Zur wissenschaftstheoretischen Struktur von Grammatiktheorien

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Philosophischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von

Bernhard Schröder
aus Viersen

Bonn 1999

Dank

Den thematischen Anstoss zu dieser Arbeit verdanke ich Herrn Professor Dr. Stuhlmann-Laeisz, dem ich für die sorgfältige und geduldige Begleitung ganz besonders des wissenschaftstheoretischen Teils des Vorhabens sehr danke. Für die Betreuung der linguistischen Seite bin ich Herrn Professor Dr. Lenders zu großem Dank verpflichtet.

Herr Dr. Willée und Herr Dipl.-Phys. Lancé gaben mir viele wichtige Anregungen bei ausführlichen Gesprächen. Mein Vorhaben profitierte immer wieder von Hinweisen, die mir Herr Privatdozent Dr. Nortmann und Herr Dr. Newen gaben.

Neben dem fachlichen Rat bedarf eine solche Arbeit immer auch vielfältiger praktischer und seelischer Unterstützung. Es tat gut, Aneta, dass ich immer auf deine Hilfe und dein Verständnis setzen konnte.

Zur Publikationsform

Einige Arbeiten eignen sich eher zur Publikation im elektronischen Medium als in Buchform; diese Arbeit scheint mir dazuzugehören. Die leider unvermeidlichen unzähligen Querverweise zwischen Definitionen, Sätzen, Beweisen, Beispielen usw. können das Lesen der Arbeit in gedruckter Form mühsam werden lassen; am Bildschirm sind die Ziele der Verweise nur einen Mausklick entfernt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

ie moderne Linguistik versteht sich als deskriptive und nicht präskriptive Disziplin. Ihre Aussagen sollen den tatsächlichen Sprachgebrauch widerspiegeln und nicht von Vorurteilen über einen “idealeren” oder “korrekteren” Sprachgebrauch geleitet sein.

Die Sprachforscherin oder der Sprachforscher wird damit in die Pflicht genommen, das tatsächliche Sprachverhalten von Sprecherinnen und Sprechern einer Sprache zu beobachten. Dem deskriptiven Anspruch wird aber immer wieder entgegengehalten, dass sich die Begrifflichkeit, mit der diese Beschreibung vielfach geschieht, gar nicht auf Beobachtbares bezieht, und das ganz besonders bei Theorien, die in starkem Maße von formalen Mitteln Gebrauch machen.

Diese Arbeit soll exemplarisch Grammatiktheorien mit den Mitteln der strukturalistischen Wissenschaftstheorie modelltheoretisch rekonstruieren und eine Antwort auf diese Entgegnung skizzieren. Dabei wird es nötig sein, die Rolle des nicht direkt auf beobachtbares Sprachverhalten beziehbaren theoretischen Apparats präzise zu fassen und Gründe für die Auswahl eines bestimmten Beschreibungsapparats aus wissenschaftstheoretischer Sicht ausfindig zu machen.

Zunächst soll im Kapitel 1 vorgestellt werden, wie man sich die modelltheoretische Darstellung empirischer Aussagen vorzustellen hat. Kapitel 2 wird den für die weiteren Ausführungen vorauszusetzenden formalen Apparat des wissenschaftstheoretischen Strukturalismus einführen und seine Anwendung an sehr einfachen linguistischen Theoriekonzepten vorführen. In Kapitel 3 dann wird es um die empirsche Grundlage von Grammatiktheorien einerseits und die Empirizität einiger grammatiktheoretischer Fragen andererseits gehen. In Kapitel 4 schließlich sollen die an einfachen Theoriefragmenten entwickelten Konzepte auf eine wissenschaftlich erfolgreiche Grammatiktheorie mit einem komplexeren theoretischen Apparat angewandt werden und die Verknüpfungen dieser Theorie zu benachbarten skizziert werden.

Kapitel 1

Die strukturalistische Rekonstruktion von empirischen Aussagen

In erster Näherung können Theorien als Mengen von Sätzen betrachtet werden. Im Falle empirischer Theorien handeln diese Sätze von einer erfahrbaren Wirklichkeit. Jedoch ist keineswegs schon *prima facie* klar, was es heißen könnte, von einer erfahrbaren Wirklichkeit zu handeln.

Die elektromagnetischen Felder, Ionen und Quanten moderner physikalischer Theorien sind sicherlich Beispiele für Gegenstände, die nicht in den Bereich gehören, den wir in irgendeinem vortheoretischen Sinne dieses Wortes erfahren könnten. Und doch haben die Theorien, in denen diese Begriffe vorkommen, einen Bezug zu unseren Alltagserfahrungen: Die Begriffe der Elektrodynamik werden beispielsweise herangezogen, um alltäglich Erfahrbares für uns erklärbar zu machen. In diesem Sinne *handeln* diese Theorien sicherlich von einer erfahrbaren Wirklichkeit, nehmen aber gleichzeitig auch Bezug auf Dinge, die unserer direkten Erfahrung entzogen sind.

Wie sich Theorien auf Erfahrungen aus dem Experiment oder aus unserem Alltag beziehen können, wie sie durch die Beobachtung aus diesen Bereichen gestützt werden können und zur Erklärung von Beobachtbarem herangezogen werden können, bedarf der näheren Betrachtung, wenn sie, wie im Fall der Elektrodynamik, auch von Dingen handeln, die fern von jeder Beobachtung liegen. Wie werden Aussagen über solche Gegenstände gerechtfertigt? Wie kann Unbeobachtbares zur Erklärung von Beobachtbarem herangezogen werden?

Fragen, die auf das Verhältnis sprachlicher Ausdrücke, hier: der Sätze unserer Theorien, zur außersprachlichen Wirklichkeit zielen, sind semantische Fragen, Fragen nach der Bedeutung der Ausdrücke eben. Die größte Explizitheit ließe eine modelltheoretisch-semantische Betrachtungsweise erhoffen. Die Angabe einer modelltheoretischen Interpretationsfunktion für die Sprache einer bestimmten wissenschaftlichen Theorie, würde jedoch voraussetzen, dass die Syntax dieser

Sprache formal beschrieben ist. Dies trifft jedoch bestenfalls auf die in einer Theorie enthaltenen Formeln und formalsprachlichen Elemente zu. Deren Status ist in der Regel aber der einer Aussageform: Sie enthalten Variablen, die in der Formel selbst nicht gebunden sind. Die Formeln haben für sich genommen keinen Aussagecharakter, sondern sind eher als komplexe Beschreibungen von Relationen zwischen Gegenständen, über die eine Theorie spricht, zu verstehen.

So macht die Formel

$$g_1 d_1 = g_2 d_2 \tag{1.1}$$

für sich noch keinerlei Aussage, sie kann jedoch als Teil einer Minitheorie über die Gleichgewichtszustände einer Balkenwaage mit je einem Gewicht zu beiden Seiten des Drehpunktes des Balkens auftreten. Und zwar könnte die zentrale Aussage solch einer Theorie wie folgt lauten:

Beispiel B-1.0-1

Für alle Balkenwaagen, die mit je einem Gewicht zu beiden Seiten ihres Drehpunktes belastet werden, gilt im Gleichgewichtszustand für die Gewichtskraft g_1 und den Abstand vom Drehpunkt d_1 des ersten Gewichts und für die Gewichtskraft g_2 und den Abstand vom Drehpunkt d_2 des zweiten Gewichts:

$$g_1 d_1 = g_2 d_2$$

Es wird aus der Formulierung deutlich, dass hier von Gewichtskräften und Abständen vom Drehpunkten die Rede ist, deren Relation durch die Formel (1.1) bestimmt wird.

Noch expliziter wird der Typ der Relationsbestimmung, um den es in der Formel (1.1) geht, in der folgenden Formulierung der Minitheorie:

Beispiel B-1.0-2

Sei $g(a)$ die Gewichtskraft eines Körpers a auf einer Balkenwaage und $d(a)$ sein Abstand vom Drehpunkt der Balkenwaage. Dann gilt für alle im Gleichgewicht befindlichen Balkenwaagen und alle Paare von Körpern $\langle a_1, a_2 \rangle$, deren Elemente sich auf verschiedenen Seiten des Drehpunktes befinden:

$$g(a_1)d(a_1) = g(a_2)d(a_2) \tag{1.2}$$

Diese Formulierung macht deutlicher als die vorangehende, dass in dieser Minitheorie über alle im Gleichgewicht befindlichen Balkenwaagen und alle Paare von Körpern gesprochen wird, mit denen die Seiten der Balkenwaage in einer bestimmten Weise belastet werden, und dass in der Formel (1.2) eine Beziehung zwischen zwei Funktionen hergestellt wird, deren Definitionsbereich die Körper auf der Balkenwaage und deren Wertebereich die reellen Zahlen bilden.

Eine kurze Bemerkung mag hier angebracht sein zum Gebrauch des Ausdrucks *Funktion*. Ganz im Einklang mit der mengentheoretischen und semantisch-modelltheoretischen Verwendungsweise dieses Terminus soll als Funktion jede eindeutige Zuordnung von abstrakten oder konkreten Gegenständen eines ersten Bereichs, genannt Wertebereich, zu abstrakten oder konkreten Gegenständen desselben oder eines anderen Bereichs, dem Definitionsbereich verstanden werden; die Verwendungsweise dieses Ausdrucks soll also keineswegs auf arithmetische Gegenstandsbereiche beschränkt werden. Der Ausdruck *Gewichtskraft von* soll in diesem Sinne also eine Funktion bezeichnen, die Körpern eine reelle Zahl als ihre Gewichtskraft zuordnet.

Das Beispiel der Balkenwaagentheorie sollte hier als Illustration dafür dienen, dass zur Ermittlung der Typen von Gegenständen, von denen eine Theorie handelt, der Blick auch auf andere Teile einer Theorie gerichtet sein sollte als auf die formalisierten. Zur Ermittlung der Gegenstandstypen muss oft gerade das besondere Augenmerk auf die möglichst weitgehende Explizierung derjenigen Passagen gerichtet sein, in denen die konkreten und abstrakten Gegenstände, von denen die Theorie handeln soll, und die grundsätzliche Art ihrer Beziehungen zueinander näher bezeichnet werden. Mit der *grundsätzlichen Art ihrer Beziehungen zueinander* sind hier Typbeziehungen gemeint, wie beispielsweise die, dass bestimmte "Gegenstände", von denen eine Theorie handelt, wie *Azidität* in einer chemischen Theorie, oder *Bitransitivität* in einer Theorie der Syntax einer natürlichen Sprache, mögliche *Prädikate* anderer "Gegenstände", wie *Lösungen* oder *Verben*, derselben Theorie sind. Oder, um an das bereits angeführte Beispiel anzuknüpfen, dass das durch Ausdrücke wie *Gewichtskraft von* Bezeichnete eine Funktion ist, deren Definitionsbereich hier andere Gegenstände der Theorie, nämlich Körper, und deren Wertebereich hier arithmetische Gegenstände bilden. Für den Moment mögen diese Beispiele zur Erläuterung dessen, was mit der Redeweise von der *grundsätzlichen Art der Beziehungen der Gegenstände einer Theorie* oder ihren *Typbeziehungen* gemeint ist, hinreichen. Eine nähere Explikation wird später erfolgen.

Die angesprochenen Typbeziehungen ließen sich zu größtmöglicher Klarheit bringen, wenn die Aussagen einer Theorie in geeigneter Weise semantisch-modelltheoretisch interpretiert würden. Denn an den modelltheoretischen Entitäten, die durch eine Interpretationsfunktion den Ausdrücken der Sprache einer Theorie zugeordnet werden, lassen sich deren Typen ja in direkter Weise erkennen. Die Aufgabe einer modelltheoretisch-semantischen Interpretation einer gegebenen wissenschaftlichen Theorie würde die Betrachtung jedoch mit der Aufgabe belasten, dass die Syntax der Sprache der Theorie formal beschrieben vorzuliegen habe. Es wären also entweder alle für die Betrachtung einer Theorie relevanten Aussagen in einer Formalsprache wiederzugeben oder die Betrachtungen wären zusätzlich durch die Aufgabe der Angabe einer formalen Syntax zur Sprache der fraglichen Theorie belastet. Die erste Alternative bedeutete also die Fortsetzung des Programms des frühen logischen Empirismus, nämlich die formalsprachliche Rekonstruktion wissenschaftlicher Theorien. Die zweite jedoch setzte den Abschluss des Forschungsprogramms der formalen Untersuchung natürlicher Sprachen voraus.

Die Untersuchungen dieser Typbeziehungen müssen jedoch bei aller Skepsis bezüglich der praktischen Konstruierbarkeit einer formalen Semantik für tatsächliche wissenschaftliche Theorien nicht vage bleiben. Denn einige Disziplinen der Mathematik exemplifizieren, wie Klarheit über Typverhältnisse erzielt werden kann, ohne dass die Sprache dieser Disziplinen vollständig formalisiert würde. Betrachten wir einen Bereich der Mathematik, der durch die Angabe *mengentheoretischer Prädikate*[1] axiomatisiert wird. Im Anschluss an [Stegmüller 1973b, Absch. 1.1.2] soll diese Methode als *informelle Formalisierung* bezeichnet werden.

1.1 Axiomatisierung durch mengentheoretische Prädikate

Aus der Gruppentheorie ist die folgende Definition bekannt:

Definition D-1.1-1 (Halbgruppe) *x ist eine* Halbgruppe *gdw$_{df}$ es $M, \top$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle M, \top \rangle$,

(b) *M eine Menge ist,*

(c) *$\top$ eine innere Verknüpfung auf M ist und*

(d) *$\top$ assoziativ ist.*

Dabei sind die Begriffe der *inneren Verknüpfung* und der *Assoziativität* wie folgt definiert:

Definition D-1.1-2 $\top$ *heißt* innere Verknüpfung auf M *gdw$_{df}$*

$$\top : M \times M \mapsto M$$

Definition D-1.1-3 (Assoziativität) *Eine zweistellige Operation $\top : M \times M \mapsto N$ ist* assoziativ *gdw$_{df}$ für alle $a, b, c \in M$:*

$$(a \top b) \top c = a \top (b \top c).$$

Statt $(a \top b) \top c$ oder $a \top (b \top c)$ soll bei assoziativen Operationen auch einfach $a \top b \top c$ geschrieben werden.

[1] Vgl. [Stegmüller 1973b, S. 21].

Bei der Definition **D-1.1-1** wird von einigen Symbolen aus der Mengentheorie Gebrauch gemacht, wie $=, \langle \dots \rangle$ und indirekt wegen Definition **D-1.1-2** von $\times, \mapsto$. Jedoch bleibt der übrige logische Apparat dieser Definitionen informell. Zum Ausdruck aussagen- oder prädikatenlogischer Beziehungen werden die alltagssprachlichen Ausdrücke wie *und, es gibt* u. ä. benutzt.[2]

Das Maß an Formalisierung, das in der Definition **D-1.1-1** anzutreffen ist, reicht jedoch hin, unmittelbar einzusehen, dass Halbgruppen durch zwei mengentheoretische Gegenstände bestimmt werden: eine Menge M und eine zweistellige Funktion $\top$, deren Werte- und deren Definitionsmenge die Menge M ist. Diese Angaben ordnen den Elementen M und $\top$ einer Halbgruppe $\langle M, \top \rangle$ mengentheoretische Typen zu, sie besagen also, dass es sinnvoll ist, für $x, y, z \in M$ zu schreiben:

$$z = x \top y \tag{1.3}$$

nicht jedoch beispielsweise

$$z = x \top$$

Die genannten Bedingungen in der Definition geben jedoch keinerlei Grundlage für eine Entscheidung darüber, ob ein sinnvoller Satz auch wahr ist.

Mit der Forderung der Assoziativität von $\top$ gelangt eine Bedingung in die Definition, die über die Wahrheit wenigstens einiger Sätze über Halbgruppen eine Entscheidung erlaubt. So sind nach dieser Forderung bezüglich von Halbgruppen $\langle M, \top \rangle$ für beliebige $x, y, z \in M$ Sätze

$$(x \top y) \top z = x \top (y \top z)$$

wahr. Diese Forderung kann auch als ein Axiom oder Axiomenschema in einem Kalkül wiedergegeben werden, das die Ableitung von wahren Sätzen über Halbgruppen, wie beispielsweise dem obenstehenden, erlaubt. In diesem Sinne können Definitionen mengentheoretischer Prädikate als informelle Axiomatisierungen einer Theorie über Halbgruppen betrachtet werden.

[2]Hier und im folgenden soll von den üblichen mengentheoretischen Notationen Gebrauch gemacht werden: $\in$ bezeichnet die Elementrelation, $\{a_1, \dots, a_n\}$ die aus den Elementen $a_1, \dots, a_n$ bestehende Menge, $\{x|C\}$ die Menge aller x, für die die Bedingung C gilt, $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$ die aus den Elementen $a_1, \dots, a_n$ in dieser Reihenfolge bestehende Folge oder Struktur, $M \times N$ das kartesische Produkt der Mengen M und N, also die Menge aller Paare (zweielementigen Folgen), die sich aus Elementen der Menge M als erstem Bestandteil und aus Elementen der Menge N als zweitem Bestandteil eines Paares bilden lässt, also kurz $\{\langle m, n \rangle \, | m \in M \text{ und } n \in N\}$. Eine n-stellige Relation R zwischen den Elementen der Mengen $M_1, \dots, M_n$ wird als Teilmenge des Kartesischen Produktes dieser Mengen verstanden, also $R \subseteq M_1 \times \dots \times M_n$. Eine Funktion f mit dem Definitionsbereich M und dem Wertebereich N nun ist eine rechtseindeutige zweistellige Relation, d. i. eine Relation, bei der es für jedes Element m von M genau ein Element von N gibt, das zu m in der Beziehung f steht. Der Sachverhalt, dass f eine Funktion mit dem Definitionbereich M und dem Wertebereich N ist, wird auch $f : M \mapsto N$ geschrieben. Für Mengen M sei deren Potenzmenge definiert als $\mathbf{Pot}(M) := \{N \mid N \subseteq M\}$.

Wie ist nun dieses Verfahren der Axiomatisierung aus einer formalen Disziplin auf empirische Theorien übertragbar? Zwei Einwände scheinen einer Übernahme des Axiomatisierungsverfahrens der Gruppentheorie auf die empirischen Theorien entgegenzustehen:

1. Zum einen können empirische Theorien sich doch mit sehr konkreten Gegenständen beschäftigen, es handelt sich ja gerade nicht nur um die Herstellung rein formaler Verhältnisse zwischen den Gegenständen einer Theorie, wie bei der obenstehenden Definition.

2. Zum anderen macht eine empirische Theorie ja Aussagen, die ihre Rechtfertigung aus der Erfahrung nehmen und anhand dieser möglicherweise auch widerlegt werden können und nicht bloß definitorischen Charakter haben.

Die Gruppentheorie als formale Disziplin besteht ausschließlich aus Definitionen und aus logischen Folgerungen aus diesen. Ihre Sätze bedürfen deshalb keiner Bestätigung an der Erfahrung.

Wie den beiden Einwänden begegnet werden könnte, soll an einem gruppentheoretischen Beispiel erläutert werden, dazu sind jedoch etwas speziellere Strukturen als Halbgruppen geeigneter.

Definition D-1.1-4 (Monoid) *x ist ein* Monoid *gdw$_{df}$ es ein $M, \bullet$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle M, \bullet \rangle$,

(b) *$\bullet$ eine innere Verknüpfung auf M ist,*

(c) *$\bullet$ assoziativ ist,*

(d) *M eine nichtleere Menge ist,*

(e) *es ein $\epsilon \in M$ gibt, so dass für alle $a \in M$ gilt:*

$$\epsilon \bullet a = a \bullet \epsilon = a$$

(ϵ wird auch neutrales Element *des Monoids genannt.)*[3]*,*

Einige Monoide sind aus der elementaren Arithmetik bestens bekannt: so bildet beispielsweise die Menge der natürlichen Zahlen einschließlich der 0, $\mathbb{N}_0$ also, mit der Additionsoperation einen Monoid $\langle \mathbb{N}_0, + \rangle$; denn die Addition ist eine innere Verknüpfung auf $\mathbb{N}_0$, die zudem assoziativ ist, da für alle $l, n, m \in \mathbb{N}_0$ gilt:

$$(l + n) + m = l + (n + m)$$

[3]In runden Klammern werde ich zu Definitionen manchmal kommentierende Bemerkungen hinzusetzen, die Benennungen für einzelne Elemente einer Struktur beinhalten oder oder Beispiele für Strukturelemente anführen. Diese Bemerkungen in runden Klammern sind selbst nicht Teil der Definitionen, sie enthalten also insbesondere keine zusätzlichen Bedingungen an die Definienda.

Und für das neutrale Element des Monoid 0 gilt:

$$n + 0 = 0 + n$$

Die Additionsoperation bildet auch Monoide mit einigen anderen Zahlenmengen, wie den rationalen und den reellen Zahlen. So sind auch $\langle \mathbb{Q}, + \rangle$ und $\langle \mathbb{R}, + \rangle$ Monoide.

Auch die Multiplikationsoperation bildet mit den genannten Zahlenmengen die Monoide $\langle \mathbb{N}, \cdot \rangle$, $\langle \mathbb{Q}, \cdot \rangle$ und $\langle \mathbb{R}, \cdot \rangle$.

Neben solchen mathematischen Strukturen gibt es jedoch auch viele Strukturen mit konkreten Gegenständen und Operationen auf ihnen, auf die die Definition **D-1.1-4** zutrifft.

Zu diesen Strukturen gehört auch die Menge aller denkbaren Stapel von Papierbögen im DIN-A4-Format mit der Operation des Aufeinanderstapelns vorhandener Stapel, vorausgesetzt man lässt auch den leeren Papierstapel als neutrales Element zu und man sieht einen Papierstapel als eindeutig bestimmt durch die Reihenfolge der aufeinandergeschichteten Bögen an. Sei also P die Menge aller nur möglichen Papierstapel aus Papierbögen im DIN-A4-Format und $\backslash$ die Operation des Aufeinanderschichtens, $p_1 \backslash p_2$ für $p_1, p_2 \in P$ also derjenige Papierstapel, der durch das Schichten des Stapels p_2 auf p_1 entsteht. Die Operation $\backslash$ ist assoziativ, weil es für den resultierenden Papierstapel gleichgültig ist, ob von drei Stapeln zunächst die ersten beiden aufeinandergeschichtet werden und darauf dann der dritte oder aber der Papierstapel, der aus der Aufeinanderschichtung des zweiten und dritten resultiert auf den ersten gelegt wird, also für alle $p_1, p_2, p_3 \in P$ gilt:

$$(p_1 \backslash p_2) \backslash p_3 = p_1 \backslash (p_2 \backslash p_3)$$

Das neutrale Element p_0 der Struktur $\langle P, \backslash \rangle$ ist der leere Papiestapel p_0; denn nur ihn kann man auf jeden anderen Stapel oder auf ihn jeden anderen Stapel schichten, ohne dass dieser andere Stapel eine Veränderung erführe.

Auch grundlegende linguistische Strukturen sind Monoide, so beispielsweise die Menge der Zeichenketten, die sich aus einem Inventar an Zeichen, nennen wir es in Einklang mit der Terminologie der Theorie der formalen Sprachen *Alphabet*, bilden lassen, und die Verkettungsoperation. Eine Zeichenkette soll dabei als ein Gegenstand verstanden werden, der eindeutig durch die Abfolge der in ihm enthaltenen Zeichen bestimmt ist, z. B. eine Buchstabenfolge in einem Wort oder eine Folge von Lauteinheiten gesprochener Sprache. *Verkettung zweier Zeichenketten* meint die vertraute Operation der Ergänzung einer ersten Zeichenkette um eine zweite, durch die eine neue Zeichenkette entsteht. In diesem Sinne entsteht durch die Verkettung der Zeichenketten *er* und *klärt* beispielsweise die Zeichenkette *erklärt*.

Den Konventionen in der Theorie der formalen Sprachen folgend, soll die Menge der Zeichenketten über einem Alphabet A als A^* bezeichnet werden.[4] Zu A^*

[4]Dabei muss über das Verhältnis von A zu A^* nichts vorausgesetzt werden, insbesondere

soll auch eine besondere Zeichenkette gehören, deren Verkettung mit einer anderen Zeichenkette diese andere Zeichenkette nicht verändert, die leere Zeichenkette ϵ. Die Verkettungsoperation auf A^* sei durch $\odot$ bezeichnet.

Nach diesem Verständnis von Zeichenketten gilt offensichtlich, dass es gleichgültig ist, ob bei drei Zeichenketten s_1, s_2, s_3 zunächst s_1 mit s_2 verkettet wird und das Resultat dann mit s_3 oder zunächst s_2 mit s_3 verkettet wird und dann mit dem Resultat dieser Verkettung die Zeichenkette s_1 verkettet wird, also:

$$(s_1 \odot s_2) \odot s_3 = s_1 \odot (s_2 \odot s_3) \tag{1.4}$$

Seien beispielsweise

$$s_1 = ab \tag{1.5}$$
$$s_2 = cd \tag{1.6}$$
$$s_3 = ef \tag{1.7}$$

Zeichenketten über dem Alphabet $\{a, b, c, d, e, f\}$, so sind

$$s_1 \odot s_2 = abcd \tag{1.8}$$
$$s_2 \odot s_3 = cdef \tag{1.9}$$

und damit

$$(s_1 \odot s_2) \odot s_3 = s_1 \odot (s_2 \odot s_3) = abcdef \tag{1.10}$$

Papierstapel und die Operation des Aufeinanderschichtens oder Zeichenketten und die Operation des Verkettens sollten als Beispiele dafür dienen, wie auch Mengen konkreter Gegenstände mit praktisch ausführbaren oder sinnlich beobachtbaren Operationen Monoide, also gruppentheoretische Strukturen, bilden können.

Zur Illustration dessen, wie mithilfe derartiger mengentheoretischer Prädikate empirische Aussagen gemacht werden können, mögen einige Beispiele aus der Chemie dienen.

Mischt man $100ml$ einer einnormalen Natronlaugelösung mit $100ml$ einer einnormalen Salzsäurelösung, so ist das Ergebnis, das sich aus dem Ergebnis der Mischung dieser beiden Lösungen vermischt mit $100ml$ Wasser ergibt, eine in ihren chemischen Eigenschaften identische Lösung, nämlich eine neutrale einnormale Kochsalzlösung, wie auch bei der Mischung der Salzsäurelösung mit dem Wasser und anschließend mit der Natronlaugelösung. Analoges gilt auch für die Produkte dieser Mischungen. Für das chemische Ergebnis der Mischung ist es also unerheblich, ob zunächst Lösung a mit Lösung b und das Resultat dieser ersten Mischung dann mit Lösung c oder a mit dem Resultat der Mischung von

nicht, ob gilt $A \subseteq A^*$, also ob beispielsweise einelementige Zeichenketten dasselbe wie einzelne Zeichen sind.

b und c vermischt wird. Sei $+$ hier das Zeichen für die chemische Mischung, dann kann man das Ergebnis festhalten als:

$$(a + b) + c = a + (b + c) \tag{1.11}$$

Lässt man nun auch noch eine "leere Lösung" (oder "Null-Lösung"), also Lösungen des Volumens 0 zu, so kann man sagen, dass Lösungen, die sich untereinander so wie oben die Natronlauge, die Salzsäurelösung, das Wasser und die aus der Mischung dieser Lösungen resultierenden Lösungen verhalten, erweitert um die leere Lösung, zusammen mit der Mischungsoperation einen Monoiden bilden.

Anders verhalten sich aber Mischungen anderer chemischer Stoffe. Das folgende Beispiel soll dies illustrieren:

Beispiel B-1.1-1 *So ergibt die Zugabe von Natronlauge zu Milchsäure Natriumlactat, das unter Zugabe von Schwefelsäure zum Schwefelsäureester der Milchsäure unter Freisetzung von Natriumsulfat reagiert. Ein anderes Ergebnis ergibt sich jedoch, wenn zu der Milchsäure zunächst Schwefelsäure hinzugegeben wird: nun entsteht der Schwefelsäureester als Zwischenprodukt, das nach der Zugabe von Natronlauge zum Natriumsalz des Schwefelsäureesters der Milchsäure weiterreagiert.*

(1.11) gilt also in der Chemie keineswegs für beliebige Stoffe a, b und c.

Ob dies für drei gegebene Stoffe gilt, wie im Falle der Natronlauge- und Salzsäurelösung und des Wassers, ist eine Frage, die nur die Erfahrung (oder eine auf Erfahrungstatsachen beruhende chemische Theorie) beantworten kann. Die Aussage

Beispiel B-1.1-2 $100ml$ *einnormaler Salzsäurelösung,* $100ml$ *einnormale Natronlauge,* $100ml$ *Wasser, die 'leere Lösung' und die aus der Mischung dieser Lösungen resultierenden Lösungen bilden zusammen mit der Mischungsoperation einen Monoid.*

die unter Benutzung des gruppentheoretischen Begriffs *Monoid* behauptet, dass bei den drei genannten Lösungen die Reihenfolge ihrer Mischung, sofern es um die resultierende Lösung geht, irrelevant ist, ist also eine empirische; denn alle Argumente, die für oder gegen diese Aussage vorgebracht werden können, müssen in irgendeiner Weise auf Erfahrung rekurrieren, z. B. auf Versuche mit tatsächlichen Mischungen dieser Stoffe. **B-1.1-2** kann jedoch auch folgendermaßen ausgedrückt werden:

Beispiel B-1.1-3 $\langle \{a, b, c, l_0\}^+, +\rangle$ *ist ein Monoid.*

wobei a hier die erwähnten $100ml$ einnormaler Salzsäurelösung, b die $100ml$ einnormaler Natronlauge, c $100ml$ Wasser und l_0 die 'leere Lösung' seien. M^+ sei der Abschluss einer Menge M unter der Mischoperation, also

$$M_0 := M \tag{1.12}$$

$$M_{i+1} := \{x + y \mid x, y \in M_i\} \text{ für alle } i \in \mathbb{N}_0 \tag{1.13}$$

$$M^+ := \bigcup_{i=1}^{\infty} M_i \tag{1.14}$$

Auf einen ersten Blick mag zweierlei an **B-1.1-3** befremdlich erscheinen:

1. zum einen, dass ein gruppentheoretisches Prädikat, wie *Monoid*, auf sehr konkrete Gegenstände und Operationen angewandt wird,

2. zum anderen, dass ein gruppentheoretisches Prädikat dazu verwendet wird, eine empirische Aussage zu machen.

Mengen und damit auch gruppentheoretische Strukturen, die als spezielle Mengen definiert werden, sind Gegenstände, die rein formal dadurch bestimmt werden, dass sie zusammen mit der Element- und der Identitätsrelation bestimmten mengentheoretischen Axiomen gehorchen, und die nicht mit konkreten wahrnehmbaren Aggregaten von Gegenständen, wie Papierstapeln als einer Ansammlung von Papieren, einem Wald als einer Ansammlung von Bäumen, oder einer Stadt als einer Ansammlung von Bauwerken, verwechselt werden dürfen. Aggregate können nämlich andere formale Eigenschaften als Mengen haben. Sie verschwinden im Allgemeinen, wenn der letzte Bestandteil des Aggregates verschwindet: Nach dem Fällen des letzten Baumes gibt es keinen Wald mehr. Und bei ihnen wird in der Regel, wenn das Aggregat nur einen Bestandteil hat, das Aggregat mit diesem Gegenstand identifiziert: Bei einer Stadt, die nur aus einem monumentalen Gebäude besteht, wäre es plausibel davon zu sprechen, dass dieses Gebäude die Stadt sei. Nur ist es zumindest sprachlich ungewöhnlich in Fällen solcher auf *ein* Bestandteil reduzierter Aggregate von Aggregaten zu sprechen.

In der Mengentheorie bleibt jedoch auch nach der Weglassung aller roten Dreiecke aus der Menge der roten Dreiecke oder aller Bäume aus der Menge aller Bäume des Kottenforstes eine Menge erhalten: die leere Menge. Und eine nur einen Gegenstand enthaltende Menge ist auch keineswegs mit diesem zu identifizieren.

Diese Abstraktheit der Mengen widerspricht jedoch keineswegs der Möglichkeit, Mengen aus konkreten Gegenständen als ihren Elementen zu bilden. So abstrakt die Menge aller roten quaderförmigen Holzklötze sein mag, so konkret und erfahrbar können ihre Elemente sein.

Durch die Feststellung mengentheoretischer Verhältnisse zwischen Mengen erfahrbarer Gegenstände lassen sich empirische Aussagen machen. Die Feststellung, dass die Menge aller Pferde eine Teilmenge der Menge aller Lebewesen mit sieben Halswirbeln ist, oder:

$$\{x|x \text{ ist ein Pferd}\} \subseteq \{x|x \text{ ist ein Lebewesen mit sieben Halswirbeln}\} \tag{1.15}$$

ist eine Aussage, in welcher eine mengentheoretische Beziehung zwischen zwei Mengen hergestellt wird, die sich aber dennoch auf Beobachtungen an konkreten Gegenständen gründet.

In vielen Fällen bietet die Umgangssprache einfachere Möglichkeiten, Sachverhalte auszudrücken, als unter Rückgriff auf die mengentheoretische Begriffsbildung. Statt (1.15) lässt sich eben einfacher sagen, dass alle Pferde Lebewesen mit sieben Halswirbeln sind.

Sobald mehrstellige Prädikate, Funktionen, Operationen oder Relationen, ins Spiel kommen, kann eine mengentheoretische Betrachtungsweise jedoch das Stellen und die Behandlung vieler interessanter Fragen über grundlegende Eigenschaften dieser Prädikate erleichtern, ja überhaupt erst ein begriffliches Instrumentarium zum Stellen derartiger Fragen bereitstellen.

Dazu gehören insbesondere auch solche Fragen, in denen es darum geht, welche Eigenschaften der von Wissenschaftlern (aber auch im Alltag) benutzten Prädikate zur begrifflichen Konstruktion der Beschreibung des jeweiligen Wirklichkeitsausschnittes gehören und welche Eigenschaften aus empirischen Gründen angenommen werden. Verdeutlichen wir dies nochmal am chemischen Beispiel: Es gehört sicherlich zum Vorverständnis einer auf chemischen Substanzen definierten Mischoperation, dass sie eine innere Verknüpfung auf chemischen Substanzen ist. Denn was sich aus der Mischung zweier chemischer Substanzen ergibt, ist allem Vorverständnis zufolge wiederum eine chemische Substanz. Oder anders: die Anwendung der Mischoperation auf chemische Substanzen führt nicht aus dem Bereich chemischer Substanzen heraus.[5] Die Menge der chemischen Substanzen ist also abgeschlossen unter der Mischoperation.

Dies ist im Begriff der Mischung bereits enthalten, und würde man auf eine Verknüpfung treffen, die zur Mischung gewisse Ähnlichkeiten hat, deren Anwendung auf zwei chemische Substanzen aber etwas völlig Andersartiges und mit nichts Chemischem mehr in derselben Weise Verknüpfbares ergäbe, denken wir uns zum Beispiel einen Alchemisten, der aus zwei Stoffen – sagen wir – Geist erzeugt, so würden wir diesen Vorgang wahrscheinlich nicht mehr Mischung nennen. Es könnte natürlich sein, dass wir unser Verständnis von Mischung revidieren; aber dann würden wir nachher nicht mehr über denselben Mischungsbegriff verfügen.

Zusammenfassend kann man dies so ausdrücken: Es gehört zum Begriff der Mischung in der Chemie, dass für die Mischoperation $+$ und die Menge chemischer Substanzen S gilt: $+$ ist eine innere Verknüpfung auf S.

Mit dem allgemeinen Vorverständnis von Mischung scheint es jedoch nicht unverträglich, dass die Reihenfolge der Mischungen das Produkt mitbestimmt. Neben den vielfältigen Beispielen, die die "Alltags-Chemie", namentlich das Ko-

[5] Sehen wir für den Moment einmal von dem zwar chemisch unmöglichen, aber nicht undenkbaren Fall ab, dass zwei Substanzen sich gegenseitig auflösen; aber auch diesen Fall könnte man durch Annahme einer leeren Substanz formal mit dem Gesagten verträglich machen.

chen, dafür bietet, sind die obengenannten Beispiele Belege dafür, dass es Substanzen gibt, für die die Mischoperation assoziativ ist, andere aber, bei denen das nicht der Fall ist. Wann die Mischoperation assoziativ ist, hat die Erfahrung zu entscheiden. Ob eine gegebene Substanzmenge S zusammen mit der Mischoperation $+$ und einer 'leeren Lösung' einen Monoiden bildet ist also eine empirische Frage und keine begriffliche. Die Entdeckung für eine bestimmte Substanzmenge S, dass entgegen einer früheren Annahme $\langle S, + \rangle$ keinen Monoiden bildet, ist keine Entdeckung, die die *Bedeutung* des Begriffs der Mischung tangierte, sondern nur unser Wissen über das erfahrbare Verhalten bestimmter Mischungen.

Nichtsdestoweniger gibt es jedoch Mengen mit Operationen auf diesen Mengen, bei denen die Monoid-Eigenschaft schon im begrifflichen Verständnis der Operationen liegt. Zur Entdeckung der Monoid-Eigenschaften sind also hier keinerlei Beobachtungen vonnöten. Beispiele derartiger Strukturen waren oben mit der Menge von Papierstapeln und der Operation des Aufeinanderschichtens oder der Menge von Zeichenketten und der Operation des Verkettens gegeben worden. Wer die Assoziativität dieser Operationen bezweifelt, tut dies nicht, weil er unerwartete Entdeckungen an Papierstapeln oder Zeichenketten gemacht hätte, sondern weil er unter Papierstapeln und Zeichenketten oder den Operationen auf ihnen etwas anderes versteht. Dieselbe formale Eigenschaft kann einem System aus Mengen und Relationen also ausschließlich aufgrund von Eigenschaften der begrifflichen Charakterisierung des Systems zukommen, einem anderen System jedoch erst aufgrund von Erfahrungstatsachen zugesprochen werden. Dies entspricht der klassischen philosophischen Unterscheidung analytischer und synthetischer Sätze; auf diese Unterscheidung wird unten (S. 59ff) im Zusammenhang mit der Unterscheidung potentieller Modelle von echten näher eingegangen werden.

Im Abschnitt 2.3 werden Konventionen eingeführt werden, deren Beachtung zu einer auch formalen Unterscheidung der beiden Fälle führen. Allerdings setzt die Einhaltung der Konventionen eine vorhergehende Analyse formaler Eigenschaften des Begriffsinventars voraus.

1.1.1 Listenstrukturen

In natürlichen Sprachen verbinden die unterschiedlichen metaphorischen Übertragungen von Begriffen auf neue Bereiche häufig in erster Linie gewisse formale Eigenschaften der unterschiedlichen Systeme, auf die diese ursprünglichen und metaphorisch gewonnenen Begriffe angewandt werden. Die metaphorische Übertragung eines Ausdrucks von einem System auf ein anderes soll oft andeuten, dass sich dieses andere System im Hinblick auf einige für wesentlich erachtete formale Eigenschaften wie das erste verhält. Manche umgangssprachlichen Ausdrücke können so zu – zunächst informellen – Beschreibungen für formale Systeme werden. Ein Beispiel, das bei den metalinguistischen Untersuchungen dieser Arbeit eine zentrale Rolle einnehmen wird und schon von daher einer ausführlicheren Betrachtung wert ist, ist der Begriff der *Liste*: Sprachhistorisch zunächst einen

Papierstreifen bezeichnend, wird das Wort später auf ein auf einem Papierstreifen niedergeschriebenes Verzeichnis angewendet. Die metaphorisch erweiterte Bedeutung des Wortes sieht jedoch ganz vom Medium, auf dem die Liste abgelegt ist, und sogar von der räumlichen Struktur ab. In der Informatik wird unter einer Liste eine Datenstruktur verstanden, die aus endlich vielen Elementen eines bestimmten Typs in einer bestimmten Reihenfolge besteht. Für den Informatiker, der von Listen spricht, ist nicht entscheidend, in welcher physischen Weise Listenelemente in einem Speichermedium abgelegt werden und wie genau die Reihenfolge spezifiziert wird, solange es nur Funktionen gibt, die Listenelemente beliebiger Positionen bei gegebener Liste zurückgeben, vielmehr ist es für die Betrachtung von Datenstrukturen als Listen entscheidend, ob Listen – abgesehen einmal von Speicherplatzbeschränkungen – *ad infinitum* zu neuen verknüpfbar sind.

Genauer kann eine Listenstruktur wie folgt bestimmt werden:

Definition D-1.1-5 (Listenstruktur) *x ist eine* Listenstruktur *gdw$_{df}$ gilt:*

(a) $x = \langle L, D, \uparrow \rangle$,

(b) *D (die Menge möglicher Listenelemente) ist eine nichtleere Menge,*

(c) *L (die Menge der Listen) ist eine nichtleere Menge,*

(d) $\uparrow : D \times L \mapsto L$,

(e) *$\uparrow$ ist umkehrbar eindeutig, d.h. für alle $d, d' \in D$, $l, l' \in L$ gilt: wenn $\langle d, l \rangle \neq \langle d', l' \rangle$, dann*

$$\uparrow(d, l) \neq \uparrow(d', l')$$

und

(f) *es gibt ein $\epsilon \in L$, so dass*

(fa) *für alle $d \in D$, $l \in L$ gilt:*

$$\uparrow(d, l) \neq \epsilon$$

und

(fb) *für alle $M \subseteq L$ gilt: wenn $\epsilon \in M$ und für alle $d \in D$, $l \in M$ gilt, dass $\uparrow(d, l) \in M$, dann $M = L$.*

Die obenstehende Definition schließt Listenstrukturen $\langle L, D, \uparrow \rangle$ mit $L \cap D \neq \emptyset$, ja sogar $L \subseteq D$, nicht aus, also Listenstrukturen, in denen es Listen gibt, deren Listenelemente selbst wieder Listen sind. Listenstrukturen, bei denen nicht zugelassen ist, dass Listen ihrerseits wieder als Listenelemente vorkommen können, sollen auch als nichtrekursive Listenstrukturen bezeichnet werden:

Definition D-1.1-6 (Nichtrekursive Listenstrukturen) *x ist eine* nichtrekursive Listenstruktur *gdw$_{df}$ gilt:*

(a) $x = \langle L, D, \uparrow \rangle$,

(b) *x ist eine Listenstruktur und*

(c) $L \cap D = \emptyset$.

D-1.1-5f stellt sicher, dass der folgende Satz gilt:

Satz S-1.1-1 (Eindeutigkeit der leeren Liste) *Sei $\langle L, D, \uparrow \rangle$ eine Listenstruktur. Dann gibt es genau eine Liste $\epsilon \in L$, die* **D-1.1-5fa** *und* **D-1.1-5fb** *erfüllt.*

Beweis B-1.1-1 *Gäbe es nämlich eine weitere Liste $\epsilon' \in L$, die ebenfalls* **D-1.1-5f** *erfüllte, so gälte mit $M := L$ und $M' := L \setminus \{\epsilon\}$:*

$$\epsilon' \in M$$

und für alle $d \in D, l \in M$

$$\uparrow(d, l) \in M$$

aber auch

$$\epsilon' \in M'$$

und für alle $d \in D, l \in M'$

$$\uparrow(d, l) \in M'$$

Dies steht aber wegen $M \neq M'$ im Widerspruch zu **D-1.1-5fb**.

S-1.1-1 gibt die Berechtigung zu folgender Definition:

Definition D-1.1-7 (Leere Liste) *Sei $x = \langle L, D, \uparrow \rangle$ eine Listenstruktur. Die* leere Liste *in x (ϵ_x) ist dann diejenige Liste $\epsilon \in L$, für die* **D-1.1-5fa** *und* **D-1.1-5fb** *gelten.*

Es ist üblich, bei Listenstrukturen Funktionen einzuführen, die das erste Element bzw. eine Liste mit den nichtersten Elementen, dem Rest der Liste, zurückgeben. Wegen der umkehrbaren Eindeutigkeit der Funktion $\uparrow$ sind dies schlicht Funktionen, die das erste bzw. zweite Element der von der Umkehrung von $\uparrow$ zurückgegebenen Folge zurückgeben. Sei also beispielsweise[6] $\langle d, l' \rangle = \uparrow^{-1}(l)$, dann ist d das erste Element der Liste l und l' der Rest der Liste l. Kurz:

[6] Die Notation f^{-1} soll für beliebige umkehrbar eindeutige Funktionen deren Umkehrung bedeuten; $(x)_n$ für Folgen x deren $n$tes Element.

Definition D-1.1-8 (Erstes Element/Rest einer Liste) *Sei* $x = \langle L, D, \uparrow \rangle$ *eine Listenstruktur, dann ist für alle* $l \in L \setminus \{\epsilon_x\}$*:*

$$\mathbf{erstes}_x(l) := (\uparrow^{-1}(l))_1$$

und

$$\mathbf{rest}_x(l) := (\uparrow^{-1}(l))_2$$

Es ist üblich die Anzahl der in einer Liste vorkommenden Elemente als die Länge einer Liste zu bezeichnen.

