshierarchie.

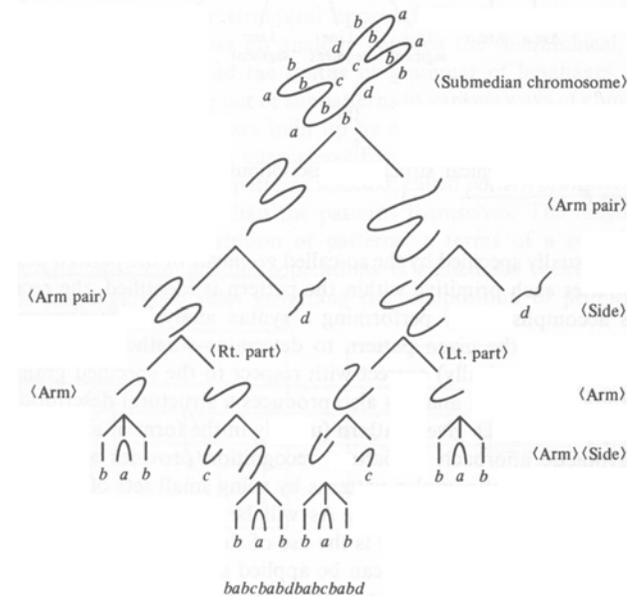


Abbildung 4: Hierarchische Strukturbeschreibung eines Submedian-Chromosoms durch Leitbegriffe und ihre Verbindung zu den terminalen Zeichenketten.

Weitere Leitbegriffe werden zur allgemeinen Strukturbeschreibung eines Chromosomentyps gebraucht. Abbildung 4 zeigt eine Zerlegung eines Chromosoms vom Typ ‚submedian‘ in Teilstrukturen wie ‚Armpaar‘, ‚Verbindungstrakt‘ (‚side‘), ‚Arm‘ usw.; sie gehören ebenfalls zu den Leitbegriffen. Solch eine Zerlegung beruht etwa auf der Regel, daß ein Submedian-Chromosom aus zwei Armpaaren besteht, die durch zwei Verbindungstrakte aneinander gekoppelt sind; ein Armpaar besteht wiederum aus ... usw. An diesem Beispiel läßt sich deutlich die Abhängigkeit zwischen den gewählten Leitbegriffen und den Regeln erkennen: andere Leitbegriffe erfordern andere Regeln, gleichwohl können die verschiedenen Ansätze gleichwertig sein.

P₆ fordert für die Leitbegriffe geeignete Nichtterminalzeichen; die Wahl der Zeichen ist beliebig. Zur besseren Lesbarkeit der Grammatikregeln werden die in die Klammern ‚< >‘ eingeschlossenen Namen dieser Begriffe gewählt, so wie dies bereits in Abbildung 4 eingeführt wurde.

Damit ist der Zeichenanteil von der Chromosomengrammatik vollständig bestimmt: das Terminalalphabet ist in Abbildung 2 angegeben, für das Nichtterminalalphabet werden die Leitbegriffe aus Abbildung 4 sowie die Namen der Chromosomentypen verwendet; letztere bilden auch die beiden Startsymbole.

Der Abschluß bildet die Aufstellung einer Grammatik aus dem zuvor erarbeiteten Material. Nach P₈ müssen die Gesetzmäßigkeiten über die Objekte als Gesetzmäßigkeiten zwischen den Zeichen formuliert werden. Die Gesetzmäßigkeiten werden hier durch die Grammatikregeln ausgedrückt; es handelt sich dabei um die formalsprachliche Fixierung der Strukturgesetze von P₅; sie lauten:

- R₁ < submedian chromosome > ⇒ < arm pair > < arm pair >
- R₂ < telocentric chromosome > ⇒ < bottom > < arm pair >
- R₃ < arm pair > ⇒ < side > < arm pair >
- R₄ < arm pair > ⇒ < arm pair > < side >
- R₅ < arm pair > ⇒ < arm > < right part >
- R₆ < arm pair > ⇒ < left part > < arm >
- R₇ < left part > ⇒ < arm > c
- R₈ < right part > ⇒ c < arm >
- R₉ < bottom > ⇒ b < bottom >
- R₁₀ < bottom > ⇒ < bottom > b
- R₁₁ < bottom > ⇒ e
- R₁₂ < side > ⇒ b < side >
- R₁₃ < side > ⇒ < side > b
- R₁₄ < side > ⇒ b
- R₁₅ < side > ⇒ d
- R₁₆ < arm > ⇒ b < arm >
- R₁₇ < arm > ⇒ < arm > b
- R₁₈ < arm > ⇒ a

Nachdem der Rechner sich gemäß P₇ eine Zeichenkette erzeugt hat, muß er nun über die Grammatikregeln den Chromosomentyp bestimmen oder das fragliche Objekt als nicht chromosomal verwerfen. Dargestellt wurde das Wissen über den Aufbau von menschlichen Chromosomen.