Definition D-1.1-9 (Länge von Listen) *Sei* $x = \langle L, D, \uparrow \rangle$ *eine Listenstruktur. Dann sei die Länge einer Liste* $l \in L$ ($\mathbf{länge}_x(l)$) *wie folgt definiert:*

(a) $\mathbf{länge}_x : L \mapsto \mathbb{N}_0$,

(b)

$$\mathbf{länge}_x(l) := \begin{cases} 0 & \textit{falls } l = \epsilon_x, \\ \mathbf{länge}_x(\mathbf{rest}_x(l)) + 1 & \textit{sonst.} \end{cases}$$

Auf den Listen derartiger Listenstrukturen, ob rekursiv oder nicht, kann nun leicht eine Verkettungsoperation definiert werden.

Definition D-1.1-10 (Listenverkettung) *Sei* $x = \langle L, D, \uparrow \rangle$ *eine Listenstruktur. Dann sei* $\circ_x$ *wie folgt definiert:*

(a) $\circ_x : L \times L \mapsto L$,

(b)

$$l \circ_x l' := \begin{cases} l' & \textit{falls } l = \epsilon_x, \\ \uparrow(\mathbf{erstes}_x(l), \mathbf{rest}_x(l) \circ_x l') & \textit{sonst.} \end{cases}$$

Auf den Index x soll in der Regel verzichtet werden, wenn es durch den Zusammenhang bestimmt ist, auf welche Listenstruktur die Funktionen **erstes**, **rest** und $\circ$ bzw. die Konstante ϵ bezogen werden.

Die Gemeinsamkeit von Systemen mit Gegenständen, seien es Einträge auf Papierbändern oder Datenstrukturen in Rechenanlagen, die als Listen bezeichnet werden, scheint zu sein, dass solche Systeme bei geeigneter Wahl der Strukturelemente $L, D, \uparrow$ Listenstrukturen im oben bestimmten Sinne sind. Anders gewendet: Eine bestimmte Menge L von Gegenständen wird zu einer Menge von Listen dadurch, dass Gegenstände $D, \uparrow$ gefunden werden, so dass $\langle L, D, \uparrow \rangle$ eine Listenstruktur ist.

Beispiele für Listenstrukturen

Wenden wir uns, mit dieser Definition der Listenstruktur versehen, den mehr oder minder konkreten Beispielen von Listen zu, die die Definition motivierten, und sehen wir, welche konkreten Listenstrukturen sich durch diese Beispiele finden lassen:

Beispiel B-1.1-4 *Da ist zunächst das Beispiel der Liste von Einträgen auf einem Papierstreifen, sagen wir, eine Liste von Gästen für eine Feier. Der Menge* D *in* **D-1.1-5** *entspricht die Mengen möglicher Einträge auf der Liste, also zum Beispiel die Menge der Namen von Personen, die für eine Einladung überhaupt in Frage kommen. Die leere Liste* ϵ *ist der unbeschriebene Papierstreifen. Die Menge* L *der Listen ist die Menge aller möglicher Papierstreifen, die Reihen von Namen aus* D *enthalten. Der Operation* $\uparrow(d, l)$ *entspricht die Hinzufügung eines Namens* d *unten auf der Liste* l*.*

Beispiel B-1.1-5 *Als ein zweites ähnliches, aber formaleres, Beispiel mag die syntaktische Konstruktion der Listen in sogenannter Listennotation in der Programmiersprache Prolog dienen: In Prolog werden als Listen in Listennotation syntaktisch Zeichenketten aufgefasst, die in eckige Klammern eingeschlossen sind und ausschließlich aus einer (möglicherweise leeren) Folge von Prologtermen, die jeweils durch Kommata voneinander abgetrennt sind, bestehen. Als Prologterme sollen hier der Einfachheit halber nur Zeichenketten betrachtet werden, die aus einer ununterbrochenen Folge von Buchstaben, beginnend mit einem Kleinbuchstaben, bestehen oder eben wiederum aus Listen. Beispiele für Listen in Listennotation sind also:*

```
[]
[abc]
[abcd,efgh,ijkl,abcd]
[abcd,[efgh,[ijkl],abcd]]
```

Die leere Liste dieser Struktur ist `[]`*. Die Menge* d *ist die Menge der Prologterme. Die Operation* $\uparrow(d, l)$ *besteht für Prologterme darin, dass in der Liste* l *vor der linken eckigen Klammer der Prologterm* d *hinzugefügt wird und dieser ggf. von einem dann rechts von ihm stehenden Term durch ein Komma abgetrennt wird.* L *ist die Menge aller Listen in Listennotation in Prolog.*

Vergleicht man **B-1.1-4** mit **B-1.1-5**, so ist zu sehen, wo das erstere Beispiel zu hinken scheint: Die Verkettungsoperation ist für beide Argumentstellen für sämtliche Listen definiert. Wie soll aber ein konkreter Papierschnitzel mit sich selbst verkettet werden? Und legt man nacheinander zwei verschiedene Listen auf Papierstreifen an, so beginnt man möglicherweise jedesmal mit einem leeren Papierstreifen; dazu jedoch muss es zunächst mehrere solcher Papierstreifen geben. Aber enthält eine Listenstruktur nicht genau eine leere Liste?

Bei dem zweiten dieser Beispiele scheint es solche Schwierigkeiten auf den ersten Blick nicht zu geben. Dieser Unterschied liegt an der Abstraktionsstufe, auf der die betroffenen Gegenstände betrachtet werden. Zu **B-1.1-4** ganz analoge Probleme treten auch bei **B-1.1-5** auf, wenn die konkreten Tintenflecken auf einem Blatt Papier oder die in einem bestimmten Zeitraum erscheinenden Leuchtpunkte auf einem Bildschirm als die fraglichen Zeichenketten aufgefasst werden. Denn auch dann ließen sich die leeren Listen beliebig um neue Instanzen vermehren. Wenn wir aber von Zeichen und Zeichenketten sprechen, meinen wir in der Regel jedenfalls etwas gegenüber den konkreten Konfigurationen von Tinten- oder Lichtflecken Abstraktes, das mehrfach auftreten kann und für dessen Existenz es unwichtig ist, ob es überhaupt auf einem Blatt oder Bildschirm auftritt. Denn zu Listen im Sinne der Listenstrukturen gehören auch Listen, die so lang sind, dass sie nie jemand hinschreiben wird. Und von diesen Abstrakta wird in dem Beispiel gesprochen.

Werden die Gegenstände in **B-1.1-4** ebenfalls in einem abstrakten Sinne verstanden, in dem alle unbeschriebenen Papierschnitzel als Vorkommen derselben leeren Liste verstanden werden und alle Papierschnitzel, auf denen dieselben Namen in derselben Reihenfolge niedergeschrieben sind als Vorkommen derselben Liste, so kann das Beispiel in einer Weise reformuliert werden, die den genannten Einwänden nicht mehr ausgesetzt ist.

Der Übergang von den konkreten Gegenständen zu abstrakteren ist häufig eine Voraussetzung für die Beschreibung von Strukturen eines Gegenstandsbereichs. Erst auf der abstrakten Ebene des Zeichens können linguistische Theorien beispielsweise wiederkehrende Muster in sprachlichen Äußerungen beschreiben. Zwar wird durch die abstraktere Sichtweise von bestimmten Aspekten der konkreten Gegenstände abgesehen, aber diese ‘verschwinden’ deshalb nicht bei der Abstraktion. Die abstrakten Zeichen und Zeichenketten können als Äquivalenzklassen von Zeichenvorkommen verstanden werden. Die Konkreta sind also in diesem Sinne schlicht Elemente der Abstrakta. Die klassenbildende Äquivalenzrelation kann ihrerseits mithilfe sehr konkreter raumzeitlicher oder perzeptiver Eigenschaften der Gegenstände definiert oder explizierbar sein. Eine Theorie der Buchstabenwahrnehmung könnte beispielsweise die Äquivalenzrelation explizieren, die uns verschiedene Tintenfleckkonfigurationen auf Papier als verschiedene Vorkommen desselben Zeichens erkennen lässt.

Beispiel B-1.1-6 *Als ein letztes Beispiel soll die informatische Datenstruktur der Liste dienen. Als eine Form von Liste in diesem Sinne kann eine Reihe von Speicherzellen aufgefasst werden, die derart beschaffen ist, dass die erste dieser Speicherzellen entweder einen Wert enthält, den wir als* initialen Listenzeiger *bezeichnen wollen. Ein* Listenzeiger *ist entweder ein bestimmter die leere Liste vertretender Wert, nennen wir diesen Wert* nil*, oder die Adresse einer Speicherzelle, die ihrerseits zwei Werte enthält:*

1. *einen Elementzeiger, d. i. die Adresse einer Speicherzelle, die ein Listenelement enthält, und*

2. *einen weiteren Listenzeiger.*

So verweisen Listenzeiger in fortlaufender Kette auf neue Listenzeiger bis der letzte Listenzeiger den Wert nil annimmt. Die Menge D möglicher Listenelemente ist bei diesen Datenstrukturen die Menge Daten, die in Speicherzellen, auf die ein Elementzeiger verweisen kann, abgespeichert werden kann. Für ein beliebiges Listenelement $d \in D$ und eine beliebige Liste besteht die Operation $\uparrow(d,l)$ darin, dass in einer bislang nicht benutzten Speicherzelle z ein Elementzeiger mit der Adresse einer auf d zeigenden Speicheradresse und der bisher initiale Listenzeiger als Listenzeiger eingetragen wird. In eine bisher ebenfalls ungenutzte Speicherzelle wird der neue initiale Listenzeiger, der auf z verweist, eingetragen. L ist die Menge aller möglichen Listen, die auf diese Weise gebildet werden können. Zur Verkettung zweier Listen l, l' wird zunächst eine Kopie der Liste l angelegt, d. h. die Listenzeiger von l werden zusätzlich an neuen Speicheradressen abgespeichert, bei entsprechender Änderung ihrer Werte,[7] und anschließend der nil enthaltende Listenzeiger der Kopie von l auf den initialen Listenzeiger von l' als neuen Wert gesetzt, so entsteht eine neue Liste $l \circ l'$.

Einige Eigenschaften von Listenstrukturen

Folgendes ist nun leicht zu zeigen:

Satz S-1.1-2 *Wenn $x = \langle L, D, \uparrow \rangle$ eine Listenstruktur ist, dann ist $\langle L, \circ \rangle$ ein Monoid.*

Beweis B-1.1-2

1. *Unmittelbar aus* **D-1.1-10a** *folgt, dass $\circ$ eine innere Verknüpfung auf L ist.*

2. *Die leere Liste ϵ erfüllt die Bedingungen eines neutralen Elementes des Monoiden,*

   (a) *da sich für beliebige Listen $l \in L$*

   $$\epsilon \circ l = l$$

   direkt aus **D-1.1-10b** *ergibt und*

   (b) *es sich per Induktionsbeweis über* **länge**(l) *zeigen lässt, dass für alle $l \in L$ gilt:*

   $$l \circ \epsilon = l$$

[7] Dies dient der Verhinderung unerwünschter Zyklen.

Induktionsanfang $(n = 0)$**:** *Sei* $l = \epsilon$*. Dann folgt* $l \circ \epsilon = l = \epsilon$ *direkt aus* **D-1.1-10b**.

Induktionsschritt $(n \to n+1)$**:** *Sei als Induktionsvoraussetzung* $l \circ \epsilon = l$ *bereits für beliebige* $l \in L$ *mit* **länge**$(l) = n$ *gezeigt, dann gilt auch für alle* $d \in D$*:*

$$\uparrow(d, l) \circ \epsilon = \uparrow(d, l) \tag{1.16}$$

Denn nach **D-1.1-10b** *ist*

$$\uparrow(d, l) \circ \epsilon = \uparrow(d, l \circ \epsilon) \tag{1.17}$$

Wegen der Induktionsvoraussetzung gilt aber:

$$\uparrow(d, l \circ \epsilon) = \uparrow(d, l) \tag{1.18}$$

Aus (1.17) und (1.18) folgt aber (1.16).

3. *Schließlich lässt sich auch durch einen Induktionsbeweis über die Länge* n *von Listen zeigen, dass* $\circ$ *assoziativ ist, also für beliebige* l, l', l'' *gilt:*

$$(l \circ l') \circ l'' = l \circ (l' \circ l'') \tag{1.19}$$

Induktionsanfang $(n = 0)$**:** *Sei* $l \in L$ *mit* **länge**$(l) = 0$*, also* $l = \epsilon$*, dann folgt die Annahme bereits aus* **D-1.1-10b**.

Induktionsschritt $(n \to n+1)$**:** *Sei die Annahme bereits für beliebige* $l \in L$ *mit* **länge**$(l) = n$ *bewiesen, dann kann gezeigt werden:*

$$(\uparrow(d, l) \circ l') \circ l'' = \uparrow(d, l) \circ (l' \circ l'') \tag{1.20}$$

Denn nach **D-1.1-10b** *gilt:*

$$\uparrow(d, l) \circ l' = \uparrow(d, l \circ l') \tag{1.21}$$

und

$$\uparrow(d, l \circ l') \circ l'' = \uparrow(d, (l \circ l') \circ l'') \tag{1.22}$$

sowie

$$\uparrow(d, l) \circ (l' \circ l'') = \uparrow(d, l \circ (l' \circ l'')) \tag{1.23}$$

Da aber vorausgesetzt ist, dass bereits bewiesen ist, dass $(l \circ l') \circ l'' = l \circ (l' \circ l'')$*, gilt auch:*

$$\uparrow(d, l \circ (l' \circ l'')) = \uparrow(d, (l \circ l') \circ l'') \tag{1.24}$$

Aus (1.21)–(1.24) folgt (1.20).

Die Umkehrung von **S-1.1-2** gilt jedoch nicht. Es gibt Monoide $\langle L, \circ \rangle$, zu denen es keine entsprechenden Gegenstände $D, \uparrow$ gibt, so dass $\langle L, D, \uparrow \rangle$ eine Listenstruktur wäre. Für Listenstrukturen gilt ja insbesondere der Satz:

Satz S-1.1-3 *Sei $\langle L, D, \uparrow \rangle$ eine Listenstruktur. Dann gilt für alle $l, l' \in L$:*

$$\textbf{länge}(l \circ l') = \textbf{länge}(l) + \textbf{länge}(l')$$

Hier wird also die Additivität der Länge von Listen bei Verkettung behauptet: Wenn zwei Listen verkettet werden, ist die Länge der resultierenden Liste die Summe der Längen der verketteten Listen.

Beweis B-1.1-3 *Der Beweis macht Gebrauch von einer vollständigen Induktion über* **länge**(l)*:*

Induktionsanfang $(n = 0)$**:** *Für* **länge**$(l) = 0$*, also nach* **D-1.1-9b** $l = \epsilon$*, folgt die Behauptung trivialerweise aus* $\epsilon \circ l' = l'$ *nach* **D-1.1-10b**.

Induktionsschritt $n \to n + 1$**:** *Sei die Behauptung für alle* $l \in L$ *mit* **länge**$(l) = n$ *bewiesen. Dann kann gezeigt werden, dass*

$$\textbf{länge}(\uparrow(d, l) \circ l') = \textbf{länge}(l) + \textbf{länge}(l') + 1 \tag{1.25}$$

Denn nach **D-1.1-10b** *ist für beliebige* $d \in D$

$$\uparrow(d, l) \circ l' = \uparrow(d, l \circ l') \tag{1.26}$$

Wegen **D-1.1-8** *ist aber* **rest**$(\uparrow(d, l \circ l')) = l \circ l'$*, und da aufgrund der Induktionsannahme* **länge**$(l \circ l') =$ **länge**$(l) +$ **länge**(l') *gilt, muss nach* **D-1.1-9b** *gelten:*

$$\textbf{länge}(\uparrow(d, l \circ l')) = \textbf{länge}(l) + \textbf{länge}(l') + 1 \tag{1.27}$$

Mit (1.27) muss aber nach (1.26) auch (1.25) gelten.

Aus diesem Satz folgt insbesondere das folgende Korrollar:

Korrollar S-1.1-4 *Sei $\langle L, D, \uparrow \rangle$ eine Listenstruktur. Dann gilt für alle $l, l', l'' \in L$: Wenn* **länge**$(l') > 0$ *(also $l' \neq \epsilon$), dann*

$$l \circ l' \circ l'' \neq l$$

.

Im Monoid $\langle \mathbb{R}, \cdot \rangle$ gibt es jedoch Beispiele für Fälle, in denen gilt:

$$x = x \cdot y \cdot z \tag{1.28}$$

und zwar für beliebige $y \in \mathbb{R}$, solange nur $z = \frac{1}{y}$ gewählt wird, z. B.

$$5 = 5 \cdot 2 \cdot 0,5 \tag{1.29}$$

Diese Überlegung zeigt, dass der Monoid $\langle \mathbb{R}, \cdot \rangle$ durch keine Wahl von $B, \uparrow$ zu einer Listenstruktur $\langle \mathbb{R}, B, \uparrow \rangle$ mit $\cdot = \circ_{\langle \mathbb{R}, B, \uparrow \rangle}$ ergänzt werden kann. Es gibt also keine Möglichkeit, alle reellen Zahlen als Listen darzustellen und gleichzeitig die Multiplikation als Listenverkettung.

Zu einem anderen Ergebnis gelangt man jedoch, wenn man sich den Monoiden $\langle \mathbb{N}_0, + \rangle$ ansieht. Bei der Addition natürlicher Zahlen n, n', n'' gilt:

$$n \neq n \circ n' \circ n'' \tag{1.30}$$

vorausgesetzt $n' \neq 0$. Und in der Tat bildet $\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle$ eine Listenstruktur und es gilt

$$+ = \circ_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle} \tag{1.31}$$

wie sich nachweisen lässt.

Hier sei nur der kritischste Punkt des Nachweises hervorgehoben und die Beweisidee skizziert, nämlich der Nachweis, dass tatsächlich (1.31) gilt. Es lässt sich leicht zeigen, dass

$$\epsilon_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle} = 0$$

(1.31) ist nun nach **D-1.1-10b** erfüllt, da

1. für beliebige $n \in \mathbb{N}_0$ gilt: $0 + n = n$ und
2. für alle $n \in \mathbb{N}_0$ gilt:

$$\textbf{länge}_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle}(n) = n$$

wie man leicht zeigen kann, und wegen

$$\textbf{länge}_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle}(\textbf{rest}_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle}(n)) = \textbf{länge}_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle}(n) - 1$$

aus **D-1.1-9b** folgt

$$\textbf{rest}_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle}(n) = n - 1$$

Damit ist aber auch

$$\textbf{erstes}_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle}(n) + \textbf{rest}_{\langle \mathbb{N}_0, \{1\}, + \rangle}(n) = n$$

Dieses Resultat bezüglich der Addition von natürlichen Zahlen ist wenig überraschend, wenn man sich verdeutlicht, dass natürliche Zahlen in sehr naheliegender Weise als Listen dargestellt werden können, in denen ein Gegenstand (im vorliegenden Fall die Zahl 1 selber, aber es können auch beliebige andere Einheitselemente gewählt werden) dem Zahlenwert entsprechend häufig wiederholt wird. Die Addition von Zahlen ist bei dieser Darstellung nichts anderes als die Verkettung der Listen von Einselelementen.

Auf eine weitere Eigenschaft der Verkettungsoperation wird unten noch zurückzukommen sein, nämlich auf die durch den folgenden Satz ausgedrückte:

Satz S-1.1-5 *Sei* $\langle L, D, \uparrow\rangle$ *eine Listenstruktur. Dann gilt für alle* $l, l', l' \in L$*: Wenn* $l \circ l' = l \circ l''$ *oder* $l' \circ l = l'' \circ l$*, dann* $l' = l''$*.*

Beweis B-1.1-5 *Angenommen*

$$l \circ l' = l \circ l'' \tag{1.32}$$

oder

$$l' \circ l = l'' \circ l \tag{1.33}$$

Aufgrund von **S-1.1-3** *muss gelten:*

$$\mathbf{länge}(l') = \mathbf{länge}(l'')$$

Es soll nun

1. *durch einen Induktionsbeweis über die Länge von* l *gezeigt werden, dass unter der Annahme (1.32)*

$$l' = l'' \tag{1.34}$$

   gilt und

2. *durch einen Induktionsbeweis über die Länge von* l' *bzw.* l'' *gezeigt werden, dass unter der Annahme (1.33) ebenfalls (1.34) gilt.*

1. *Es gelte (1.32).*

   Induktionsanfang $(n = 0)$**:** *Für* $l \in L$ *mit* $\mathbf{länge}(l) = 0$ *folgt (1.34) direkt daraus, dass nach* **D-1.1-9b** *dann* $l = \epsilon$ *und somit nach* **D-1.1-10b** $l \circ l' = l'$ *und* $l \circ l'' = l''$*, daraus und aus (1.32) folgt unmittelbar (1.34).*

Induktionsschritt $(n \to n+1)$**:** *Sei (1.34) bereits unter der Annahme (1.32) für* **länge**$(l) = n$ *gezeigt. Dann kann auch für beliebige $d \in D$ gezeigt werden, dass wenn*

$$\uparrow(d, l) \circ l' = \uparrow(d, l) \circ l'' \tag{1.35}$$

dann auch (1.34) gilt. Denn nach **D-1.1-10b** *sind $\uparrow(d, l) \circ l' = \uparrow(d, l \circ l')$ und $\uparrow(d, l) \circ l'' = \uparrow(d, l \circ l'')$. (1.35) ist also äquivalent zu*

$$\uparrow(d, l \circ l') = \uparrow(d, l \circ l'') \tag{1.36}$$

Wegen **D-1.1-5e** *ist dies äquivalent zu (1.32). Unter dieser Annahme ist (1.34) jedoch bereits gezeigt.*

2. **Induktionsanfang** $(n = 0)$**:** *Für* **länge**(l') $=$ **länge**$(l'') = 0$ *folgt (1.34) direkt daraus, dass nach* **D-1.1-9b** *dann auch $l' = l'' = \epsilon$.*

   Induktionsschritt $(n \to n+1)$**:** *Sei (1.34) bereits unter der Annahme (1.32) für* **länge**(l') $=$ **länge**$(l'') = n$ *gezeigt. Dann kann auch für beliebige $d', d'' \in D$ gezeigt werden, dass wenn*

$$\uparrow(d', l') \circ l = \uparrow(d'', l'') \circ l \tag{1.37}$$

dann auch

$$\uparrow(d', l') = \uparrow(d'', l'') \tag{1.38}$$

gilt. Denn nach **D-1.1-10b** *und* **D-1.1-8** *sind $\uparrow(d', l') \circ l = \uparrow(d', l' \circ l)$ und $\uparrow(d'', l'') \circ l = \uparrow(d'', l'' \circ l)$. (1.37) ist also äquivalent zu*

$$\uparrow(d', l' \circ l) = \uparrow(d'', l'' \circ l) \tag{1.39}$$

Wegen **D-1.1-5e** *ist dies äquivalent zu der Konjunktion von (1.32) und*

$$d' = d'' \tag{1.40}$$

Unter der Annahme (1.32) ist (1.34) bereits gezeigt. Aus (1.32) und (1.40) folgt nun (1.38).

1.2 Sprachen und Listenstrukturen

Vor dem Hintergrund der formalen Bestimmung von Listenstrukturen, wie sie der letzte Abschnitt bot, kann eine Antwort auf die Frage versucht werden, wie Listenstrukturen helfen können, empirische Behauptungen über sprachliche Phänomene zu machen. In syntaktischer Hinsicht werden sprachliche Ausdrücke für gewöhnlich als Folgen von Zeichen aus einem bestimmten Grundinventar verstanden. Zumindest im Bereich der geschriebenen Sprache scheint diese Betrachtungsweise auch unmittelbar einsichtig. Wendet man sich der akustischen Erscheinungsform gesprochener Sprache zu, so erscheint diese Auffassung zunächst problematischer, da im akustischen Signal nur schwer zeitlich disjunkte Ereignisse auszumachen sind, die dem Grundinventar geschriebener Sprache entsprächen. Die mit der akustischen Erscheinungsform von Sprache verbundenen Fragen sollen zunächst jedoch ausgeblendet werden.

1.2.1 Adäquatheitsbedingungen für ein Explikat von Zeichenketten

Linguistische Theorien benutzen in der Regel den Begriff der *Zeichenkette* als einen Grundbegriff. Einige formale Eigenschaften von Zeichenketten werden hin und wieder expliziert (so finden sich Hinweise auf die Monoideigenschaft von Zeichenketten mit der auf ihnen definierten Verkettungsoperation). Viele Eigenschaften werden jedoch einfach *benutzt,* da sie (wohl wegen der graphischen Erscheinungsform von Zeichenketten) für selbstevident gehalten werden. In diesem Abschnitt sollen einige Forderungen behandelt werden, die man an ein geeignetes Explikat von Zeichenketten stellen wird. Es wird gezeigt werden, dass eine Auffassung von Zeichenketten als Listen alle diese Forderungen erfüllt.

Dieses Ergebnis wird hier als Rechtfertigung dafür verwendet werden, dass Listen, wie sie zuvor definiert wurden, hier als Explikate für die *Zeichenketten* linguistischer Theorien dienen.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-1 *Eine Zeichenkette kann beliebig viele Elemente aus einem Grundinventar enthalten.*

Das Erfülltsein dieser Adäquatheitsbedingung folgt unmittelbar aus der Tatsache, dass es für die Länge von Listen keine obere Grenze gibt, ja eine Listenstruktur $\langle L, D, \uparrow\rangle$ für jede Länge $n \in N_0$ Listen $l \in L$ mit $\mathbf{länge}(l) = n$ enthält. Denn zu jeder Liste $l \in L$ gibt es für ein $d \in D$ auch eine Liste $l' = \uparrow(d, l)$ mit $\mathbf{länge}(l') = \mathbf{länge}(l) + 1$.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-2 *In einer Zeichenkette ist die Reihenfolge der enthaltenen Elemente bestimmt.*

In der Tat sind Listen schon dann verschieden, wenn sie sich ausschließlich in der Reihenfolge der enthaltenen Elemente unterscheiden.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-3 *Es gibt Zeichenketten, die sich ausschließlich in der Häufigkeit des Vorkommens einzelner Elemente unterscheiden.*

Betrachten wir beispielsweise als zum Grundinventar der folgenden Zeichenketten die Wortformen *Petra, die, Beschwerden, entgegennimmt, bleibt, ruhig* gehörig, so möchten wird die folgenden Beispielsätze ja als verschiedene Zeichenketten betrachten:

Beispiel B-1.2-1

Petra, die die Beschwerden entgegennimmt, bleibt ruhig.

Petra, die Beschwerden entgegennimmt, bleibt ruhig.

Tatsächlich können sich auch Listen ausschließlich in der Häufigkeit des Vorkommens einzelner Elemente unterscheiden.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-4 *Beliebige Zeichenketten können verkettet werden und das Resultat der Verkettung ist wiederum eine Zeichenkette.*

Etwas formaler gefasst besagt diese Adäquatheitsbedingung, dass Verkettung eine Operation auf der Menge der Zeichenketten ist. Diese Adäquatheitsbedingung stellt Zeichenketten zum einen sowohl als in Verkettung eingehende als auch als aus Verkettung hervorgehende Gegenstände vor, zum anderen stellt sie heraus, dass unter Zeichenketten in der Regel nicht nur in irgendeiner Sprache *wohlgeformte* Ausdrücke verstanden werden sollen, sondern die Gesamtheit der Ausdrücke, die sich kombinatorisch aus dem Grundinventar bilden lassen, ob wohlgeformt oder nicht.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-5 *Die Verkettungsoperation auf Zeichenketten ist assoziativ.*

Diese Bedingung ist deshalb an Zeichenketten zu stellen, da die Assoziativität der Verkettungsoperation im Allgemeinen in Theorien benötigt wird, die Erklärungen für strukturelle Mehrdeutigkeiten in natürlichen Sprachen anbieten. So wird zur Erklärung der zwei Interpretationsmöglichkeiten des Satzes

Beispiel B-1.2-2 *Peter sah die Frau mit dem Fernglas.*

(unter einer ersten Interpretation hat Peter das Fernglas, unter der anderen die im Satz erwähnte Frau) herangezogen, dass bei der syntaktischen Konstruktion des Satzes im Fall der ersten Interpretation zunächst das Verb *sah* mit der Nominalgruppe *die Frau* verkettet wird und das Ergebnis der Verkettung mit der Präpositionalgruppe *mit dem Fernglas* als Instrumentalangabe, im Falle der zweiten Interpretation wird zunächst die Nominalgruppe mit der Präpositionalgruppe als nährerer Bestimmung zur Nominalgruppe und das Resultat dann als neue umfassendere Nominalgruppe mit dem Verb. Wählen wir $\circ$ als Verkettungssymbol, so erhalten wir die ‘Analysen’:

Beispiel B-1.2-3

Peter $\circ$ *((sah* $\circ$ *die Frau)* $\circ$ *mit dem Fernglas).*

Peter $\circ$ *(sah* $\circ$ *(die Frau* $\circ$ *mit dem Fernglas)).*

Die weitere Konstruktion vollzieht sich in beiden Fällen gleich. Betrachtungen dieser Art setzen voraus, dass die Klammerung bei der Anwendung der Verkettungsoperation eine Rolle bei der semantischen Interpretation sprachlicher Ausdrücke spielt und dass verschiedene Klammerungen zu derselben Zeichenkette führen. Letzteres bedeutet jedoch gerade die Assoziativität der Verkettungsoperation.[8]

Diese Adäquatheitsbedingung ist für Listenstrukturen $\langle L, D, \uparrow \rangle$ erfüllt, wenn man L als die Menge der Zeichenketten und $\circ$ als die Verkettungsoperation auf ihnen betrachtet, da $\langle L, \circ \rangle$ einen Monoiden bildet.

Die voranstehenden Adäquatheitsbedingungen sind sämtlich erfüllt, wenn Zeichenketten zusammen mit der Verkettungsoperation auf ihnen als Listenstrukturen aufgefasst werden.

Eine letzte Adäquatheitsbedingung sei hier angeführt, die – auf den ersten Blick jedenfalls – nicht von allen Ansätzen geteilt zu werden scheint, die aber für den hier ins Auge gefassten Zeichenkettenbegriff bestimmend ist.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-6 *Das Resultat der Verkettung einer gegebenen Zeichenkette s mit einer Zeichenkette s' ist verschieden vom Resultat der Verkettung von s mit s'', wenn s' und s'' verschieden sind. Dasselbe gilt auch bei Vertauschung der beiden Argumente der Verkettung.*

Wer diese Adäquatheitsbedingung stellt, schließt es aus, eine Reihe von Phänomenen, die im Allgemeinen an den Grenzbereichen aneinandergrenzender sprachlicher Einheiten postuliert werden, direkt durch die Verkettungsoperation auf Zeichenketten beschreiben zu wollen. Bei den fraglichen Phänomenen handelt es sich um assimilatorische, dissimilatorische, koartikulatorische, kontraktive und neutralisierende Veränderungen – um nur die wichtigsten zu nennen – der an einer Zusammensetzung beteiligten Zeichenketten. Wenn im Französischen sowohl die Zusammensetzung des Personalpronomens *la* als auch die von *le* mit einer vokalisch anlautenden Verbform zu *l'* führt, wie in

Beispiel B-1.2-4

[8] Es mag hier der Einwand vorgebracht werden, es gebe ja auch linguistische Ansätze, bei denen in einer ersten syntaktischen Stufe die Verkettung zu nicht-ambigen Ergebnissen führe und erst auf einer zweiten Stufe Mehrdeutigkeit ins Spiel komme. Zum einen ist da an die transformationellen Ansätze zu denken. Transformationen im Sinne CHOMSKYs operieren aber nicht direkt auf Zeichenketten, sondern auf baumartigen Strukturen und nur mittelbar auf Zeichenketten. Um baumartige Strukturen wird es später in dieser Arbeit gehen.

Die disambiguierte Sprache der MONTAGUEschen Universalgrammatik, die der Erzeugung ambiger Strukturen vorgeschaltet ist, ist als gewöhnliche Zeichenkette ganz im Sinne der hier diskutierten Adäquatheitsbedingungen zu verstehen, die durch eingefügte Klammerzeichen, die die Verkettungsreihenfolge reflektieren, disambiguiert wird.

Pierre l'a vu.

so könnte es naheliegen, diese Kontraktion, die zu einer Neutralisation von femininem und maskulinem Personalpronomen in dieser Position führt, als eine Eigenart der Verkettungsoperation im Französischen erklären zu wollen. Ein Verständnis der Verkettungsoperation im Sinne der letztgenannten Adäquatheitsbedingung schließt es jedoch aus, *l'a* als Ergebnis der Verkettung sowohl von *la a* als auch von *le a* aufzufassen. Synkretistische Erscheinungen dieser Art müssen also anders als durch sprachspezifische Eigenschaften der Verkettungsoperation beschrieben werden.

Grundsätzlich bieten sich hier die Möglichkeiten an, im Bereich derartiger Erscheinungen auf die Annahme zugrundeliegender Verkettungsoperationen gänzlich zu verzichten[9] und die vermeintlich aus einer Verkettung resultierenden Zeichenketten als elementar zu betrachten oder eine mehrstufige Theorie anzunehmen,[10] die auf einer theoretisch postulierten Ebene tatsächlich von einer Verkettung der sprachlichen Einheiten ausgeht und die die so erzeugten Ausdrücke durch eine sprachspezifische Funktion auf die tatsächlich realisierten Zeichenketten abbilden lässt. Zu jeder Theorie, die der Verkettungsoperation sprachspezifische Eigenschaften aufbürden möchte, lässt sich eine andere Theorie finden, die dieselben Erscheinungen durch Verkettung im Sinne der letztgenannten Adäquatheitsbedingung und eine die sprachspezifischen Erscheinungen berücksichtigende Funktion beschreibt. Der Unterschied zwischen beiden Ansätzen spielt für die sonstige weitere Theoriebildung eine geringe Rolle.

Hier soll von Verkettung nur im Sinne der Adäquatheitsbedingung gesprochen werden, zum einem, weil in der Theorie formaler Grammatiken von Verkettung im Allgemeinen in diesem Sinne gesprochen wird – anderenfalls nämlich würden sich die Eigenschaften dieser Grammatiken hinsichtlich ihrer Fähigkeiten, strukturelle Mehrdeutigkeiten einzuführen, grundsätzlich verändern – und zum anderen, weil so Sprachspezifisches und Sprachuniverselles besser getrennt werden kann.

Satz **S-1.1-5** zeigt, dass die Adäquatheitsbedingung **A-1.2-6** für die Verkettungsoperation auf Listenstrukturen erfüllt ist.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-7 *Es gibt höchstens* eine *Zeichenkette s, so dass für beliebige Zeichenketten s' gilt, dass die Verkettung von s' mit einer Zeichenkette s'' genau dann wiederum s' ergibt, wenn s'' dieselbe Zeichenkette wie s ist. Dies gilt auch für die umgekehrte Verkettungsreihenfolge. Eine derartige Zeichenkette s wird auch* leere Zeichenkette *genannt.*

In formalen Grammatiktheorien wird aus algebraischen Gründen oft eine spezielle Zeichenkette der Länge 0 aufgenommen, also eine Zeichenkette, die keine Zeichen

[9] Dann könnten diese Erscheinungen durch eine morphologische Theorie auf eine ähnliche Weise behandelt werden, wie dies auch bei 'Kontraktionen' wie *de + le* zu *du* nötig ist.

[10] Prominentestes Beispiel hierfür ist KOSKENNIEMIS Zwei-Ebenen-Morphologie.

beinhaltet und deren Verkettung mit jeder beliebigen anderen Zeichenkette wiederum diese ergibt. In einigen Grammatiktheorien wird keine leere Zeichenkette benötigt.[11] Da es jedoch mit allen Ansätzen verträglich ist, wenn zur Menge der Zeichenketten auch eine leere hinzugenommen wird, soll in der Folge immer davon ausgegangen werden, dass eine leere Zeichenkette existiert.

Sind beide zu verkettenden Zeichenketten jedoch länger als 0, so wird man von Zeichenketten immer fordern, dass das Resultat der Verkettung verschieden von jeder der beiden zu verkettenden Zeichenketten ist. Durch Verkettung nichtleerer Zeichenketten entsteht immer eine Zeichenkette, die länger als jede der zu verkettenden Zeichenketten ist.

Adäquatheitsbedingung A-1.2-8 *Zu jeder Zeichenkette s gibt es genau eine Folge endlich vieler nichtleerer Zeichenketten $s_1, \ldots, s_n$ derart, dass die Verkettung von $s_1, \ldots, s_n$ die Zeichenkette s ergibt, keine der Zeichenketten $s_1, \ldots, s_n$ jedoch das Ergebnis der Verkettung anderer nichtleerer Zeichenketten ist.*

Diese Adäquatheitsbedingung grenzt Zeichenketten als aus diskreten Elementen zusammengesetzte Aggregate von kontinuierlich zerlegbaren Gegenständen ab. Bei Zeichenketten wird von der Existenz kleinster Zeichenketten (außer ggf. der leeren Zeichenkette) ausgegangen, die jeweils aus nur einem Element des Grundinventars bestehen. Bei Zeichenketten endet also die Zerlegbarkeit auf Zeichenebene immer bei 'elementaren' Zeichenketten. Wählt man beispielsweise Buchstaben als Bestandteile von Zeichenketten, so wird eine aus nur einem Buchstaben bestehende Zeichenkette eine kürzeste Zeichenkette außer der leeren sein; diese aus einem Buchstaben bestehende Zeichenkette ist nicht mehr in mehrere nichtleere Bestandteile zerlegbar, die wiederum aus Zeichen bestünden. Die Forderung, dass es nicht mehr als eine Zerlegung einer Zeichenkette in Elemente des Grundinventars gibt, stellt sicher, dass eine jede Zeichenkette eindeutig in Elemente des Grundinventars zerlegbar ist.

Die Adäquatheitsbedingungen **A-1.2-1**–**A-1.2-8** sind keineswegs logisch voneinander unabhängig, sondern die vorgestellte Sammlung von Adäquatheitsbedingungen enthält Redundanzen. Es kann gezeigt werden, dass die Bedingungen **A-1.2-1**–**A-1.2-3** aus den übrigen Bedingungen folgen. Dies folgt als Korrollar aus der unten bewiesenen Feststellung, dass Zeichenketten im Sinne von **A-1.2-4**–**A-1.2-8**, sofern man die leere Zeichenkette hinzu nimmt, grundsätzlich Listenstrukturen sind, oder genauer: immer zu Listenstrukturen ergänzbar sind, und der Tatsache, dass die Adäquatheitsbedingungen **A-1.2-1**–**A-1.2-3** für Listen als Zeichenketten erfüllt sind, wie für diese Adäquatheitsbedingungen in den jeweils unmittelbar folgenden Kommentaren kurz erläutert ist.

[11] Phrasenstrukturgrammatiken beispielsweise, die Gebrauch von leeren Zeichenketten machen, sind immer in schwach äquivalente Grammatiken umformbar, die keine leeren Zeichenketten enthalten.

Drückt man die Adäquatheitsbedingungen **A-1.2-4**–**A-1.2-8** in formalisierter Weise aus und nimmt man die leere Zeichenkette hinzu, so lässt sich die Menge der Strukturen, die den Adäquatheitsbedingungen **A-1.2-4**–**A-1.2-8** genügen, folgendermaßen definieren:

Definition D-1.2-1 (Zeichenkettenstruktur i.S.v. A-1.2-4–A-1.2-8) *x ist eine* Zeichenkettenstruktur im Sinne von **A-1.2-4**–**A-1.2-8** *gdw*$_{df}$

(a) $x = \langle S, A, \odot \rangle$,

(b) *A ist eine nichtleere Menge* (elementarer Zeichenketten),

(c) $A \subseteq S$ (S ist die Menge der Zeichenketten),

(d) $\odot : S \times S \mapsto S$,

(e) *für alle $s, s', s'' \in S$ gilt:*

$$s \odot (s' \odot s'') = (s \odot s') \odot s''$$

(f) *es gibt ein $\epsilon \in S$* (leere Zeichenkette)*, so dass:*

(fa) $\epsilon \notin A$,

(fb) *für alle $s \in S$ gilt:*

$$s \odot \epsilon = \epsilon \odot s = s$$

und

(fc) *für alle $s, s' \in S$ gilt, dass $s \odot s' = \epsilon$, nur wenn $s = s' = \epsilon$,*

(g) *für alle $s, s', s'', s''' \in S$ gilt: wenn $s = s''$ und $s' \neq s'''$ oder $s \neq s''$ und $s' = s'''$, dann $s \odot s' \neq s'' \odot s'''$,*

(h) *zu jedem $s \in S$ gibt es höchstens ein $a \in A$, so dass für ein $s' \in S$ gilt:*

$$s = a \odot s'$$

und

(i) *alle Elemente von $S \setminus \{\epsilon\}$ sind $\langle A, \odot \rangle$-fundiert.*

Dabei ist der Begriff der $\langle A, \odot \rangle$-Fundiertheit wie folgt definiert:

Definition D-1.2-2 ($\langle A, \odot \rangle$-Fundiertheit) *Sei $A \subseteq S$ und $\odot : S \times S \mapsto S$. Dann ist ein $s \in S$* $\langle A, \odot \rangle$-fundiert *gdw*$_{df}$

(a) *$s \in A$ oder*

(b) *es gibt $a \in A$ und $s' \in S$, so dass*

$$s = a \odot s'$$

und s' $\langle A, \odot \rangle$-fundiert ist.

A-1.2-4 findet in der Definition sein Gegenstück in **D-1.2-1d**. **D-1.2-1e** gibt **A-1.2-5** wieder. **D-1.2-1d**, **D-1.2-1e** und **D-1.2-1fb** charakterisieren $\langle S, \odot \rangle$ als einen Monoiden, gewähren also die Existenz eines neutralen Elementes in Zeichenkettenstrukturen. **D-1.2-1fb** und **D-1.2-1g** zusammen stellen sicher, dass es, wie in **A-1.2-7** gefordert, nicht mehr als ein neutrales Element gibt.[12] **A-1.2-6** wird in direkter Weise durch **D-1.2-1g** formalisiert. **A-1.2-8** wird in **D-1.2-1fa**, **D-1.2-1fc**, **D-1.2-1h** und **D-1.2-1i** wiedergegeben.

Es kann nun gezeigt werden, dass zu jeder Zeichenkettenstruktur, wie sie oben definiert wurde, eine Funktion $\upharpoonleft$ gefunden werden kann, so dass die Zeichenkettenstruktur als Listenstruktur aufgefasst werden kann:

Satz S-1.2-1 *Zu jeder Zeichenkettenstruktur $\langle S, A, \odot \rangle$ im Sinne von* **A-1.2-4**–**A-1.2-8** *gibt es eine Listenstruktur $\langle S, A, \upharpoonleft \rangle$ mit $\odot = \circ_{\langle S, A, \upharpoonleft \rangle}$.*

Beweis B-1.2-1 *Wähle $\upharpoonleft : A \times S \mapsto S$ derart, dass für alle $a \in A, s, s' \in S$ gilt: $s' := \upharpoonleft(a, s)$ gdw $s' = a \odot s$.*

1. *Zunächst soll gezeigt werden, dass $\langle S, A, \upharpoonleft \rangle$ eine Listenstruktur ist:*

   (a) **D-1.1-5e** *folgt aus* **D-1.2-1g** *und* **D-1.2-1h***; denn würde $\upharpoonleft(a, s) = \upharpoonleft(a', s')$ und somit wegen der Wahl von $\upharpoonleft$ auch $a \odot s = a' \odot s'$ gelten, obgleich $\langle a, s \rangle \neq \langle a', s' \rangle$, müsste nach* **D-1.2-1g** *sowohl $a \neq a'$ als auch $s \neq s'$ sein, dann könnte aber wegen* **D-1.2-1h** *im Gegensatz zur Annahme nicht $a \odot s = a' \odot s'$ gelten.*

   (b) *Um* **D-1.1-5f** *zu zeigen, soll hier zunächst gezeigt werden, dass es höchstens ein $\epsilon \in S$ gibt, das* **D-1.2-1f** *erfüllt. Angenommen nämlich es gäbe ein weiteres $\epsilon' \in S$ mit $\epsilon \neq \epsilon'$. Dann gälte wegen* **D-1.2-1fb** *für beliebige $s \in S$:*

   $$\epsilon \odot s = \epsilon' \odot s$$

   dies widerspricht aber **D-1.2-1g**.

   (c) *Für diese leere Zeichenkette ϵ ist* **D-1.1-5fa** *erfüllt. Wäre dies nicht der Fall, müsste es nach der Wahl von $\upharpoonleft$ auch $a \in A, s \in S$ geben mit $a \odot s = \epsilon$. Dies ist aber nicht gleichzeitig verträglich mit* **D-1.2-1fa** *und* **D-1.2-1fc**.

[12] Vgl. den Beweis zu Satz **S-1.2-1**.

(d) *Aber auch* **D-1.1-5fb** *ist für* ϵ *erfüllt. Anderenfalls müsste es nämlich ein* $M \subset S$ *geben, so dass*

$$\epsilon \in M \tag{1.41}$$

und für alle $a \in A, s \in M$ *gälte:*

$$a \odot s \in M \tag{1.42}$$

Wegen (1.41), (1.42) und **D-1.2-1fb** *gilt:* $A \subseteq M$*; dann sind wegen (1.42) aber auch alle übrigen* $\langle A, \odot \rangle$*-fundierten Elemente von* S *in* M*. Dann gilt aber wegen* **D-1.2-1i** *und* $\epsilon \in S$ *auch* $S = M$*.*

2. *Weiter ist zu zeigen, dass für alle* $s, s' \in S$*:*

$$s \circ_{\langle S,A,\uparrow\rangle} s' = s \odot s' \tag{1.43}$$

Dies kann durch einen Induktionsbeweis über die Länge n *von* s *gezeigt werden.*

Induktionsanfang $(n = 0)$ *: Sei* $\textbf{länge}(s) = 0$ *und somit nach* **D-1.1-9b** $s = \epsilon$*. Es folgt für ein beliebiges* $s' \in S$ *dann* $s \circ_{\langle S,A,\uparrow\rangle} s' = s \odot s' = s'$ *aus* **D-1.2-1fb**.

Induktionschritt $(n \longrightarrow n + 1)$ *: Sei als Induktionsvoraussetzung (1.43) bereits gezeigt für alle* $s \in S$ *mit* $\textbf{länge}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(s) = n$*. Dann gilt auch für alle* $a \in A$ *und alle* $s, s' \in S$ *mit* $\textbf{länge}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(s) = n$*:*

$$\uparrow(a, s \circ_{\langle S,A,\uparrow\rangle} s') = \uparrow(a, s \odot s')$$

Aufgrund der Wahl von $\uparrow$ *gilt aber auch*

$$\uparrow(a, s \odot s') = a \odot (s \odot s')$$

und wegen der Assoziativität von $\odot$ *nach* **D-1.2-1e***:*

$$a \odot (s \odot s') = (a \odot s) \odot s'$$

Es folgt also:

$$\uparrow(a, s \circ_{\langle S,A,\uparrow\rangle} s') = (a \odot s) \odot s' \tag{1.44}$$

Aufgrund der Wahl von $\uparrow$ *gilt für beliebige* $s'' \in S \setminus \{\epsilon\}$*:*

$$s'' = \textbf{erstes}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(s'') \odot \textbf{rest}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(s'') \tag{1.45}$$

Aus **D-1.1-9b**, **D-1.1-10b**, *(1.44) und (1.45) folgt nun für beliebige* $s''' \in S$ *mit* $\textbf{länge}(s''') = n + 1$*, da nach* **D-1.1-8** $\textbf{länge}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(\textbf{rest}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(s''')) = n$*:*

$$s''' \circ_{\langle S,A,\uparrow\rangle} s' = \uparrow(\textbf{erstes}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(s'''), \textbf{rest}_{\langle S,A,\uparrow\rangle}(s''') \circ_{\langle S,A,\uparrow\rangle} s') = s''' \odot s'$$

Zeichenketten und die auf ihnen definierte Verkettungsoperation sollen weiterhin immer als Listen mit der auf ihnen definierten Verkettung im Sinne von Definition **D-1.1-5** und **D-1.1-10b** aufgefasst werden. Listen und die zugehörige Verkettungsoperation im Sinne dieser Definition sind ein geeignetes Explikat für Zeichenketten und deren Verkettung, da sie alle Adäquatheitsbedingungen für ein Explikat für Zeichenketten erfüllen.

1.2.2 Ein Beispiel für eine sehr einfache empirische Aussage

Nehmen wir an, ein Schüler habe seine ersten Lektionen aus einem Lehrbuch des Deutschen als einer für ihn fremden Sprache gelernt. Er hat in dieser Sprache zunächst einige Wortformen gelernt und einfache Muster, nach denen er diese Wortformen zu Sätzen kombinieren kann. Eine Person nun, die das Lehrbuch nicht kennt, kann aus dem Sprachverhalten des Schülers gewisse Rückschlüsse auf seine Sprachkenntnisse ziehen. Hat der Schüler nur sehr einfache Satzmuster erlernt, wie beispielsweise dasjenige, dass ein Satz aus einem Subjekt, einer Kopula und einem Prädikatsnomen bestehen kann, das Subjekt aus einem Namen, einem Substantiv oder einem Artikel und einem Substantiv und das Prädikatsnomen aus einem Adjektiv oder einem Namen, einem Substantiv oder einem Artikel und einem Substantiv bestehen kann, so wird seine Sprachkenntnis nur die Bildung sehr einfacher Sätze, insbesondere solcher Sätze mit nur einer gewissen Höchstanzahl an Wortformen pro Satz zulassen. In unserem Beispiel sind dies fünf Wortformen.

Werden die einzelnen Wortformen nun als Listenelemente aufgefasst, so kann die durch die Beobachtungen des Sprachverhaltens gestützte Erkenntnis auch so formuliert werden: Die Wortformenlisten, die den von dem Schüler niedergeschriebenen – wenn wir uns für den Moment auf schriftliche Äußerungen beschränken – deutschen Sätzen entsprechen, haben die Höchstlänge 5.

Die Formulierung dieser Erkenntnis kann natürlich auch formaler mit Hilfe eines mengentheoretischen Prädikates geschehen, auch wenn wegen der Einfachheit des Beispiels eine Formalisierung nur als ‘Aufblähung’ der Feststellung erscheinen muss. Man vergesse aber nicht, dass diese Betrachtungen nur vorbereitenden Charakter haben.

Definition D-1.2-3 (5-Wort-Sprachfragment) *x ist ein* 5-Wort-Sprachfragment *gdw$_{df}$ gilt:*

(a) $x = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}_5 \rangle$,

(b) $\langle L, D, \uparrow \rangle$ *ist eine Listenstruktur,*

(c) $\mathcal{L}_5 \subseteq \{l \mid l \in L \textit{ und } \mathbf{länge}(l) \leq 5\}$.

Betrachten wir D_s als das Vokabular des Schülers, das wir erhalten, indem wir die Wortformen, die in den Sätzen des Schülers vorkommen, zusammenstellen. L_s sei die Menge an Ausdrücken, auch ungrammatischen, die sich durch beliebige Kombinationen der Wortformen durch Hintereinanderschreiben ergeben. ϵ ist der aus gar keinen Wortformen bestehende 'Ausdruck'. $\uparrow_s$ ist die Operation des Hinzuschreibens einer neuen Wortform zu solch einer Kombination. $\mathcal{L}_{5,s}$ nun sind die Sätze, die der Schüler tatsächlich niederschreibt. Jede der beteiligten Mengen und Funktionen beschreibt also etwas am Sprachverhalten des Schülers Wahrnehmbares oder mit mengentheoretischen Mitteln ('in der Vorstellung') aus Wahrnehmbarem Konstruierbares, wie L_s. Die Behauptung,

Beispiel B-1.2-5 $\langle L_s, D_s, \uparrow_s, \mathcal{L}_{5,s}\rangle$ *ist ein 5-Wort-Sprachfragment*

ist eine empirische Aussage über das Sprachverhalten des Schülers, da die Wahrheit dieser Aussage vom beobachtbaren Sprachverhalten des Schülers abhängt. Würde ein anderes Sprachverhalten des Schülers beobachtet, bei dem er längere Sätze geäußert hätte, wäre die Aussage **B-1.2-5** falsch.

Die Beobachtungen an diesem Schüler werden möglicherweise noch ergänzt um Beobachtungen an weiteren Schülerinnen und Schülern derselben Klasse. Und diese Beobachtungen werden zu der Minitheorie systematisiert, dass alle Schülerinnen und Schüler nach den ersten Lektionen dieses Lehrbuchs nur 5-Wort-Sätze und kürzere Sätze äußern können. Für jede Schülerin und jeden Schüler, auf die oder den diese Minitheorie zutreffen soll, können die Beobachtungen in einer Struktur analog zu der in **B-1.2-5** systematisiert werden. Sei P die Menge der Personen, über die die Minitheorie eine Behauptung macht, und sei $x_p = \left\langle L_p, D_p, \uparrow_p, \mathcal{L}_{5,p}\right\rangle$ die jeweils zugehörige beobachtete Struktur, dann kann man die empirische Behauptung der Minitheorie auch so zusammenfassen:

Beispiel B-1.2-6 *Für alle* $p \in P$ *ist* x_p *ein 5-Wort-Sprachfragment*

Theorien machen natürlich meist nicht nur Behauptungen über bereits tatsächlich Beobachtetes, sondern auch über zukünftig oder nur möglicherweise (wenn nämlich ein Beobachter zur Stelle ist) zu Beobachtendes. Wir werden deshalb selten in der Lage sein, die Anwendungsfälle einer Theorie aufzählend anzugeben.[13] Dies gilt auch für unsere Minitheorie. Wenn sie auch Voraussagen über zukünftige, noch unbekannte Schüler machen soll, so ist es zum jetzigen Zeitpunkt unmöglich, alle Anwendungsfälle aufzuzählen. Nichtsdestoweniger lassen sich aber Eigenschaften von Personen angeben, die sie zu Anwendungsfällen der Theorie machen.

Im vorangehende Abschnitt wurde ambig über Anwendungsfälle gesprochen: Zum einen wurden die beteiligten Personen p so genannt, zum anderen die an ihnen gemachten Beobachtungen und ihre Systematisierung in Strukturen x_p. Als Anwendungen von Theorien sollen in Zukunft nur noch die zu Strukturen

[13] Bei vielen Theorien werden wir es ohnehin mit überabzählbar vielen Anwendungsfällen zu tun haben.

systematisierten tatsächlichen und möglichen Beobachtungen bezeichnet werden. Die Personen mögen zwar in einem gewissen Sinne 'Träger' dieser Strukturen sein und zur Charakterisierung der Strukturen dienen, über die die Theorie spricht, sie sind aber nicht selbst Element dieser Strukturen.

Sei $\mathbf{I} := \{x_p \mid p \in P\}$ die Menge der Anwendungsfälle, über die unsere Minitheorie sprechen soll, wir werden diese Menge auch als die Menge der *intendierte Anwendungen* bezeichnen. Und sei $\mathbf{M}$(5-Wort-Sprachfragment) := $\{x \mid x$ ist ein 5-Wort-Sprachfragment$\}$. Dann kann **B-1.2-6** auch als

Beispiel B-1.2-7

$$\mathbf{I} \subseteq \mathbf{M}(\textit{5-Wort-Sprachfragment})$$

reformuliert werden.

Die Menge $\mathbf{I}$ ist in dem Fall, dass die Behauptung **B-1.2-7** wahr ist, sehr viel kleiner als $\mathbf{M}$(5-Wort-Sprachfragment), da zu letzterer Menge auch solche Strukturen $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}_5\rangle$ gehören, deren Elemente von L bzw. $\mathcal{L}_5$ keine Zeichenketten sind. Es gilt beispielsweise auch

$$\langle N_0, \{1\}, +, \{n \mid n \in N_0 \text{ und } n \leq 5\}\rangle \in \mathbf{M}(\text{5-Wort-Sprachfragment})$$

Worin besteht nun die Empirizität der Aussage **B-1.2-7**? Zunächst könnte es so scheinen, als ob die Aussage dadurch zu einer empirischen würde, dass in **B-1.2-7** durch $\mathbf{I}$ auf tatsächliche oder mögliche Beobachtungen referiert wird. Entsprechendes ließe sich bei **B-1.2-5** und **B-1.2-6** mit Hinweis auf $\langle L_s, D_s, \uparrow_s, \mathcal{L}_{5,s}\rangle$ bzw. die Strukturen x_p für $p \in P$ sagen. Verallgemeinert liefe diese Überlegung auf das folgende Empirizitätskriterium hinaus:

Adäquatheitsbedingung A-1.2-9 (Empirizität) *Eine Aussage ist empirisch, wenn sie die Form*

$$B \subseteq M$$

hat oder eine Aussage dieser Form aus ihr ableitbar ist. Dabei ist B eine Menge von Beobachtungsstrukturen.

Neben einer fehlenden Präzisierung des Terminus *Beobachtungsstruktur* ist das Kriterium **A-1.2-9** jedoch noch zu weit gefasst. Dies zeigt sich, wenn wir nämlich als Menge M eine sehr viel weiter gefasste als $\mathbf{M}$(5-Wort-Sprachfragment) wählen, z. B. die Menge $\mathbf{M}$(Sprache*) = $\{x \mid x$ ist eine Sprache*$\}$, wobei *Sprache** wie folgt definiert ist:

Definition D-1.2-4 (Sprache*) *x ist eine* Sprache* *gdw$_{df}$ gilt:*

(a) $x = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$,

(b) $\langle L, D, \uparrow \rangle$ *ist eine Listenstruktur,*

(c) D *ist abzählbar und*

(d) $\mathcal{L} \subseteq L$.

Insbesondere ist auch ein 5-Wort-Sprachfragment eine Sprache*. Eine Sprache* ist jede Erweiterung einer Listenstruktur, deren Grundmenge D abzählbar ist,[14] um *irgendeine* Menge $\mathcal{L}$ von Listen im Sinne der Listenstruktur. An die Menge $\mathcal{L}$ werden also durch **D-1.2-4** keinerlei 'inhaltlichen' Bedingungen gestellt, die empirisch interessant sein könnten, sondern die Definition von *Sprache** bestimmt ausschließlich die grundsätzliche mengentheoretische Struktur, die jegliche Beobachtungsstrukturen haben müssen, die in einer empirischen Behauptung, wie **B-1.2-7** verwendet werden können.

Beispiel B-1.2-8

$$\mathbf{I} \subseteq \mathbf{M}(\mathit{Sprache*})$$

Die Aussage **B-1.2-8** macht demnach keine empirisch relevante Behauptung, sondern sagt nur, dass alle in **I** enthaltenen Strukturen die mengentheoretischen Voraussetzungen erfüllen, als Beobachtungsstrukturen gebraucht werden zu können.

Es liegt nahe, das Empirizitätskriterium **A-1.2-9** folgendermaßen zu verschärfen:

Adäquatheitsbedingung A-1.2-10 (Empirizität) *Eine Aussage ist empirisch, wenn sie die Form*

$$B \subseteq M$$

hat oder eine Aussage dieser Form aus ihr ableitbar ist. Dabei ist B eine Menge von Beobachtungsstrukturen und M eine empirisch relevante Menge von Strukturen.

Lässt sich der Begriff der *empirisch relevanten* Strukturmenge präzise fassen? Was an **D-1.2-3** im Gegensatz zu **D-1.2-4** lässt die Menge der 5-Wort-Sprachfragmente im Gegensatz zur Menge der Sprachen* empirisch relevant sein? Das folgende Kapitel wird sich nach vorbereitenden Definitionen der Explikation des Begriffs der *empirischen Relevanz* zuwenden.

[14] Im Falle natürlicher Sprachen sind nur abzählbare Grundmengen interessant. Im Allgemeinen nimmt man die Menge der Elemente, aus denen die Ausdrücke einer Sprache bestehen als endlich an. Die Bedingung wurde hier aufgenommen, da sie einige Beweise erleichtert. Im Prinzip kann auf sie jedoch verzichtet werden.

Kapitel 2

Modelle und potentielle Modelle

2.1 Mengen und Relationen

Werfen wir nochmals einen Blick auf die Definitionen einzelner Strukturklassen, wie **D-1.1-1**, **D-1.1-4**, **D-1.1-5**, **D-1.2-3** und **D-1.2-4**, die Arten von Strukturen, wie Halbgruppen, Monoide usw., bestimmen. In all diesen Definitionen werden zunächst eine oder mehrere Grundmengen von Gegenständen als Bestandteile der Strukturen genannt, zu denen dann Teilmengen, wie $\mathcal{L}$ zu L in **D-1.2-4** und ein- oder mehrstellige Funktionen, wie $\uparrow$ in **D-1.1-5**, mit Definitions- oder Wertbereichen, die mit Grundmengen identisch sind oder aus Grundmengen konstruiert sind, als Bestandteile der Strukturen eingeführt werden. Etwas allgemeiner gefasst, können wir Strukturen der betrachteten Art als zusammengesetzt aus Grundmengen und Relationen auf diesen Grundmengen oder auf aus diesen (mit dem kartesischen Produktoperator oder dem Potenzmengenoperator) konstruierten Mengen auffassen. Funktionen und Teilmengen von Grundmengen werden dabei ganz im Sinne der üblichen mengentheoretischen Behandlung als spezielle Relationen verstanden:

Definition D-2.1-1 (Relation) *Sei $n \in \mathbb{N}$. Dann ist R eine n-*stellige Relation *auf den Mengen $M_1, \ldots, M_n$ gdw*$_{df}$

$$R \subseteq M_1 \times \cdots \times M_n$$

Für beliebige $x_1 \in M_1, \ldots, x_n \in M_n$ soll statt

$$\langle x_1, \ldots, x_n \rangle \in R$$

auch

$$R(x_1, \ldots, x_n)$$

geschrieben werden. Bei zweistelligen Relationen wird statt

$$\langle x_1, x_2 \rangle \in R$$

auch

$$x_1 R x_2$$

notiert.

Man sieht, dass eine Teilmenge einer Grundmenge G ein Spezialfall einer Relation auf einer Grundmenge G ist, nämlich der einer einstelligen Relation auf G.

Funktionen nun sind spezielle Relationen:

Definition D-2.1-2 (Funktion) *Sei* $n \in \mathbb{N}$. *Dann ist* f *eine* $(n-1)$-stellige Funktion *mit dem Definitionsbereich* $M_1 \times \cdots \times M_{n-1}$ *und dem Wertebereich* M_n *(kurz:* $f : M_1 \times \cdots \times M_{n-1} \mapsto M_n$*) gdw*$_{df}$

(a) f *eine* n*-stellige Relation ist und*

(b) *es für alle* $x_1 \in M_1, \ldots, x_{n-1} \in M_{n-1}$ *genau ein* $x_n \in M_n$ *gibt, so dass*

$$\langle x_1, \ldots, x_n \rangle \in f$$

Für beliebige $x_1 \in M_1, \ldots, x_n \in M_n$ *wird, wenn*

$$\langle x_1, \ldots, x_n \rangle \in f$$

für x_n *auch* $f(x_1, \ldots, x_{n-1})$. *geschrieben.*

2.1.1 Typangaben für Relationen

Betrachten wir **D-1.1-5d**, so sind in dieser Bedingung zwei Teilbedingungen als Komponenten unterscheidbar: Zum einen sagt diese Bedingung, wievielstellig die Relation $\circ$ ist und auf welchen Grundmengen diese Relation definiert ist. Diese Teilbedingung kann als

$$\circ \subseteq D \times D \times L$$

wiedergegeben werden. Zum anderen steckt in der Bedingung **D-1.1-5d** auch die Teilbedingung, dass es zu jedem $d \in D$ und $l \in L$ *genau* ein $l' \in L$ gibt mit $\langle d, l, l' \rangle \in f$.

Nur die erste Teilbedingung in **D-1.1-5d** soll als Typangabe für $\circ$ bezeichnet werden, die zweite Teilbedingung sowie die übrigen Bedingungen in **D-1.1-5** an $\circ$, nämlich **D-1.1-5e** und **D-1.1-5f**, stellen spezifischere Bedingungen an $\circ$, die in der hier benutzten Terminologie aus dem Bereich der Typangaben herausfallen.

Definieren wir im folgenden genauer, was unter einer Typangabe verstanden werden soll. Die folgenden Definitionen sind von der Idee geleitet, dass jede Typangabe für eine Relation R in der Form

$$R \in M$$

wiedergegeben werden kann. Eine Typangabe

$$R \subseteq M_1 \times \cdots \times M_n$$

ist ja äquivalent der Angabe

$$R \in \mathbf{Pot}(M_1 \times \cdots \times M_n)$$

Definition D-2.1-3 (Typstruktur) *x ist eine* Typstruktur *gdw*$_{df}$ *es Mengen* $\mathcal{T}, \mathcal{B}$ *gibt, so dass*

(a) $x = \langle \mathcal{T}, \mathcal{B} \rangle$ *und*

(b) $\mathcal{T}$ *(die Menge der Typen über den Grundtypen* $\mathcal{B}$*) die kleinste Menge* T *ist, so dass gilt:*

(ba) $\mathcal{B} \subseteq T$ *und*

(bb) *für alle* $\tau, \tau' \in T$ *gilt:*

$$\langle \tau, \tau' \rangle \in T$$

und

(bc) *für alle* $\tau \in T$ *gilt:*

$$\langle \tau \rangle \in T$$

Definition D-2.1-4 (Grundtypenzuordnung) *x ist eine* Grundtypenzuordnung *gdw*$_{df}$ *es ein* $n \in \mathbb{N}$ *und Mengen* $\mathcal{B}, D_1, \ldots, D_n, \beta$ *gibt, so dass*

(a) $x = \langle \mathcal{B}, D_1, \ldots, D_n, \beta \rangle$,

(b) $\mathcal{B}$ *eine nichtleere Menge (die Menge der Grundtypen) ist,*

(c) $D_1, \ldots, D_n$ *Mengen sind und*

(d) *es für jedes* $\tau \in \mathcal{B}$ *ein* $k \in \mathbb{N}$ *mit* $1 \leq k \leq n$ *gibt, so dass*

$$\beta(\tau) = D_k$$

Definition D-2.1-5 (Typisierte Mengenstruktur) *x ist eine* typisierte Mengenstruktur *gdw*$_{df}$ *es* $n \in \mathbb{N}$ *und Mengen* $\mathcal{T}, \mathcal{B}, D_1, \ldots, D_n, \beta, \beta^*$ *gibt, so dass*

(a) $x = \langle \mathcal{T}, \mathcal{B}, D_1, \ldots, D_n, \beta^* \rangle$,

(b) $\langle \mathcal{T}, \mathcal{B} \rangle$ *eine Typstruktur ist,*

(c) *$\langle \mathcal{B}, D_1, \ldots, D_n, \beta \rangle$ eine Grundtypenzuordnung ist und*

(d) *für alle $\tau \in \mathcal{T}$ die Funktion β^* definiert ist als:*

$$\beta^*(\tau) := \begin{cases} \beta(\tau) & \textit{falls } \tau \in \mathcal{B}, \\ \mathbf{Pot}(\beta^*(\tau')) & \textit{falls } \tau = \langle \tau' \rangle \textit{ für ein } \tau' \in \mathcal{T}, \\ \beta^*(\tau') \times \beta^*(\tau'') & \textit{falls } \tau = \langle \tau', \tau'' \rangle.^{1} \end{cases} \tag{2.1}$$

Nun kann präzisiert werden, was unter einer Typangabe verstanden werden soll:

Definition D-2.1-6 (Typangabe) *Eine Aussageform A heißt eine Typangabe bezüglich (einer Grundmengenstruktur) $\langle D_1, \ldots, D_n \rangle$ gdw$_{df}$ es eine typisierte Mengenstruktur $\langle \mathcal{T}, \mathcal{B}, D_1, \ldots, D_n, \beta^* \rangle$, eine Relation R und einen Typ $\tau \in \mathcal{T}$ gibt, so dass A der Aussageform*

$$R \in \beta^*(\tau)$$

äquivalent ist.

Beispiel B-2.1-1 *In* **D-1.1-5** *ist die aus* **D-1.1-5d** *folgende Aussageform*

$$\circ \in \mathbf{Pot}((D \times L) \times L)$$

eine Typangabe bezüglich $\langle L, D \rangle$. **D-1.1-5d** *'enthält' also eine Typangabe, ist aber selbst keine, da diese Aussageform stärker als eine Typangabe ist.*

Sei $\langle \mathcal{T}, \mathcal{B}, L, D, \beta^* \rangle$ eine typisierte Mengenstruktur, und seien $\beta^*(\tau_D) = D$ und $\beta^*(\tau_L) = L$. Dann ist der Typ von $\circ$ in dieser typisierten Mengenstruktur $\langle \langle \langle \tau_D, \tau_L \rangle, \tau_L \rangle \rangle$.

2.2 Strukturtypen und -species

2.2.1 Strukturtypen

Analog zu den Relationen kann ein weiterer Typbegriff auch für Strukturen definiert werden:

Definition D-2.2-1 (Strukturtyp) *τ ist ein* Strukturtyp *gdw$_{df}$ es eine Typstruktur $\langle \mathcal{T}, \mathcal{B} \rangle$, ein $m \in \mathbb{N}$ und ein $n \in \mathbb{N}_0$ gibt und es $\tau_1, \ldots, \tau_m \in \mathcal{B}$ und $\sigma_1, \ldots, \sigma_n \in \mathcal{T}$ gibt, so dass*

(a) *$\mathcal{B} = \{\tau_1, \ldots, \tau_m\}$ und*

(b) *$\tau = \langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n \rangle$.*

Zu einem Strukturtyp gehören also Grundtypen, die die Grundmengen vertreten, hier die Typen $\tau_1, \dots, \tau_m$, und Typen, die die komplexeren Typen der Relationen vertreten, hier die Typen $\sigma_1, \dots, \sigma_m$.

Beispiel B-2.2-1 *Wählt man dieselbe typisierte Mengenstruktur wie in* **B-2.1-1**, *dann ist* $\langle \tau_L, \tau_D; \langle \langle \langle \tau_D, \tau_L \rangle, \tau_L \rangle \rangle \rangle$ *der Strukturtyp einer in* **D-1.1-5** *definierten Listenstruktur.*

Nun lässt sich leicht definieren, was man unter einer Struktur eines bestimmten Strukturtyps verstehen möchte:

Definition D-2.2-2 *x ist eine Struktur vom Strukturtyp $\langle \tau_1, \dots, \tau_m; \sigma_1, \dots, \sigma_n \rangle$ gdw$_{df}$ es eine typisierte Mengenstruktur $\langle \mathcal{T}, \{\tau_1, \dots, \tau_m\}, D_1, \dots, D_n, \beta^* \rangle$ gibt, so dass*

$$x = \langle \beta^*(\tau_1), \dots, \beta^*(\tau_m), R_1, \dots, R_n \rangle$$

mit

$$R_i \in \beta^*(\sigma_i)$$

für alle i mit $1 \leq i \leq n$.

Die Klasse aller Strukturen eines Strukturtyps τ soll auch als $\mathbf{Str}(\tau)$ *bezeichnet werden.*

Die Mindestanforderung, die Beobachtungsstrukturen erfüllen müssen, damit überhaupt unter mengentheoretischen Gesichtspunkten sinnvoll gefragt werden kann, ob sie unter eine empirisch relevante Menge M von Strukturen subsumiert werden kann, ist die Zugehörigkeit der Beobachtungsstrukturen zu derselben Strukturtypklasse wie die der Strukturen in M. Zu einem geeigneten Strukturtyp zu gehören, heißt für Beobachtungsstrukturen schlicht, dass die Beobachtungen in einer geeigneten Weise systematisiert sind, um als Testdaten für eine Theorie benutzt werden zu können; die Zugehörigkeit zu einem Strukturtyp sagt jedoch nichts darüber, ob diese Daten tatsächlich eine Theorie bestätigen oder widerlegen. Dies heißt aber, dass eine Aussage

$$B \in \mathbf{Str}(\tau) \tag{2.2}$$

für einen Strukturtyp τ und eine Beobachtungsstruktur B keine empirische sein kann. Für beliebige Strukturtypen τ kann also $\mathbf{Str}(\tau)$ keine empirisch relevante Menge von Strukturen sein.

Der Umkehrschluss ist hier nicht zulässig: Nicht alle enger gefassten Strukturklassen sind empirisch relevant. In **B-1.2-8** ist $\mathbf{M}$(Sprache*) eine echte Teilmenge von $\mathbf{Str}(\langle \tau_L, \tau_D, \langle \langle \langle \tau_D, \tau_L \rangle, \tau_L \rangle \rangle, \langle \tau_L \rangle \rangle)$, dennoch wurde **B-1.2-8** als eine Aussage angesprochen, die keine empirisch relevante Behauptung macht.

Lassen sich formale Kriterien finden, wann sich mithilfe von Strukturklassen empirische Aussagen formulieren lassen und wann dies nicht der Fall ist?

2.2.2 Strukturspecies

Wollen wir die für unsere Zwecke relevanten Strukturklassen als *Strukturspecies* bezeichnen und bei ihrer Definition der Tatsache Rechnung tragen, dass die zu einer Strukturspecies gehörigen Strukturen durch Bedingungen an die Strukturbestandteile ausgezeichnet werden.

Definition D-2.2-3 (Strukturspecies) *Sei $\tau = \langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n \rangle$ ein Strukturtyp. Dann ist Σ eine* Strukturspecies *gdw$_{df}$ es $A_1, \ldots, A_s$ gibt, so dass*

(a) $\Sigma = \langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n; A_1, \ldots, A_s \rangle$ *und*

(b) *für alle $i \leq s$ gilt, dass A_i ein unter kanonischen Transformationen von Strukturen invariantes Prädikat ist, das für Strukturen vom Strukturtyp τ definiert ist.*

Dabei ist ein unter kanonischen Transformationen von Strukturen invariantes Prädikat wie folgt definiert:

Definition D-2.2-4 (Invarianz unter kanonischen Transformationen) *A ist ein* unter kanonischen Transformationen von Strukturen invariantes Prädikat *für Strukturen eines bestimmten Strukturtyps gdw$_{df}$ für beliebige Strukturen x, y dieses Strukturtyps gilt, dass*

$$A(x) \text{ gdw } A(y)$$

falls x und y isomorph sind.[2]

[2]Isomorphie kann für unsere Zwecke leicht wie folgt definiert werden:

Definition D-2.2-5 (Isomorphie) *Zwei Strukturen $\langle D_1, \ldots, D_n; R_1, \ldots, R_m \rangle$, $\langle D'_1, \ldots, D'_{n'}; R'_1, \ldots, R'_{m'} \rangle$ sind* isomorph *gdw$_{df}$*

(a) *$n = n'$ und $m = m'$ und*

(b) *es $\mathcal{T}, \mathcal{B}, \beta^*, \beta^{*\prime}$ gibt, so dass $\langle \mathcal{T}, \mathcal{B}, D_1, \ldots, D_n, \beta^* \rangle$ und $\langle \mathcal{T}, \mathcal{B}, D'_1, \ldots, D'_n, \beta^{*\prime} \rangle$ typisierte Mengenstrukturen sind und für alle $\tau \in \mathcal{B}$ eine bijektive Funktion*

$$\psi_\tau : \beta^*(\tau) \mapsto \beta^{*\prime}(\tau)$$

und für alle $\sigma \in \mathcal{T} \setminus \mathcal{B}$ eine bijektive Funktion

$$\psi_\sigma : \beta^*(\sigma) \mapsto \beta^{*\prime}(\sigma)$$

existiert, so dass für alle $x \in \beta^*(\sigma), \tau, \tau' \in \mathcal{T}$ und y, y' gilt:

$$\psi_\sigma(x) := \begin{cases} \{\psi_\tau(y) \mid y \in x\} & \text{falls } \sigma = \langle \tau \rangle; \\ \langle \psi_\tau(y), \psi_{\tau'}(y') \rangle & \text{falls } \sigma = \langle \tau, \tau' \rangle \text{ und } x = \langle y, y' \rangle; \end{cases}$$

und es $\tau_1, \ldots, \tau_n \in \mathcal{B}$ und $\sigma_1, \ldots, \sigma_m \in \mathcal{T}$ gibt, so dass

Ein derartiges Prädikat stellt also ausschließlich mengentheoretische Verhältnisse zwischen den Elementen einer Struktur fest, aber keine für eine bestimmte Entität einer Grundmenge spezifischen Eigenschaften. Gewissermaßen sind vor diesen Prädikaten alle Elemente einer Grundmenge gleich, und darüber hinaus sind die Grundmengen mit anderen gleichmächtigen Grundmengen austauschbar. Mit diesen Prädikaten lässt sich nichts Spezifisches zu einzelnen Elementen einer Grundmenge oder auch ganz bestimmten Grundmengen selbst aussagen.

Die in einer Strukturspecies vorkommenden Prädikate sollen im folgenden je nach Kontext auch als *Bedingungen* der Strukturspecies oder an die Strukturen der Strukturspecies bezeichnet werden.

Definition D-2.2-6 *Eine Struktur* x gehört zu einer Strukturspecies $\langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n; A_1, \ldots, A_s \rangle$ *gdw*$_{df}$

(a) *x zum Strukturtyp $\langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n \rangle$ gehört und*

(b) *für alle i mit $1 \leq i \leq s$ das Prädikat A_i auf x zutrifft.*

Die Klasse aller zu einer Strukturspecies $\langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n; A_1, \ldots, A_s \rangle$ gehörenden Strukturen soll auch als die Klasse der Modelle *von $\langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n; A_1, \ldots, A_s \rangle$ oder $\mathbf{M}(\langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n; A_1, \ldots, A_s \rangle)$ bezeichnet werden.*

Betrachten wir die bisherigen Definitionen von Strukturklassen, wie **D-1.1-5** oder **D-1.2-3**, so lassen sich Klauseln im Definiens unterscheiden, die den Strukturtyp bestimmen, bei **D-1.1-5** gehören die Klauseln bis **D-1.1-5d** einschließlich hierher, und weitere Bedingungen, die die Strukturspecies über den Strukturtyp hinaus bestimmen. Auch Klauseln, die zur Bestimmung des Strukturtyps beitragen, müssen sich keineswegs in dieser Bestimmung erschöpfen. **D-1.1-5d** bestimmt nicht nur, dass die Relation $\uparrow$ dreistellig und vom Typ

$$\uparrow \subseteq D \times L \times L$$

ist, sondern darüber hinaus noch, dass eine Wahl der beiden ersten Argumente das dritte eindeutig bestimmt und dass es für jede derartige Wahl ein drittes

---

(ba) *für alle i mit $1 \leq i \leq n$ gilt, dass*

i. $D_i = \beta^*(\tau_i)$ *und*

ii. $D'_i = \psi_{\tau_i}(D_i)$

und

(bb) *für alle i mit $1 \leq i \leq m$ gilt, dass*

i. $R_i \in \beta^*(\sigma_i)$ *und*

ii. $R'_i = \psi_{\langle \sigma_i \rangle}(R_i)$.

Da hier keine Strukturtypen mit arithmetischen Grundmengen behandelt werden, ist anders als bei [Balzer 1996, S. 148] keine Einschränkung der Invarianz auf isomorphe Abbildungen der *nicht-arithmetischen* Grundmengen nötig.

Argument gibt. Diese letzte Festlegung gehört nicht mehr in den Bereich der Bestimmung des Strukturtyps im hier festgelegten Sinne, sondern zu einer engeren Strukturspeciesbestimmung.

Sowohl die Typbestimmung als auch die Bedingung der Eindeutigkeit der Relation $\uparrow$ in ihrem dritten Argument gehören jedoch in den Bereich der Festlegung des begrifflichen Inventars, mit dem über Listenstrukturen gesprochen werden soll. Keine dieser Bedingungen engt die Strukturspecies der Listenstrukturen soweit ein, dass mithilfe der durch diese Strukturspecies definierten Strukturklasse, nennen wir sie M, eine Aussage der Form $B \subseteq M$ für ein beliebiges B empirisch relevant sein könnte, so scheint es.

Die auf **D-1.1-4** folgenden Beispiele zeigen jedoch, dass dieselbe Strukturklasse in einem Anwendungsfeld empirisch relevant sein kann, vgl. **B-1.1-2**, in anderen jedoch nur zur Bestimmung eines begrifflichen Rahmens dient.

Wenn wir **B-1.1-2** für einen Moment außer Acht lassen, so kann der Vergleich der empirisch relevanten Strukturklasse $\mathbf{M}$(5-Wort-Sprachfragment) mit den übrigen bei einer Suche nach einem formalen Kriterium für empirische Relevanz den Gedanken nahelegen, dass die empirische Relevanz von $\mathbf{M}$(5-Wort-Sprachfragment) darin begründet ist, dass **D-1.2-3** die einzige Definition einer Strukturklasse ist, die zwei nicht zu den Grundtypen gehörende Relationen, nämlich $\mathcal{L}$ und die in die Definition von **länge** eingehende Relation $\uparrow$ in einer Klausel in Beziehung zueinander setzt. Ansonsten werden ausschließlich Grundmengen bestimmt oder zu einzelnen Relationen in Beziehung gesetzt.

Für die meisten Definiensklauseln der vorangegangenen Beispiele gilt also, dass sie Bedingungen A ausdrücken, die auf zwei Strukturen desselben Strukturtyps mit derselben Folge von Grundmengen zugleich oder gar nicht zutreffen, wenn an einer bestimmten weiteren Elementstelle in der Struktur gilt, dass die dort stehende Relation in beiden Strukturen dieselbe ist; derartige Prädikate A sollen hier auch *Charakterisierungen* heißen:

Definition D-2.2-7 (Charakterisierung) *Sei* $\langle \tau_1, \dots, \tau_m;\ \sigma_1, \dots, \sigma_n;\ A_1, \dots, A_i, \dots, A_s \rangle$ *eine Strukturspecies und sei* $1 \leq j \leq n$. *Dann ist* A_i *eine* Charakterisierung der $j$ten Relation *der Strukturspecies gdw*$_{df}$ *für zwei beliebige Strukturen* $x = \langle D_1, \dots, D_m, R_1, \dots, R_n \rangle$ *und* $y = \langle D'_1, \dots, D'_m, R'_1, \dots, R'_n \rangle$ *des Strukturtyps* $\langle \tau_1, \dots, \tau_m; \sigma_1, \dots, \sigma_n \rangle$ *gilt, dass*

$$A_i(x) = A_i(y)$$

falls

$$R_j = R'_j$$

Wenn es eine Relation gibt, deren Charakterisierung ein Prädikat ist, soll dieses auch einfach absolut als Charakterisierung *bezeichnet werden.*

Während die Bestimmung eines Strukturtyps für eine Strukturklasse gewissermaßen eine Mindestbedingung aus mengentheoretischer Sicht dafür darstellt, dass Beobachtungsstrukturen überhaupt sinnvoll unter diese Klasse subsumiert werden können, kann man Charakterisierungen als spezifischere semantische Bedingungen an den Begriffsapparat, der zur Beschreibung eines Phänomenbereichs benutzt wird, auffassen.

Zur Begrifflichkeit der Listen gehört es beispielsweise (jedenfalls nach dem hier vorausgesetzten Verständnis), dass Listen eine endliche Länge haben; damit sind Listen insbesondere keine zirkulären Folgen von Elementen; es kann nicht vorkommen, dass nach einer bestimmten Anzahl von Elementen immer ein identisches Element erreicht wird. Wenn Listenterminologie zur Beschreibung der Syntax natürlicher Sprachen verwendet wird, so ist diese Beschreibungsweise überhaupt nur in dem Fall geeignet, dass sprachliche Ausdrücke immer endlicher Länge sind. Die Wahl einer Begrifflichlichkeit zur Beschreibung eines Phänomenbereichs beinhaltet Voraussetzungen über die Struktur des Phänomenbereichs, deren Rolle in empirischen Behauptungen als Präsupposition beschreibbar ist.

Eine Alternative zu dieser präsuppositionellen Betrachtungsweise ergibt sich, wenn diese Voraussetzungen über die Struktur des Phänomenbereichs als analytische Sätze über den Phänomenbereich betrachtet werden. Trotz der sehr unterschiedlichen Einordnung der Voraussetzungen durch diese Ansätze sind die Ansätze nicht inkompatibel und gelangen, was die formale Charakterisierbarkeit der Voraussetzungen angeht, zu ähnlichen Ergebnissen.

Exkurs: Präsuppositionen

Um die voranstehende Behauptung zu präzisieren, wenden wir uns in einem kurzen Exkurs Präsuppositionen zu. Wird der Wahrheitsgehalt des Satzes

Beispiel B-2.2-2 *Die im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform vereinfacht die Rechtschreibung des Deutschen*

diskutiert, wird vom Sprecher nicht zur Debatte gestellt, ob 1998 eine Rechtschreibreform in Kraft treten wird. Ebenso unangebracht erscheint in der Regel die Entgegnung

Beispiel B-2.2-3 *Die im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform vereinfacht die Rechtschreibung des Deutschen nicht*

wenn der Entgegnende der Ansicht ist:

Beispiel B-2.2-4 *Im Jahre 1998 tritt überhaupt keine Rechtschreibreform in Kraft*

Denn aus beiden Sätzen schließen Hörer im Allgemeinen, dass der Sprecher der Ansicht ist, im Jahre 1998 trete eine Rechtschreibreform in Kraft. Angebrachter als eine einfache natürlichsprachliche Negation der Behauptung wäre in einem solchen Fall darauf hinzuweisen, dass sich die Frage so nicht stelle oder dass die gesamte Diskussion gegenstandslos sei.

Folgt man dem fregeschen Ansatz zur Behandlung von Sätzen mit Kennzeichnungen, so haben die Beispielsätze **B-2.2-2** und **B-2.2-3** überhaupt nur dann einen Wahrheitswert, wenn es genau einen Gegenstand gibt, auf den das Prädikat *im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform* zutrifft, in allen anderen Fällen wird der Satz als weder wahr noch falsch betrachtet. Bedingungen dafür, dass ein Satz überhaupt einen Wahrheitswert hat, werden auch als Präsuppositionen bezeichnet. Präsuppositionen für Sätze mit Kennzeichnungen werden häufig in Existenzpräsuppositionen und Einzigkeitspräsuppositionen zergliedert. Die Existenzpräsupposition ist die Bedingung, dass mindestens ein unter das Kennzeichnungsprädikat fallender Gegenstand existiert, die Einzigkeitsbedingung diejenige, dass nicht mehr als ein Gegenstand unter das Kennzeichnungsprädikat fällt.

Semantische Theorien, die es zulassen, dass auch wohlgeformte Aussagesätze weder wahr noch falsch sind – in der Regel Ansätze, die weitere Extensionen für Sätze zulassen als die beiden Wahrheitswerte, also drei- oder mehrwertige logische Ansätze – stehen vor der Schwierigkeit, die Aufhebung von Präsuppositionen in einigen Satzgefügen zu erklären. Eine Antwort auf **B-2.2-2** könnte nämlich durchaus lauten:

Beispiel B-2.2-5 *Die im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform vereinfacht die Rechtschreibung des Deutschen nicht, weil im Jahr 1998 überhaupt keine Rechtschreibreform in Kraft tritt*

oder auch

Beispiel B-2.2-6 *Im Jahr 1998 tritt überhaupt keine Rechtschreibreform in Kraft, deshalb vereinfacht die im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform die Rechtschreibung des Deutschen nicht*

Da die Semantik kausaler Satzgefüge im Allgemeinen so beschrieben wird, dass beide Teilsätze wahr sind, wenn das kausale Satzgefüge wahr ist, so müssten demnach aus jedem der beiden voranstehenden Sätze sowohl **B-2.2-3** und **B-2.2-4** folgen. Wenn der letzte Satz jedoch die Existenz genau einer Rechtschreibreform im Jahre 1998 präsupponiert, so können die diese beiden Sätze nicht zugleich wahr sein.

Eine naheliegende Antwort auf dieses Paradox ist, davon auszugehen, dass **B-2.2-4** in **B-2.2-5** und **B-2.2-6** anders als in einem “isolierten” Kontext verwendet wird. Fälle, in denen Kennzeichnungen je nach Kontext mit oder ohne Präsupposition gebraucht werden können, scheinen sich auf Behauptungssätze, die eine Negation enthalten, zu beschränken.[3] Russell führt in seiner Theorie der

[3] Neben diesen Fällen, gibt es Fälle, in denen Präsuppositionen eines Teilsatzes in einem Satzgefüge aufgehoben werden, und zwar sind dies Satzgefüge, in denen der Wahrheitswert

Kennzeichnungen verschiedene Lesarten von negierten Sätzen mit Kennzeichnungen auf zwei Arten der Negation zurück.