Literatur

- ECO, UMBERTO (1991): *Semiotik. Entwurf einer Theorie der Zeichen*, Wilhelm Fink Verlag, München ²1991.
- FU, KING SUN (1982): *Syntactic Pattern Recognition and Applications*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc, New Jersey 1982.
- JAENECKE, PETER (1996): "Elementary Principles for Representing Knowledge", *Knowledge Organization* 23/2 (1996), p. 88-102. Überarbeitete Version s. unter <http://www.peterjaenecke.de/wissensdarstellung.html>.
- JAENECKE, PETER (1997): Knowledge Organization due to Theory Formation. In: JAVIER GARCÍA MARCO (ed.): *Organización del Conocimiento en Sistemas de Información y Documentación*. Actas del II Encuentro des ISKO-España Getafe, 16 y 17 de noviembre de 1995. Zaragoza 1997, p. 39-55. Überarbeitete Version s. unter <http://www.peterjaenecke.de/wissenschaftstheorie.html>
- JAENECKE, PETER (2002): Wissensdarstellung bei Leibniz, in: Friedrich Hermanni & Herbert Breger (Hrsg.): *Leibniz und die Gegenwart*. Wilhelm Fink Verlag, München 2002, p. 89-118.
- JAENECKE, PETER (2007): Folgerungen aus der Wissensdarstellung. Siehe unter <http://www.peterjaenecke.de/wissensdarstellung.html>.
- LAMBERT (1764), J. H.: *Neues Organon oder Gedanken über die Erforschung und Bezeichnung des Wahren II*. Philosophische. Schriften, ed. H.W. ARNDT. Nachdruck der Ausgabe Leipzig 1764: Olms Verlag, Hildesheim 1965.
- LAUBSCH, J. (1985): "Techniken der Wissensdarstellung", in: C. HABEL (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz. Repräsentation von Wissen und natürlichsprachliche Systeme*, Springer-Verlag, Berlin etc. 1985.
- LEDLEY et al. (1965): FIDAC: Film input to digital automatic computer and associated syntax-directed pattern-recognition programming system. In: J. T. TIPPET, D. BECKOWITZ, L. CLAPP, C. KOESTER, and A. VANDERBURGH, Jr. (eds): *Optical and Electro-optical information processing*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1965, p. 591-613.
- LEHNER, CHRISTOPH (1993): *Grammatikentwicklung mit Constraint-Logikprogrammierung. Implementierung einer Grammatik für das Deutsche mit Prolog III*. Dissertation zur Künstlichen Intelligenz 29. Infix, Sankt Augustin 1993.
- LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM:
A = *Sämtliche Schriften und Briefe* = Akademieausgabe 1923ff; zitiert nach Reihe, Band.(ev. Teilband), Seite.

Der hier oft zitierte Teilband A VI.4A ist im Internet frei zugänglich unter

<http://www.leibniz-edition.de/Baende/ReiheVI.htm>

Siehe auch: <http://www.leibniz-edition.de>

- B = *Die Leibniz-Handschriften der Königlichen öffentlichen Bibliothek zu Hannover*. Hannover u. Leipzig 1895, ed. E. BODEMANN. Nachdruck: Olms Verlag, Hildesheim/New York 1966.
- C = *Opusculs et fragments inédits de Leibniz*. Extraits des manuscrits ... par L. COUTURAT. Paris 1903. Nachdruck: Olms Verlag, Hildesheim 1961, 1966.
- E = *Schöpferische Vernunft. Schriften aus den Jahren 1668-1686*. Zusammengestellt, übersetzt und erläutert von W. v. ENGELHARDT, Simons Verlag, Marburg 1951.
- GLK = *Die Grundlagen des logischen Kalküls* (Lateinisch - Deutsch). Herausgegeben, übersetzt und mit einem Kommentar versehen von Franz Schupp. Felix Meiner Verlag, Hamburg 2000.
- GM = *Die mathematische Schriften* Bd. 1-7, ed. GERHARDT, Halle 1855-1863. Nachdruck: Olms Verlag, Hildesheim/New York 1962; zitiert nach Band, Seite.
- GP = *Philosophische Schriften* Bd. 1-7, ed. GERHARDT, Berlin 1875-1890. Nachdruck: Olms Verlag Hildesheim/New York 1978; zitiert nach Band, Seite.
- VE = Vorausedition zu A VI.4, *Philosophische Schriften*, Münster 1981ff.
- X = *Fragmente zur Logik*. Ausgewählt, übersetzt und erläutert von F. SCHMIDT, Akademie Verlag, Berlin 1960.
- Unvorgreifliche Gedanken, betreffend die Ausübung und Verbesserung der deutschen Sprache. Zwei Aufsätze*. Philipp Reclam Jun., Stuttgart 1983.
- MITTELSTRASS, J. (1979): "The Philosopher's Conception of *M a t h e s i s U n i v e r s a l i s* from Descartes to Leibniz", *Annals of Science* 36, 1979, p. 593-610.
- SALOMAA, ARTO (1973): *Formal Languages*, Academic Press New York and London, 1973.
- SCHNELLE, HELMUT (1991): "From Leibniz to Artificial Intelligence", in: Liliana Albertazzi & Roberto Poli (Eds.): *Topics in Philosophy and Artificial Intelligence*, Bozen (Mittleuropäisches Kulturinstitut) 1991, p. 61-76.
- SWOYER, CHRIS (1994): "Leibniz's Calculus of Real Addition", *Studia Leibnitiana* 26/1 (1994), p. 1-30.

<http://www.peterjaenecke.de/wissensdarstellung.html>

20.08.07