Im russellschen Ansatz zur Analyse der Bedeutung von Kennzeichnungen sind die beiden Sätze **B-2.2-2** und **B-2.2-3** nie ohne Wahrheitswert, und zwar unabhängig davon, wie viele Rechtschreibreformen im Jahre 1998 in Kraft treten. Der Satz **B-2.2-2** wird von Russell aufgefasst als eine Abkürzung für

Beispiel B-2.2-10 *Es gibt im Jahre 1998 genau eine Rechtschreibreform, und diese vereinfacht die Rechtschreibung des Deutschen.*[4]

Treten keine oder mehr als eine Rechtschreibreform im Jahre 1998 in Kraft, so ist **B-2.2-2** schlicht falsch. Negiert man **B-2.2-2**, so müsste sich also ein wahrer Satz ergeben. Nur entspricht die natürlichsprachliche Negation nicht in jedem Fall der logischen Negation des ganzen Satzes. Man unterscheidet Lesarten mit weitem und engem Negationsbereich. In der Lesart mit weitem Negationsbereich ist die Verneinung von **B-2.2-2** gleichbedeutend mit

---

des präsuppositionshaltigen Teilsatzes überhaupt nur eine Rolle für den Wahrheitswert des Satzgefüges spielt, wenn die Präsupposition erfüllt ist, also Sätze wie

Beispiel B-2.2-7 *Wenn im Jahre 1998 (genau) eine Rechtschreibreform in Kraft tritt, dann wird diese dann in Kraft tretende Rechtschreibreform die Rechtschreibung des Deutschen vereinfachen*

oder

Beispiel B-2.2-8 *Im Jahre 1998 tritt keine (nicht genau eine) Rechtschreibreform in Kraft, oder die dann in Kraft tretende Rechtschreibreform wird die Rechtschreibung des Deutschen vereinfachen*

oder

Beispiel B-2.2-9 *Im Jahre 1998 tritt (genau) eine Rechtschreibreform in Kraft und die dann in Kraft tretende Rechtschreibreform wird die Rechtschreibung des Deutschen vereinfachen*

wenn man davon ausgeht, dass ein Wenn-Dann-Satzgefüge schon dann wahr ist, wenn der Wenn-Satz falsch ist – unabhängig davon, ob der Dann-Satz überhaupt einen Wahrheitswert hat –, dass ein Oder-Satzgefüge schon dann wahr ist, wenn ein Disjunktionsglied wahr ist, und dass ein Und-Satzgefüge schon falsch ist, wenn ein Konjunktionsglied falsch ist. (Im Fall der obengenannten Beispiele spielt nur die Aufhebung der Existenzpräsupposition der Kennzeichnung eine Rolle, nicht auch die der Einzigkeitsbedingung – wie es durch die geklammerten Ausdrücke gemacht wird –, da Sprecher und Hörer aufgrund ihres Hintergrundwissens im Allgemeinen davon ausgehen werden, dass innerhalb eines Jahres nur eine Rechtschreibreform in Kraft treten wird.)

Diese Beispiele führen im Gegensatz zu **B-2.2-5** und **B-2.2-6** nicht zu analogen semantischen Paradoxien, da es für die Wahrheit keines der Beispielsätze erforderlich ist, dass gleichzeitig der Wahrheitswert des präsuppositionshaltigen Teilsatzes eine Rolle spielte und aus dem Beispielsatz die Falschheit der Präsupposition zu folgern wäre.

[4]Genauer: Es gibt einen Gegenstand (ein Ereignis) x, so dass für jeden Gegenstand (jedes Ereignis) y gilt, dass $x = y$ gdw y eine im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform ist, und y vereinfacht die Rechtschreibung des Deutschen.

Beispiel B-2.2-11 *Es ist nicht der Fall, dass es im Jahre 1998 genau eine Rechtschreibreform gibt, und diese die Rechtschreibung des Deutschen vereinfacht.*

Die Lesart mit engem Negationsbereich wäre folgendermaßen zu verstehen:

Beispiel B-2.2-12 *Es gibt im Jahre 1998 genau eine Rechtschreibreform, und es ist nicht der Fall, dass diese die Rechtschreibung des Deutschen vereinfacht.*

Nach dieser Analyse gibt es keine semantischen Voraussetzungen bezüglich von Kennzeichnungen dafür, dass ein Satz überhaupt einen Wahrheitswert hat, die russellsche Theorie gibt also keinerlei Erklärung für Präsuppositionen. Allerdings zeigt diese Analyse, wie die natürlichsprachliche Negation derart verstanden werden kann, dass ein Satz und seine natürlichsprachliche Negation gemeinsame Bedingungen für ihre jeweilige Wahrheit haben, nämlich dann, wenn die natürlichsprachliche Negation als Negation mit engem Bereich verstanden wird.

Russells Analyse kann jedoch auch in einer Theorie der Präsupposition fruchtbar gemacht werden, wenn man die für die Wahrheit von bejahtem und negiertem Satz in der Lesart mit engem Bereich gemeinsame Bedingung zu einer Präsupposition macht und die Negation als eine Negation in einer mehrwertigen Logik versteht, die aus allen nicht-wahren Sätzen als Argument, also auch Sätzen, die weder wahr noch falsch sind, wahre Sätze macht und nur aus wahren Sätzen falsche. Bezeichnen wir diese "schwache" Negation durch *nicht**, so können wir die Lesart des Satzes **B-2.2-3** mit Präsupposition durch

Beispiel B-2.2-13 *Für alle Gegenstände (Ereignisse) x gilt, dass wenn x die im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform ist, x die Rechtschreibung des Deutschen nicht* vereinfacht*

die Lesart ohne Präsupposition jedoch durch

Beispiel B-2.2-14 *Nicht* für alle Gegenstände (Ereignisse) x gilt, dass wenn x die im Jahre 1998 in Kraft tretende Rechtschreibreform ist, x die Rechtschreibung des Deutschen vereinfacht*

Präsuppositionen sind nicht nur mit Kennzeichnungen verbunden, sondern auch mit einer Reihe von anderen Arten natürlichsprachlicher Ausdrücke. So wird häufig die mit Allsätzen verbundene Existenzpräsupposition angeführt; sowohl der Satz

Beispiel B-2.2-15 *Alle Raumschiffe außerirdischer Wesen sind scheibenförmig*

als auch der Satz

Beispiel B-2.2-16 *Nicht alle Raumschiffe außerirdischer Wesen sind scheibenförmig* werden für gewöhnlich so verstanden, dass beide Sätze die Existenz von Raumschiffen außerirdischer Wesen implizieren und dass ihre bloße Verneinung in Fällen unangebracht ist, in denen man die Existenz solcher Raumschiffe bestreitet.

Andere Präsuppositionen betreffen das Zutreffen von Sachverhalten, die von Teilsätzen bezeichnet werden. Im Gegensatz zum Satz

Beispiel B-2.2-17 *Peter glaubt, dass in Unkel Wein angebaut wird*

präsupponiert der Satz

Beispiel B-2.2-18 *Peter weiß, dass in Unkel Wein angebaut wird*

dass der Sachverhalt, auf den sich Peters Glauben bezieht, tatsächlich besteht.[5]

Ein anderer Typ von Präsuppositionen ist in den meisten natürlichen Schriftsprachen oft ohne Markierung und hat vielleicht deshalb weniger Beachtung gefunden:

Beispiel B-2.2-19 *Pulsare sind schnell rotierende, extrem verdichtete Sterne.*

In der gesprochenen Sprache kann die starke Betonung der Attribute zu *Sterne* und die unbetonte Realisierung von *Sterne* ein Anzeichen dafür sein, dass die Aussage

Beispiel B-2.2-20 *Pulsare sind Sterne.*

präsupponiert wird. Erst wenn das Wort *Sterne* ebenfalls oder hauptsächlich betont wird, wird die Eigenschaft, Stern zu sein, für Pulsare nicht mehr präsupponiert.

Eine stärkere Betonung erfährt die Präsupposition **B-2.2-20** in etwas künstlich klingenden Formulierungen wie

Beispiel B-2.2-21 *Sterne vom Typ* Pulsar *rotieren schnell und sind extrem verdichtet.*

In ähnlicher Weise sind viele natürlichsprachliche Sätze sind in Absehung vom pragmatischen Kontext hinsichtlich ihrer Präsuppositionseigenschaften mehrdeutig. So kann man auch vielen empirischen Behauptungen in Absehung vom Kontext der Behauptung nicht ansehen, was präsupponiert wird. Nimmt man die

[5] Frege konnte in *Über Sinn und Bedeutung* nicht zu diesem Ergebnis gelangen, solange er an seinem Verständnis von Funktionen als für alle Gegenstände des Diskursuniversums definierte Abbildung und daran, dass in ungeraden Kontexten der Satzsinn gerader Kontexte zur Satzbedeutung wird, festhält; denn unabhängig davon, ob nun in Unkel Wein angebaut wird, hat der oben angeführte Dass-Satz sowohl einen Sinn als auch eine Bedeutung. Der Dass-Satz hat also sowohl eine gerade als auch eine ungerade Bedeutung im fregeschen Verständnis. Die Anwendung der durch *Peter weiß, dass* bezeichneten Funktion auf die Bedeutung des Dass-Satzes in ungerader Bedeutung kann also nicht zu einem Satz ohne Bedeutung, also ohne Wahrheitswert, führen.

empirische Behauptung **B-1.2-5**, so wird ein Proponent dieser Behauptung im Allgemeinen präsupponieren, dass $\langle L_s, D_s, \upharpoonright_s, \mathcal{L}_{5,s}\rangle$ eine Sprache* im Sinne von **D-1.2-4** ist. Die Verneinung von **B-1.2-5** wird gemeinhin so verstanden werden, dass es sich bei $\langle L_s, D_s, \upharpoonright_s, \mathcal{L}_{5,s}\rangle$ um eine Sprache* handelt, auf die **B-1.2-5** nicht zutrifft.

Die einschränkenden Formulierungen des vorangegangenen Absatzes sollen darauf hindeuten, dass die Präsuppositionen, die ein Proponent von **B-1.2-5** mit seiner Behauptung verbindet, nicht eindeutig zur Semantik dieses Satzes gehören. Präsuppositionen, die Proponenten mit **B-1.2-5** verbinden, können sich in bestimmten pragmatischen Kontexten ändern. Solange überhaupt umstritten ist, ob Sprachen immer alle Bedingungen für Listenstrukturen erfüllen, kann ein Proponent dies höchstens in rhetorisch-manipulatorischer Absicht präsupponieren wollen.

Gehören Präsuppositionen zur Semantik oder Pragmatik? Oben wurde sowohl mit semantischer, als auch pragmatischer Terminologie von Präsuppositionen gesprochen. Wenn eine Präsupposition als eine Bedingung verstanden wird, unter der ein Satz überhaupt einen Wahrheitswert hat, oder als ein Sachverhalt, der sowohl aus einem Satz als auch seiner Verneinung gefolgert werden kann, so handelt es sich um semantische Kriterien.

Wenn die Abhängigkeit von Präsuppositionen von bestimmten Äußerungskontexten angesprochen wird, so scheinen sie zu einem pragmatischen Phänomen zu werden.

Dieser Scheinwiderspruch ist jedoch auflösbar. Man kann die Auffassung vertreten, dass Präsuppositionen ausschließlich in Sprachen vorkommen, die Wahrheitswertlücken aufweisen. Natürliche Sprachen, in denen wir unsere Behauptungen formulieren, sind solche Sprachen mit Wahrheitswertlücken. Viele Formalsprachen, wie die der Standard-Prädikatenlogik oder der Mengentheorie, vermeiden Wahrheitswertlücken und somit Präsuppositionen. **B-1.2-7** ist ein mengentheoretischer Satz und somit präsuppositionsfrei.[6] Dies muss aber deshalb keineswegs auch für die natürlichsprachlichen Behauptungen gelten, mit denen Proponenten zum Ausdruck bringen, dass sie **B-1.2-7** für wahr halten und wollen, dass auch der Adressat der Behauptung dies für wahr halte. Da es zu jedem formalsprachlichen Satz verschiedene natürlichsprachliche Behauptungen geben kann, in denen der behauptete Sachverhalt genau dann zutrifft, wenn der formalsprachliche Satz wahr ist, diese natürlichsprachlichen Behauptungen sich aber hinsichtlich ihrer Präsuppositionen durchaus unterscheiden können, kann man präsuppositi-

[6] *Mutatis mutandis* gilt das folgende natürlich auch für eine formalsprachliche Formulierung von **B-1.2-5**:

$$\langle L_s, D_s, \upharpoonright_s, \mathcal{L}_{5,s}\rangle \in \mathbf{M}(\text{5-Wort-Sprachfragment})$$

ons*freie* formalsprachliche Notationen auch als ein Mittel auffassen, Behauptungen präsuppositions*neutral* zu notieren; oder anders: Ein formalsprachlicher Satz kann als Repräsentant für eine ganze Klasse von Behauptungen aufgefasst werden, die sich ausschließlich hinsichtlich ihrer Präsuppositionen unterscheiden.

Was mit diesem formalsprachlichen Ausdruck behauptet werden soll, ist dieser Auffassung zufolge nur aus dem pragmatischen Kontext der Behauptung erschließbar. Abgesehen von möglichen natürlichsprachlichen Restriktionen zum Ausdruck von Präsuppositionen, kann prinzipiell jede Folgerung aus einem präsuppositionslosen Satz zu einer Präsupposition in einer Behauptung werden. Präsuppositionen bleiben also semantische Eigenschaften von Behauptungssätzen. Behauptungssätze können jedoch gerade hinsichtlich dieser semantischen Eigenschaften mehrdeutig sein, und die Entscheidung über die intendierte Bedeutung kann in vielen Fällen nur aufgrund pragmatischer Kriterien möglich sein.

Folgerungen aus Aussagesätzen können ihrerseits verschieden starke Aussagen sein. Als *minimale Präsupposition* einer Aussage wie **B-1.2-7** soll hier die Folgerung aus **B-1.2-7** betrachtet werden, dass die Strukturen in I zum selben Strukturtyp gehören wie auch Sprachen*; denn dies kann man als notwendige Voraussetzung dafür betrachten, dass die sprachlichen Mittel, die zur Beschreibung der Beobachtungen benutzt werden, überhaupt sinnvoll gewählt wurden. Wo Uneinigkeit über den Strukturtyp herrscht, unter den eine Beobachtung zu subsumieren ist, kann nicht einmal Einigkeit über die syntaktische Gestalt der Sprache erzielt werden, in der die Beobachtungen zu beschreiben sind. Denn mehr als die Anzahl der Argumentstellen von Relationen und die Grundmengen, aus denen die möglichen Relata stammen dürfen, legen Strukturtypen nicht fest.

Setzt man voraus, dass empirische Behauptungen nur in Kontexten eine Rolle spielen, in denen der Minimalkonsens über die syntaktische Eignung einer Sprache besteht, so kann die Zugehörigkeit der Beobachtungsstruktur zu einem bestimmten Strukturtyp als mit einer Behauptung wie **B-1.2-7** verbundene schwächstmögliche Präsupposition betrachtet werden, also gewissermaßen die *Minimalpräsupposition*. Andere mögliche nicht-minimale Präsuppositionen sind weder mit der Minimalpräsupposition noch mit dem Aussagesatz selbst äquivalente Folgerungen aus dem Aussagesatz.

Da in den Definitionen und Beispielen dieser Arbeit beliebige zum Strukturtyp noch hinzutretende Bedingungen an Strukturklassen durch Strukturspecies beschrieben werden können, lassen sich Präsuppositionen von Aussagen der Form **B-1.2-7** immer als Aussagen vom Typ

$$I \subseteq \mathbf{M}(\sigma)$$

für eine Strukturspecies σ auffassen.[7] Diese Form hat aber auch eine empirische Behauptung, wie **B-1.2-7**, selbst. Für eine empirische Behauptung

$$I \subseteq \mathbf{M}(\sigma_{emp}) \tag{2.3}$$

[7] Zur Definition von $\mathbf{M}$ vgl. **D-2.2-6**.

kann es also vorkommen, dass für zwei Strukturspecies σ', σ'' mit $\mathbf{M}(\sigma''), \mathbf{M}(\sigma') \supset \mathbf{M}(\sigma_{emp})$ die Aussage

$$I \subseteq \mathbf{M}(\sigma')$$

eine empirische Behauptung ist, die aus (2.3) folgt,

$$I \subseteq \mathbf{M}(\sigma'')$$

jedoch eine Präsupposition bei der Behauptung von (2.3).

Lassen sich formale Kriterien für die Unterscheidung empirischer Behauptungen von Präsuppositionen finden? **B-2.2-20** und auf ähnliche Weise konstruierbare Beispiele legen nahe, dass prinzipiell beliebige Prädikate in Präsuppositionen eingehen können. Die Suche nach formalen Kriterien lässt dies nicht sehr hoffnungsverheißend erscheinen.

Wenn Präsuppositionen nun eine Quelle von Mehrdeutigkeiten in Diskursen sein können, wozu dienen sie dann? Viele formale Sprachen führen uns ja präsuppositionsfreie Aussagen vor. Der Nutzen von Präsuppositonen kann in diskurspragmatischen und kognitiven Aspekten der Verständigung über Tatsachen gesucht werden:

- Die mehr oder weniger klare Markierung von Präsuppositionen in Aussagen erleichtert es den Diskurspartnern, zu beurteilen, welche Sachverhalte von dem Gegenüber als unstreitig vorausgesetzt werden; entweder wird diese Einschätzung von den Diskurspartnern geteilt, dann kann sich die Aufmerksamkeit auf die nicht präsupponierten Sachverhalte konzentrieren, oder das Nichtbestehen des vom Gegenüber präsupponierten Konsenses muss nach den Regeln des Diskursverlaufs ausdrücklich angezeigt werden.

- Viele natürlichsprachliche Aussagen lassen sich in Teile zerlegen, die bereits gegebene Informationen referieren, und andere, die neue Informationen bereitstellen. Diese Zergliederung wird von Linguisten häufig als *Given-New*- oder *Topic-Comment*-Unterscheidung angesprochen. Paraphrasiert werden kann eine derart zweigeteilte Aussage etwa als:

  Beispiel B-2.2-22 *Was x betrifft, so gilt für x P.*

  also etwa:

  Beispiel B-2.2-23 *Was die Eigenschaft von Pulsaren, ein Stern zu sein, betrifft, so rotieren sie schnell und sind extrem verdichtet.*

  Der erste Teil dieser Aussage ruft einen bestimmten Wissensbereich ins Bewusstsein oder in Erinnerung, zu dem der zweite Teil das Bestehen weiterer Sachverhalte behauptet. Da die Präsuppositionen seiner Behauptung von einem Proponenten für bereits anerkannte Sachverhalte gehalten werden, erfüllen sie in seinen Augen in jedem Fall die notwendige Bedingung dafür, als gegebene Informationen hervorgehoben zu werden, nämlich die Bekanntheit dieser Informationen beim Gegenüber. Die Markierung eines Sachverhaltes als *präsupponiert* kann ein wichtiges Mittel bei der Hervorhebung eines Aussageteils als *gegebener Information* sein.

Exkurs: Analytizität

Bei einigen der voranstehenden Beispiele, nehmen wir **B-2.2-19**, kann die Tatsache, dass in vielen Kontexten **B-2.2-20** sowohl bei dem Satz als auch seiner natürlichsprachlichen Verneinung vorausgesetzt zu sein scheint, dadurch erklärt werden, dass **B-2.2-20** schon aufgrund der Bedeutung der vorkommenden Ausdrücke wahr ist. *Stern* ist – dieser Auffassung zufolge – ein Oberbegriff von *Pulsar*.

Wenn wir einen Satz, der bereits aufgrund der Bedeutung der vorkommenden Ausdrücke wahr oder falsch ist, als *analytisch* wahr oder falsch bezeichnen, so kann die Tatsache, dass sich die Verneinung von **B-2.2-19** in vielen Kontexten nicht auf die Stern-Eigenschaft von Pulsaren, sondern ausschließlich auf die schnelle Rotation und extreme Verdichtung von Pulsaren bezieht, daran liegen, dass diese "eingeschränkte" Negation aus der Negation von **B-2.2-19** und den analytisch wahren Sätzen folgt: Aus

Beispiel B-2.2-24 *Es ist nicht der Fall, dass Pulsare schnell rotierende und extrem verdichtete Sterne sind*

und **B-2.2-20** folgt

Beispiel B-2.2-25 *Pulsare sind Sterne, die nicht schnell rotieren und extrem verdichtet sind*

Im Gegensatz zum präsuppositionellen Ansatz wird **B-2.2-20** nicht als Voraussetzung dafür betrachtet, dass **B-2.2-19** überhaupt einen Wahrheitswert hat, sondern als ein Satz, der aus sprachlichen Gründen allein nicht falsch sein kann. Wer **B-2.2-20** leugnet, verletzt nicht einfach nur die Erwartungen des Proponenten von **B-2.2-19** bezüglich der gemeinsam für wahr gehaltenen Sachverhalte, sondern leugnet sprachliche Tatsachen oder ignoriert sprachliche Regeln: Mindestens ein Ausdruck in **B-2.2-19** wird von dem Kontrahenten anders als vom Proponenten verstanden, beide sprechen vom semantischen Standpunkt aus verschiedene Sprachen.

Der Form von analytisch wahren Sätzen sind prinzipiell keine Grenzen gesetzt: Definientes in Definitionen können beliebig komplex sein, und für Bedeutungspostulate, also Sätze, die die Bedeutung eines Ausdrucks auf der Basis anderer Ausdrücke evtl. nur partiell bestimmen, sind *a priori* ebenfalls keine formalen Einschränkungen erkennbar. Ähnlich wie bei der Unterscheidung zwischen präsupponierten und behaupteten Sachverhalten erscheint auch die Suche nach formalen

Kriterien für die Unterscheidung zwischen analytischen und nicht-analytischen Sachverhalten wenig sinnvoll.

Wenn oben die Beobachtung erwähnt wurde, dass Strukturspecies σ, die ausschließlich Charakterisierungen als zum Strukturtyp hinzutretende Bedingungen enthalten, nur in empirisch nicht relevanten Aussagen der Form

$$I \subseteq \mathbf{M}(\sigma) \tag{2.4}$$

vorkommen, so kann diese Beobachtung also keineswegs dadurch erklärt werden, dass diese Sätze notwendigerweise Präsuppositionen empirischer Behauptungen oder analytische Sätze seien. Das bei der Gewinnung dieser Beobachtung ausgesparte Beispiel **B-1.1-2** bildet sogar ein Gegenbeispiel dafür, dass eine ausschließlich durch Charakterisierungen bestimmte Strukturspecies nur in empirisch nicht relevante Aussagen der Form (2.4) eingehen kann.

Akzeptiert man weiterhin, dass die Tatsache, dass Papierstapel und die Operation des Aufeinanderschichtens von Papierstapeln einen Monoiden bilden, keine empirische Tatsache ist, also nicht erst durch Beobachtung festgestellt werden muss, und Analoges auch für Zeichenketten und deren Verkettung gilt, so zeigt sich sogar, dass dieselbe Strukturspecies in empirisch relevante und nicht relevante Aussagen der Form (2.4) eingehen kann. Die empirische Relevanz an formalen Kriterien der Strukturspecies festmachen zu wollen, scheint ein zum Scheitern verurteiltes Unterfangen.

Dennoch wird in der strukturalistisch-wissenschaftstheoretischen Literatur[8] zur Grenzziehung zwischen empirisch relevanten Strukturspecies und solchen, die es nicht sind, ein formales Kriterium vorgeschlagen, das sich teils als Näherung an den vor-strukturalistischen Begriff der Empirizität, teils als "regulatives Prinzip" der modelltheoretischen Rekonstruktion von Theorien verstehen lässt.

2.3 Potentielle und echte Modelle

Es wurde bereits gesagt, was unter den Modellen einer Strukturspecies zu verstehen sei. Eine Strukturspecies $\langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n; A_1, \ldots, A_s \rangle$ kann durch Prädikate A_i bestimmt sein, die empirisch relevante Teilklassen der Strukturen eines Strukturtyps auswählen, und durch solche, die bloß vor-empirische Annahmen, seien es analytische Bedingungen an Elemente der Struktur oder Präsuppositionen, enthalten.

Lässt man sämtliche empirisch relevanten Bedingungen A_i und nur diese aus der Bestimmung einer Strukturspecies weg, so erhält man eine weiter gefasste Strukturspecies, die bloß präsupponierte oder analytische Annahmen bezüglich der überhaupt möglichen Beobachtungen enthält. Alle Modelle dieser weiter gefassten Strukturspecies sind also im Sinne der Vorannahmen Kandidaten für

[8]Vgl. und [Stegmüller 1973b, Abschn. 5.4] und [Balzer et al. 1987, Kap. I.2,3].

Strukturen, von denen man sinnvoll fragen kann, ob sie unter die behaupteten empirischen Einschränkungen fallen. Durch Subsumption von Beobachtungsstrukturen unter diese weiter gefasste Strukturspecies lassen sich demnach noch keine empirischen Aussagen machen, sondern erst durch die Subsumption unter Strukturspecies, deren Modellklassen echte Teilklassen der Modellklasse der weiter gefassten Strukturspecies bilden.

Als Explikat für die erwähnte weiter gefasste Klasse der überhaupt möglichen Beobachtungsstrukturen werden die wie folgt bestimmten *potentiellen Modelle* vorgeschlagen:

Definition D-2.3-1 (Potentielles Modell) *Sei $\sigma = \langle \tau_1, \ldots, \tau_m;\ \sigma_1,\ \ldots, \sigma_n;$ $A_1, \ldots, A_s\rangle$ eine Strukturspecies. Dann ist x ein* potentielles Modell *von σ gdw$_{df}$ es eine Strukturspecies $\sigma' = \langle \tau_1, \ldots, \tau_m; \sigma_1, \ldots, \sigma_n; A'_1, \ldots, A'_t\rangle$ gibt derart, dass*

(a) *$\{A'_1, \ldots, A'_t\}$ die Menge der in $\{A_1, \ldots, A_s\}$ enthaltenen Charakterisierungen ist und*

(b) *$x \in \mathbf{M}(\sigma')$.*

Da die Strukturspecies σ eine Modellklasse $\mathbf{M}(\sigma)$ bestimmt, soll auch davon gesprochen werden, dass die potentiellen Modelle von σ auch potentielle Modelle von $\mathbf{M}(\sigma)$ sind.

Eine Struktur x, für die es eine Strukturspecies σ gibt, so dass x ein potentielles Modell von σ ist, werde auch absolut als potentielles Modell *bezeichnet.*

In diesem Explikationsansatz hat die Beobachtung ihren Niederschlag gefunden, dass typische empirische Gesetze *Beziehungen* zwischen empirischen Größen herstellen, Beispiele dafür sind vielfältig: In der Newtonschen Mechanik wird eine Beziehung zwischen Raum- und Zeitkoordinaten der Partikel hergestellt, das Ohmesche Gesetz setzt Spannung und Stromstärke in Stromkreisen zueinander in Beziehung usw. Bedingungen an Strukturen, die Bestimmungen bezüglich des Begriffsapparats einer Theorie widerspiegeln, sind typischerweise Bedingungen an *eine* Relation des jeweiligen Strukturtyps. Dazu gehören in der Newtonschen Mechanik beispielsweise die zweifache stetige Ableitbarkeit nach der Zeit für die Funktion, die Partikeln zu einem Zeitpunkt einen Ortsvektor zuordnet, oder die Additivität von Spannungen in Stromkreisen. Hier handelt es sich jeweils um Bedingungen an eine einzelne der Messgrößen. Das Explikat verallgemeinert diese Beobachtungen an typischen Beispielen dahingehend, dass alle und nur die Bedingungen an mehr als eine Relation als empirisch relevant betrachtet werden.

Zweck der Definition **D-2.3-1** ist es eine Grenzziehung zwischen empirisch relevanten und empirisch nicht relevanten Aussagen der Form $I \subseteq M$ zu erlauben:

Prinzip P-2.3-1 *Sei I eine Klasse von Beobachtungsstrukturen und M eine Strukturklasse desselben Strukturtyps. Dann ist*

$$I \subseteq M$$

eine empirisch relevante Aussage gdw für die Klasse M_p potentieller Modelle von M gilt:

$$M \subset M_p$$

Wie verhält sich das Explikat nun zu "untypischen" empirischen Behauptungen wie **B-1.1-2**? Bei der Systematisierung von Beobachtungen in Strukturen hat die beobachtende Person eine Reihe von Wahlmöglichkeiten. So kann die Klasse der chemischen Lösungen, deren Mischung dem Assoziativitätsgesetz folgt, als Teilklasse der Lösungen ausgezeichnet werden, für die die Mischoperation überhaupt, und zwar gemäß dem allgemeinen Vorverständnis als innere Verknüpfung, definiert ist.

Definition D-2.3-2 (Assoziative Mischstruktur) *x ist eine* assoziative Mischstruktur *gdw*$_{df}$

(a) $x = \langle L, A, + \rangle$,

(b) *L ist eine nichtleere Menge,*

(c) $A \subseteq L$,

(d) *$+$ ist eine innere Verknüpfung auf L,*

(e) *es gibt ein $l_0 \in L$, so dass für alle $l \in L$ gilt:*

$$l_0 + l = l + l_0 = l$$

(f) *für alle $a, a', a'' \in A$ gilt:*

$$(a + a') + a'' = a + (a' + a'')$$

Die aus dem Vorverständnis der Mischoperation begründeten Eigenschaften von $+$, nämlich **D-2.3-2d** und **D-2.3-2e**, sind hier sämtlich Charakterisierungen, während **D-2.3-2f** zu einer Relation zwischen der Teilmenge A von L, also einer einstelligen Relation auf der Grundmenge L, und $+$, einer dreistelligen Relation auf L, geworden ist. Die Klasse der potentiellen Modelle der die Klasse der assoziativen Mischstrukturen bestimmenden Strukturspecies ist demnach wie folgt zu definieren:

Definition D-2.3-3 (Potentielle assoziative Mischstruktur) *x ist eine* potentielle assoziative Mischstruktur *gdw$_{df}$*

(a) $x = \langle L, A, + \rangle$,

(b) *L ist eine nichtleere Menge,*

(c) $A \subseteq L$,

(d) *$+$ ist eine innere Verknüpfung auf L,*

(e) *es gibt ein $l_0 \in L$, so dass für alle $l \in L$ gilt:*

$$l_0 + l = l + l_0 = l$$

Die Klasse der potentiellen assoziativen Mischstrukturen unterscheidet sich von der Klasse der assoziativen Mischstrukturen nur dadurch, dass erstere auch solche Strukturen enthält, für die **D-2.3-2f** nicht gilt.

Die analytischen oder präsupponierten Eigenschaften der Mischoperation werden in **B-1.1-2** bezüglich derselben Menge $\{a, b, c, l_0\}^+$ gefordert wie die empirisch behauptete Eigenschaft der Assoziativität. Mit L als der Menge aller chemischen Lösungen ist

Beispiel B-2.3-1 $\langle L, \{a, b, c, l_0\}^+, + \rangle$ *ist eine assoziative Mischstruktur*

eine zu **B-1.1-2** äquivalente Behauptung, bei der die analytischen oder präsupponierten Eigenschaften der Mischoperation bezüglich einer Grundmenge gefordert werden und die eigentlich empirische Behauptung eine Relation zwischen einer empirisch zu bestimmenden Teilmenge der Grundmenge und der Mischoperation ist. Diese Weise der Systematisierung hat gegenüber der "gröberen" von **B-1.1-2** den Vorzug, dass sie deutlicher macht, welche Eigenschaften der Mischoperation für chemische Lösungen allgemein und unabhängig von aller Erfahrung gelten und für welche Bestimmungen der Operation der Geltungsbereich nur aufgrund der Erfahrung zu bestimmen ist. Durch diese Art der Systematisierung wird selbstverständlich nicht ausgeschlossen, dass die Menge der chemischen Lösungen, bezüglich derer die Mischoperation assoziativ ist, die Menge aller Lösungen überhaupt ist. Auch in diesem Fall verdeutlicht die Trennung der Mengen L und A in assoziativen Mischstrukturen $\langle L, A, + \rangle$, dass die Frage, ob $L = A$, eine empirische ist.

Das oben stehende Beispiel zeigt, wie empirisch relevante Charakterisierungen durch einen "Kunstgriff", nämlich die Einführung einer neuen Grundmenge, zu deren Teilmenge die alte Grundmenge wird, in empirisch nicht-relevante Charakterisierungen und empirisch relevante Bedingungen, die keine Charakterisierungen darstellen, aufgespalten werden kann.

Auch der umgekehrte Fall ist denkbar, nämlich, dass eine empirisch nicht relevante Bedingung, die ein analytisches oder präsupponiertes Verhältnis zwischen verschiedenen Relationen einer Struktur darstellt, durch ein Prädikat A_i ausgedrückt wird, das keine Charakterisierung ist. Es sind hier die folgenden Fälle denkbar:

- A_i ist in Bedingungen A_j und A_k aufspaltbar, die beide Charakterisierungen sind und deren Konjunktion äquivalent zu A_i ist; in diesem Fall kann A_i in der Strukturspecies durch A_j und A_k ersetzt werden, um die empirisch nicht relevante Bedingung nur durch Charakterisierungen auszudrücken;

- sei $\sigma = \langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l; A_1, \ldots, A_n \rangle$ eine Strukturspecies und gelte für beliebige Strukturen $\langle D_1, \ldots, D_k; R_1, \ldots, R_l \rangle \in \mathbf{M}(\sigma)$, dass eine durch A_i näher bestimmte Relation R_j durch A_i als eindeutig bestimmt durch die anderen Relationen $R_1, \ldots, R_{j-1}, R_{j+1}, \ldots, R_l$ in dieser Strukturspecies festgelegt wird (R_j also in dieser Strukturspecies eine Funktion anderer Relationen $R_1, \ldots, R_{j-1}, R_{j+1}, \ldots, R_l$ ist, und zwar aufgrund von A_i); in diesem Fall kann die Relation R_j auch als verzichtbar angesehen werden, da R_j in jeder Struktur der Strukturspecies σ aufgrund von $R_1, \ldots, R_{j-1}, R_{j+1}, \ldots, R_l$ bestimmbar ist; eine neue Strukturspecies σ', deren Modelle sich bis auf das Fehlen von R_j nicht von den Modellen von σ unterscheiden, kann wie folgt bestimmt werden:

  $$\sigma' = \langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_{j-1}, \tau_{j+1}, \ldots, \tau_l; A_1, \ldots, A_{i-1}, A'_i, A_{i+1}, \ldots, A_n \rangle$$

  wobei A'_i so gewählt werden soll, dass für alle Strukturen $\langle D_1, \ldots, D_k; R_1, \ldots, R_{j-1}, R_{j+1}, \ldots, R_l \rangle \in \mathbf{Str}(\langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_{j-1}, \tau_{j+1}, \ldots, \tau_l \rangle)$ gilt, dass $A'_i(\langle D_1, \ldots, D_k;\ R_1, \ldots, R_{j-1}, R_{j+1}, \ldots, R_l \rangle)$ gdw es ein R_j gibt mit $\langle D_1, \ldots, D_k; R_1, \ldots, R_{j-1}, R_j, R_{j+1}, \ldots, R_l \rangle \in \mathbf{Str}(\langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k;\ \tau_1, \ldots, \tau_{j-1},\ \tau_j, \tau_{j+1}, \ldots, \tau_l \rangle)$ und $A_i(\langle D_1, \ldots, D_k; R_1, \ldots, R_{j-1}, R_j, R_{j+1}, \ldots, R_l \rangle)$; A'_i ist im Gegensatz zu A_i von einer Relation weniger abhängig und ist damit nun möglicherweise eine Charakterisierung; anderenfalls kann wie im folgenden Fall vorgegangen werden;

- immer ist es möglich, für jedes Modell einer Strukturspecies mehrere Relationen zu einer derart zusammenzufassen, dass die ursprünglichen Relationen aus der neuen Relation ableitbar sind; geschehen kann dies durch den Übergang von Relationen $R_{j_1}, \ldots, R_{j_n}$ mit

  $$\begin{aligned} R_{j_1} &\subseteq D^1_{j_1} \times \ldots \times D^{n_1}_{j_1} && (2.5)\\ R_{j_2} &\subseteq D^1_{j_2} \times \ldots \times D^{n_2}_{j_2} && (2.6)\\ \vdots\ &\ \vdots\quad \vdots && \\ R_{j_n} &\subseteq D^1_{j_n} \times \ldots \times D^{n_n}_{j_n} && (2.7) \end{aligned}$$

zu einer neuen Relation R mit

$$R \subseteq D_{j_1}^1 \times \ldots \times D_{j_1}^{n_1} \times \ldots \times D_{j_n}^1 \times \ldots \times D_{j_n}^{n_n} \tag{2.8}$$

überzugehen, wobei für alle $x_{j_1}^1 \in D_{j_1}^1, \ldots, x_{j_1}^{n_1} \in D_{j_1}^{n_1}, \ldots, x_{j_n}^1 \in D_{j_n}^1, \ldots, x_{j_n}^{n_n} \in D_{j_n}^{n_n}$ gilt, dass

$$\begin{gathered} R(x_{j_1}^1, \ldots, x_{j_1}^{n_1}, \ldots, x_{j_n}^1, \ldots, x_{j_n}^{n_n}) \\ \text{gdw} \\ R_{j_1}(x_{j_1}^1, \ldots, x_{j_1}^{n_1}) \quad \text{und} \\ \vdots \\ R_{j_n}(x_{j_n}^1, \ldots, x_{j_n}^{n_n}) \end{gathered} \tag{2.9}$$

Die Mengen $D_{j_1}^1, \ldots, D_{j_n}^{n_n}$ können Grundmengen der jeweiligen Struktur oder aus Grundmengen durch Potenzmengenbildung und kartesische Produktbildung erzeugte Mengen sein. Die ursprünglichen Relationen sind aus der zusammengefassten Relation jederzeit rekonstruierbar.

Wie lässt sich nun eine Strukturspecies σ', deren Modelle die derart transformierten Strukturen sind, bestimmen? Sei $\sigma = \langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l; A_1, \ldots, A_m \rangle$ die ursprüngliche Strukturspecies und seien $\tau_{j_1}, \ldots, \tau_{j_n}$ die Typen der zusammenzufassenden Relationen und $\tau = \langle \tau_{j_1}, \ldots, \tau_{j_n} \rangle$ der Typ der zusammengefassten Relation. Dann ergibt sich eine geeignete Strukturspecies

$$\sigma' = \langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_{j_1-1}, \tau_{j_1+1}, \ldots, \tau_{j_n-1}, \tau_{j_n+1}, \ldots, \tau_l, \tau; A'_1, \ldots, A'_n \rangle$$

durch Ersetzung aller Bezugnahmen auf Relationen R_{j_p} vom Typ τ_{j_p} für beliebige p mit $1 \leq p \leq n$ in den Prädikaten A_i für beliebige i mit $1 \leq i \leq m$ durch Bezugnahmen auf $\{\left\langle x_{j_p}^1, \ldots, x_{j_p}^{n_p} \right\rangle \mid$ es gibt $x_{j_1}^1 \in D_{j_1}^1, \ldots, x_{j_p-1}^{n_p-1} \in D_{j_p-1}^{n_p-1}, x_{j_p+1}^{n_p+1} \in D_{j_p+1}^1, x_{j_n}^{n_n} \in D_{j_n}^{n_n}$ mit $\left\langle x_{j_1}^1, \ldots, x_{j_n}^{n_n} \right\rangle \in R\}$, wobei R eine Relation vom Typ τ ist; A'_i ist dann jeweils das Ergebnis dieser Ersetzung. Die Typen von R_{j_p} seien wie oben in (2.5)–(2.7) bestimmt.[9]

Die voranstehenden Ausführungen geben Verfahren an die Hand, Charakterisierungen in Bedingungen umzuwandeln, die keine Charakterisierungen sind, und umgekehrt. Bei Anwendung dieser Verfahren werden Strukturspecies in andere

[9]Zu einem formalen Beweis, dass die so gewonnene Strukturspecies tatsächlich eine von der gesuchten Art ist, wäre die mengentheoretische Form der Prädikate A_i formal näher zu bestimmen. Da die genaue Form dieser Prädikate in der vorliegenden Arbeit sonst jedoch keine Rolle spielt, soll auf diese Formalisierung und den Beweis verzichtet werden. Für das folgende reicht die Einsicht, dass zu Relationen $R_{j_1}, \ldots, R_{j_n}$ immer eine Relation R mit (2.9) gefunden werden kann. Jede mengentheoretische Bestimmung einer Klasse von n-Tupeln $\langle R_{j_1}, \ldots, R_{j_n} \rangle$ derartiger Relationen kann in eine mengentheoretische Bestimmung der neuen abgeleiteten Relation übersetzt werden.

überführt, und dabei ändert sich in der Regel sogar der Strukturtyp. Man kann bei diesen Transformationen jedoch davon sprechen, dass die Strukturspecies, die Ausgang und Ziel der Transformationen darstellen, dieselben möglichen Beobachtungen beschreiben, sie jedoch unterschiedlich systematisieren. Die skizzierten Transformationen machen die Strukturspecies bezüglich der durch sie bestimmten Modellklassen nicht "informationsärmer", d. h. Strukturspecies mit unterschiedlichen Modellklassen werden immer auch transformierte Strukturspecies mit verschiedenen Modellklassen zugewiesen. Wenn t eine solche Transformation ist, dann gilt also für alle Strukturspecies σ, σ', dass, wenn

$$\mathbf{M}(t(\sigma)) = \mathbf{M}(t(\sigma'))$$

dann auch

$$\mathbf{M}(\sigma) = \mathbf{M}(\sigma')$$

Bei diesen Transformationen werden die Modellklassen nie kleiner, sondern bleiben immer mindestens ebenso mächtig wie die ursprünglichen Modellklassen. Zu jeder Transformation t für Strukturspecies kann immer eine Transformation t^* für die Modelle dieser Strukturspecies gefunden werden, derart, dass für alle Strukturspecies σ, für die t definiert ist, und für alle $x, y \in \mathbf{M}(\sigma)$ auch $t^*(x) \in \mathbf{M}(t(\sigma))$ und, wenn $t^*(x) = t^*(y)$, dann auch $x = y$ gilt.[10]

Vor dem Hintergrund der skizzierten Alternativmöglichkeiten bei der Systematisierung von Beobachtungen und der Bestimmung von Modelklassen durch Strukturspecies, gewinnt das Prinzip **P-2.3-1** die Bedeutung eines *regulativen Prinzips* oder einer *Konvention* bei der Systematisierung von Beobachtungen. Beobachtungsstrukturen sind eben im Sinne dieses Prinzips so zu konstruieren, dass die Geltung des Prinzips gewahrt ist. Dabei erfüllt dieses Prinzip Richtlinienfunktionen in zweierlei Hinsicht: Zum einen sollen Beobachtungsstrukturen dem Prinzip entsprechend angelegt werden, das ist die normative oder konventionelle Seite des Prinzips; zum anderen gibt das Prinzip bei vielen einer ersten Intuition folgenden modelltheoretischen Systematisierungen von Theorien einen die tatsächlichen Verhältnisse in der Regel relativ gut approximierenden Anhaltspunkt für die Unterscheidung empirischer und nicht empirischer Aussagen der Theorie, diese "leitende" Funktion macht die mehr als konventionelle Bedeutung des Prinzips aus. Es hat den Anschein, als sei die Wahl und "begriffliche Konstruktion" vieler empirischer Messgrößen in bestehenden wissenschaftichen Theorien von einem derartigen Prinzip geleitet.

Eine Klasse von Strukturen kann nun jedoch auch im Einklang mit dem Prinzip **P-2.3-1** nach wie vor durch verschiedene Strukturspecies $\sigma = \langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l;\ A_1, \ldots, A_n \rangle$ bzw. $\sigma' = \langle \sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l; A'_1, \ldots, A'_{n'} \rangle$ bestimmt

[10] Hier soll aus denselben Gründen wie zuvor ein formaler Beweis unterbleiben.

werden, die sich ausschließlich in der Menge der Bedingungen unterscheiden. Damit dennoch

$$\mathbf{M}(\sigma) = \mathbf{M}(\sigma')$$

gelten kann, muss nur die Konjunktion der Bedingungen $A_1, \ldots, A_n$ der Konjunktion der Bedingungen $A'_1, \ldots, A'_{n'}$ äquivalent sein. Trotz identischer Modellklassen können sich jedoch σ und σ' hinsichtlich ihrer potentiellen Modelle unterscheiden. Als ein Beispiel mag man eine beliebige Strukturspecies $\sigma = \langle\sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l; A_1, \ldots, A_n\rangle$ wählen, bei der mindestens eine der in ihr enthaltenen Bedingungen A_i mit $1 \leq i \leq n$ eine Charakterisierung ist, die in dem Sinne nicht-trivial ist, dass gilt

$$\mathbf{Str}(\langle\sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l\rangle) \setminus A_i \neq \emptyset$$

und die in dem Sinne von den übrigen Bedingungen logisch unabhängig ist, dass gilt

$$\left(\bigcap_{k=1}^{i-1} A_k \cap \bigcap_{k=i+1}^{n} A_k\right) \not\subseteq A_i$$

und mindestens eine andere der in σ enthaltenen Bedingungen A_j mit $1 \leq j \leq n$ keine Charakterisierung ist. Dann ist auch die Konjunktion A' von A_i und A_j keine Charakterisierung. Wenn man nun die Strukturspecies $\sigma' = \langle\sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l; A'_1, \ldots, A'_{n'}\rangle$ so wählt, dass sich die Mengen $\{A_1, \ldots, A_n\}$ und $\{A'_1, \ldots, A'_{n'}\}$ nur dahingehend unterscheiden, dass in der letzteren Menge A_i und A_j fehlen, dafür jedoch A' hinzugenommen wurde, so gilt zwar $\mathbf{M}(\sigma) = \mathbf{M}(\sigma')$, σ' enthält aber eine nicht-triviale Charakterisierung weniger als σ, was zur Folge hat, dass sich ihre Klassen potentieller Modelle unterscheiden.

Geht man gar zu einer Strukturspecies $\sigma'' = \langle\sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l; A''\rangle$ mit nur einer Bedingung

$$A'' = \bigcap_{k=1}^{n} A_i$$

über, so ist deren Klasse potentieller Modelle identisch mit der Klasse aller Strukturen des Typs $\langle\sigma_1, \ldots, \sigma_k; \tau_1, \ldots, \tau_l\rangle$; denn, wenn nur eine der Bedingungen $A_1, \ldots, A_n$ keine Charakterisierung ist, ist auch A'' keine Charakterisierung.

Die Klasse potentieller Modelle kann also durchaus abhängig von der speziellen Art der Modularisierung der Bedingungen an Strukturen sein. Um eine derartige Abhängigkeit von der Wahl der Formulierung von Bedingungen bei gleichen Modellklassen zu vermeiden, soll die Modularisierung von Bedingungen durch das folgende Prinzip **P-2.3-2** normiert werden. Auch dieses Prinzip lässt noch

Wahlmöglichkeiten bei der Formulierung von Bedingungen zur Spezifikation einer Modellklasse zu, begrenzt diese jedoch so, dass verschiedene Strukturspecies, die dieselbe Modellklasse haben, sich ebenfalls nicht in der Klasse potentieller Modelle unterscheiden können, sofern sie dem Prinzip gehorchen.

Prinzip P-2.3-2 *Eine Strukturspecies* $\sigma = \langle \sigma_1, \dots, \sigma_k; \tau_1, \dots, \tau_l; A_1, \dots, A_n \rangle$ *sollte grundsätzlich so beschaffen sein, dass es keine Strukturspecies* $\sigma' = \langle \sigma_1, \dots, \sigma_k; \tau_1, \dots, \tau_l;\ A_1, \dots, A_n, A' \rangle$ *gibt, in der* A' *eine Charakterisierung ist, für die gilt:*

$$\bigcap_{k=1}^{n} A_k \subseteq A'$$

und

$$A \not\subseteq A'$$

Dabei ist A *die Konjunktion aller Charakterisierungen unter den Bedingungen* $A_1, \dots, A_n$*.*

Das Prinzip soll sichern, dass alle Bedingungen, die durch Charakterisierungen ausgedrückt werden *können*, auch tatsächlich durch Charakterisierungen ausgedrückt werden. Keine möglichen Charakterisierngen sollen aus Bedingungen folgen, die ihrerseits keine Charakterisierungen sind. Es sind hiernach für jede Klasse M von Strukturen nur solche Strukturspecies mit der Modellklasse M zulässig, die die Klasse potentieller Modelle möglichst weit beschränken.

Das Prinzip **P-2.3-1** ist ein “inhaltliches”, weil es Bezug auf das inhaltliche Verständnis von Strukturen in ihrem Gebrauch in bestimmten empirischen Theorien nimmt, nämlich darauf, welche Bedingungen an Strukturen empirischer und welche nur analytischer oder präsuppositioneller Art sind. **P-2.3-1** macht nur in Beziehung auf die konkrete Verwendung von Strukturklassen in empirischen Behauptungen Sinn. Im Gegensatz hierzu ist **P-2.3-2** ein rein formales Prinzip. Es bezieht sich ausschließlich auf die formale Gestalt von Strukturen.

Weitere inhaltliche und formale Prinzipien könnten zur weitergehenden Einengung der zulässigen Strukturspecies formuliert werden. Um ein inhaltlich differenzierteres Verständnis von Strukturen wird es in den folgenden Kapiteln gehen. Auf die Aufstellung zusätzlicher formaler Prinzipien soll hier verzichtet werden, da sie zur vorliegenden Untersuchung nicht konstruktiv beitragen. Denkbar und in anderen Zusammenhängen möglicherweise fruchtbar sind Prinzipien, die die logische Unabhängigkeit der Bedingungen in Strukturspecies fordern, oder solche, die neben der in **P-2.3-2** geforderten Differenzierung von Charakterisierungen und anderen Bedingungen eine bestimmte Modularisierung vorschreiben.

2.4 Theoretische Relationen und partielle Modelle

Die bislang behandelten Beispiele für empirsche Behauptungen können bestenfalls in Anspruch nehmen, die empirischen Behauptungen von Minitheorien oder Theoriefragmenten wiederzugeben. Von wissenschaftlichen Konstrukten, denen wir die Bezeichnung *Theorie* zubilligen würden, sind diese Beispiele weit entfernt.

Wenden wir uns Beispielen aus der Linguistik zu, die eher den Anspruch einer Theorie erheben können als **B-1.2-5** oder **B-1.2-6**.

2.4.1 Kontextfreie Grammatiken

Sprachen werden in der Linguistik in der Regel durch Grammatiken beschrieben. Einer weit verbreiteten Praxis linguistischer oder informatischer Lehrbücher mit Bezug auf formale Grammatiken folgend, soll auch diese Darstellung mit *kontextfreien Grammatiken* beginnen.

Kontextfreie Grammatiken bestehen aus

1. Symbolen, wählen wir hier die Symbole S, NP, VP, Art, N, V,

2. Produktionsregeln, hier sollen als Beispiel dienen:

$$\mathsf{S} \rightarrow \mathsf{NP}\ \mathsf{VP} \tag{2.10}$$
$$\mathsf{NP} \rightarrow \mathsf{Art}\ \mathsf{N} \tag{2.11}$$
$$\mathsf{VP} \rightarrow \mathsf{V}\ \mathsf{NP} \tag{2.12}$$

   und schließlich

3. einem Lexikon, das hier die Einträge

$$\begin{array}{l} \mathbf{lex}(\mathsf{Art}, \text{das}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{Art}, \text{ein}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{N}, \text{Dokument}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{N}, \text{Kind}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{V}, \text{findet}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{V}, \text{sieht}) \end{array} \tag{2.13}$$

   umfassen soll.

Um zu ermitteln, welche Ausdrücke[11], eine kontextfreie Grammatik beschreibt oder – wie man auch sagt – *erzeugt*, geht man von dem Startsymbol aus, in

[11] In der Theorie formaler Grammatiken heißen die durch eine Grammatik beschriebenen Ausdrücke auch *Wörter*. Dies fügt sich gut in den terminologischen Zusammenhang der Theorie, da die einzelnen lexikalischen Elemente der Wörter *Buchstaben* heißen. Nur sind in Grammatiken natürlicher Sprachen die lexikalischen Elemente im Allgemeinen Wortformen oder zumindest

unserem Beispielfall S. Dies ist die initiale Symbolzeichenkette. In der Symbolzeichenkette werden nun sukzessive Symbole, die auf der linken Seite einer Produktionsregel (vor →) vorkommen, durch die Symbolkette, die auf der rechten Seite derselben Regel steht, ersetzt. Wenn als Ergebnis dieses Ersetzungsprozesses schließlich nur noch Symbole in der Symbolkette stehen, die als linkes Argument in der Relation **lex** vorkommen, entsteht der zu erzeugende Ausdruck, indem die Symbole in der Symbolkette durch lexikalische Ausdrücke ersetzt werden, zu denen sie im Verhältnis **lex** stehen. Eine Folge von Ersetzungen von Symbolen durch andere Symbole nach Vorgabe der Produktionsregeln wird auch als *Ableitung* bezeichnet. Bei der Anwendung einer Produktionsregel spricht man auch davon, dass Symbole in einer Symbolkette durch andere Symbole *expandiert* werden.

Beispiel B-2.4-1 *Der Satz* das Kind findet ein Dokument *ist ein Satz der obenstehenden Grammatik mit dem zugehörigen Lexikon, weil die folgende Ableitung möglich ist:*

S
NP VP
Art N VP
Art N V NP
Art N V Art N

und weil Art *durch* das *ersetzt werden kann,* N *durch* Kind*,* V *durch* findet*,* Art *durch* ein *und* N *durch* Dokument*.*

Derselbe Satz kann auch durch andere Ableitungen erreicht werden, bei denen im zweiten Schritt VP *vor* NP *expandiert wird.*

Kontextfreie Grammatiken sind eine formale Form, wiederzugeben, aus welchen Bestandteilen – in traditionellen Grammatiken häufig *Satzteile* genannt – ein Satz besteht. Deutet man die Symbole der Beispielgrammatik entsprechend, so besagt sie etwa, dass ein Satz aus einer Nominalphrase und einer Verbalphrase besteht, eine Nominalphrase wiederum aus Artikel und Nomen (Substantiv) und eine Verbalphrase aus Verb und Nominalphrase.

Die Bezeichnung *kontextfreie Grammatik* ist durch die Tatsache motiviert, dass die Expansionsmöglichkeiten eines Symbols ausschließlich durch das zu expandierende Symbol selbst und nicht durch seinen Kontext bestimmt werden.

Formal können Produktionsregeln als Instanzen einer zweistelligen Relation → betrachtet werden, die als linke Argumente aus einzelnen Symbolen bestehende Zeichenketten zulässt und deren rechte Argumente naheliegenderweise als

Teile von ihnen und die durch Grammatiken beschriebenen Ausdrücke Sätze oder Satzteile. Die Termini *Buchstabe* und *Wort* sind in Bezug auf natürliche Sprachen bereits anders belegt. Um der Klarheit willen wird hier auf den Gebrauch dieser Termini in Bezug auf formale Grammatiken verzichtet. Die durch eine Gramatik beschriebenen Ausdrücke sollen, sofern es sich im Sinne der traditionellen Grammatiktheorie um Sätze handelt, auch die *Sätze dieser Grammatik* bezeichnet werden, die lexikalischen Elemente auch als *Lexeme*.

Listen solcher Symbole angesehen werden. Lässt man das Lexikon zunächst außer Acht, so bietet sich folgende modelltheoretische Konstruktion einer kontextfreien Grammatik an:

Definition D-2.4-1 (Kontextfreie Grammatik ohne Lexikon) *x ist eine* kontextfreie Grammatik ohne Lexikon *gdw$_{df}$ es $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow \rangle$,

(b) $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow \rangle$ *ist eine Listenstruktur,*

(c) $S \in \Sigma$,

(d) $\rightarrow \subseteq \Sigma^* \times \Sigma^*$,

(e) $\rightarrow$ *enthält endlich viele Elemente und*

(f) *für alle $s, s' \in \Sigma^*$ mit $s \rightarrow s'$ gilt:*

  (fa) $\textbf{länge}(s) = 1$ *und*

  (fb) $\textbf{länge}(t) \geq 1$.[12]

Mithilfe von $\rightarrow$ lässt sich leicht definieren, wann eine Symbolkette aus einer anderen in einem Schritt ableitbar ist.

Definition D-2.4-2 (Ableitbarkeit in einem Schritt) *Sei $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow \rangle$ eine kontextfreie Grammatik ohne Lexikon. Dann gelte für alle $s, t \in \Sigma^*$, dass t* in einem Schritt aus s ableitbar *ist ($s \Rightarrow t$) gdw$_{df}$ es $s', s'', s''', s'''' \in \Sigma^*$ gibt, so dass*

(a) $s'' \rightarrow s''''$,

(b) $s = s' \circ s'' \circ s'''$ *und*

(c) $t = s' \circ s'''' \circ s'''$.

Im Allgemeinen wird eine Relation $\Rightarrow^*$ als transitive Hülle von $\Rightarrow$ eingeführt:

Definition D-2.4-3 (Ableitbarkeit) *Sei $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow \rangle$ eine kontextfreie Grammatik ohne Lexikon. Dann gelte für alle $s, t \in \Sigma^*$, dass t aus s* ableitbar *ist ($s \Rightarrow^* t$) gdw$_{df}$*

(a) $s = t$ *oder*

[12] Auf diese Teilbedingung wird oft verzichtet. Aus darstellungstechnischen Gründen wurde sie hier aufgenommen. Eine durch eine diese Teilbedingung nicht erfüllende Grammatik erzeugte Sprache kann immer auch durch eine diese Bedingung erfüllende Grammatik erzeugt werden.

(b) *es ein* $s' \in \Sigma^*$ *gibt, so dass*

(ba) $s \Rightarrow s'$ *und*

(bb) $s' \Rightarrow^* t$.

Es gilt bei dem gegebenen Beispiel u.a.:

$$\begin{array}{rcl} \mathsf{S} & \Rightarrow^* & \mathsf{Art\ N\ V\ Art\ N} \\ \mathsf{NP\ VP} & \Rightarrow^* & \mathsf{Art\ N\ V\ Art\ N} \\ \mathsf{VP} & \Rightarrow^* & \mathsf{V\ Art\ N} \end{array}$$

Das Verhältnis zwischen kontextfreien Grammatiken ohne Lexikon und durch sie definierten Sprachen – analog zu den durch die Grammatik erzeugten Ausdrücken spricht man auch von der durch eine Grammatik *erzeugten* Sprache – stellt die folgende Definition dar:

Definition D-2.4-4 (Kontextfreie Sprache) x *ist eine* kontextfreie Sprache *gdw*$_{df}$ *es* $L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex}$ *gibt, so dass*

(a) $x = \left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex} \right\rangle$,

(b) $x = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$ *ist eine Sprache**,

(c) $\left\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow \right\rangle$ *ist eine kontextfreie Grammatik ohne Lexikon,*

(d) $\mathbf{lex} \subseteq \Sigma \times D$,

(e) $\mathcal{L} = \{l \in L \mid$ *es gibt ein* $s \in \Sigma^*$ *mit* $\breve{S} \Rightarrow^* s$ *und* $\mathbf{lex}^*(s, l)\}$.

$\breve{c}$ für ein $c \in \Sigma$ meint dabei die nur aus dem Zeichen c bestehende Zeichenkette, also

$$\breve{c} := \uparrow^\Sigma(c, \epsilon)$$

für alle $c \in \Sigma$. $\mathbf{lex}^*$ ist dabei als eine "Erweiterung" von **lex** für Listen zu verstehen:

Definition D-2.4-5 *Seien* $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow' \rangle$ *und* $\langle L, D, \uparrow \rangle$ *Listenstrukturen, und sei* $\mathbf{lex} \subseteq \Sigma \times D$. *Dann gelte für alle* $s \in \Sigma^*$ *und* $l \in L$, *dass*

$$\mathbf{lex}^*(s, l)$$

gdw$_{df}$

(a) $\mathbf{länge}(s) = \mathbf{länge}(l) = 0$ *oder*

(b) (ba) $\mathbf{lex}(\mathbf{erstes}(s), \mathbf{erstes}(l))$ *und*

(bb) $\mathbf{lex}^*(\mathbf{rest}(s), \mathbf{rest}(l))$.

Alternative Konstruktionen kontextfreier Grammatiken

Man findet in der Literatur über formale Grammatiken Darstellungen kontextfreier Grammatiken, die alternative modelltheoretische Konstruktionen nahelegen. Lexikon und Grammatik werden oft nicht voneinander getrennt. Das Lexikon wird durch weitere Produktionsregeln dargestellt, wie

$$\mathsf{Art} \rightarrow \text{das} \tag{2.14}$$
$$\mathsf{Art} \rightarrow \text{ein} \tag{2.15}$$
$$\mathsf{N} \rightarrow \text{Dokument} \tag{2.16}$$
$$\mathsf{N} \rightarrow \text{Kind} \tag{2.17}$$
$$\mathsf{V} \rightarrow \text{findet} \tag{2.18}$$
$$\mathsf{V} \rightarrow \text{sieht} \tag{2.19}$$

Damit entfällt jedoch die wichtigste mengentheoretische Motivation, zwischen einer Menge an Lexemen der zu beschreibenden Sprache und einer Menge an Symbolen der kontextfreien Grammatik zu unterscheiden: Die Relation $\rightarrow$ ist nun nicht mehr auf die letztere zu beschränken und es ist nun keine Relation **lex** mehr vonnöten, die ihre Argumente aus den unterschiedlichen Grundmengen bezöge. Beide Mengen können also zu einer Zeichenmenge vereinigt werden.

Um nun aber bei der Ableitung Symbolketten, die “Hilfssymbole” enthalten, von solchen unterscheiden zu können, die ausschließlich Symbole der zu beschreibenden Sprache enthalten, also etwa eine Symbolkette

$$\mathsf{Art}\ \mathsf{N}\ \text{findet das Dokument}$$

im Gegensatz zu

$$\text{das Kind findet das Dokument}$$

muss unter den Zeichen zwischen solchen unterschieden werden, bei denen die Ableitung abgeschlossen werden kann und solchen, die weiter expandiert werden müssen. Die ersteren werden als Terminalsymbole bezeichnet, die letzteren als Nichtterminalsymbole.

Das Verhältnis einer derartigen kontextfreien Grammatik zu der durch sie beschriebenen Sprache lässt sich am ehesten durch eine Struktur $\langle L, D, \uparrow, \rightarrow, S, T, \mathcal{L}\rangle$ mit

1. $\rightarrow \subseteq L \times L$,
2. $\rightarrow$ enthält endlich viele Elemente,
3. $S \in D$,
4. $T \subseteq D$,

5. $\mathcal{L} = \{l \mid \breve{S} \Rightarrow^* l \text{ und } l \in T^*\}$

beschreiben. T^* ist dabei als die Menge aller Listen, die sich ausschließlich aus Elementen von T bilden lassen, zu verstehen.

Die Relation $\rightarrow$ kann auch auf $(\{\breve{d} \mid d \in D\} \setminus \{\breve{d} \mid d \in T\}) \times L$ eingeschränkt werden, wenn man ausschließen möchte, dass auch Terminalsymbole noch weiter expandiert werden *können*. In diesem Fall kann auf eine ausdrückliche Aufführung der Terminalsymbolmenge in der Struktur verzichtet werden, da die Terminalsymbole sich als diejenigen Symbole ermitteln lassen, die nie in der linken Seite einer Produktionsregel auftreten.

Die drei Varianten kontextfreier Grammatiken – mit Lexikon; ohne Lexikon mit expandierbaren Terminalsymbolen; ohne Lexikon und ohne expandierbare Terminalsymbole – unterscheiden sich nicht in den Sprachen, die durch sie beschrieben werden können. Man kann Verfahren angeben, nach denen sich eine Grammatik jeder der drei Varianten in eine Grammatik einer anderen Variante, die dieselbe Sprache beschreibt, überführen lässt. Solche Verfahren beruhen auf einzelnen oder Kombinationen der folgenden Schritte:

Umwandlung des Lexikons in Produktionsregeln: Das Lexikon kann, wie im Beispiel vorgestellt, in direkter Weise in Produktionsregeln umgewandelt werden.

Vermeidung von Terminalsymbolen auf der linken Seite von Regeln: In Grammatiken mit Terminalsymbolen auf der linken Seite von Produktionsregeln sind alle Vorkommen jedes derartigen Terminalsymbols t durch ein neues Symbol t' zu ersetzen. Für jedes derartige t ist eine neue Produktionsregel $t' \rightarrow t$ einzuführen.

Einführung eines Lexikon: Eine kontextfreie Grammatik, in der das Lexikon durch Produktionsregeln dargestellt wird und bei der keine Terminalsymbole auf der linken Seite von Produktionsregeln vorkommen, lässt sich immer in eine um ein Lexikon ergänzte Grammatik umwandeln, indem Produktionsregeln der Form $s \rightarrow t$ für ein Symbol s und ein Terminalsymbol t als $\mathbf{lex}(s, t)$ repräsentiert werden, jedes Terminalsymbol t, das zusammen mit weiteren Symbolen in Symbolketten auf der rechten Seite von Regeln vorkommt, durch ein neues Symbol t' ersetzt wird und für jedes derartige t eine neue Produktionsregel $t' \rightarrow t$ eingeführt wird.

Man kann sich leicht verdeutlichen, dass keine dieser Operationen die durch die Grammatik beschriebene Sprache ändert.

Obgleich Varianten kontextfreier Grammatiken, die das Lexikon durch Produktionsregeln repräsentieren, modelltheoretisch einfacher zu beschreiben sind, als die in **D-2.4-4** gewählte Variante, wurde **D-2.4-4** hier der Vorzug aus Gründen, die unten deutlicher werden sollen, gegeben.

2.4.2 Empirisch relevante Aussagen und kontextfreie Grammatiken

Kehren wir für einen Moment zurück zu **B-1.2-7**. Dort wurde über die Sprachkenntnisse einer Schülergruppe eine empirisch nachprüfbare Behauptung aufgestellt. Nehmen wir nun an, die Schülergruppe mache in ihrem Sprachunterricht Fortschritte, indem sie anhand von Sprachbeispielen oder Grammatikunterricht implizit oder explizit etwas über die Konstituentenstruktur der zu erlernenden Sprache erführe. Nun kann die Überprüfung der Behauptung, ob die Sprachkenntnisse dieser Schülerinnen und Schüler durch eine bestimmt kontextfreie Grammatik beschrieben werden können, sinnvoll und interessant sein.

Sei also wieder $\mathbf{I}'$ eine Menge von Anwendungsfällen, die analog zu **B-1.2-7** zu bestimmen ist. Und sei Gram1-Sprache eine durch eine Grammatik Gram1 bestimmte kontextfreie Sprache:

Definition D-2.4-6 (Gram1-Sprache) *x ist eine* Gram1-Sprache *gdw$_{df}$ es $L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^\Sigma, \rightarrow, \mathbf{lex}$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^\Sigma, \mathsf{S}, \rightarrow, \mathbf{lex}\rangle$,

(b) *x ist eine kontextfreie Sprache und*

(c) *es voneinander verschiedene* $\mathsf{S}, \mathsf{NP}, \mathsf{VP}, \mathsf{Art}, \mathsf{N}, \mathsf{V} \in \Sigma$ *gibt, so dass*

(ca) $\rightarrow$ *genau die Instanzen*

$$\mathsf{S} \rightarrow \mathsf{NP}\ \mathsf{VP} \tag{2.20}$$

$$\mathsf{NP} \rightarrow \mathsf{Art}\ \mathsf{N} \tag{2.21}$$

$$\mathsf{VP} \rightarrow \mathsf{V}\ \mathsf{NP} \tag{2.22}$$

für diese als linkes Argument enthält (für andere $s \in \Sigma$ kann **lex** *beliebig definiert sein) und*

(cb) *es $V_{\text{das}}, V_{\text{ein}}, V_{\text{dokument}}, V_{\text{findet}}, V_{\text{sieht}} \in D$ gibt, so dass* **lex** *genau die Instanzen*

$$\begin{array}{l} \mathbf{lex}(\mathsf{Art}, V_{\text{das}}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{Art}, V_{\text{ein}}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{N}, V_{\text{Dokument}}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{N}, V_{\text{Kind}}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{V}, V_{\text{findet}}) \\ \mathbf{lex}(\mathsf{V}, V_{\text{sieht}}) \end{array} \tag{2.23}$$

enthält.

$V_{\text{das}}, \ldots, V_{\text{sieht}} \in D$ in **D-2.4-6** sind als Variablen zu verstehen, die u.a. konkrete lexikalische Elemente aufnehmen können. Durch die in dieser Definition eingeführte Strukturspecies ist also noch keineswegs *eine konkrete* Sprache eingeführt; dies wäre auch nicht verträglich mit der Forderung nach Invarianz unter kanonischen Transformationen, die in **D-2.2-3** an die Bedingungen in einer Strukturspecies gestellt wird. Unter den Modellen der Strukturspecies sind jedoch Modelle mit konkreten lexikalischen Elementen enthalten, darunter auch die gewünschten. Ganz Analoges ist auch zu den Symbolen $\mathsf{S}, \ldots, \mathsf{V}$ zu bemerken: Auch sie werden durch die Strukturspecies nicht als konkrete Symbole bestimmt, wenn auch Modelle nicht ausgeschlossen sind, in denen sie konkrete Symbole darstellen.

In Anlehnung an **B-1.2-7** mag es nun nahe liegen die empirische Behauptung über die Sprachkenntnisse der Schülergruppe folgendermaßen zu formulieren:

Beispiel B-2.4-2

$$\mathbf{I}' \subseteq \mathbf{M}(\textit{Gram1-Sprache})$$

Dies ist jedoch nur sinnvoll unter der Minimalvoraussetzung, dass $\mathbf{I}'$ Strukturen vom selben Typ wie $\mathbf{M}$(Gram1-Sprache) enthält. Geht man davon aus, dass Beobachterinnen oder Beobachter des Sprachverhaltens der Schülerinnen und Schüler über Verfahren verfügen, die Äußerungen der Probandinnen und Probanden in lexikalische Elemente zu segmentieren – dies schließt im wesentlichen die Kenntnis der Relation $\uparrow$ ein –, so werden die Beobachtenden eine Menge lexikalischer Elemente bestimmen können, die von den Probandinnen und Probanden verwendet werden, und daraus auch eine Menge prinzipiell möglicher Zeichenketten bilden können; schließlich werden die Beobachtenden auch in der Lage sein, die Menge der Äußerungen zu bestimmen.

Die genannten Gegenstände der Beobachtung umfassen aber gerade einmal die Bestimmungsstücke $L, D, \uparrow, \mathcal{L}$ einer kontextfreien Sprache $\left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \mathbf{lex}\right\rangle$. Die Symbole der Grammatik und die auf ihnen beruhende Listenstruktur $\Psi = \left\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma}\right\rangle$, das Startsymbol S, die Produktionsregeln von $\rightarrow$ sowie die lexikalische Zuordnung **lex** sind nicht im Sprachverhalten selbst beobachtbar. Diese Bestimmungsstücke werden erst durch die Theorie eingebracht und bestimmt, die das Sprachverhalten beschreiben soll, sie gehören zum Vokabular dieser Theorie. Man kann auch sagen, dass in einem unten näher zu präzisierenden Sinne $\Psi, S, \rightarrow, \mathbf{lex}$ nicht durch Beobachtungen, sondern *nur durch die Theorie selbst bestimmbar* sind.

Anders gewendet kann man diesen metatheoretischen Sachverhalt auch so ausdrücken: Die Fragen, woher wir denn wissen, welche die von den Schülerinnen und Schülern gelernten Ausdrücke, welche deren lexikalische Elemente und welche die aus diesen bildbaren möglichen Ausdrücke seien und auf welche Weise die

Ausdrücke zusammenzusetzen seien (z.B. durch zeitliche Verkettung akustischer Signale oder horizontaler Anordnung von Schriftzeichen auf dem Papier), sind sämtlich ohne Rekurs auf die zur Diskussion stehende linguistische Theorie zu beantworten. Das muss nicht heißen, dass die Antwort immer gleich auf der Hand liegt oder trivial ist. Die Antwort kann in einzelnen Fällen sogar nur mithilfe sehr komplexer Theorien möglich sein, z.B. einer Theorie akustischer Signale. Entscheidend ist nur, dass diese Antworten die in Frage stehende linguistische Theorie nicht voraussetzen.

Fragen nach einer geeigneten kontextfreien Grammatik zur Beschreibung eines bestimmten Sprachverhaltens mit ihrer Symbolmenge, den Produktionsregeln, dem Startsymbol und schließlich den lexikalischen Beziehungen zwischen Symbolen und sprachlichen Ausdrücken können nicht außerhalb der Grammatiktheorie, die zur Disposition steht, beantwortet werden. Die Frage, warum eine spezielle Grammatik geeignet zur Beschreibung eines beobachteten Sprachverhaltens ist, setzt die Wahrheit der zu überprüfenden Behauptung, nämlich der speziellen Grammatiktheorie, bereits voraus. Jedoch hatte sich die Frage ja gerade bei dem Versuch, diese zu begründen, gestellt. Die im Zusammenhang mit der kontextfreien Grammatik und ihren Bestimmungsstücken gestellten Fragen führen also in einen Zirkel der Erkenntnisbegründung oder einen *epistemologischen Zirkel*.[13]

Die Strukturen, von denen sinnvoll zu fragen ist, ob sie durch eine gegebene Grammatik beschreibbar sind, sind also genau die in **D-1.2-4** definierten Modelle von Sprache*. Diese können am ehesten die Rolle der potentiellen Modelle spielen, bezüglich derer es überhaupt sinnvoll ist zu fragen, ob sie unter eine empirisch relevante Modellklasse fallen. Mit $\mathbf{I}'$ als Teilklasse von $\mathbf{M}(\mathit{Sprache}*)$ ist **B-2.4-2** allerdings schon aus Gründen der Typzugehörigkeit falsch. Eine Antwort auf dieses Problem bietet die sog. Ramsey-Methode.

2.4.3 Die Ramsey-Methode

Was bedeutet es – ausgehend von der Voraussetzung, dass unsere Beobachtungen durch eine Strukturmenge $\mathbf{I}'$ mit

$$\mathbf{I}' \subseteq \mathbf{M}(\text{Sprache*})$$

beschrieben werden können –, dass diese Beobachtungen durch Gram1-Sprach-Modelle korrekt beschrieben werden? Den Strukturen in $\mathbf{I}'$ fehlen Strukturelemente, die die Modelle von Gram1-Sprache aufweisen: eine Grammatik und die zugehörige Listenstruktur sowie ein Lexikon.

Damit nun überhaupt Modelle von Gram1-Sprache zu den Strukturen in $\mathbf{I}'$ gefunden werden können, die zu den Strukturen in $\mathbf{I}'$ "passen", müssen fehlende Bestimmungsstücke gefunden werden, mit denen sich die Strukturen in $\mathbf{I}'$ zu Modellen von Gram1-Sprache ergänzen lassen, vorausgesetzt man versteht das

[13] Vgl. [Stegmüller 1973b, S. 42].

"Zueinanderpassen" der Strukturen so, dass sie in ihren nicht-theoretischen Bestimmungsstücken übereinstimmen.

Diese Voraussetzung der Existenz geeigneter theoretischer Bestimmungsstücke für das Anpassen der Beobachtungsstrukturen an die entsprechenden Strukturen mit theoretischen Bestimmungsstücken wollen wir als die schwächste intendierte empirische Behauptung, die sich mit einer Theorie verknüpft, auffassen. Verschärfungen werden unten noch diskutiert werden. Im vorliegenden Fall ist die Behauptung also diejenige, dass die Strukturen $x_i \in \mathbf{I}'$ mit $x_i = \langle L_i, D_i, \uparrow_i, \mathcal{L}_i \rangle$ derart um Elemente ${\Sigma^*}_i, \Sigma_i, \uparrow_i^\Sigma, S_i, \rightarrow_i, \mathbf{lex}_i$ geeigneten Typs zu ergänzen sind, dass

$$\left\langle L_i, D_i, {\Sigma^*}_i, \Sigma_i, \uparrow_i, \mathcal{L}_i, \uparrow_i^\Sigma, S_i, \rightarrow_i, \mathbf{lex}_i \right\rangle \in \mathbf{M}(\text{Gram1-Sprache})$$

Anders ausgedrückt wird behauptet:

Beispiel B-2.4-3 *Für alle* $\langle L_i, D_i, \uparrow_i, \mathcal{L}_i \rangle \in \mathbf{I}'$ *gilt, dass es* ${\Sigma^*}_i, \Sigma_i, \uparrow_i^\Sigma, S_i, \rightarrow_i,$ $\mathbf{lex}_i$ *gibt derart, dass*

$$\left\langle L_i, D_i, {\Sigma^*}_i, \Sigma_i, \uparrow_i, \mathcal{L}_i, \uparrow_i^\Sigma, S_i, \rightarrow_i, \mathbf{lex}_i \right\rangle \in \mathbf{M}(\textit{Gram1-Sprache})$$

Diese Lösung des epistemologischen Zirkels wurde ursprünglich von F.P. Ramsey entdeckt und von J.P. Sneed in [Sneed 1971] die *Ramsey-Lösung* des Problems der theoretischen Terme genannt.

Bezeichnen wir die Ergänzung der Modelle von Sprache* zu Strukturen vom selben Typ wie die Modelle von Gram1-Sprache als *theoretische Ergänzung* von Gram1-Beobachtungen, so lässt sich **B-2.4-3** auch mithilfe dieses neuen Terminus reformulieren.

Definition D-2.4-7 (Theoret. Ergänzung von Gram1-Beobachtungen) *Seien* σ, τ *Strukturtypen derart, dass für alle* $x \in \mathbf{M}(\textit{Sprache*})$ *gilt, dass* $x \in \mathbf{Str}(\sigma)$ *und für alle* $y \in \mathbf{M}(\textit{Gram1-Sprache})$ *gilt, dass* $y \in \mathbf{Str}(\tau)$*. Dann sei* $\mathbf{Ext}_{\text{Gram1}}$ (theoretische Ergänzung von Gram1-Beobachtungen) *für alle* $y \in \mathbf{Str}(\tau)$, $x \in \mathbf{Str}(\sigma)$ *folgendermaßen definiert:*

$$y \mathbf{Ext}_{\text{Gram1}} x$$

gdw$_{df}$ *es* $L, D, \uparrow, \mathcal{L}$ *gibt, so dass*

(a) $x = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$ *und*

(b) *es* $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex}$ *gibt, so dass*

$$y = \left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex} \right\rangle$$

Die empirische Behauptung kann nun ausgedrückt werden als:

Beispiel B-2.4-4 *Für alle $x \in \mathbf{I}'$ gilt, dass es ein y gibt mit $y\mathbf{Ext}_{Gram1}x$ und*

$$y \in \mathbf{M}(\textit{Gram1-Sprache})$$

Zur Verallgemeinerung des Begriffs der theoretischen Ergänzung auf beliebige Theorien θ sei die folgende Notation eingeführt:

Definition D-2.4-8 **(a)** *Für beliebige Strukturen $\langle D_1, \ldots, D_m; R_1, \ldots, R_n\rangle$ und beliebige i, j mit $1 \leq i \leq n$ und $1 \leq j \leq m$ gelte:*

$$\langle D_1, \ldots, D_m; R_1, \ldots, R_n\rangle_{-i} := \langle D_1, \ldots, D_m; R_1, \ldots, R_{i-1}, R_{i+1}, \ldots, R_n\rangle$$

und

$$\langle D_1, \ldots, D_m; R_1, \ldots, R_n\rangle^{-j} := \langle D_1, \ldots, D_{j-1}, D_{j+1}, \ldots, D_m; R_1, \ldots, R_n\rangle$$

(b) *Nun kann für beliebige Strukturen $x = \langle D_1, \ldots, D_m; R_1, \ldots, R_n\rangle$ und $i_1, \ldots, i_k, j_1, \ldots, j_l$ mit $1 \leq i_{i'} \leq n$ und $1 \leq i_{i''} \leq n$ für $1 \leq i' < i'' \leq k$ und $1 \leq j_{j'} \leq m$ und $1 \leq j_{j''} \leq m$ für $1 \leq j' < j'' \leq l$ rekursiv definiert werden:*

$$x^{-j_1, j_2, \ldots, j_l}_{-i_1, i_2, \ldots, i_k} := (((x_{-i_1})_{-\check{i}_2, \ldots, \check{i}_k})^{-j_1})^{-\check{j}_2, \ldots, \check{j}_l}$$

Dabei ist für beliebige i', j' mit $2 \leq i' \leq k$ und $2 \leq j' \leq k$:

$$\check{i}_{i'} := \begin{cases} i_{i'} & \textit{falls } i_{i'} < i_1, \\ i_{i'} - 1 & \textit{sonst} \end{cases}$$

$$\check{j}_{j'} := \begin{cases} j_{j'} & \textit{falls } j_{j'} < j_1, \\ j_{j'} - 1 & \textit{sonst} \end{cases}$$

Nun kann für beliebige Theorien θ definiert werden:

Definition D-2.4-9 (θ-theoretische Ergänzung) *Sei x ein beliebiges Modell einer Theorie θ. Dann gilt für beliebige Strukturen y, dass x eine θ-*theoretische Ergänzung *von y ist ($x\mathbf{Ext}_\theta y$) gdw$_{df}$ es $D_1, \ldots, D_n, R_1, \ldots, R_m$ sowie n', m' mit $1 \leq n' \leq n$ und $1 \leq m' \leq m$ und $i_1, \ldots, i_{n'}$ mit $1 \leq i_{i'} \leq n$ für $1 \leq i' \leq n'$ und $j_1, \ldots, j_{n'}$ mit $1 \leq j_{j'} \leq n$ für $1 \leq j' \leq n'$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle D_1, \ldots, D_n; R_1, \ldots, R_m\rangle$,

(b) *die $i_1$te,… und $i_{n'}$te Grundmenge θ-theoretisch sind,*

(c) *die $j_1$te,… und $j_{m'}$te Relation θ-theoretisch sind und*

(d) $y = x^{-i_1,\dots,i_{n'}}_{-j_1,\dots,j_{m'}}$.

Bislang wurde hier noch keine präzise Bestimmung gegeben, wann Mengen oder Relationen θ-theoretisch sind. Für den Moment mögen die Bemerkungen zur Theoretizität bezüglich von Gram1-Sprache als Anhaltspunkt genügen.

Die Relation $\mathbf{Ext}_\theta$ ist rechtseindeutig, wie leicht eingesehen werden kann. Deshalb kann man für alle Strukturen x, y und Theorien θ definieren:

$$\mathbf{Red}_\theta(x) := y$$

gdw

$$x\mathbf{Ext}_\theta y$$

Für beliebige $x \in \mathbf{M}(\text{Gram1-Sprache})$ gilt folglich:

$$\mathbf{Red}_{\text{Gram1}}(x) \in \mathbf{M}(\text{Sprache*})$$

Führt man nun noch die $\mathbf{Red}_\theta$ entsprechende Funktion für Klassen von Modellen ein als:

Definition D-2.4-10 (θ-nicht-theoretisches Redukt) *Sei x ein Modell der Theorie θ. Und sei τ ein Strukturtyp derart, dass $x \in \mathbf{Str}(\tau)$. Dann gelte für beliebige $M \subseteq \mathbf{Str}(\tau)$:*

$$\overline{\mathbf{Red}}_\theta(M) := \{\mathbf{Red}_\theta(x) \mid x \in M\}$$

Ein $x \in \overline{\mathbf{Red}}_\theta(M)$ wird auch als ein θ-nicht-theoretisches Redukt *(einer Struktur) von M bezeichnet.*

Mit dieser Definition lässt sich die empirische Behauptung **B-2.4-3** nun kurz wie folgt ausdrücken:

Beispiel B-2.4-5

$$\mathbf{I}' \subseteq \overline{\mathbf{Red}}_\theta(\mathbf{M}(\textit{Gram1-Sprache}))$$

Es wird also behauptet, dass die intendierten Anwendungen der Theorie sämtlich nicht-theoretische Redukte der Theorie sind.

2.4.4 Theoriekerne und -elemente

In den vorangehenden Abschnitten dieser Arbeit wurde weitestgehend informell von Theorien gesprochen. Dabei schwankte die Verwendungsweise – wie häufig beim informellen Sprechen über Theorien – zwischen *Theorie* als Bezeichnung für einen formalen Apparat und als Bezeichnung für eine oder mehrere miteinander verknüpfte empirische Behauptungen. Auf einen weiteren Theoriebegriff, nämlich komplexe Theorien mit Fundamental- und Spezialgesetzen, wurde noch nicht eingegangen.

Theoriekerne

Die voranstehenden Betrachtungen helfen uns, präzisere Theoriebegriffe zu entwickeln, die als Explikate für einzelne informelle Verwendungsweisen von *Theorie* dienen können. Betrachtet man den formalen Apparat einer Theorie, bestehend aus dem Vokabular der Theorie und ihren Axiomen oder Gesetzen, so wird er weitestgehend durch die Strukturspecies, die die Modelle der Theorie abgrenzt, bestimmt. Neben der Klasse der Modelle ist mit der Strukturspecies jedoch auch die Klasse der potentiellen Modelle der Theorie bestimmt. Die letztere Klasse lässt sich als modelltheoretische Repräsentation des Begriffsapparats der Theorie auffassen.

Sowohl die echten als auch die potentiellen Modelle der Theorie enthalten in Bezug auf diese Theorie theoretische Relationen. Der formale Begriffsapparat zur Beschreibung von Beobachtungen im Sinne der Theorie, die die Theorie stützen oder erschüttern können, ergibt sich als die Klasse der nicht-theoretischen Redukte der potentiellen Modelle der Theorie; mag diese Klasse als Klasse der *partiellen potentiellen Modelle* der Theorie bezeichnet werden.

Die genannten Bestimmungsstücke sollen zu dem gerechnet werden, was in der Terminologie des wissenschaftstheoretischen Strukturalismus als *Theoriekern* bezeichnet wird. Für den Moment wird hier aber noch von all denjenigen Bestandteilen einer Theorie abgesehen, die für Verbindungen zwischen verschiedenen Modellen einer Theorie oder den Modellen verschiedener Theorien sorgen. Aus diesem Grund soll dieser reduzierte Theoriekern als *isolierter Theoriekern* bezeichnet werden.

Definition D-2.4-11 (Isolierter Theoriekern) $\mathbf{K_i}(\theta)$ *ist ein* isolierter Theoriekern *einer Theorie* θ *gdw*$_{df}$ *es eine Strukturspecies* σ *und Strukturklassen* $\mathbf{M_p}(\theta)$, $\mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta)$ *gibt, so dass*

(a) $\mathbf{K_i}(\theta) = \langle \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta) \rangle$,

(b) $\mathbf{M_p}(\theta)$ *ist die Klasse potentieller Modelle von* σ*,*

(c) $\mathbf{M}(\theta) = \mathbf{M}(\sigma)$ *und*

(d) $\mathbf{M_{pp}}(\theta) = \overline{\mathbf{Red}}_\theta(\mathbf{M_p}(\theta))$.

Die Elemente von $\mathbf{M}(\theta)$ *werden auch als die* Modelle *der Theorie* θ*, die von* $\mathbf{M_p}(\theta)$ *als ihre* potentiellen Modelle*, die von* $\mathbf{M_{pp}}(\theta)$ *als ihre* partiellen potentiellen Modelle *bezeichnet.*[14]

Zu jeder der drei Strukturklassen, die in einem Theoriekern enthalten sind, gibt es eine Strukturspecies derart, dass die Modellklasse dieser Strukturspecies mit der jeweiligen Strukturklasse identisch ist.

[14] Man beachte, dass der Terminus *Modell* hier zum einen in Bezug auf Strukturspecies, zum anderen in Bezug auf Theorien verwendet wird.

Satz S-2.4-1 *Sei θ eine Theorie mit dem isolierten Theoriekern $\langle \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta)\rangle$. Dann gilt:*

1. *es gibt eine Strukturspecies σ, so dass*
$$\mathbf{M}(\theta) = \mathbf{M}(\sigma)$$
2. *es gibt eine Strukturspecies σ_p, so dass*
$$\mathbf{M_p}(\theta) = \mathbf{M}(\sigma_p)$$
3. *es gibt eine Strukturspecies σ_{pp}, so dass*
$$\mathbf{M_{pp}}(\theta) = \mathbf{M}(\sigma_{pp})$$

Beweis B-2.4-1
1. *Die erste Behauptung ist schlicht die Forderung* **D-2.4-11c**.
2. *Da potentielle Modelle* **D-2.3-1** *als Modelle einer Strukturspecies aufgefasst werden, die durch Weglassung einiger Bedingungen aus der Strukturspecies der Modelle gewonnen werden, ist auch diese Behauptung trivial.*
3. *Für die partiellen potentiellen Modelle einer Theorie ergibt sich die Behauptung daraus, dass Abhängigkeiten in der Klasse der potentiellen Modelle einer Theorie nur zwischen den Grundmengen und den auf ihnen definierten Relationen bestehen, nicht aber zwischen den Grundmengen oder zwischen den Relationen; dies folgt daraus, dass die Grundmengen und Relationen nur durch ihre Typzugehörigkeit, die Abhängigkeiten zwischen Grundmengen und Relationen bestimmt, und durch Charakterisierungen, die Relationen isoliert näher bestimmen, mithilfe der Strukturspecies eines potentiellen Modells eingegrenzt werden.*

   Genauer: Sei $\sigma = \langle \tau_1, \dots, \tau_n, \sigma_1, \dots, \sigma_m, A_1, \dots, A_l\rangle$ eine Strukturspecies mit $\mathbf{M}(\sigma) = \mathbf{M_p}(\theta)$ und seien für jedes i mit $1 \leq i \leq m$ die Prädikate $\{A_i^1, \dots, A_i^{k_i}\} \subseteq \{A_1, \dots, A_l\}$ die Charakterisierungen der iten Relation der Modelle von σ. Da es sich bei der Klasse der Modelle von σ um eine Klasse potentieller Modelle handelt, gilt zudem nach **D-2.2-7**:
$$\bigcup_{i=1}^{m} \{A_i^1, \dots, A_i^{k_i}\} = \{A_1, \dots, A_l\}$$
   Sei $\sigma' = \langle \tau_1, \dots, \tau_n; \sigma_1, \dots, \sigma_m\rangle$ der zu σ gehörige Strukturtyp und definiert man für beliebige i mit $1 \leq i \leq m$:
$$\bar{R}_i := \left\{ R_i \mid \langle D_1, \dots, D_n; R_1, \dots, R_i, \dots, R_m\rangle \in \left(\mathbf{Str}(\sigma') \cap \bigcap_{j=1}^{k_i} A_{i_j} \right) \right\}$$

dann gilt nach **D-2.2-7**

$$\mathbf{M_p}(\theta) = \{\langle D_1, \ldots, D_n; R_1, \ldots, R_m\rangle \in \mathbf{Str}(\sigma') \mid \text{für alle } i \text{ mit } 1 \leq i \leq m : R_i \in \bar{R}_i\} \quad (2.24)$$

Für eine beliebige Struktur $\langle D_1, \ldots, D_n; R_1, \ldots, R_m\rangle \in \mathbf{M}(\sigma)$ *gelte nun:*

$$\langle D'_1, \ldots, D'_{n'}; R'_1, \ldots, R'_{m'}\rangle := \mathbf{Red}_\theta(\langle D_1, \ldots, D_n; R_1, \ldots, R_m\rangle)$$

und sei σ_{pp} *ein Strukturtyp mit* $\mathbf{Str}(\sigma_{pp}) = \overline{\mathbf{Red}}_\theta(\mathbf{Str}(\sigma'))$. *Aus (2.24) folgt mit* **D-2.4-10**, **D-2.4-7** *und* **D-2.4-11d**:

$$\mathbf{M_{pp}}(\theta) = \{\langle D'_1, \ldots, D'_{n'}; R'_1, \ldots, R'_{m'}\rangle \in \mathbf{Str}(\sigma_{pp}) \mid \text{für alle } i \text{ mit } 1 \leq i \leq m' : R'_i \in \bar{R}'_i\} \quad (2.25)$$

Mit

$$A'_i := \{\langle D'_1, \ldots, D'_{n'}; R'_1, \ldots, R'_{m'}\rangle \in \mathbf{Str}(\sigma_{pp}) \mid R'_i \in \bar{R}'_i\}$$

für alle i *mit* $1 \leq i \leq m'$ *gilt auch*

$$\bigcap_{i=1}^{m'} A'_i = \mathbf{M_{pp}}(\theta)$$

Somit ist nach **D-2.2-6** $\sigma'' = \langle D'_1, \ldots, D'_{n'}; R'_1, \ldots, R'_{m'}; A'_1, \ldots, A'_{m'}\rangle$ *eine Strukturspecies mit* $\mathbf{M}(\sigma'') = \mathbf{M_{pp}}(\theta)$.

Das bedeutet nach **D-2.2-3**, dass die drei Strukturklassen unter kanonischen Transformationen invariant sind. Damit sind jedoch die Gegenstandsbereiche, auf die durch eine Theorie Bezug genommen wird, durch den isolierten Theoriekern nur formal bestimmt. Es fehlt noch jeder "inhaltliche" oder "konkrete" Bezug der Theorie auf näher spezifizierte Gegenstände der Wirklichkeit. Die Elemente des Theoriekerns reichen nicht zur Formulierung einer empirischen Behauptung.

Theorie-Elemente

In den Beispielen für empirische Behauptungen wurde die Beziehung zu beobachtbaren Gegenständen durch eine Menge intendierter Anwendungen der Theorie hergestellt. Eine solchermaßen angewandte Theorie wird auch *Theorie-Element* genannt. Solange wir es mit isolierten Theoriekernen zu tun haben, können wir entsprechend auch von isolierten Theorie-Elementen sprechen:

Definition D-2.4-12 (Isoliertes Theorie-Element) $\mathbf{T_i}(\theta)$ *ist ein* isoliertes Theorie-Element *einer Theorie* θ *gdw*$_{df}$ *es* $\mathbf{I}(\theta), \mathbf{K_i}(\theta), \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta)$ *gibt, so dass*

(a) $\mathbf{T_i}(\theta) = \langle \mathbf{K_i}(\theta), \mathbf{I}(\theta) \rangle$,

(b) $\mathbf{K_i}(\theta) = \langle \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta) \rangle$ *ist der isolierte Theoriekern der Theorie* θ*,*

(c) $\mathbf{I}(\theta) \subseteq \mathbf{M_{pp}}(\theta)$ *und*

(d) $\mathbf{I}(\theta)$ *ist die Menge der intendierten Anwendungen von* θ*.*

Durch **D-2.4-12d** werden Theorie-Elemente abhängig von pragmatischen Gesichtspunkten. Inhalt und Größe von $\mathbf{I}(\theta)$ hängen davon ab, worauf die Proponenten einer Theorie diese anwenden wollen oder was sie für typische Anwendungsfälle ihrer Theorie halten. In der historischen Entwicklung einer Theorie kann der Umfang von $\mathbf{I}(\theta)$ schwanken: Bemerkt man, dass der formale Apparat der Theorie auch erfolgreich auf Anwendungen in Bereiche ausgedehnt werden kann, die den ursprünglich intendierten Anwendungen verwandt sind, so kann $\mathbf{I}(\theta)$ entsprechend erweitert werden. Erweist sich aber die empirische Behauptung einer Theorie als nicht haltbar und wird der Grund dafür in einigen weniger typischen Elementen von $\mathbf{I}(\theta)$ gefunden, so kann es zu einer entsprechenden Verengung des Anwendungsbereiches kommen.

Bei vielen Anwendungen der klassischen Partikelmechanik (Planetenbahnen, Pendelbewegungen) ist keineswegs *a priori* klar, dass es sich bei den konkreten physischen Gegenständen in dieser Anwendung um Dinge handelt, die man als Partikel betrachten darf. Viele dieser Dinge sind weit davon entfernt, auch nur näherungsweise der typischen Vorstellung eines Masse*punktes* zu entsprechen. Die Rechtfertigung dafür, die Theorie dennoch auf diese Gegenstände anzuwenden, besteht im Erfolg der Anwendung.

In der Geschichte der Lingustik könnte man eine Ausweitung des Anwendungsbereichs einer Theorie in den Anwendungen der Schulgrammatiken der alexandrinischen Grammatiker für das Altgriechische auf das Lateinische und später andere europäische Sprachen seit dem Mittelalter sehen. Die Ausweitung des Anwendungsbereichs war motiviert von der Erkenntnis, dass zumindest einige Aussagen über die klassischen Sprachen auf die damals modernen "Volksprachen" übertragbar seien. Die häufig unzureichende Übertragbarkeit des grammatischen Kategoriensystems wurde auf den "unidealen" oder "weniger logischen" Charakter der Sprachen zurückgeführt.

In diesem Sinne entscheidet die Theorie so zumindest partiell über ihren eigenen Anwendungsbereich, dies wird in [Stegmüller 1973a, S. 112] auch als *Autodetermination* der Theorie bezeichnet. Wäre die Autodetermination völlig beliebig, so könnte eine Theorie nie widerlegt werden. Im Bereich der intendierten Anwendungen gibt es jedoch einen Kernbereich *typischer Anwendungen*, die in jedem Entwicklungsstadium der Theorie zu den intendierten Anwendungen gehören.

Empirischer Gehalt und empirische Behauptung

Davon, dass eine Theorie empirischen Gehalt hat, wollen wir sprechen, wenn ihr formaler Apparat nicht schon aus logisch-semantischen oder präsuppositionellen Gründen auf jede beliebige Beobachtung zutrifft, oder anders: wenn sie überhaupt durch mögliche Beobachtungen widerlegt werden kann. Dies ist immer dann der Fall, wenn nicht alle partiellen potentiellen Modelle auch zu Modellen der Theorie ergänzt werden können, wenn also gilt:

$$\overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\theta)) \subset \mathbf{M}_{\mathbf{pp}}(\theta) \tag{2.26}$$

Betrachtungen bezüglich des empirischen Gehalts sind demnach immer auf den Theoriekern bezogen.

Da der Theoriekern jedoch noch keinerlei Bezug zu tatsächlichen Beobachtungen oder Anwendungen der Theorie hat, reicht der Theoriekern allein als Grundlage für eine empirische Behauptung nicht aus. Theorie-Elemente bieten die für eine empirische Behauptung nötigen Bestandteile, falls der Theoriekern überhaupt empirischen Gehalt hat: neben dem formalen Apparat der Theorie eine Menge konkreter intendierter Anwendungen der Theorie. Als die empirische Behauptung eines Theorie-Elements soll die Aussage

$$\mathbf{I}(\theta) \subseteq \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\theta)) \tag{2.27}$$

aufgefasst werden.

Es entspricht dem Vorverständnis, dass die Gram1-Sprachtheorie empirischen Gehalt hat. Zu zeigen wäre, dass sie dies auch im oben spezifizierten Sinne hat. Betrachtet man **D-2.4-6** näher, so stellt man fest, dass **D-2.4-6ca** und **D-2.4-4e** in der Definition der kontextfreien Grammatik, auf die in **D-2.4-6** referiert wird, die einzigen Bedingungen sind, die keine Charakterisierungen sind. In **D-2.4-6ca** wird ein Verhältnis zwischen den Relationen $\rightarrow$ und $\uparrow^{\Sigma}$ hergestellt, in **D-2.4-4e** wird aufgrund von **D-2.4-3** und **D-2.4-5** ein Verhältnis zwischen $\mathbf{lex}, \rightarrow, \uparrow$ und $\uparrow^{\Sigma}$ hergestellt. Man gelangt deshalb zu folgenden Definitionen:

Definition D-2.4-13 (Potentielle Modelle kontextfreier Sprachen) x *ist ein* potentielles Modell einer kontextfreien Sprache ($x \in \mathbf{M_p}(\mathbf{kfS})$) *gdw*$_{df}$ *es* $L, D, \uparrow, \mathcal{L}, \Sigma, \Sigma^*, \uparrow', S, \rightarrow, \mathbf{lex}$ *gibt, so dass*

- **(a)** $x = \left\langle L, D, \Sigma, \Sigma^*, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, S, \rightarrow, \mathbf{lex} \right\rangle$,
- **(b)** $x = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$ *ist eine Sprache*,*
- **(c)** $\left\langle \Sigma, \Sigma^*, \uparrow^{\Sigma}, S, \rightarrow \right\rangle$ *ist eine kontextfreie Grammatik ohne Lexikon und*
- **(d)** $\mathbf{lex} \subseteq \Sigma \times D$.

Definition D-2.4-14 (Potentielles Modell einer Gram1-Sprache) *x ist ein* potentielles Modell einer Gram1-Sprache ($x \in \mathbf{M_p}(\textbf{Gram1-Sprache})$) *gdw$_{df}$ es $L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, \rightarrow, \textbf{lex}$ gibt, so dass*

(a) $x = \left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \textbf{lex} \right\rangle$,

(b) *x ist ein potentielles Modell einer kontextfreien Sprache,*

(c) *es paarweise voneinander verschiedene* $\mathsf{Art}, \mathsf{N}, \mathsf{V} \in \Sigma$ *und* $V_{\text{das}}, V_{\text{ein}}, V_{\text{dokument}}, V_{\text{findet}}, V_{\text{sieht}} \in D$ *gibt, so dass* **lex** *für diese genau die Instanzen*

$$\begin{array}{l} \textbf{lex}(\mathsf{Art}, V_{\text{das}}) \\ \textbf{lex}(\mathsf{Art}, V_{\text{ein}}) \\ \textbf{lex}(\mathsf{N}, V_{\text{Dokument}}) \\ \textbf{lex}(\mathsf{N}, V_{\text{Kind}}) \\ \textbf{lex}(\mathsf{V}, V_{\text{findet}}) \\ \textbf{lex}(\mathsf{V}, V_{\text{sieht}}) \end{array} \tag{2.28}$$

enthält.

In Einklang mit den D-2.4-7 zugrunde liegenden Überlegungen muss die Klasse der partiellen potentiellen Modelle von Gram1-Sprache folgendermaßen bestimmt werden:

Definition D-2.4-15 (Partielles potentielles Modell einer Gram1-Sprache) *x ist ein* partielles potentielles Modell einer Gram1-Sprache ($x \in \mathbf{M_{pp}}(\textbf{Gram1-Sprache})$) *gdw$_{df}$ es $L, D, \uparrow, \mathcal{L}$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$ *und*

(b) *es* $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \textbf{lex}$ *gibt, so dass*

$$\left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \textbf{lex} \right\rangle \in \mathbf{M_p}(\textbf{Gram1-Sprache})$$

Man kann nun zeigen:

Satz S-2.4-2 *Die Modelle von Sprache* sind genau die partiellen potentiellen Modelle von Gram1-Sprache.*

Beweis B-2.4-2 *Dazu ist zu zeigen, dass*

1. *es zu jeder Struktur $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$, die ein Modell von Sprache* ist, $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \textbf{lex}$ gibt, so dass $\left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \textbf{lex} \right\rangle$ potentielle Modelle von Gram1-Sprache sind und*

2. *für jedes potentielle Modell von Gram1-Sprache* $\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \mathbf{lex}\rangle$ *die Struktur* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ *ein Modell von Sprache* ist.*

1. *Sei* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ *ein Modell von Sprache*. Da* D *wegen* **D-1.2-4b** *und* **D-1.1-5b** *nichtleer ist und wegen* **D-1.2-4c** *abzählbar ist, hat* L *abzählbar unendlich viele Elemente.*[15] *Man bilde eine Abzählung* l *von* L*, wobei* l_n *mit* $n \in \mathbb{N}_0$ *jeweils das* (n)*te Element der Abzählung ist. Diese Abzählung soll nun in der folgenden Weise als Grundlage für eine "Gödelisierung" der Elemente der Menge* Σ^* *dienen: Man nehme die nächsten vier auf* l_0 *folgenden Elemente dieser Abzählung als* $l_1 = \mathsf{S}, l_2 = \mathsf{Art}, l_3 = \mathsf{N}, l_4 = \mathsf{V}, l_5 = \mathsf{NP}, l_6 = \mathsf{VP}$*.* Σ *wähle man als* $\{\mathsf{S}, \mathsf{Art}, \mathsf{N}, \mathsf{V}\}$*.* Σ^* *sei nun einfach* L *selbst. Wählt man nun* $\uparrow^{\Sigma}$ *als die Operation:*

$$\uparrow^{\Sigma}(l_m, l_n) := l_{m+7n}$$

für alle $1 \leq m \leq 7$ *und alle* $n \in \mathbb{N}_0$*, so ist offensichtlich, dass für* $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma^*}\rangle$ **D-1.1-5d** *gilt. Dass auch* **D-1.1-5e** *gilt, folgt daraus, dass es für beliebige gegebene* $k \in \mathbb{N}_0$ *genau eine Lösung von*

$$k = m + 7n$$

gibt, bei der $1 \leq m \leq 7$ *gilt, nämlich diejenige Lösung bei der* n *das Ergebnis der ganzzahligen Division von* k *durch 7 ist und* m *der Rest dieser Division; damit ist es ausgeschlossen, dass*

$$\uparrow^{\Sigma^*}(l_m, l_n) = \uparrow^{\Sigma^*}(l_{m'}, l_{n'})$$

für $m' \neq m$ *oder* $n' \neq n$*.*

Da $m > 0$ *und* $n \geq 0$ *ist immer* $m + 7n > 0$*. Für beliebige* $l_m \in \Sigma, l_n \in \Sigma^*$ *gilt also* $\uparrow^{\Sigma^*}(l_m, l_n) \neq l_0$*. Damit wäre für* $\epsilon = l_0$ **D-1.1-5fa** *gezeigt.*

Durch einen Reduktionsbeweis kann gezeigt werden, dass es auch keine echte Teilmenge von Σ^* *gibt, in der* l_0 *enthalten wäre und die unter der Verknüpfung durch* $\uparrow^{\Sigma^*}$ *mit Elementen aus* Σ *geschlossen wäre, also dass* **D-1.1-5fb** *für* $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma^*}\rangle$ *und* $\epsilon = l_0$ *gilt: Angenommen, es gäbe eine echte Teilmenge* $M \subset \Sigma^*$ *mit* $l_0 \in M$*, so dass für alle* $l_{m'} \in \Sigma, l_{n'} \in M$ *gilt, dass* $\uparrow^{\Sigma^*}(l_{m'}, l_{n'}) \in M$*. Dann sei* i *das kleinste Element von* $\mathbb{N}_0$*, derart dass* $l_i \in \Sigma^* \setminus M$*. Dann gilt nach der Annahme für alle* $i' \in \mathbb{N}_0$*, wenn für ein* i'' *mit* $1 \leq i'' \leq 7$ *gilt, dass*

$$\uparrow^{\Sigma^*}(l_{i''}, l_{i'}) = l_i \tag{2.29}$$

[15] Die Unendlichkeit von L ergibt sich aus der unbegrenzten Verlängerbarkeit von Listen, die Abzählbarkeit kann durch Angabe eines Gödelisierungsverfahrens für die Elemente von L aufgrund der Abzählung von D gezeigt werden.

dann $l_{i'} \notin M$. (2.29) gilt jedoch genau für das Ergebnis i' der ganzzahligen Division von i durch 7 und den Rest i''. Da das Ergebnis der ganzzahligen Division eines $n \in \mathbb{N}_0$ durch 7 immer kleiner als n ist, folgt $i' < i$. Dann ist jedoch i nicht das kleinste Element j von $\mathbb{N}_0$, derart dass $l_j \in \Sigma^* \setminus M$ ist, da auch $l_{i'} \in \Sigma^* \setminus M$. Dies widerlegt die Annahme und beweist **D-1.1-5fb** *für $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma^*} \rangle$ und $\epsilon = l_0$. Aus der Wahl von Σ und Σ^* geht unmittelbar hervor, dass diese Mengen nicht leer sind. Damit ist gezeigt, dass $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma^*} \rangle$ eine Listenstruktur ist.*

Die Bedingungen an $\rightarrow$ und **lex** *in potentiellen Modellen von Gram1-Sprache können trivialerweise durch Wahl von*

$$\rightarrow := \Sigma^* \times \Sigma^*$$

und

$$\mathbf{lex} := \Sigma \times D$$

erfüllt werden.

2. *Die umgekehrte Behauptung folgt direkt aus* **D-2.4-15** *mit* **D-2.4-14** *und* **D-2.4-13**.

Nach diesen Präliminarien können wir uns dem isolierten Theoriekern

$$\mathbf{K_i}(\textbf{Gram1-Sprache}) = \langle \mathbf{M_p}(\textbf{Gram1-Sprache}), \mathbf{M}(\textbf{Gram1-Sprache}),\ \mathbf{M_{pp}}(\textbf{Gram1-Sprache})\rangle \tag{2.30}$$

zuwenden, um nach seinem empirischen Gehalt zu fragen.

Es gilt (2.26) für θ = **Gram1-Sprache**, da man sich leicht vergegenwärtigen kann, dass alle von Gram1 erzeugten Sätze die Länge 5 haben. Sei also $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\textbf{Gram1-Sprache}))$, dann gilt für alle $s \in \mathcal{L}$: $\textbf{länge}(s) = 5$. Es gibt jedoch Sprachen* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}'\rangle$, und damit nach **S-2.4-2** auch potentielle Modelle von Gram1-Sprache, deren Menge $\mathcal{L}'$ Ausdrücke enthält, die nicht von der Länge 5 sind; denn L enthält Ausdrücke jeglicher Länge und in einer Sprache* kann $\mathcal{L}'$ eine beliebige Teilmenge von L sein.[16]

[16] Das Beispiel mag den falschen Eindruck nahelegen, als habe die Empirizität von $\mathbf{K_i}$(**Gram1-Sprache**) ihre Ursache in der begrenzten Länge der durch Gram1 erzeugten Ausdrücke. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie unten deutlicher werden wird. Auch Grammatiken, die unendlich viele Ausdrücke ohne eine obere Grenze für die Ausdruckslänge erzeugen, schließen Teilklassen von L aus.

Partielle empirische Testbarkeit

Für $\theta =$ **Gram1-Sprache** ist auch leicht vorstellbar, wie eine Überprüfung der Behauptung (2.27) vonstatten gehen könnte. $\mathbf{I}$(**Gram1-Sprache**) ist eine durch die Forderung, dass die für ein beliebiges $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle \in \mathbf{I}$(**Gram1-Sprache**) in $\mathcal{L}$ enthaltenen Ausdrücke genau diejenigen sein müssen, die die Lernenden des fraglichen Kurses nach dem betreffenden Kursabschnitt tatsächlich äußern, charakterisierte Teilmenge von $\mathbf{M_{pp}}$(**Gram1-Sprache**). Durch Beobachtung der Lernenden gewinnt man möglicherweise Elemente einer solchen Menge $\mathbf{I}$(**Gram1-Sprache**), die man daraufhin überprüfen kann, ob sie in $\overline{\mathbf{Red}}$($\mathbf{M}$(**Gram1-Sprache**)) enthalten sind.

In mindestens einer Hinsicht ist das hier entworfene Bild zu einfach und überhaupt nur bei einer so minimalen Sprachtheorie wie **Gram1-Sprache** diskutabel. Die Theorie beabsichtigt etwas über die Sprach*fähigkeiten* der Lernenden nach einem bestimmten Kursabschnitt zu sagen. Im Allgemeinen jedenfalls wäre es illusorisch anzunehmen, dass sie alle Sätze, die sie in der Lage wären zu äußern, auch tatsächlich äußerten. Zwar wären Testverfahren denkbar, die alle von Gram1 erzeugten Sätze bei den Probandinnen und Probanden auch tatsächlich evozieren, aber wie sollte so ein Testverfahren ausschließen können, dass nicht auch andere Sätze durch ein modifiziertes Testverfahren evozierbar wären? Bei sehr viel umfangreicheren Satzmengen ist auch die Anwendung derartiger Testverfahren unrealistisch.

In der Regel werden wir es also mit einer Situation zu tun haben, in der wir über eine Reihe von evozierten Ausdrücken $\mathcal{L}^+$ und vielleicht noch eine Reihe anderer Ausdrücke $\mathcal{L}^-$ verfügen, von denen wir wissen, dass sie nicht evozierbar sind. Diese Daten reichen nicht hin, die Menge $\mathcal{L}$ in den intendierten Anwendungen $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ eindeutig zu bestimmen. Aufgrund dieser Daten weiß man von $\mathcal{L}$ nur so viel, dass

$$\mathcal{L}^+ \subseteq \mathcal{L}$$

und

$$\mathcal{L}^- \subseteq L \setminus \mathcal{L}$$

Führen wir für Fälle wie den vorliegenden die folgende Sprechweise ein:

Definition D-2.4-16 (Partielle Bestimmung einer Menge) *Seien M^+, M^- und M Mengen. Dann heißt $\langle M^+, M^-\rangle$ auch eine* partielle Bestimmung *von M gdw*$_{df}$

(a) $M^+ \subseteq M$ *und*

(b) $M^- \cap M = \emptyset$.

Durch die verfügbaren Testverfahren gewinnen wir also keine vollständigen intendierten Anwendungen, sondern einzelne Bestimmungsstücke der intendierten Anwendungen bleiben partiell bestimmt. Modelltheoretisch kann diese Situation so beschrieben werden, dass wir Testergebnisse formal als Strukturen beschreiben, die aus partiellen potentiellen Modellen durch Ersetzung einzelner Relationen durch partielle Bestimmungen dieser Relationen gewonnen werden.

Sei also $\langle L, D, \uparrow, \langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle \rangle$ das Ergebnis eines Tests von **Gram1-Sprache**. Dann ist es sinnvoll davon zu sprechen, dass der Test **Gram1-Sprache** stützt, wenn es eine von $\langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle$ partiell bestimmte Menge $\mathcal{L}$ gibt, so dass $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\mathbf{Gram1\text{-}Sprache}))$. Gibt es keine derartige Menge $\mathcal{L}$ erschüttert der Test **Gram1-Sprache**.

Um das Verhältnis zwischen Strukturen, die einzelne nur partiell bestimmte Mengen enthalten und solchen, bei denen sämtliche Mengen vollständig bestimmt sind, leichter fassen zu können, wird für Strukturen die folgende Sprechweise eingeführt:

Definition D-2.4-17 (Partielle Bestimmung einer Struktur) *Seien x und y Strukturen. Dann ist x eine partielle Bestimmung von y, gdw$_{df}$ es Grundmengen $D_1, \ldots, D_n$ und Relationen $R_1, \ldots, R_m, R'_1, \ldots, R'_m$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle D_1, \ldots, D_n; R_1, \ldots, R_m \rangle$,

(b) $y = \langle D_1, \ldots, D_n; R'_1, \ldots, R'_m \rangle$ *und*

(c) *für alle i mit $1 \leq i \leq m$ gilt:*

- **(ca)** $R_i = R'_i$ *oder*
- **(cb)** R_i *ist eine partielle Bestimmung von* R'_i.

Das Verhältnis von intendierten Anwendungen und Testergebnissen kann man sich nun so vorstellen: Jedes Testergebnis entspricht einer intendierten Anwendung, jedoch werden durch ein Testergebnis möglicherweise einige Relationen einer intendierten Anwendung nur partiell bestimmt, Tests ergeben also in einigen Fällen nur partielle Bestimmungen intendierter Anwendungen. Für jedes Ergebnis $t = \langle D_1, \ldots, D_n; R_1, \ldots, R_m \rangle$ eines Tests einer Theorie θ gibt es also ein $x \in \mathbf{I}(\theta)$ und $R'_1, \ldots, R'_m$, so dass $x = \langle D_1, \ldots, D_n; R'_1, \ldots, R'_m \rangle$ und für alle i mit $1 \leq i \leq m$ gilt: $R_i = R'_i$ oder R_i ist eine partielle Bestimmung von R'_i.[17]

[17] Die Grundmengen $D_1, \ldots, D_n$ sind hier von der partiellen Bestimmtheit ausgenommen. Wegen der prinzipiellen Offenheit und Veränderbarkeit des Lexikons natürlicher Sprachen möchte man eventuell aber auch eine partielle Bestimmbarkeit der Mengen L und D in Sprachen* zulassen. Ein Zwang dazu besteht jedoch nie, da D im Zweifel ohne Folgen für $\mathcal{L}$ "maximal" gewählt werden kann: D kann in jeder intendierten Anwendung als die Menge aller überhaupt physiologisch oder physisch äußerbaren Zeichen und L entsprechend als die Menge von deren denkbaren Verkettungen gewählt werden.

Für Fälle, in denen Tests nur partiell bestimmte intendierte Anwendungen liefern, macht es Sinn, den Begriff des partiell bestimmten isolierten Theorie-Elements einzuführen, das sich von seinem vollständig bestimmten Äquivalent dadurch unterscheiden kann, dass an die Stelle einer Menge vollständig bestimmter intendierter Anwendungen eine Menge tritt, die auch partiell bestimmte intendierte Anwendungen enthalten kann.

Definition D-2.4-18 (Partiell best. iso. Theorie-Element) $\mathbf{T_i}(\theta) = \langle \mathbf{K_i}(\theta), \mathbf{I}(\theta)\rangle$ *ist ein* partiell bestimmtes isoliertes Theorie-Element *einer Theorie* θ *gdw*$_{df}$ *es ein isoliertes Theorie-Element* $\langle \mathbf{K_i}(\theta), \mathbf{I}'(\theta)\rangle$ *gibt, so dass es zu jedem* $x \in \mathbf{I}(\theta)$ *ein* $y \in \mathbf{I}'(\theta)$ *gibt, das* x *partiell bestimmt.*

Analog zu **B-2.4-5** wird die mit einem partiell bestimmten isolierten Theorie-Element $\langle \mathbf{K_i}(\theta), \mathbf{I}(\theta)\rangle$ einer Theorie θ verknüpfte Behauptung durch den Satz

T-2.4-1 *Für alle* $x \in \mathbf{I}(\theta)$ *gibt es ein* $y \in \mathbf{M_{pp}}(\theta)$, *so dass* x y *partiell bestimmt und*

$$y \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\theta))$$

wiedergegeben.

Von dieser Art von Unvollständigkeit sollte eine weitere unterschieden werden, so dass sich die folgenden Arten von Unvollständigkeit ergeben:

1. Es ist in der Regel unmöglich, Tests bezüglich aller intendierten Anwendungen durchzuführen. Bezieht sich beispielsweise jede intendierte Anwendung einer Sprachtheorie auf das Sprachverhalten *einer* Sprecherin oder *eines* Sprechers, so wird man sich in der Regel mit Stichproben begnügen müssen.

2. Die andere Art von Unvollständigkeit bezieht sich auf die oben beschriebene partielle Bestimmung einzelner Relationen in einzelnen Anwendungen.

Beide Arten unvollständiger Testbarkeit sind keine Spezifika sprachlicher Theorien, ebensowenig Erscheinungen, die nur im Bereich der Theoriebildung über soziales Verhalten zu finden wären. Bei wohl allen interessanten naturwissenschaftlichen Theorien sind beide Arten von Unvollständigkeit zu finden: Betrachten wir beispielsweise die Sneedsche Rekonstruktion der klassischen Partikelmechanik:

1. Es ist offensichtlich, dass nicht alle Systeme, auf die die Theorie anwendbar sein soll, auch tatsächlich untersucht werden können; denn nach der Intention der Theorie sollten dazu *alle* Planetensysteme gehören; bis auf die Planeten unseres Sonnensystems kann jedoch über die Existenz, geschweige denn über die Bahnen von Planeten in anderen Planetensystemen, nichts Verlässliches gesagt werden.

2. Andererseits gehört zu den nicht-theoretischen Relationen der Sneedschen Rekonstruktion auch die Ortsfunktion, die Partikeln zu bestimmten Zeitpunkten Ortsvektoren zuordnet. Da die Menge der Zeitpunkte jedoch mit der Menge $\mathbb{R}$ gleichgesetzt wird, also als Kontinuum betrachtet wird, ist es unmöglich, die Ortsfunktion tatsächlich für alle Zeitpunkte zu bestimmen. Nur eine endliche Anzahl von "Stichproben" sind möglich, deren Ergebnisse zu einer kontinuierlichen Funktion zu inter- oder extrapolieren sind. Für die richtige Wahl der Art der Interpolation geben zwar die tatsächlich gemessenen Werte starke Anhaltspunkte, ohne Annahmen über die im System wirkenden Kräfte können diese jedoch die zu interpolierenden Werte nicht eindeutig bestimmen.[18] Kräfte gehören zu den Relationen, die sich außerhalb der Theorie nicht bestimmen lassen, die also in Bezug auf die Theorie der klassischen Partikelmechanik theoretisch sind. In diesem Sinne setzen Annahmen über oder Bestimmungen von Kräften immer erfolgreiche Anwendungen der Theorie voraus: Interpolationen, die auf solchen Werten beruhen, sind nicht als von der Theorie unabhängig gewonnene Bestimmungen von Relationen zu sehen. In einem strengen Sinne theorieunabhängig können nur die endlich vielen "Stichprobenwerte" gewonnen werden.

Bevor wir uns weiteren strukturellen Fragen linguistischer Theorien zuwenden, lohnt es sich, die Partialität der Datenerhebung für Grammatiktheorien eingehender zu analysieren.

[18] Ein Beispiel für diesen Sachverhalt bietet das Abtast-Theorem, das besagt, dass die Bewegung eines periodisch schwingenden Körpers durch in konstanten Zeitintervallen T gemessene Ortsvektoren nur bis zu einem Frequenzanteil von $1/2T$ bestimmt werden kann, betrachtet man die Bewegung des Teilkörpers als Superposition sinoidaler Teilbewegungen. Teilbewegungen des Körpers mit einer größeren Frequenz als $1/2T$ lassen sich durch diese Messungen gar nicht bestimmen.

Kapitel 3

Grammatikalität und isolierte Grammatiktheorie-Elemente

Geht man von Minitheorien wie **Gram1-Sprache** über zu Theorien, die das Sprachverhalten von Sprecherinnen und Sprechern bezüglich ihrer Muttersprache beschreiben sollen – wir wollen kurz vom Sprachverhalten von Muttersprachlern *(native speakers)* sprechen – so wird man immer der Unterscheidung von grammatisch wohlgeformten und nicht-wohlgeformten Ausdrücken (z.B. Sätzen) begegnen. Die Ausdrücke *grammatische Wohlgeformtheit* und *Grammatikalität* sollen hier synonym verwendet werden. Es ist festzuhalten, dass Grammatikalität immer auf eine bestimmte natürliche Sprache zu beziehen ist, auch wenn es hier nicht in jedem Fall ausdrücklich genannt wird. Als Menge $\mathcal{L}$ in einer Sprache* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$ wird in solchen Theorien die Menge der grammatisch wohlgeformten Ausdrücke verstanden.

Metatheoretische Überlegungen von Linguisten haben sich immer wieder auf den Begriff der Grammatikalität und mit ihm zu verknüpfende Testverfahren bezogen. Die Überlegungen befassten sich im Wesentlichen mit den folgenden Fragen:

- Wie lässt sich die Grammatikalität eines sprachlichen Ausdrucks testen?
- Wie verhält sich die Grammatikalität eines Ausdrucks zu seiner tatsächlichen Äußerung?
- Wie verhält sich Grammatikalität zu sprachlichen Intuitionen von Sprecherinnen und Sprechern?
- Wie verhält sich die Endlichkeit der Menge tatsächlicher Äußerungen zu der "Offenheit" der Menge grammatisch wohlgeformter Ausdrücke?

3.1 Korpora und Testsatzsammlungen

Bei Sprachen, die nicht mehr gesprochen werden, stehen in der Regel nur Textsammlungen zur Verfügung, die Aufschluss darüber geben können, welche Ausdrücke in dieser Sprache wohlgeformt sind. Solche Sammlungen werden als *Korpora* einer Sprache bezeichnet. Korpora liefern jedoch ausschließlich Elemente von $\mathcal{L}^+$. Unter realistischen Annahmen ist ausgeschlossen, dass

$$\mathcal{L}^+ = \mathcal{L}$$

da kein Korpus alle Ausdrücke beinhalten wird, die von Muttersprachlern als grammatisch wohlgeformt angesehen wurden. Dies gilt natürlich auch für die oft als *Thesauri* bezeichneten, die vollständige Erfassung aller verfügbaren Texte anstrebenden Korpora.

Wie ist in einer solchen Situation überhaupt eine Hypothese über $\mathcal{L}$ zu entwickeln, da ja jeder Ausdruck $l \in L \setminus \mathcal{L}^+$ zu $\mathcal{L}$ gehören oder nicht gehören kann, $\mathcal{L}$ also abgesehen von der Bedingung $\mathcal{L}^+ \subseteq \mathcal{L}$ völlig unbestimmt ist? Die Sprachforscherin oder der Sprachforscher ist im Allgemeinen bemüht, sich aufgrund des Korpusmaterials eine gewisse Sprachkompetenz anzueignen, also die "tote" Sprache zu erlernen. Zu diesem Sprachlernprozess gehört, wie auch bei anderen Sprachlernprozessen, mehr als die Herausbildung einer Fähigkeit, Grammatikalitätsurteile abzugeben, sondern im Wesentlichen besteht dieser Lernprozess in der Ausbildung der Fähigkeit, Texte zu verstehen, eine Fähigkeit, die also neben den im engeren Sinne grammatischen Fähigkeiten semantische einschließt und die aufgrund des bloßen Textmaterials nicht erworben werden kann, sondern einiger Zusatzinformationen zum Textmaterial bedarf, die die Entwicklung von Bedeutungshypothesen unterstützen. In günstigen Fall stehen zur Bedeutungserschließung selbst wieder historisch-linguistische Daten zur Verfügung, wie Kontaktsprachen mit Wortentlehnungen oder gut bekannte historisch neuere Sprachzustände der fraglichen Sprache.

Weitere Zusatzinformationen können aus so unterschiedlichen Daten wie archäologischen Informationen über den Fundort und dem mutmaßlichen pragmatischen Kontext der gefundenen Texte, Überlieferungen oder im besten Fall beigegebenen Übersetzungen[1] bestehen. Dieser Lernprozess ist also alles andere als un- oder vortheoretisch, indem er verschiedenste sprach-, kultur- und sozialwissenschaftliche Theorien miteinbeziehen kann. Die philologischen Fähigkeiten, die durch einen derartigen Lernprozess erworben werden, sind für die Beantwortung von Fragen aus den verschiedensten geisteswissenschaftlich-historischen Bereichen von Bedeutung und der grammatiktheoretische ist dabei kaum besonders hervorzuheben. Für die Grammatiktheorie ergibt sich aus diesem Lernprozess jedoch

[1] Vgl. z.B. den Rosetta-Stein, der Texte in ägyptischer Hieroglyphenschrift, demotischer Schrift und in Griechisch enthielt. Erst die Hypothese der Übersetzungsäquivalenz dieser Texte machte die Entzifferung der ägyptischen Texte möglich.

der Nutzen, dass die Philologinnen oder Philologen, die eine tote Sprache erlernt haben, eine gewisse Fähigkeit erworben haben, Grammatikalitätsurteile zu fällen und damit $\mathcal{L}^+$ um Ausdrücke, die nicht im Korpus enthalten sind, zu erweitern und auch einige Elemente von $\mathcal{L}^-$ zu bestimmen.

Vertrauen in diese Fähigkeit beruht natürlich auf einer Reihe von Annahmen über die Natur der Sprachfähigkeit:

- Die Klasse möglicher natürlicher Sprachen ist gegenüber der Klasse möglicher Sprachen* stark eingeschränkt durch Vorgaben der generellen Sprach(lern)fähigkeit des Menschen.

- Diese Sprach(lern)fähigkeit ist weitestgehend gegenüber ethnischen Differenzen invariant. Diese These jedenfalls scheint für die Gegenwartssprachen millionenfach und weltweit durch den Spracherwerb der Nachkommen von Migranten hinreichend gestützt zu werden.

- Die Sprach(lern)fähigkeit ist weitestgehend gegenüber kulturellen Differenzen invariant, oder (wo dies bestritten wird) mögliche Varianzen können durch einen Prozess der "Einfühlung" in die fremde Kultur zu einem wesentlichen Teil kompensiert werden.

- Die Sprach(lern)fähigkeit des Menschen erlaubt es, auch unter den Bedingungen eines Erwerbs einer nicht-ersten Sprache die Urteilsfähigkeit für Grammatikalität soweit auszubilden, dass entschieden werden kann, ob ein Ausdruck als sicher grammatisch wohlgeformt, sicher nicht grammatisch wohlgeformt oder als unsicher zu beurteilen ist. Von dem hohen Grad an Fallibilität solcher Urteile und der Größe des anzusetzenden Unsicherheitsbereichs zeugen die Resultate des Fremdsprachenunterrichts, solange der Fremdsprachenunterricht nicht durch aktive Sprachpraxis ergänzt werden kann. Dabei hat der Fremdsprachenunterricht auch ohne weitgehende Praxis im Allgemeinen durch eine didaktisch motivierte und nicht von historischen Zufälligkeiten bestimmte Textauswahl sehr viel günstigere Ausgangsbedingungen als das rekonstruierende Lernen "toter" Sprachen.

Die "klassischen" antiken Sprachen vereinigen die günstigsten Voraussetzungen für den Erwerb einer Grammatikalitätskompetenz. Darüber hinaus findet sich noch "metasprachliches" Material durch die Beschreibungen der antiken Grammatiker, deren Werk jedoch wegen des stark normativen Charakters mit rhetorischen oder logisch-philosophischen Absichten nur sehr bedingt zu Rate gezogen werden kann.

So unerlässlich das Erlernen einer Sprache für die linguistische Theorie*bildung* sein mag, bei modernen Sprachen ist die Sprachkompetenz des Linguisten in der zu untersuchenden Sprache jedenfalls nicht für die Ausweitung von $\mathcal{L}^+$ und $\mathcal{L}^-$ Voraussetzung. Gezielt lassen sich diese Mengen durch Evozierungen von Äußerungen bei Testpersonen erweitern oder durch Beobachtung der Reaktion von

Testpersonen auf vorgegebene Äußerungen. (In vielen Fällen beschränkt man sich auf "metasprachliche" Reaktionen wie Grammatikalitätsurteile von Testpersonen, dazu im nächsten Abschnitt mehr.) Der Grammatiktheoretiker, der die kontroversen oder in Sprachen latent schwierig adäquat zu beschreibenden Bereiche kennt, kann solche Tests sehr gezielt auf Problembereiche hin lenken und versuchen, auf diese Weise aussagekräftige Korpora oder besser Sammlungen von grammatisch wohlgeformten und nicht wohlgeformten Ausdrücken zusammenzustellen. Solche *Testsatzsammlungen* lösen das Problem der Bestimmung von $\mathcal{L}$ aufgrund von Stichproben $\mathcal{L}^+$ und $\mathcal{L}^-$ nicht, sie stellen nur für eine bestimmte Art von Theoriebildung besonders geeignete Daten zur Verfügung.

3.2 Norm und Gebrauch

Auch wenn sehr umfangreiche Korpora in einer lebenden Sprache vorliegen, wird man sich im Allgemeinen bei der partiellen Bestimmung von $\mathcal{L}$ nicht mit der Auswertung der Korpora begnügen, da man zur Stützung oder Erschütterung grammatischer Hypothesen möglicherweise ausgesuchte Ausdrücke zu $\mathcal{L}^+$ oder $\mathcal{L}^-$ hinzufügen möchte, das Korpus also um eine gezielt zusammengestellte Testsatzsammlung erweitern möchte. Das Korpus selber liefert ja auch keinerlei Anhaltspunkte für die Elemente von $\mathcal{L}^-$. Aber noch ein anderer Grund kann dazu führen, das die Datenerfassung sich nicht mit den Korpora begnügt: Nicht alle auch von Muttersprachlern geäußerten Sätze müssen grammatisch wohlgeformt sein. Unter ungünstigen Performanzbedingungen (Müdigkeit, Stress, starke Ablenkung u.ä.) neigen Sprecherinnen und Sprecher zu Äußerungen, die stark von Äußerungen abweichen, die sie selbst und andere als grammatisch wohlgeformt klassifizieren. Als grammatisch wohlgeformt werden nach dieser Auffassung Äußerungen von Muttersprachlern unter "idealen Performanzbedingungen" aufgefasst. Unter nicht-idealen Bedingungen können durch Störeinflüsse verschiedenste Arten von Abweichungen vom Ideal in der Sprachperformanz beobachtet werden. Um unter den tatsächlichen Äußerungen die "gestörten" Äußerungen zu finden, werden bei Muttersprachlern vielfach Grammatikalitätsurteile in der Annahme, dass die rezeptive Performanz zuverlässiger als die produktive sei, evoziert. Dies kann grob klassifiziert auf zweierlei Weise geschehen:

- Der Probandin oder dem Probanden ist bewusst, dass ihre oder seine Grammatikalitätsurteile von Interesse sind, wenn Äußerungen vorgelegt werden. Im einfachsten Fall wird direkt nach der Grammatikalität der Äußerungen gefragt.[2]

[2] Dies soll nicht zwangsläufig so zu verstehen sein, dass der Begriff *Grammatikalität* benutzt werden muss; oft werden Fragen gestellt, wie:

T-3.2-1 *Kann man das so sagen?*

- Der Probandin oder dem Probanden ist nicht bewusst, dass ihre oder seine Grammatikalitätsurteile von Interesse sind. Die Äußerungen werden unter einem Vorwand vorgelegt (im günstigsten Fall in einen Redekontext eingebaut) und die Reaktion (z.B. evtl. Irritationen, Häsitationen o.ä.) des Gegenübers wird gemessen.

Die zweite Methode führt nur in günstigen Fällen zu klaren Ergebnissen. Reaktionen von Probandinnen oder Probanden können oft in verschiedener Weise gedeutet werden und können je nach Testperson und Situation auch sehr unterschiedlich ausfallen. Nur in extremen Fällen führen grammatische Fehler zu ernsten Störungen des inhaltlichen Verständnisses von Äußerungen. Das inhaltliche Verständnis natürlichsprachlicher Äußerungen ist relativ robust, da natürliche Sprachen in vieler Hinsicht Redundanzen aufweisen: Kasusrollen beispielsweise sind in vielen Sprachen sowohl morphologisch sowohl durch Kasus oder Prä- oder Postpositionen markiert als auch durch Wortstellungsmerkmale. So kann in diesen Fällen die Wortstellung oft für die intendierte Interpretation sorgen, auch wenn die Kasusendung falsch gewählt ist.

Beispiel B-3.2-1 *Ich sehen dem Gauner.*

ist trotz zweier grammatischer Fehler im morphologischen Bereich problemlos verständlich. Eventuelle inhaltliche Erwartungen in einem Äußerungskontext und Übung mit nicht-muttersprachlichen Sprechern kann das ihre zur Robustheit des Verständnisses beitragen. Grammatische Abweichungen ohne oder mit nur geringen Auswirkungen auf die Verständlichkeit werden oft ohne feststellbare Irritationen übergangen.

Zu klareren Ergebnissen führt in der Regel die erste Methode der direkten Befragung der Testpersonen. Jedoch tendieren die Antworten je nach grammatikalischer Bildung der Testpersonen dahin, nur die Normen von Schulbüchern oder präskriptiven Ratgebern widerzuspiegeln und sich von den Regularitäten des tatsächlichen Sprachgebrauchs (zumindest des Sprachgebrauchs der gesprochenen Sprache) zu entfernen. So urteilen viele Sprecherinnen und Sprecher, dass der (inzwischen sehr verbreitete) Gebrauch der Hauptsatzwortstellung in *weil*-Sätzen, wie beispielsweise

Beispiel B-3.2-2 *Ich habe Peter gestern besucht, weil er ist im Moment schwer krank.*

ungrammatisch sei, auch wenn sie selbst Satzstellungen dieser Art regelmäßig benutzen und im alltäglichen Gebrauch darauf auch nicht irritiert reagieren. Hier begegnet die Sprachforscherin oder der Sprachforscher einem Phänomen, das auch aus anderen sozialwissenschaftlichen und psychologischen Bereichen bekannt ist: Probandinnen und Probanden geben oft unzuverlässige Auskunft über die ihre Handlungen leitenden Prinzipien, da diese oft verzerrend rationalisiert oder bewussten Normen subsumiert werden; Introspektion gilt von daher als unsichere

Erkenntnisquelle. Hier ist dieses Caveat auf die introspektive Einsicht in das eigene Sprachverhalten zu übertragen. Allerdings scheinen zumindest die positiven Grammatikalitätsurteile das passive Sprachverhalten in dem Sinne hinreichend zuverlässig widerzuspiegeln, dass Sätze die als grammatisch wohlgeformt eingestuft werden, auch ohne Irritationen akzeptiert werden, obgleich sie möglicherweise von derselben Probandin oder demselben Probanden nie geäußert würden, da sie zu einem von der Testperson aktiv nie benutzten Sprachregister gehören. So wird beispielsweise im Deutschen die Verwendung der Präposition *wegen* mit dem Genitiv auch von Sprecherinnen und Sprechern irritationslos akzeptiert und als korrekt klassifiziert, die diese Präposition selbst ausnahmslos mit dem Dativ verwenden.

Aber auch negative Grammatikalitätsurteile werden oft von Linguistinnen und Linguisten herangezogen, wo sie höchstwahrscheinlich nicht auf sprachnormierende Einflüsse zurückzuführen sind, weil die fraglichen Sprachkonstrukte nicht Gegenstand solcher Normen sind. Die negativen Reaktionen, die die Wortstellung im Satz

Beispiel B-3.2-3 *Nicht der beste Freund, sondern Peter gab das Geschenk ihr.*

mit unbetontem *ihr* hervorrufen kann, sind kaum auf sprachnormierende Einflüsse zurückzuführen, da solche Wortstellungsrestriktionen für Pronomina nicht zu den Sprachnormen gehören, die Muttersprachlern während ihrer Ausbildung beigebracht werden.

In der angewandten Linguistik, besonders bei der Entwicklung von Computeranwendungen mit Parsing- oder Sprachverstehenskomponenten, kann der tatsächliche Sprachgebrauch sehr stark ins Zentrum des Untersuchungsinteresses rücken, da das maschinelle System möglichst mit allen tatsächlich vorkommenden Arten von Störungen umzugehen in der Lage sein soll. Während es prinzipiell denkbar wäre, eine Performanztheorie zu entwickeln, die die Relation zwischen grammatisch wohlgeformten Äußerungen und ihren tatsächlichen Realisierungen beschriebe, wird in Anwendungen durchweg aus praktischen Gründen eine etwas andere Akzentsetzung gewählt: Mit den Mitteln formaler Grammatiken werden umfassendere Ausdrucksmengen als die grammatisch wohlgeformten beschrieben, diese "Performanz-" oder "Sprechgrammatiken" werden dann mit einer gewissen Fehlertoleranz auf die tatsächlichen Äußerungen angewandt. Die Grammatik kommt also gewissermaßen dem Gebrauch entgegen.

Für sprachdidaktische Zwecke, z.B. im Fremdsprachenunterricht, kann es angebracht sein, normative Aspekte der Sprache bei der Entwicklung von Lerngrammatiken und Lernsystemen einzubeziehen.

Diese anwendungsorientierten Varianten des Grammatikalitätsbegriffs sollen hier unberücksichtigt bleiben.

3.3 Grammatikalität als partiell und approximierend zu bestimmendes Prädikat

Nach dem oben Gesagten kann Grammatikalität nicht vollständig durch Sprachverhalten bestimmt werden: Nicht jeder grammatisch wohlgeformte Ausdruck muss auch tatsächlich geäußert werden, und nicht jeder geäußerte Ausdruck muss auch tatsächlich wohlgeformt sein; dies gilt höchstens, wenn die Äußerungsbedingungen dem Ideal hinreichend nahe sind. Reaktionen von Testpersonen können durch allerlei situationsbedingte und kontextuelle Störfaktoren verzerrt sein. Wie kann bei diesem verwirrenden Befund überhaupt in einer empirisch relevanten Weise über Grammatikalität gesprochen werden? Eine Antwort soll im Folgenden in zwei Teilen zu geben versucht werden. Die Ausführungen sind nicht als der Versuch zu verstehen, eine praktisch vertretbare Messtheorie der Grammatikalität zu entwickeln, als vielmehr eine Andeutung über das *logische* Verhältnis von Grammatikalität und beobachtbarem Sprachverhalten. Die deskriptiven Teile der folgenden Andeutungen wären in einer Messtheorie noch sehr weitgehend zu präzisieren.

Partialität Nehmen wir es zunächst einmal (und sei dies vielleicht auch eine kontrafaktische Annahme) als gegeben an, dass zu fordernde Idealbedingungen bei den Probandinnen und Probanden erfüllt seien. Dann kann Grammatikalität durch die folgenden Postulate teilweise bestimmt werden:

Postulat P-3.3-1 *Wenn ein Ausdruck einer Sprache von einem Muttersprachler geäußert wird, ist der Ausdruck in dieser Sprache grammatisch wohlgeformt.*

Im realen Sprachverhalten sind hier auch unter idealen Äußerungsbedingungen viele Einschränkungen zu machen. So dürften viele ironisch, humoristisch oder dichterisch intendierte Äußerungen auszuschließen sein.

Postulat P-3.3-2 *Wenn ein Ausdruck einem Muttersprachler vorgelegt wird und eine klare grammatikalitätsbezogene Reaktion festgestellt wird, dann ist die Äußerung genau dann grammatisch wohlgeformt, wenn sie durch die Reaktion als solche klassifiziert wird.*

Klare grammatikalitätsbezogene Reaktionen werden nach dem oben gesagten in der Regel solche sein, in denen durch Irritationen deutlich wird, dass der Ausdruck nicht wohlgeformt ist, wenn andere Gründe für die Irritation ausscheiden.

Postulat P-3.3-3 *Wenn ein Ausdruck einem Muttersprachler vorgelegt wird und dieser befragt wird, ob er den Satz für grammatisch wohlgeformt* *hält, dann ist der Satz grammatisch wohlgeformt, wenn der Befragte dies bejaht.*

Postulat P-3.3-4 *Wenn ein Ausdruck einem Muttersprachler vorgelegt wird und dieser befragt wird, ob er den Satz für grammatisch wohlgeformt hält, dann ist der Satz nicht grammatisch wohlgeformt, wenn der Befragte dies verneint und die Verneinung nicht durch sprachnormierende Einflüsse bedingt ist.*

In der Praxis ist die Unterscheidung zwischen Urteilen, die durch sprachnormierende Einflüsse bedingt sind, und solchen, die es nicht sind, nur schwer zu treffen.

Keines der Postulate hat die Form

T-3.3-1 *ein Satz x ist grammatisch wohlgeformt gdw $P(x)$*

für ein Prädikat P. Es ist auch keine Bedingung dieser Form aus den Postulaten herzuleiten. Grammatikalität, im Sinne dieser Postulate verstanden, ist nicht durch Prädikate definierbar, die sich direkt auf beobachtbares Sprachverhalten beziehen. Grammatikalität scheint ein Grundbegriff von Grammatiktheorien zu sein, der nur partiell durch einige hinreichende und einige notwendige Bedingungen, also Bedingungen Q und R, für die gilt:

T-3.3-2 *ein Satz x ist grammatisch wohlgeformt, wenn $Q(x)$*

bzw.

T-3.3-3 *ein Satz x ist grammatisch wohlgeformt, nur wenn $R(x)$*

durch die linguistische Methodik gekennzeichnet zu sein scheint. Nur wenn die Disjunktion aller hinreichenden Bedingungen äquivalent zu der Konjunktion aller notwendigen Bedingungen ist, kann man davon sprechen, dass Grammatikalität durch die hinreichenden und notwendigen Bedingungen definierbar wäre. Bei den genannten Postulaten ist dies jedoch praktisch ausgeschlossen, da für bei weitem nicht alle Ausdrücke, die potentielle Ausdrücke einer natürlichen Sprache sind, gelten kann, dass sie einem Muttersprachler vorgelegt werden und eine Reaktion oder eine Antwort nach Befragung erfolgt, die den genannten Bedingungen genügt, oder dass dieser Ausdruck tatsächlich von einem Muttersprachler geäußert wird.

Die genannten hinreichenden und notwendigen Bedingungen und eventuell weitere ähnliche Bedingungen kann man als Teil einer Mess- oder Bestimmungstheorie für Grammatikalität ansehen. In dieser Mess- oder Bestimmungstheorie kommen neben dem Grammatikalitätsprädikat Prädikate und

Messgrößen für beobachtbares Verhalten der möglichen Probandinnen und Probanden vor, von dem in den hinreichenden und notwendigen Bedingungen für Grammatikalität Gebrauch gemacht wird. Grammatikalität wäre für diese Theorie θ ein theoretisches Prädikat, also ein Prädikat, das erst durch die Theorie θ bestimmt wird. Dies widerspricht der Behandlung der Grammatikalität in einer anderen Theorie θ', beispielsweise einer Grammatiktheorie, als einem nicht-theoretischen Prädikat keineswegs, da für θ' Grammatikalität – zumindest partiell – bereits "zuvor" durch θ bestimmt ist. θ "geht" θ' in dem Sinne "voraus", dass Begriffe aus θ' die Geltung von θ vorausetzen, ohne dass dies auch umgekehrt der Fall wäre.

Die Adäquatheit der Mess- oder Bestimmungstheorie ist prinzipiell auf zwei Weisen angreifbar:

- Der durch die Theorie partiell bestimmte Grammatikalitätsbegriff kann dem vortheoretischen Begriff von Linguistinnen und Linguisten widersprechen und somit mit ihren Intentionen in Konflikt stehen.
- Wird ein Ausdruck gefunden, auf den gleichzeitig eine der hinreichenden und die Negation einer notwendigen Bedingung zutrifft (z.B. ein Ausdruck, der sowohl von einem Muttersprachler unter Idealbedingungen geäußert wird als auch nicht aus auf normierende Einflüsse zurückzuführenden Gründen als nicht grammatisch wohlgeformt eingestuft wird), so weist ihm die Theorie widersprüchliche Eigenschaften zu, macht also bezüglich dieses Ausdrucks eine falsche Aussage. In solch einem Fall hat man auf empirischem Wege die Mess- oder Bestimmungstheorie erschüttert.

Eine formale Rekonstruktion der Mess- oder Bestimmungstheorie soll hier nicht unternommen werden, da mehr als informelle Skizzen einer derartigen Methodik in der linguistischen Literatur nicht vorliegen. Ein Teil der linguistischen Ausbildung scheint darauf zu zielen, anhand von Fallstudien einen "diagnostischen Blick" für problematische Fälle zu entwickeln. Wie auch in anderen humanwissenschaftlichen Bereichen ersetzt ein durch induktives Lernen erworbenes Unterscheidungsvermögen eine formale Entscheidungsprozedur. Dies kann ein wissenschaftsgeschichtliches Zwischenstadium darstellen. Andererseits lassen die meisten grammatiktheoretischen Studien nicht vermuten, dass hier ein wesentlicher Formalisierungsbedarf gesehen wird. Dies mag daran liegen, dass mit den vorhandenen Methoden für aktuelle Fragestellungen hinreichend weit übereinstimmende Daten zur Grammatikalität erhoben werden können. Divergenzen in den Begriffsbestimmungen werden für einen Forschungsstand erst dann problematisch, wenn Daten, die für aktuelle Forschungsfragen eine Rolle spielen, von den Divergenzen betroffen sind. Konkreter ausgedrückt: Die Forschenden im Bereich formaler Grammatiktheorien scheinen davon auszugehen, dass die übliche Methodik zur Feststellung von Grammatikalität ausreicht, Konsens bezüglich der partiellen Bestimmung der Elemente der Menge **I** der intendierten Anwendungen herzustellen derart, dass die partielle Bestimmung der Elemente von **I** ausreicht um eine Entscheidung zwischen zwei möglicherweise konkurrierenden Theorie-Elementen $\langle \mathbf{K_i}, \mathbf{I} \rangle$ bzw. $\langle \mathbf{K_i}', \mathbf{I} \rangle$ herbeizuführen, indem der eine Theoriekern durch **I** erschüttert und der andere gestützt wird.

Approximation Spontane Äußerungen, aber in einem vielleicht geringeren Maße auch Reaktionen auf Äußerungen, können als verlässliche Kriterien für Grammatikalität überhaupt nur unter performativen Idealbedingungen angesehen werden. Das Vorliegen von derartigen Idealbedingungen war die oben hinter allen hinreichenden und notwendigen Bedingungen stehende Annahme. Ein Grundproblem der Datenakquisition in allen mit sozialen Phänomenen befassten Wissenschaften ist, dass die künstliche Herbeiführung von Laborbedingungen, die gewisse Störfaktoren ausschließen sollen, nicht ohne Einfluss auf die "Natürlichkeit" des sozialen Verhaltens bleibt. Es ist in der Praxis selten möglich, gewisse unerwünschte Einflussfaktoren zurückzudrängen, ohne zahlreiche Einflüsse der Laborsituation auf die Probandinnen und Probanden in Kauf nehmen zu müssen. Die messtechnischen Erfolge vieler Naturwissenschaften beruhen u.A. auf Messaufbauten, die Störeinflüsse sehr weitgehend von den relevanten Phänomenen und Wirkungszusammenhängen abzuschirmen vermögen.

Wenn also entsprechend die Möglichkeiten von *In-vitro*-Messungen in der Linguistik deutlich eingeschränkter als in vielen Bereichen der Naturwissenschaften sind, so kann man dennoch Parallelen zwischen dem Verhältnis tatsächlicher Messungen zu Messungen unter Idealbedingungen in den Naturwissenschaften und in der Linguistik konstruieren: Ähnlich wie sich beispielsweise die tatsächliche Fallbewegung von Körpern der durch das Fallgesetz bestimmten Bewegung um so weiter annähert je kleiner der Quotient aus der entgegen der Fallrichtung und der in Fallrichtung wirkenden Kraft ist – je näher sich also beispielsweise die Dichte eines gasförmigen Mediums, in dem der Fall stattfindet, dem Vakuum annähert –, kann man postulieren, dass sich auch die durch Tests partiell bestimmte Grammatikalität der Grammatikalität unter Idealbedingungen annähere, je näher die tatsächlichen Bedingungen den idealen seien. Nur ist der linguistische Approximationsbegriff nicht in derselben Weise zu arithmetisieren wie der des physikalischen Beispiels.

Während es bei dem physikalischen Beispiel möglich ist, die Approximation der Fallbeschleunigung eines in einem gasförmige Medium fallenden Körpers an die durch das Fallgesetz behauptete konstante Fallbeschleunigung bei Abnahme der Dichte des Mediums dadurch zu präzisieren, dass man für jedes Medium und jeden fallenden Körper fordert, dass jeder Dichte ρ des Mediums ein Betrag ϵ_ρ entspreche, unter dem die Ableitung der Beschleunigungsfunktion nach der Zeit (also die dritte Ableitung der Ortsfunktion des Körpers nach der Zeit) bleibe. Der Zusammenhang zwischen Dichte ρ und ϵ_ρ ist dabei wie folgt bestimmt: Je geringer die Dichte ρ, um so geringer der zugehörige Betrag ϵ_ρ und zu jeder noch so kleinen Zahl ϵ gibt es eine Dichte ρ derart, dass $\epsilon_\rho \leq \epsilon$.

Eine numerische Skala für die Annäherung an Idealbedingungen, wie hier die Dichte, fehlt im linguistischen Fall bislang jedenfalls völlig. Verfügte man über eine solche Skala, so könnte man die Approximation von Testergebnissen unter suboptimalen Bedingungen an die Testergebnisse unter optimalen Bedingungen folgendermaßen für jeden Test bestimmen: Zu jeder Differenz δ zwischen tatsächlichen und Idealbedingungen auf der numerischen Skala gibt es einen Betrag ϵ_δ derart, dass die Anzahl der Elemente in der Menge

$$((\mathcal{L}_\delta^+ \cup \mathcal{L}^+) \setminus (\mathcal{L}_\delta^+ \cap \mathcal{L}^+)) \cup ((\mathcal{L}_\delta^- \cup \mathcal{L}^-) \setminus (\mathcal{L}_\delta^- \cap \mathcal{L}^-))$$

kleiner oder gleich ϵ_δ ist. $\left\langle \mathcal{L}_\delta^+, \mathcal{L}_\delta^- \right\rangle$ ist dabei die partielle Bestimmung von $\mathcal{L}$ durch einen Test unter den δ entsprechenden Bedingungen, $\langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle$ unter Idealbedingungen. Der Zusammenhang zwischen δ und ϵ_δ ist dabei wie folgt bestimmt: Je geringer δ, um so kleiner ϵ_δ und zu jeder noch so kleinen Zahl ϵ gibt es ein δ derart, dass $\epsilon_\delta \leq \epsilon$.

Der obige Entwurf für die Präzisierung eines Approximationsbegriffs für die Bestimmung von Grammatikalität muss jedoch so hypothetisch bleiben, wie es die Bestimmung einer Skala für die Idealität von Messbedingungen ist.

3.4 Sprachen und Varietäten

In linguistischen Einführungen nimmt im Allgemeinen ein weiteres Bestimmungsproblem breiteren Raum ein als die oben angesprochenen messtheoretischen Probleme: Offensichtlich zeigen keine zwei Individuen ein übereinstimmendes Sprachverhalten. Zu den am wenigsten auffälligen, aber dennoch wohl am häufigsten zwischen verschiedenen Sprecherinnen und Sprecher nachweislichen Unterschieden gehören lexikalische; der Wortschatz verschiedener Sprecherinnen und Sprecher unterscheidet sich in einigen Elementen. Aber auch in grammatikalischer Hinsicht dürfte kaum völlige Deckungsgleichheit zwischen verschiedenen Sprecherinnen und Sprechern festzustellen sein. Untersuchungen können sich natürlich ausschließlich auf die Äußerungen einer einzelnen Sprecherin oder eines einzelnen Sprechers beziehen, man untersucht dann also gewissermaßen die Sprache dieser einen Person. Eine so weit individualisierte Sprache wird als der *Ideolekt* dieser Person bezeichnet. Untersuchungen von Ideolekten spielen bei der Beschreibung der Sprachen einzelner Autoren eine Rolle.

In der Regel jedoch sollen die linguistischen Untersuchungen eine größere Sprachgemeinschaft beschreiben: Die meisten und umfangreichsten grammatischen Beschreibungen beziehen sich bislang auf Standardsprachen, Sprachen einer größeren überregionalen Sprechergemeinschaft, die im Allgemeinen auch verschiedene soziale Schichten umfasst und im Normalfall auch eine schriftsprachliche Tradition herausgebildet hat. Die Sprecherinnen und Sprecher einer Standardsprache sprechen jedoch zumeist noch mit ihr eng verwandte Sprachen, die nach verschiedenen Dimensionen unterscheidbar sind. Sprachen regionaler Sprachgemeinschaften, die Teil einer derartigen überregionalen Sprachgemeinschaft sind, werden als *Dialekte* bezeichnet, Sprachen einer durch Zugehörigkeit zu einer sozialen Schicht definierten Sprachgemeinschaft, die Teil einer umfassenderen Sprachgemeinschaft ist, heißen auch *Soziolekte*. Und schließlich sind noch die *Fachsprachen* zu nennen, die fachlich oder beruflich bestimmten Sprachgemeinschaften gemein sind, die ebenso wie die anderen Teil einer umfassenderen Sprachgemeinschaft sind. Gerade Fachsprachen können sehr wesentliche lexikalische Unterschiede untereinander und zur Standardsprache aufweisen, orientieren sich grammatisch jedoch stark an ihr. Dialekte und Soziolekte können Unterschiede untereinander und zur Standardsprache in Grammatik und Lexikon gleichermaßen aufweisen. Je nach Situation kann sich dieselbe Sprecherin bzw. derselbe Sprecher häufig in der Standardsprache der Sprachgemeinschaft äußern, der er angehört, aber auch in einem Dialekt, einem Soziolekt oder einer Fachsprache. Die Wahl der Sprache hängt vom situativen und thematischen Rahmen der Äußerung, aber auch von der angenommenen Sprachkompetenz der Rezipienten ab.

Neben den Möglichkeiten der Sprachwahl verfügen Sprecherinnen und Sprecher auch über Möglichkeiten in jeder dieser Sprachformen ein situativ angepasstes *Register* zu wählen. Ob in Standardsprache, Fachsprache oder Dialekt, Äußerungen während eines Vortrags werden in der Regel anders ausfallen als Äußerungen im Zwiegespräch unter vier Augen. Unter Registerunterschiede kann man auch den Unterschied zwischen geschriebener und gesprochener Sprache subsumieren.[3] Aussagen über Sprachen sind immer auf eine oder mehrere solcher Sprachformen und ihre Register bezogen. Da in jeder derartigen überindividuellen Sprachform Ideolekte unterscheidbar sind, ist das Verhältnis der überindividuellen Sprachform zu den individuellen Sprachformen zu bestimmen. Ist die überindividuelle Sprachform der "Durchschnitt" der individuellen (als größte gemeinsame Verständigungsbasis) oder ein irgendwie statistisch aus den individuellen Sprachformen zu gewinnendes Abstraktum? Im Gegensatz zu den intensiven

[3] Man mag hier einwenden wollen, dass es sich hierbei ja allein schon deshalb um gänzlich unterschiedliche Sprachformen handle, da schriftliche und mündliche Äußerungen in völlig unterschiedlichen Medien stattfänden und die mit ihnen verknüpften Beobachtungen von stark unterschiedlicher Art seien. Auf die Fragen der akustischen oder schriftlichen Realisierung von Sprache soll unten näher eingegangen werden. Man beachte jedoch, dass das für ein Register typische Medium nicht notwendigerweise mit diesem verknüpft ist. Auch gesprochene Sprache kann schriftlich fixiert werden und geschriebene Sprache kann vorgelesen werden.

Bemühungen anderer sozialwissenschaftlicher und psychologischer Disziplinen zur Entwicklung einer umfangreichen statistischen Methodik, mit deren Hilfe von individuellen zu überindividuellen Aussagen übergegangen werden kann, sind derartige Bemühungen in der Grammatiktheorie eher peripher.

Eine weitere wesentliche Dimension sprachlicher Unterschiede ist zu beachten: Sprachen verändern sich mit der Zeit. Dieser Tatsache wird bei empirischen Sprachuntersuchungen im Allgemeinen dadurch Rechnung getragen, dass man Daten aus einem relativ eng begrenzten Zeitraum zu erheben versucht. Sprachkorpora haben meist einen klaren Zeitbezug. Die zeitliche Veränderung der Sprache gehört wissenschaftshistorisch zu den sprachlichen Varietäten, die als erste Gegenstand systematischer Untersuchungen wurden. Der Ursprung des linguistischen Selbstverständnisses als einer empirischen Wissenschaft kann in den historisch-vergleichenden Arbeiten der junggrammatischen Schule angesetzt werden.

3.5 Sätze und andere Ausdrücke

Die meisten formalen Grammatiken beschreiben *Sätze* als die Elemente von $\mathcal{L}$. Im Prinzip kann man auch andere Typen von Ausdrücken wählen. Die Attraktivität von Sätzen als für die Beschreibung grundlegenden sprachlichen Segmenten dürfte daran liegen, dass die Segmentierung von Texten in Sätze auch einem vortheoretischen Sprachverständnis meist leicht fällt. Aussagesätze sind die kleinsten sprachlichen Segmente eines Textes, mit deren Hilfe Tatsachen behauptet werden können. Auch für andere Sprechakte als die Behauptung von Tatsachen, z.B. Versprechen, Befehlen u.ä., sind Sätze oft die kleinste den Sprechakt vollständig umfassende Einheit. Wo der Sprechakt auch durch Äußerungen vollzogen werden kann, die keinen Satzstatus haben, sind die Äußerungen in der Regel als elliptisch zu deuten, und Sprecherinnen und Sprecher sind meist in der Lage, die Ellipse zu einem Satz zu ergänzen.

Neben den Segmentationsmöglichkeiten sprechen für Sätze als grundlegende Elemente der Sprachbeschreibung auch andere wissenschaftshistorische und -pragmatische Gründe als rein grammatikalische, einer davon mag sein: In der traditionellen Logik und Semantik ist der Satz Ausgangspunkt der Betrachtungen. Bedeutungen kleinerer Einheiten wurden immer gemäß ihrem Beitrag zur Satzbedeutung beschrieben. Und auch in modernen formalsemantischen Bedeutungsbeschreibungen natürlicher Sprachen, in denen auch kleineren sprachlichen Einheiten als Sätzen mengentheoretische Entitäten als deren Bedeutung zugewiesen werden, scheint die am ehesten intuitiv motivierte Bedeutungszuschreibung die an Sätze zu sein (also Wahrheitswerte oder deren intensionale oder dynamische Erweiterungen).

Durch Satzgrammatiken werden Phrasen als Satzbestandteile meist *en passant* beschrieben. In satzbezogenen Grammatiken werden Sätze als zusammengesetzt aus Satzteilen betrachtet (in kontextfreien Grammatiken haben diese beispielsweise ihre Entsprechung in den Symbolen Σ der kontextfreien Grammatik), diese Satzteile entsprechen oft kleineren Satzbestandteilen, die man durch gängige Segmantationsverfahren gewinnen kann. Textgrammatiken, die größere sprachliche Einheiten als Sätze beschreiben, können als Theorie-Elemente betrachtet werden, die "die Ergebnisse der Satzgrammatiken nutzen". Dies kann z.B. in der Weise geschehen, dass Textgrammatiken die durch Satzgrammatiken beschriebenen Sätze als ihre Bausteine analog den lexikalischen Elementen in Satzgrammatiken nutzen.

Die hier zu Satzgrammatiken angestellten Betrachtungen sind *mutatis mutandis* jedoch leicht auf Grammatiktheorien mit anderen grundlegenden Elementen als Elementen von $\mathcal{L}$ übertragbar.

3.6 Grammatikalische, semantische und pragmatische Wohlgeformtheit

In der linguistischen Theoriebildung werden oft mehrere Aspekte unterschieden, in deren Hinsicht die Wohlgeformtheit eines sprachlichen Ausdrucks zu beurteilen ist. Unter diesen Aspekten werden Fälle wie **B-3.2-1** von Fällen wie

Beispiel B-3.6-1 *Der Tisch war mit der Steuernovelle aufs Innigste befreundet.*

und einer Antwort wie

Beispiel B-3.6-2 *Die Nacht ist lau.*

auf die Frage, wer Peter ausgeraubt habe, unterschieden. In allen Fällen sind Reaktionen von Sprecherinnen und Sprechern zu erwarten, die auf das Vorliegen eines ungewöhnlichen Sprachverhaltens schließen lassen. Nur im Falle von **B-3.2-1** scheint der Grund dafür ein grammatikalischer im engeren Sinne zu sein. Die Anomalie von **B-3.6-1** dürfte in der Regel so charakterisiert werden: Die Beziehung des Befreundetseins kann nur zwischen Lebewesen oder Aggregaten von Lebewesen, wie z.B. Staaten, bestehen, nicht aber zwischen einem nicht-belebten Gegenstand und einem abstrakten Gegenstand wie einer Norm. Das Ungewöhnliche des Satzes scheint also nicht durch Restriktionen der Grammatik bedingt, sondern von der Bedeutung der Teilausdrücke abzuhängen. Grammatiktheoretiker beschreiben diese Form von Anomalie zumeist so, dass es zu den semantischen Merkmalen von *befreundet* gehört, dass beide Relata der Beziehung das semantische Merkmal der Belebtheit aufweisen müssen.

Die Bezeichnung dieser (auch als semantische Subkategorien bekannten) Merkmale als *semantische* ist dadurch motiviert, dass man die hier wirksamen Einschränkungen in der Kombinierbarkeit von Ausdrücken am ehesten als durch die Bedeutung der Ausdrücke motiviert ansehen kann: Bezüglich seiner Kombinierbarkeit verhält sich *befreundet* nur dahingehend anders als zum Beispiel *verknüpft*, dass die erste Wortform nur mit Nominalphrasen kombinierbar ist, die Lebewesen bezeichnen, die Kombinierbarkeit der zweiten nicht in dieser Weise restringiert ist. Dieses Verhalten hat *befreundet* jedoch mit Wortformen wie *bekannt*, *vertraut* oder *verfeindet* gemein, die eine konzeptionelle Verwandtschaft zu *befreundet* aufweisen. Dabei meint *konzeptionelle Verwandtschaft* hier etwas, was dadurch zu explizieren wäre, dass die genannten Wortformen durch eine Reihe von semantischen Relationen wie Hypo- oder Hyperonymie, Antonymie u.ä. “vernetzt” sind. Ähnliche Einschränkungen finden sich nicht nur bei Wortformen, die sich syntaktisch ähnlich wie *befreundet* verhalten, sondern auch bei Wortformen mit anderen syntaktischen Eigenschaften (genauer: einem anderen Valenzrahmen), die eine konzeptionelle Verwandschaft zu *befreundet* zeigen. Die Wortform *unterworfen* beispielsweise legt den Relata ähnliche Einschränkungen wie *befreundet* auf, obgleich *unterworfen* eine syntaktisch andere Form einer der beteiligten Nominalphrasen verlangt: *unterworfen* steht mit dem Dativ ohne Präposition, *befreundet* mit einer Präpositionalphrase mit der Präposition *mit*.[4]

Dieser Befund lässt sich so zusammenfassen:

1. Es gibt Wortformen, deren Kombinierbarkeit mit anderen Zeichenketten sich ausschließlich darin unterscheidet, dass bei der einen Wortform die mit ihr kombinierbaren Zeichenketten hinsichtlich ihrer Bedeutungen in anderer Weise restringiert sind als bei der anderen Wortform.

2. Es gibt Wortformen, deren Kombinierbarkeit mit anderen Zeichenketten zwar syntaktische Unterschiede aufweist (wie unterschiedliche Kasus oder Präpositionen), die sich aber dennoch hinsichtlich der Bedeutungsrestriktionen der mit ihnen verknüpfbaren Zeichenketten gleich verhalten.

Dieser Befund legt es nahe, bei den kombinatorischen Einschränkungen für Zeichenketten eine syntaktische und eine semantische Dimension zu unterscheiden. Notwendig ist dies jedoch keineswegs; denn die kombinatorischen Beschränkungen können auch rein syntaktisch beschrieben werden. Man muss dazu Ausdrücken, die verschiedene semantische Merkmale aufweisen, auch immer unterschiedliche syntaktische Kategorien zuweisen.

Aber auch wenn man an der Unterscheidung der syntaktischen und der semantischen Restriktionen festhält, ist die Frage noch nicht vorentschieden, ob man den Ort der semantischen Restriktionen innerhalb oder außerhalb einer Grammatiktheorie ansiedelt. Einem verbreiteten Vorverständnis gemäß umfasst die Grammatik die Syntax; Grammatik ist dadurch jedoch nicht unbedingt auf Syntax beschränkt, sondern kann darüber hinaus noch andere Bedingungen “sinnvoller” Äußerungen enthalten. Lokalisiert man semantische Restriktionen in der

[4] Die Benutzung grammatik*theoretischen* Vokabulars wie *Nominalphrase* oder *Präposition* im vorangehenden Abschnitt ist nicht notwendig, sondern wurde hier aus rein darstellungsökonomischen Gründen gewählt. Die Ausführungen lassen sich in eine Sprechweise übertragen, die ausschließlich auf Wortformen und aus ihnen kombinierbare Zeichenketten Bezug nehmen.

Grammatiktheorie, so heißt dies nicht, dass damit die semantische Theoriebildung der grammatischen untergeordnet würde; als Gegenstand der Semantik könnten weiterhin gewisse Eigenschaften von und Relationen zwischen sinnvollen sprachlichen Äußerungen sowie Beziehungen sprachlicher Äußerungen zur tatsächlichen Welt oder zu möglichen Welten betrachtet werden. Die mit dem Satz

Beispiel B-3.6-3 *Peter malt einen dreieckigen Kreis.*

verbundene Anomalie wird so – ganz im Sinne der traditonellen Sichtweise – anders eingestuft als die von **B-3.6-1**: **B-3.6-3** ist zwar sinnvoll, in dem Sinne, dass der mit dem Satz verbundene Sprechakt als Behauptung erkennbar ist und auch der behauptete Sachverhalt soweit ermittelt werden kann, dass die Falschheit der Behauptung eingesehen werden kann. Die Anomalie hat hier ihren Grund jedoch darin, dass diese Falschheit nur auf semantischen Gründen beruht; dies zu erklären, darin liegt eine genuine Aufgabe einer semantischen Theorie auch dann, wenn die Anomalie von **B-3.6-1** in der Grammatiktheorie behandelt wird.

Die verbreitetste Vorgehensweise in den formalen Grammatiktheorien ist die, dass semantische Restriktionen in die Grammatik einbezogen werden. Die relative Eigenständigkeit semantischer Theoriebildung bleibt davon unberührt. In unifikationsbasierten Grammatiktheorien werden die semantischen Subkategorisierungen in der Regel klar von rein syntaktischen Kategorisierungen unterschieden. Diese Vorgehensweise soll hier zugrunde gelegt werden.

Die an **B-3.6-2** exemplifizierte Anomalie kann man am ehesten als *Unangemessenheit* der Verwendung eines sprachlichen Ausdrucks in einem bestimmten sprachlichen Kontext bezeichnen. Während die bislang betrachteten Formen von Nicht-Wohlgeformtheit sprachlicher Ausdrücke in der Regel[5] auf der Satzebene oder sogar für kleinere sprachliche Einheiten entschieden werden können, erfordert die Feststellung pragmatischer Unangemessenheit in der Regel einen größeren Kontext oder die Einbeziehung außersprachlicher Handlungszusammenhänge. Folglich spielt diese Form von Nicht-Wohlgeformtheit in der Satzgrammatik keine Rolle und wird erst auf der Ebene von Textgrammatiken oder Theorien der Sprechakte berücksichtigt. Pragmatische Unangemessenheit soll in den Grammatikalitätsbegriff, von dem hier ausgegangen wird, nicht einbezogen werden.

Ob sich am Verhalten von Sprecherinnen und Sprechern ablesen lässt, mit welcher Form von Nicht-Wohlgeformtheit man es zu tun hat, kann hier offen bleiben. Dem Verfasser ist aus der Literatur kein empirisches Kriterium zur Unterscheidung der verschiedenen Formen von Nicht-Wohlgeformtheit bekannt, das die oben skizzierte intuitive Unterscheidung wiederspiegelte. Es ist zwar vorstellbar, dass Sprecherinnen und Sprechern diese Unterscheidung durch Erläuterung und Übung beigebracht wird, und anschließend nach deren Klassifikation gefragt wird, aber es ist nicht absehbar, ob und wie eine derartige Schulung geschehen könnte, ohne dass dabei auf linguistische Theorien Bezug genommen wird. Die

[5] Ausnahmen liegen im Bereich der Pronominalreferenz.

Gefahr wäre sehr groß, dass theoretische Voreingenommenheit Einfluss auf die Klassifikation durch Probandinnen und Probanden nähme.

Dies hat zur Folge, dass diese Unterscheidung der linguistischen Theoriebildung selbst überlassen bleibt: Die festgestellte Nicht-Wohlgeformtheit eines Satzes wird dadurch zu einer grammatikalischen – im Gegensatz zu einer semantischen oder pragmatischen –, dass sie Gegenstand der Grammatiktheorie ist.

Korrektheit und Vollständigkeit von Grammatiken

Sei $\langle \mathbf{K_i}(G), \mathbf{I}(G) \rangle$ ein isoliertes Theorie-Element einer Grammatiktheorie G. Bestimmungsverfahren der Grammatikalität von Äußerungen erlauben, die Menge $\mathcal{L}_i$ eines partiellen potentiellen Modells $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}_i \rangle \in I(G)$ partiell zu bestimmen. Sei $\left\langle \mathcal{L}_i^+, \mathcal{L}_i^- \right\rangle$ eine derartige partielle Bestimmung von $\mathcal{L}_i$. Dann ist $\left\langle L, D, \uparrow, \left\langle \mathcal{L}_i^+, \mathcal{L}_i^- \right\rangle \right\rangle$ eine durch einen Test gewonnene partielle Bestimmung einer intendierten Anwendung von G.

In Anlehnung an die Verwendungsweise der Termini *Vollständigkeit* und *Korrektheit* in der Logik und der Theorie der formalen Sprachen kann hier die empirische Korrektheit und Vollständigkeit von Grammatiktheorien definiert werden:

Definition D-3.6-1 (Korrektheit) *Sei* $\langle \mathbf{K_i}(G), \mathbf{I}(G) \rangle$ *ein partiell bestimmtes isoliertes Theorie-Element einer Grammatiktheorie* G*. Dann ist* G korrekt *für* $\mathbf{I}(G)$ *gdw*$_{df}$ *für alle* $x \in \mathbf{I}(G)$ *gilt, dass es* $y, L, D, \uparrow, \mathcal{L}, \mathcal{L}'$ *gibt, so dass*

(a) $y \in \mathbf{M_{pp}}(G)$,

(b) $y = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$,

(c) *y von x partiell bestimmt wird,*

(d) $\mathcal{L}' \subseteq \mathcal{L}$ *und*

(e) $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}' \rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(G))$.

Für partiell bestimmte intendierte Anwendungen $\langle L, D, \uparrow, \langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle \rangle$ bedeutet Korrektheit demnach, dass es ein $\mathcal{L}'$ gibt mit $\mathcal{L}^- \cap \mathcal{L}' = \emptyset$ und $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}' \rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(G))$.

Definition D-3.6-2 (Vollständigkeit) *Sei* $\langle \mathbf{K_i}(G), \mathbf{I}(G) \rangle$ *ein partiell bestimmtes isoliertes Theorie-Element einer Grammatiktheorie* G*. Dann ist* G vollständig *für* $\mathbf{I}(G)$ *gdw*$_{df}$ *für alle* $x \in \mathbf{I}(G)$ *gilt, dass es* $y, L, D, \uparrow, \mathcal{L}, \mathcal{L}'$ *gibt, so dass*

(a) $y \in \mathbf{M_{pp}}(G)$,

(b) $y = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$,

(c) *y von x partiell bestimmt wird,*

(d) $\mathcal{L} \subseteq \mathcal{L}'$ *und*

(e) $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}' \rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(G))$.

Für partiell bestimmte intendierte Anwendungen $\langle L, D, \uparrow, \langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle \rangle$ bedeutet somit Vollständigkeit, dass es ein $\mathcal{L}'$ gibt mit $\mathcal{L}^+ \subseteq \mathcal{L}'$ und $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}' \rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(G))$.

Adäquatheit ergibt sich dann als Kombination beider Eigenschaften.[6]

Definition D-3.6-3 (Adäquatheit) *Sei $\langle \mathbf{K_i}(G), \mathbf{I}(G) \rangle$ ein partiell bestimmtes isoliertes Theorie-Element einer Grammatiktheorie G. Dann ist G* adäquat *für $\mathbf{I}(G)$ gdw$_{df}$ für alle $x \in \mathbf{I}(G)$ gilt, dass es $y, L, D, \uparrow, \mathcal{L}$ gibt, so dass*

(a) $y \in \mathbf{M_{pp}}(G)$,

(b) $y = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$,

(c) *y von x partiell bestimmt wird,*

(d) $y \in \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(G))$.

Nach dieser Definition folgt aber unmittelbar, dass es äquivalent ist, die Adäquatheit einer Grammatiktheorie zu behaupten oder ihre empirische Behauptung im Sinne von **T-2.4-1** zu vertreten.

[6] Die bloße Konjunktion der Korrektheit und der Vollständigkeit ergibt nicht das Gewünschte, solange Grammatiktheorien nicht darauf beschränkt sind, genau eine Grammatik zu bestimmen, so dass durch die Grammatiktheorie bei gegebenem $L, D, \uparrow$ auch die Menge $\mathcal{L}$ eindeutig bestimmt ist. *Eine* Grammatik bestimmt eine Satzmenge eindeutig, die Modellklasse einer Grammatiktheorie, so wie sie hier eingeführt wurde, muss aber nicht eine einzelne Grammatik enthalten. Im Gegensatz zu Gram1-Sprache muss die Modellklasse einer Grammatiktheorie nicht durch ausdrückliche Angabe einer Grammatik, sondern kann auch durch Charakterisierung einer ganzen Klasse von Grammatiken bestimmt sein. In solchen Fällen kann es vorkommen, dass es in der Modellklasse auch zu gegebenem $L, D, \uparrow$ alternative Mengen $\mathcal{L}, \mathcal{L}'$ zu finden sind. Wäre Adäquatheit als die bloße Konjunktion von Korrektheit und Vollständigkeit definiert, würde es genügen, dass

$$\mathcal{L}^+ \subseteq \mathcal{L}$$

und

$$\mathcal{L}^- \cup \mathcal{L}' = \emptyset$$

es wäre nicht erforderlich, dass $\mathcal{L} = \mathcal{L}'$. Eine Grammatiktheorie, die die leere Sprache* mit $\mathcal{L} = \emptyset$ und eine maximale Sprache* mit $\mathcal{L} = L$ in ihren Modellen hätte, wäre dann immer adäquat.

3.7 Die Chomsky-Hierarchie und natürliche Sprachen

Grammatiken wie Gram1 beschreiben einzelne Sprachen*. Angewandt auf eine natürliche Sprache kann mit einer Grammatik eine empirische Behauptung über die wohlgeformten Ausdrücke der Sprache aufgestellt werden. Wie in anderen empirischen Disziplinen sind auch in der Grammatiktheorie Generalisierungen von Interesse. Dabei wird hier an Behauptungen der Form

T-3.7-1 *Für alle natürlichen Sprachen gibt es eine adäquate Grammatik mit der Eigenschaft P.*

für eine beliebige Eigenschaft P gedacht. So oder ähnlich werden für gewöhnlich Behauptungen über die Einordnung natürlicher Sprachen in Klassen formaler Sprachen* formuliert. Mit der oben eingeführten Sprechweise konform, bei der sich die Adäquatheit auf Grammatik*theorien* bezieht, kann **T-3.7-1** wiedergegeben werden als:

T-3.7-2 *Die P-Grammatiktheorie ist adäquat für alle partiell bestimmten Mengen grammatisch wohlgeformter Ausdrücke je einer natürlichen Sprache.*

Dabei ist für beliebige Eigenschaften P von Grammatiken die zugehörige P-Grammatiktheorie wie folgt bestimmt:

Definition D-3.7-1 (P-Grammatiktheorie) *θ ist eine P-*Grammatiktheorie *gdw$_{df}$ es K, I, M_p, M, M_{pp} gibt, so dass*

(a) $\mathbf{T_i}(\theta) = \langle K, I \rangle$,

(b) $K = \langle M_p, M, M_{pp} \rangle$,

(c) $M_{pp} = \mathbf{M}(\textit{Sprache*})$ *und*

(d) $M \in P$.

Man beachte, dass in dieser Definition außer durch die Eigenschaft P keinerlei Bedingungen an Grammatiken gestellt werden. Es bleibt, sofern nicht durch P spezifiziert, völlig offen, welche Gestalt eine Grammatik hat, insbesondere muss eine Grammatik natürlich keine kontextfreie sein.[7]

[7]Die Eigenschaft P wird in der Definition direkt von der Klasse der Modelle der Theorie gefordert und nicht bloß von den Fragmenten der Modelle, die die Bestimmungselemente der Grammatik enthalten. Im Falle von Gram1-Sprache wird P also von Modellen $\left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \mathbf{lex} \right\rangle$ gefordert statt nur von den kontextfreien Grammatiken $\left\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma}, \mathsf{S}, \rightarrow, \mathbf{lex} \right\rangle$. Dies hat ausschließlich darstellungsökonomische Gründe. Jedenfalls ist jede Eigenschaft P' von Grammatiken leicht in eine entsprechende Eigenschaft der Modelle der Theorie zu übersetzen.

In diesem Abschnitt soll es um eine von Linguistinnen und Linguisten diskutierte generelle Behauptung über natürliche Sprachen gehen, und zwar die Behauptung, dass alle natürlichen Sprachen durch kontextfreie Grammatiken erzeugt werden, oder besser:

T-3.7-3 *Die* **kfG**-*Grammatiktheorie ist adäquat für alle partiell bestimmten Mengen grammatisch wohlgeformter Ausdrücke je einer natürlichen Sprache.*

Dabei ist **kfG** die Eigenschaft eines Modells, eine kontextfreie Sprache zu sein. Die **kfG**-Grammatiktheorie wollen wir auch kurz als **kfGGT** bezeichnen.

Zwei Fragen sind bezüglich **T-3.7-3** zu stellen:

- Ist **T-3.7-3** überhaupt eine empirische Behauptung? Oder: Hat die **kfG**-Grammatiktheorie überhaupt empirischen Gehalt?
- Trifft **T-3.7-3** zu?

Zur Einordnung dieser Fragen in einen grammatiktheoretischen Hintergrund ist es nötig, dass wir uns kurz der Chomsky-Hierarchie zuwenden.

3.7.1 Die Chomsky-Hierarchie

In der Chomsky-Hierarchie werden Sprachklassen durch Grammatiktypen definiert.[8] Zur Chomsky-Hierarchie gehören insgesamt vier Typen von Grammatiken:

Definition D-3.7-2 (Typ0-Grammatik) *x ist eine* Typ0-Grammatik ($x \in \Gamma_0$) *gdw$_{df}$ es $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow \rangle$,

(b) $\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow \rangle$ *ist eine Listenstruktur,*

(c) $S \in \Sigma$,

(d) $\rightarrow \subseteq \Sigma^* \times \Sigma^*$,

(e) $\rightarrow$ *enthält endlich viele Elemente.*

[8] Die so definierten Sprachklassen fallen zusammen mit Klassen von Sprachen, die von bestimmten Automatentypen *erkannt werden*, d.h. dass es zu jeder Sprachklasse einen Automatentyp gibt derart, dass jeder Sprache der Sprachklasse ein Automat des entsprechenden Typs existiert, der für jede eingegebenen Zeichenkette entscheiden kann, ob die Zeichenkette zu der Sprache gehört oder nicht.

Typ0-Grammatiken heißen auch *nicht eingeschränkte Grammatiken.* Jede Sprache, die von einer Turing-Maschine erkannt wird, kann auch durch eine Typ0-Grammatik erzeugt werden. Alle Grammatiken der Chomsky-Hierarchie haben es gemein, dass die Ableitungen mit einer nur aus dem Startsymbol bestehenden Symbolkette beginnen und dann in jedem Ableitungsschritt eine Teilzeichenkette nach Vorgabe von $\rightarrow$ durch eine andere Teilzeichenkette ersetzt wird. In nicht eingeschränkten Grammatiken können beide Argumente der Relation $\rightarrow$ beliebige Symbolketten sein.

Definition D-3.7-3 (Typ1-Grammatik) *x ist eine* Typ1-Grammatik *($x \in \Gamma_1$) gdw$_{df}$ es $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow \rangle$,

(b) $x \in \Gamma_0$ *und*

(c) *für alle $s, t \in \Sigma^*$ mit $s \rightarrow t$ gilt, dass*

$$\mathbf{länge}(s) \leq \mathbf{länge}(t)$$

Typ1-Grammatiken heißen auch *kontextsensitiv.* Diese Bezeichnung hat ihren Ursprung in der Tatsache, dass es zu Typ1-Grammatiken eine Normalform gibt, in der alle Regeln die Form

$$s\breve{c}s' \rightarrow ss''s'$$

für Symbolketten s, s', s'' und Symbole c haben. Regeln, für die **D-3.7-3c** gilt, heißen auch *kontextsensitive Regeln.*

Ähnlich wie bei kontextfreien Grammatiken kann bei einer Typ1-Grammatik in Normalform bei jedem Ableitungsschritt nur ein einzelnes Symbol durch eine Symbolkette ersetzt werden. Allerdings können weitere links und rechts von dem zu expandierenden Symbol stehende Symbolketten einen linken und rechten Kontext als notwendige Bedingung für die Expansion bestimmen.

Definition D-3.7-4 (Typ2-Grammatik) *x ist eine* Typ2-Grammatik *($x \in \Gamma_2$) gdw$_{df}$ es $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow \rangle$,

(b) $x \in \Gamma_0$ *und*

(c) *für alle $s, t \in \Sigma^*$ mit $s \rightarrow t$ gilt:*

(ca) $\mathbf{länge}(s) = 1$ *und*

(cb) $\textbf{länge}(t) \geq 1$.

Typ2-Grammatiken sind den schon weiter oben definierten kontextfreien Grammatiken äquivalent. Regeln, für die **D-3.7-4c** gilt, werden auch als *kontextfreie Regeln* bezeichnet.

Definition D-3.7-5 (Typ3-Grammatik) *x ist eine* Typ3-Grammatik *($x \in \Gamma_3$) gdw$_{df}$ es $\Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow$ gibt, so dass*

(a) $x = \langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, S, \rightarrow \rangle$,

(b) $x \in \Gamma_0$ *und*

(c) *für alle $s, t \in \Sigma^*$ mit $s \rightarrow t$ gibt es $s' \in \Sigma^*$ und $c \in \Sigma$, so dass*

(ca) $\textbf{länge}(s) = 1$,

(cb) $t = \breve{c} \circ s'$ *und*

(cc) *es gibt kein $s'' \in \Sigma^*$ mit $\breve{c} \rightarrow s''$.*

Typ3-Grammatiken werden auch als *reguläre Grammatiken* bezeichnet. Wie bei den kontextfreien Grammatiken werden nur einzelne Symbole ohne Rücksicht auf den linken oder rechten Kontext expandiert. Bei jedem Ableitungsschritt wird in einer regulären Grammatik das expandierte Symbol durch eine Zeichenkette ersetzt, die mit einem nicht mehr weiter expandierbaren Symbol beginnt. Es ist unmittelbar aus den Definitionen ableitbar, dass

$$\Gamma_3 \subset \Gamma_2 \subset \Gamma_1 \subset \Gamma_0 \tag{3.1}$$

Die durch diese Grammatiktypen bestimmten Sprachklassen ergeben sich folgendermaßen:

Definition D-3.7-6 (Typ$n$-Sprache) *Sei $n \in \{0; 1; 2; 3\}$. Dann ist x eine* Typ$n$-Sprache *($x \in \Lambda_n$) gdw$_{df}$ es $L, D, \uparrow, \mathcal{L}, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow', S, \rightarrow, \textbf{lex}$ gibt, so dass*

(a) $x = \left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^{\Sigma}, S, \rightarrow, \textbf{lex} \right\rangle$,

(b) $x = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$ *ist eine Sprache*,*

(c) $\left\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^{\Sigma}, S, \rightarrow \right\rangle \in \Gamma_n$,

(d) $\textbf{lex} \subseteq \Sigma \times D$,

(e) $\mathcal{L} = \{l \in L \mid \text{es gibt ein } s \in \Sigma^* \text{ mit } S \Rightarrow^* s \text{ und } \textbf{lex}^*(s, l)\}$.

Mit (3.1) folgt unmittelbar:

$$\Lambda_3 \subseteq \Lambda_2 \subseteq \Lambda_1 \subseteq \Lambda_0 \tag{3.2}$$

Es gilt jedoch die viel stärkere Beziehung:

$$\overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_3) \subset \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_2) \subset \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_1) \subset \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_0) \tag{3.3}$$

Wenn für zwei Grammatiktheorien θ, θ' gilt, dass

$$\overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\theta)) \subset \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\theta'))$$

spricht man auch davon, dass θ' eine größere *generative Kapazität* oder *Mächtigkeit* habe als θ.

(3.3) soll hier nicht bewiesen werden. Jedoch ist die folgende Teilbehauptung für unsere Zwecke relevant:

Satz S-3.7-1

$$\overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_2) \subset \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_1)$$

Beweis B-3.7-1 *Dies kann durch Angabe einer Sprache** $\mathbf{L}$ *gezeigt werden, für die gilt:*

1. $\mathbf{L} \notin \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_2)$ *und*
2. $\mathbf{L} \in \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_1)$.

1. *Sei* $\mathbf{L} = \langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ *eine Sprache* mit* $a, b, c, d \in D$ *mit* $a \neq b$ *und* $c \neq d$. *Für beliebige* $s \in L, x \in D$ *soll* sx *für* $\uparrow(x, s)$ *geschrieben werden. Sei* $\mathcal{L} := \{a^n b^m c^n d^m \mid n, m \in \mathbb{N}\}$, *wobei* $x^1 := x$ *und* $x^n := xx^{n-1}$ *für alle* $x \in D$ *und* $n > 1$. $\mathcal{L}$ *enthält also alle Zeichenketten, die zusammengesetzt sind aus ununterbrochenen Folgen von as, bs, cs und ds, wobei jeweils die a- und c-Folgen und die b- und d-Folgen gleich viele Zeichen enthalten.*

   Nehmen wir an, dass $\mathbf{L} \in \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_2)$. *Dann besagt das Pumping-Lemma für kontextfreie Sprachen nach* **S-3.7-2**, *dass es ein* $n \in \mathbb{N}$ *gibt, so dass es für alle* $s \in \mathcal{L}$ *mit* $\mathbf{länge}(s) \geq n$ *Zeichenketten* $u, v, w, x, y \in L$ *gibt derart, dass*

   (a) $s = uvwxy$,
   (b) $\mathbf{länge}(vx) \geq 1$,
   (c) $\mathbf{länge}(vwx) \leq n$ *und*
   (d) *für alle* $i \geq 0$ *gilt, dass* $uv^iwx^iy \in L$.

Angenommen nun, j sei ein solches n. Dann gilt für $s' := a^j b^j c^j d^j$ auch **länge**$(s') = 4j \geq j$. *Es gibt also $u', v', w', x', y' \in \mathcal{L}$, so dass insbesondere gilt:*

(a) $s' = u'v'w'x'y'$ *und*

(b) **länge**$(v'w'x') \leq j$.

Man kann sich leicht vergegenwärtigen, dass aus

$$a^j b^j c^j d^j = u'v'w'x'y'$$

und

$$\mathbf{länge}(v'w'x') \leq j$$

folgt, dass

$$v'w'x' = q^k r^l$$

für $k, l \in \mathbb{N}_0$ und $k > 0$ oder $l > 0$ und

(a) $q = a$ *und* $r = b$,

(b) $q = b$ *und* $r = c$ *oder*

(c) $q = c$ *und* $r = d$.

Dann muss aber auch:

$$v' = q^{k'} r^{l'}$$

und

$$x' = q^{k''} r^{l''}$$

für $k', k'', l', l'' \in \mathbb{N}_0$ und $k' > 0$ oder $l' > 0$ und $k'' > 0$ oder $l'' > 0$.

Nach der dritten Klausel des Pumping-Lemmas ist aber nicht nur $s'_i = u'v'^i w'x'^i y' \in L$ für $i = 1$, sondern auch für alle $i > 1$. Für $i > 1$ erhöht sich jedoch die Anzahl von mindestens einem Zeichen aus genau einem der Zeichenpaare a, b oder b, c oder c, d in s'_i gegenüber $s'_1 = s'$ wegen **länge**$(vx) \geq 1$ *und demnach* **länge**$(v) \geq 1$ *oder* **länge**$(x) \geq 1$. *Da für $s_i = a^{i'} b^{j'} c^{i''} d^{j''}$ mit $i > 1$ und beliebige $i', j', i'', j'' \in \mathbb{N}$ dann nicht mehr gleichzeitg gelten kann, dass $i' = i''$ und $j' = j''$, ist $s'_i \neq$* **L**. *Es gibt dann also $i''' \in \mathbb{N}$ mit $u'v'^i w'x'^i y' \notin \mathcal{L}$, was im Widerspruch zur dritten Klausel des Pumping-Lemmas steht.*

2. *Sei*

$$\mathbf{lex} = \{\langle a, a\rangle, \langle b, b\rangle, \langle c, c\rangle, \langle d, d\rangle\}$$

und seien L, a, b, c, d *wie oben bestimmt, es gelte* $\Sigma := \{S, A, B, X\} \cup D$. *Man kann sich leicht davon überzeugen, dass für die folgenden kontextfreien und somit auch kontextsensitiven Regeln*

$$\begin{aligned} S &\rightarrow AB && (3.4)\\ A &\rightarrow aX && (3.5)\\ A &\rightarrow aAX && (3.6)\\ B &\rightarrow bd && (3.7)\\ B &\rightarrow bBd && (3.8) \end{aligned}$$

gilt:

$$S \Rightarrow^* s$$

gdw es $i, j \in \mathbb{N}_0$ *und* $k, l \in \{0; 1\}$ *gibt, so dass*

$$s = a^i A^k X^i b^j B^l d^j$$

wobei x^0 *für beliebige* $x \in \Sigma$ *die leere Zeichenkette bezeichnen soll.*

Mithilfe der kontextsensitiven Regel

$$Xb \rightarrow bX$$

lässt sich die Reihenfolge der Symbole X *und* b *in der Symbolkette vertauschen. Nach Hinzunahme dieser Regel zur Grammatik gilt deshalb:*

$$S \Rightarrow^* s$$

gdw es $i, j \in \mathbb{N}_0$ *und* $k \in \{0; 1\}$ *gibt, so dass*

$$s = a^i A^k s' d^j$$

wobei $s' \in \Sigma^*$ *eine beliebige Kombination aus* i *Vorkommen des Symbols* X, j *Vorkommen des Symbols* b *und höchstens einem Vorkommen des Symbols* B *ist und kein Vorkommen von* b *in der Symbolkette nach* B *vorkommt.*

Nun können mit den Regeln

$$\begin{aligned} Xd &\rightarrow cd && (3.9)\\ Xc &\rightarrow cc && (3.10) \end{aligned}$$

genau die Vorkommen von X zwischen b oder B und d in c übersetzt werden. Nach Hinzunahme dieser Regeln zur Grammatik gilt deshalb:

$$S \Rightarrow^* s$$

gdw es $i, j, m \in \mathbb{N}_0$ und $k \in \{0; 1\}$ gibt, so dass

$$s = a^i A^k s' c^m d^j$$

wobei $s' \in \Sigma^*$ eine beliebige Kombination aus Vorkommen der Symbols X, j Vorkommen des Symbols b und höchstens einem Vorkommen des Symbols B ist und kein Vorkommen von b in der Symbolkette nach B vorkommt. Die Anzahl der Vorkommen von X ist dabei $i - m$.

Man beachte, dass nur für $i = m$ und Fehlen von A und B in der Symbolkette s, diese ausschließlich aus Zeichen besteht, für die **lex** *definiert ist. Es gilt also:*

$$S \Rightarrow^* s$$

und es gibt ein $s' \in L$ mit $\mathbf{lex}^*(s, s')$ gdw es $i, j \in \mathbb{N}$ gibt, so dass

$$s = a^i b^j c^i d^j$$

Dann ist $\mathcal{L} = \{a^n b^m c^n d^m \mid n, m \in \mathbb{N}\}$.

Satz S-3.7-2 (Pumping-Lemma für kontextfreie Sprachen)
Sei $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_2)$. Dann gibt es ein $n \in \mathbb{N}$, so dass es für alle $s \in \mathcal{L}$ mit $\mathbf{länge}(s) \geq n$ Zeichenketten $u, v, w, x, y \in L$ gibt, so dass

1. $\mathbf{länge}(vx) \geq 1$,
2. $\mathbf{länge}(vwx) \leq n$ *und*
3. *für alle $i \geq 0$ gilt: $uv^i wx^i y \in L$.*

Beweis B-3.7-2 *Für den Beweis sei auf die einschlägige Literatur zur Theorie formaler Sprachen verwiesen, z.B. auf [Hopcroft und Ullman 1994, S. 133 ff].*

Die Beweisidee macht Gebrauch davon, dass entweder die durch eine kontextfreie Grammatik erzeugte Satzmenge endlich ist und die enthaltenen Sätze somit eine Höchstlänge haben oder dass bei einer unendlichen Satzmenge aufgrund der Endlichkeit der Symbol- und Regelmenge einzelne Regeln beliebig oft in einer Ableitung anwendbar sein müssen. Das ist aber nur möglich, wenn die Grammatik rekursiv ist, d.h. wenn gilt, dass es $s, s', s'', s''', s'''' \in \Sigma^*$ gibt mit

$$ss's'' \Rightarrow^* ss'''s's''''s''$$

Dann gilt aber wegen der erneuten Anwendbarkeit derselben Regeln auf s' auch

$$ss's'' \Rightarrow^* s(s''')^i s'(s'''')^i s''$$

für beliebige $i \in \mathbb{N}$.

3.7.2 Empirischer Gehalt einer kontextfreien Grammatiktheorie

Wenn wir (2.26) als hinreichendes Kriterium für das Vorliegen einer empirisch gehaltvollen Theorie ansehen, dann ist die Frage nach dem empirischen Gehalt der **kfG**-Grammatiktheorie positiv zu beantworten:

Satz S-3.7-3

$$\overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\mathbf{kfGGT})) \subset \mathbf{M_{pp}}(\mathbf{kfGGT})$$

Beweis B-3.7-3 *Nach* **D-3.7-6** *gilt für* $n \in \{0; 1; 2; 3\}$*:*

$$\overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_n) \subseteq \mathbf{M}(\textit{Sprache*})$$

Mit **S-3.7-1** *folgt:*

$$\overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_2) \subset \mathbf{M}(\textit{Sprache*})$$

und mit

$$\overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_2) = \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\mathbf{kfGGT}))$$

und

$$\mathbf{M}(\textit{Sprache*}) = \mathbf{M_{pp}}(\mathbf{kfGGT})$$

auch

$$\overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\mathbf{kfGGT})) \subset \mathbf{M_{pp}}(\mathbf{kfGGT})$$

Als Beispiel für den empirischen Gehalt von **kfGGT** dienen grundsätzlich Sprachen* mit unendlichen Satzmengen wie **L**.

3.7.3 Nicht-endliche Widerlegbarkeit einer kontextfreien Grammatiktheorie

In der Praxis sind die grammatisch wohlgeformten Sätze natürlicher Sprachen jedoch nur endlich partiell bestimmbar: Die partielle Bestimmung $\langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle$ der Menge der grammatisch wohlgeformten Sätze $\mathcal{L}$ geschieht durch endliche Mengen $\mathcal{L}^+$ und $\mathcal{L}^-$. Dies liegt nicht nur an einer bestimmten und damit möglicherweise unzulänglichen Testpraxis, sondern folgt schon aus der raum-zeitlichen Begrenztheit von natürlichen Sprachen. Während der Lebenszeit einer Sprache können nur endlich viele Äußerungen in dieser Sprache getätigt werden. Dann kann aber immer auch eine endliche Menge $\mathcal{L}$ gefunden werden, die durch $\langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle$ partiell bestimmt wird, z.B. $\mathcal{L} = \mathcal{L}^+$.

Sprachen* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$ mit endlichem $\mathcal{L}$ sind jedoch immer regulär, genauer:

Satz S-3.7-4 *Sei* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle \in \mathbf{M}(\mathit{Sprache}^*)$. *Dann gilt: Wenn* $\mathcal{L}$ *endlich viele Elemente hat, dann*

$$\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle \in \overline{\mathbf{Red}}(\Lambda_3)$$

Beweis B-3.7-4 *Sei* $\mathcal{L}$ *eine Menge mit endlich vielen Elementen. Wähle* $\mathbf{lex} := \{\langle x, x\rangle \mid x \in L\}$ *und* $\rightarrow := \{\left\langle \check{S}, s\right\rangle \mid s \in \mathcal{L}\}$. S *sei ein neues Symbol mit* $S \notin D$. *Und* L^S *sei folgendermaßen rekursiv definiert: Für alle* $i \in \mathbb{N}$ *gelte:*

$$L_0^S := L \tag{3.11}$$
$$L_i^S := L_{i-1}^S \cup \{\uparrow(s, c) \mid s \in L_{i-1}^S \text{ und } c \in D \cup \{S\}\} \tag{3.12}$$
$$L^S := \bigcup_{j=0}^{\infty} L_j^S \tag{3.13}$$

Es ist leicht zu zeigen, dass

$$\left\langle L, D, L^S, D \cup \{S\}, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow, S, \rightarrow, \mathbf{lex}\right\rangle \in \Lambda_3$$

denn

1. $\left\langle L^S, D \cup \{S\}, \uparrow, S, \rightarrow\right\rangle \in \Gamma_3$, *da*
   (a) $\left\langle L^S, D \cup \{S\}, \uparrow\right\rangle$ *eine Listenstruktur ist,*
   (b) $\rightarrow \subseteq L^S \times L^S$ *aus* $\check{S} \in L^S$ *und* $\mathcal{L} \subseteq L \subseteq L^S$ *zusammen mit der Wahl von* $\rightarrow$ *folgt und*
   (c) $\rightarrow$ *endliche viele Instanzen aufgrund der Wahl von* $\rightarrow$ *und der Endlichkeit der Menge* $\mathcal{L}$ *hat und*
   (d) *aus der Wahl von* $\rightarrow$ *unmittelbar folgt, dass es für alle* $s, t \in L^S$ *mit* $s \rightarrow t$ *Symbolketten* $s' \in L^S$ *und Symbole* $c \in D \cup \{S\}$ *gibt, so dass* **D-3.7-5ca**–**D-3.7-5cc** *gelten; denn* $s = S$ *und* $c \in D$ *und somit* $c \neq S$,
2. *aufgrund der Wahl von* **lex** *gilt* **D-3.7-6e** *und*
3. *da aufgrund der Wahl von* $\rightarrow$ *auf der rechten Seite nur Symbole vorkommen, die nie auf der linken Seite stehen, und in jeder Ableitung so nur höchstens eine Regel angewandt werden kann, ist* $\Rightarrow^* = \rightarrow \cup \{\langle S, S\rangle\}$ *und wegen* $\mathbf{lex} \subseteq D \times D$ *und* a forteriori $\mathbf{lex} \subseteq D \cup \{S\} \times D$ *gilt* **D-3.7-6d**.

Wenn es also zu jeder partiell bestimmten intendierten Anwendung $\langle L, D, \uparrow, \langle \mathcal{L}^+, \mathcal{L}^- \rangle\rangle \in I$ mit endlichem $\mathcal{L}^+$ immer eine Sprache* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ mit endlichem $\mathcal{L}$ gibt, die von der intendierten Anwendung partiell bestimmt wird, dann bedeutet **S-3.7-4**, dass **kfGGT** adäquat für I ist; denn

$$\mathbf{M}(\mathbf{kfGGT}) = \mathbf{M}(\Gamma_2) \subseteq \mathbf{M}(\Gamma_3)$$

und damit auch

$$\overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\mathbf{kfGGT})) = \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\Gamma_2)) \subseteq \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\Gamma_3))$$

Durch keinen Test mit endlich vielen Instanzen ist also die Hypothese widerlegbar, dass natürliche Sprachen kontextfrei seien.

Andererseits wurden gegen die Kontextfreiheit natürlicher Sprachen immer wieder intuitiv sehr plausible Argumente vorgebracht. Neben den zu Beginn von Kapitel 4 erwähnten Argumenten, die nicht die Unmöglichkeit einer kontextfreien Beschreibung, sondern deren ausuferndes Regelwerk und das geringe Maß an Generalisierungsmöglichkeiten über Einzelsprachen hinweg betreffen, gibt es einige wenige Argumente, die zeigen sollen, dass es einzelne natürliche Sprachen gibt, die nicht kontextfrei sind.

Kreuzserielle Abhängigkeiten Die Diskussion darüber, dass nicht alle natürlichen Sprachen kontextfrei seien, konzentrierte sich auf die sog. *kreuzseriellen Abhängigkeiten (cross-serial dependencies)*, die man in den Sprachen Niederländisch, Schweizerdeutsch und Bambara gefunden hatte.[9] Nimmt man die folgenden standarddeutschen Sätze

Beispiel B-3.7-1

1. *Jan sagte, dass* **wir die Kinder das Haus anstreichen ließen***.*

2. *Jan sagte, dass* **wir die Kinder (dem) Hans das Haus anstreichen helfen ließen***.*

3. *Jan sagte, dass* **wir die Kinder (dem) Hans (den) Jan das Haus anstreichen lassen helfen ließen***.*

4. ...

werden zwar die Satzbeispiele in der Reihenfolge ihrer Aufführung zunehmend künstlicher und schwerer verständlich, aber die Grammatikalität vorausgesetzt, ergibt sich für die fettgedruckten Nebensätze mit ACI- und DCI-Konstruktionen ein Konstruktionsmuster, das sich durch die folgende kontextfreie Grammatik

[9] Vgl. beispielsweise [Bresnan et al. 1982].

mit dem zugehörigen Lexikon beschreiben lässt (die Artikel *dem* und *den* dienen oben nur der Verdeutlichung der gemeinten Abhängigkeiten):

$$\mathsf{NS} \rightarrow \mathsf{NPNom\ ACI\ VACIfin} \tag{3.14}$$
$$\mathsf{NPNom} \rightarrow \mathsf{PersP} \tag{3.15}$$
$$\mathsf{ACI} \rightarrow \mathsf{NPAkk\ NPAkk\ VInfTrans} \tag{3.16}$$
$$\mathsf{ACI} \rightarrow \mathsf{NPAkk\ ACI\ VInfACI} \tag{3.17}$$
$$\mathsf{ACI} \rightarrow \mathsf{NPAkk\ DCI\ VInfDCI} \tag{3.18}$$
$$\mathsf{DCI} \rightarrow \mathsf{NPDat\ NPAkk\ VInfTrans} \tag{3.19}$$
$$\mathsf{DCI} \rightarrow \mathsf{NPDat\ ACI\ VInfACI} \tag{3.20}$$
$$\mathsf{DCI} \rightarrow \mathsf{NPDat\ DCI\ VInfDCI} \tag{3.21}$$
$$\mathsf{NPAkk} \rightarrow \mathsf{EN} \tag{3.22}$$
$$\mathsf{NPAkk} \rightarrow \mathsf{ArtAkkSg\ NAkkSg} \tag{3.23}$$
$$\mathsf{NPAkk} \rightarrow \mathsf{ArtAkkPl\ NAkkPl} \tag{3.24}$$
$$\mathsf{NPDat} \rightarrow \mathsf{EN} \tag{3.25}$$

$$\text{wir} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{PersP}, x)\} \tag{3.26}$$
$$\text{ließen} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{VACIfin}, x)\} \tag{3.27}$$
$$\text{Jan}, \text{Hans} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{EN}, x)\} \tag{3.28}$$
$$\text{das} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{ArtAkkSg}, x)\} \tag{3.29}$$
$$\text{die} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{ArtAkkPl}, x)\} \tag{3.30}$$
$$\text{Haus} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{NAkkSg}, x)\} \tag{3.31}$$
$$\text{Kinder} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{NAkkPl}, x)\} \tag{3.32}$$
$$\text{anstreichen} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{VInfTrans}, x)\} \tag{3.33}$$
$$\text{lassen} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{VInfACI}, x)\} \tag{3.34}$$
$$\text{helfen} \in \{x \mid \mathbf{lex}(\mathsf{VInfDCI}, x)\} \tag{3.35}$$

Selbstverständlich ist dieses kleine kontextfreie Grammatikfragment nicht in der Lage, einen größeren Sprachausschnitt zu beschreiben oder auch nur die ACI-Konstruktionen einigermaßen vollständig wiederzuspiegeln. Es soll nur aufzeigen, wie man sich eine kontextfreie Beschreibung der ACI-Konstruktion im Standarddeutschen vorzustellen hat. Das Bildungsmuster für eingebette ACI-Konstruktionen scheint zu sein, dass ein ACI in einen ACI dadurch eingebettet wird, dass eine Nominalphrase im Akkusativ als ACI-Subjekt vorangestellt wird und ein ACI-fähiges Verb im Infinitiv nachgestellt wird.

Die schweizerdeutschen Übersetzungsäquivalente der Sätze aus **B-3.7-1** lauten nun:

Beispiel B-3.7-2 1. *Jan säit das* **mer d'chind es huus lönd aastriiche**.

2. *Jan säit, das* **mer d'chind em Hans es huus lönd hälfe aastriiche**.

3. *Jan säit, das* **mer d'chind em Hans de Jan es huus lönd hälfe laa aastriiche**.

4. ...

Nicht grammatisch wohlgeformt sind hingegen:

Beispiel B-3.7-3 1. *Jan säit, das* **mer d'chind de Hans es huus lönd hälfe aastriiche**.

2. *Jan säit, das* **mer d'chind de Hans de Jan es huus lönd hälfe laa aastriiche**.

3. *Jan säit, das* **mer d'chind de Hans em Jan es huus lönd hälfe laa aastriiche**.

4. *Jan säit, das* **mer d'chind em Hans em Jan es huus lönd hälfe laa aastriiche**.

5. ...

Während im Standarddeutschen die Nominalphrasen im Dativ und Akkusativ, die als Subjekte der ACIs und DCIs fungieren in umgekehrter Reihenfolge zu den Verben, von denen sie abhängen, stehen, ist im Schweizerdeutschen die Reihenfolge von Nominalphrasen und zugehörigen Verben dieselbe. Im Standarddeutschen sind ACIs und DCIs vollständig ineinander verschachtelt, die Abhängigkeiten sind in Form einer Baumstruktur darstellbar, im Schweizerdeutschen "kreuzen" sich die Zweige des Baums.

Mit der Festlegung, dass wir bei einer Sprache* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ einer Menge $A \subseteq L$ von Ausdrücken mit A^i für $i \in \mathbb{N}_0$ die folgenden Mengen von Ausdrücken bezeichnen wollen

$$A^i := \begin{cases} \{\epsilon\} & \text{für } i = 0 \\ A & \text{für } i = 1 \\ \{x \circ y \mid x \in A, y \in A^{i-1}\} & \text{sonst} \end{cases} \tag{3.36}$$

und mit

$$A^* := \bigcup_{i=0}^{\infty} A^i \tag{3.37}$$

sowie den Operator $\bar{\circ}$ verwenden wollen für:

$$A \bar{\circ} B := \{a \circ b \mid a \in A, b \in B\} \tag{3.38}$$

für beliebige $A, B \subseteq L$ kann das Argument folgendermaßen rekonstruiert werden: Sei $NPAkk$ eine endliche Menge von Nominalphrasen im Akkusativ mit

$$\text{d'chind}, \text{de Jan}, \text{de Hans} \in NPAkk$$

$NPDat$ eine endliche Menge von Nominalphrasen im Dativ mit

$$\text{em Jan}, \text{em Hans} \in NPDat$$

$VInfACI$ eine endliche Menge von infiniten Verben mit ACI mit

$$\text{laa} \in VInfACI$$

und schließlich $VInfDCI$ eine endliche Menge von infiniten Verben mit DCI mit

$$\text{hälfe} \in VInfDCI$$

Wir wollen noch folgende Sprachweise einführen:

Definition D-3.7-7 (Reguläre Menge) *Eine Menge A ist* regulär *gdw*$_{df}$ *es* $L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex}$ *gibt, so dass*

$$\left\langle L', D', \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, A, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex} \right\rangle$$

eine Typ3-Sprache ist.

Die Ausdrucksmenge

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_S^* = \{\text{Jan säit das mer d'chind}\}\bar{\circ}NPDat^*\bar{\circ}NPAkk^*\bar{\circ}\{\text{es huus lönd}\} \\ \bar{\circ}VInfDCI^*\bar{\circ}VInfACI^*\bar{\circ}\{\text{aanstriche}\} \end{aligned} \quad (3.39)$$

ist regulär; denn die einelementigen Mengen $\{\text{Jan säit das mer d'chind}\}$, $\{\text{es huus lönd}\}, \ldots$ sind als endliche Ausdrucksmengen nach **S-3.7-4** regulär; die übrigen Ausdrucksmengen, die in $\mathcal{L}_S^*$ verknüpft werden, sind nach dem folgenden Satz ebenfalls regulär, da sie durch den *-Operator aus endlichen Ausdrucksmengen gebildet wurden:

Satz S-3.7-5 *Sei $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ eine Sprache* und seien $A, B \subseteq L$ reguläre Mengen. Dann gilt auch*

1. *A^* ist eine reguläre Menge und*
2. *$A\bar{\circ}B$ ist eine reguläre Menge.*

Beweis B-3.7-5 *Zum Beweis vgl. [Hopcroft und Ullman 1994, S. 63]. Der Beweis macht Gebrauch von der Koextension der Klasse der durch* reguläre Ausdrücke *beschreibbaren Mengen und der Klasse der regulären Mengen. Für die Klasse der durch reguläre Ausdrücke beschreibbaren Mengen folgt die Abgeschlossenheit unter den o.g. Operationen direkt aus der Definition der regulären Ausdrücke und der Relation der von ihnen beschriebenen Mengen.*

Damit ist auch $\mathcal{L}_S^*$ regulär.

Nicht alle Ausdrücke in $\mathcal{L}_S^*$ sind grammatisch wohlgeformt; denn es gehören auch Ausdrücke wie

Beispiel B-3.7-4 *Jan säit das mer d'chind em Hans em Jan em Hans es huus lönd hälfe aanstriiche*

Nicht jeder Nominalphrase im Dativ entspricht hier ein DCI-fähiges Verb. Offenbar muss die Anzahl der Nominalphrasen im Dativ aus $NPDat^*$ mit der Anzahl der DCI-fähigen Verben aus $VInfDCI^*$ übereinstimmen und Analoges auch für die Elemente aus $NPDat^*$ und $VInfDCI^*$ gelten. Die Ausdrücke, die Elemente von $\mathcal{L}_S^*$ *und* grammatisch wohlgeformte Ausdrücke des Schweizerdeutschen sind, sind demnach:

$$\mathcal{L}_S^{ij} = \bigcup_{i=0,j=0}^{\infty} \{\text{Jan säit das mer d'chind}\} \bar{\circ} NPDat^i \bar{\circ} NPAkk^j \bar{\circ} \{\text{es huus lönd}\} \bar{\circ} VInfDCI^i \bar{\circ} VInfACI^j \bar{\circ} \{\text{aanstriche}\} \quad (3.40)$$

Nennen wir die Menge der wohlgeformten Ausdrücke des Schweizerdeutschen $\mathcal{L}_S$, so gilt offenbar:

$$\mathcal{L}_S^{ij} = \mathcal{L}_S \cap \mathcal{L}_S^* \quad (3.41)$$

Nun kann man gegen die Kontextfreiheit von $\mathcal{L}_S^{ij}$ aufgrund des Pumping-Lemmas für kontextfreie Sprachen **S-3.7-2** ähnlich wie im Beweis **B-3.7-1** argumentieren. Es gilt zudem:

Satz S-3.7-6 *Sei* $\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex}\rangle$ *eine kontextfreie Sprache und* $\mathcal{L}' \subseteq L$ *eine reguläre Menge. Dann gibt es* $\mathbf{lex}', \rightarrow'$*, so dass* $\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L} \cap \mathcal{L}', \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \mathbf{lex}\rangle$ *eine kontextfreie Sprache ist.*

Beweis B-3.7-6 *Zum Beweis vgl. [*Hopcroft *und* Ullman *1994, S. 143 f]. Der Beweis wird automatentheoretisch geführt und macht Gebrauch davon, dass eine durch kontextfreie Grammatiken erzeugte Ausdrucksmenge durch einen Kellerautomaten erkannt werden kann, eine reguläre Menge durch einen endlichen Automaten und aus beiden Automaten ein die Schnittmenge erkennender Kellerautomat konstruiert werden kann.*

Wenn $\mathcal{L}_S^{ij}$ jedoch nicht von einer kontextfreien Grammatik erzeugt werden kann, $\mathcal{L}_S^*$ eine reguläre Menge ist und (3.41), dann folgt aus S-3.7-6, dass auch $\mathcal{L}_S$ nicht von einer kontextfreien Grammatik erzeugt werden kann.

Ähnliche Argumente werden für Konstruktionen im Niederländischen und Bambara vorgebracht.

Dies widerspricht dem vorausgegangenen Befund, dass die Kontextfreiheit nicht durch einen Test mit endlich vielen Instanzen widerlegbar ist, nur scheinbar. Denn keine partielle Bestimmung $\langle \mathcal{L}_S^+, \mathcal{L}_S^- \rangle$ von $\mathcal{L}_S$ mit endlichem $\mathcal{L}_S^+$ kann $\mathcal{L}_S$ soweit festlegen, dass für alle $i, j \in \mathbb{N}_0$

$$\begin{aligned}&\{\text{Jan säit das mer d'chind}\}\bar{\circ}NPDat^i\bar{\circ}NPAkk^j\bar{\circ}\{\text{es huus lönd}\}\\&\qquad\bar{\circ}VInfDCI^i\bar{\circ}VInfACI^j\bar{\circ}\{\text{aanstriche}\} \in \mathcal{L}_S \qquad (3.42)\end{aligned}$$

gelten muss. Für jedes endliche $\mathcal{L}_S^+$ wird es eine Grenze n geben derart, dass für alle $x \in L$ gilt: Wenn $i \geq n$ oder $j \geq n$, dann

$$\begin{aligned}&\{\text{Jan säit das mer d'chind}\}\bar{\circ}NPDat^i\bar{\circ}NPAkk^j\bar{\circ}\{\text{es huus lönd}\}\\&\qquad\bar{\circ}VInfDCI^i\bar{\circ}VInfACI^j\bar{\circ}\{\text{aanstriche}\} \notin \mathcal{L}_S^+ \qquad (3.43)\end{aligned}$$

Dies allein gilt schon deshalb, weil es für jede endliche Menge $\mathcal{L}_S^+$ eine Höchstlänge für die enthaltenen Zeichenketten geben wird. Ab einer bestimmten Größe von i, j werden auch die Möglichkeiten für Probandinnen und Probanden, zu entscheiden, ob x grammatisch wohlgeformt ist, nicht mehr bestehen. Zwar ließe sich ein Entscheidungsverfahren "mit Papier und Bleistift" rekursiv oder iterativ definieren, dieses wäre seinerseits jedoch immer nur aufgrund einer grammatischen Hypothese zu rechtfertigen; denn wer beispielsweise verlangt, dass mit Papier und Bleistift zu überprüfen sei, ob so viele $NPAkk$- wie $VInfACI$- Ausdrücke und so viele $NPDat$- wie $VInfDCI$-Ausdrücke vorgefunden werden können, nimmt bereits vorweg, dass die Grammatik genau diese Ausdrücke auszeichnen wird.

Ähnlich wie der Nachweis, dass die Klasse natürlicher Sprachen keine Teilklasse der Klasse der kontextfreien Sprachen ist, durch endliche Grammatikalitätstests nie vollständig zu rechtfertigen ist, geht es allen Nachweisen, dass die Klasse natürlicher Sprachen keine Teilklasse irgendeiner Sprachklasse ist, die die regulären Sprachen umfasst. Worin liegt die dennoch starke intuitive Attraktivität der entsprechenden Argumente?

1. Die grammatikalische Intuition spricht für die unbegrenzte Erweiterbarkeit gewisser Konstruktionen und zeichnet bestimmte Regelsysteme vor anderen aus. Beides ist jedoch durch eine "zu schwache" Grammatiktheorie in der Regel ausgeschlossen.

2. Die Anwendung "zu schwacher" Grammatikformalismen, wie kontextfreier Grammatiken bei kreuzseriellen Abhängigkeiten, kann zu einer großen Anzahl an Regeln führen, die die generelle Struktur dieser Konstruktion nicht wiederspiegeln.

3. Eine kontextfreie Beschreibung kreuzserieller Abhängigkeiten ordnet Konstituenten semantisch falsch zu.

Dem ist zu entgegnen:

1. Für den Kontext der Theoriefindung kann es wichtig sein, dass die Begrifflichkeit der Theorie eine Nähe zu Intuitionen und vortheoretischen – vielleicht anschaulichen – Begriffen hat. Man kann dieses Argument so deuten, als bezweifle es die voraussichtliche Fruchtbarkeit einer "zu schwachen" Grammatiktheorie. Es widerlegt diese aber nur dann empirisch, wenn man die grammatikalischen Intuitionen zu empirischen Daten macht. Da das Vorliegen grammatikalischer Intuitionen an eine grammatikalische Schulung gebunden ist, macht man damit jedoch implizit Ergebnisse und Hypothesen von Grammatiktheorien zu empirischen Daten.

2. Dies ist ein Argument theoretischer Ökonomie. Wer sich für die "ökonomischere" Theorie entscheidet, tut dies nicht unbedingt, weil er die weniger ökonomische für empirisch falsch hält, sondern weil er die ökonomischere Theorie aufgrund metatheoretischer Präferenzen für überlegen in ihrem Erkenntnisgehalt oder in ihren Entwicklungsmöglichkeiten hält.

3. Die Richtigkeit dieses Arguments hängt vom Verhältnis zwischen Grammatik- und Semantiktheorie ab. Dazu wird unten mehr zu sagen sein. In jedem Fall ist dieses Argument nur wirksam, wenn umfassendere theoretische Gebilde als die bisher eingeführten isolierten Grammatiktheorie-Elemente betrachtet werden. Mit der Semantiktheorie kommen neue nicht-grammatikalische Daten ins Spiel.

Kapitel 4

Lexikalisch-funktionale Grammatik

Bei einer Reihe von grammatischen Phänomenen bieten kontextfreie Grammatiken nur wenig intuitive Beschreibungsmöglichkeiten. Zu diesen Phänomenen gehören die folgenden:

Kongruenz Zwischen Teilausdrücken eines sprachlichen Ausdrucks können kombinatorische Beschränkungen bestehen, die sich am besten durch eine mehrdimensionale Klassifikation der Teilausdrücke beschreiben lassen. So beschreibt man die Abhängigkeiten zwischen Artikel- und Substantiv-Wortformen in einer deutschen Nominalphrase in der Regel so, dass man fordert, dass sie denselben Kasus, denselben Numerus und dasselbe Genus aufweisen müssen; Nominalphrasen und zugehörige Appositionen müssen nur denselben Kasus haben; zwischen Satzsubjekt und finitem Verb muss der Numerus übereinstimmend sein. Es ist also sinnvoll, die Teilausdrücke nach den Dimensionen *Kasus, Genus, Numerus* zu klassifizieren.

Rektion Einzelne Teilausdrücke, wie Verben und Präpositionen, bestimmen die Wahl anderer Teilausdrücke gemäß bestimmten der oben erwähnten Dimensionen, ohne dass hier eine Übereinstimmung hinsichtlich ihrer Klassifikation sinnvoll konstruiert werden könnte. *schenkt* ist eine Verbform, die Nominalphrasen im Nominativ und Akkusativ und fakultativ auch im Dativ verlangt, ohne dass die Verbform selbst sinnvoll einem Kasus zuzuordnen wäre.

Lücken und freie Wortstellung In vielen natürlichen Sprachen gibt es zahlreiche Möglichkeiten von einer “normalen” Wortstellung abzuweichen, manche Konstruktionen (Fragen, Nebensätze) können dies sogar erforderlich machen. Je nach Sprache und Konstruktion sind diese Phänomene am besten so zu beschreiben, dass entweder Satzbestandteile permutiert werden oder Satzbestandteile aus ihren angestammten Positionen an andere bewegt werden, ihre alte Position wird dann als *Lücke* bezeichnet. In kontextfreien Grammatiken müssen für Stellungsvarianten und Konstituenten mit Lücken in der Regel neue Symbole eingeführt werden. Dadurch werden generalisierende Aussagen über diese Konstruktionen erschwert.

Grammatische Phänomene dieser Art wurden z.T. recht erfolgreich von traditionellen Grammatiken beschrieben. Dies liegt nicht zuletzt an deren mehrdimensionalen Klassifikationssystem und der Möglichkeit auf informelle Weise Beziehungen zwischen nicht-aneinandergrenzenden Wortformen herzustellen.

Eine Klasse moderner formaler Grammatiktheorien versucht sich diesen informellen Beschreibungsmöglichkeiten durch Einführung einer neuen Art von Strukturen zu nähern: Merkmalstrukturen. Und da in diesen Grammatiktheorien die Unifikationsoperation auf Merkmalstrukturen einen zentralen Platz einnimmt, werden diese Grammatiktheorien auch unter der Sammelbezeichnung *unifikationsbasierte Grammatiktheorien* zusammengefasst.

4.1 Merkmalstrukturen

Zunächst ist zu definieren, wie die neuen Strukturen beschaffen sein sollen. Es ist üblich, Merkmalstrukturen als einen bestimmten Typ von Graphen zu explizieren.

Definition D-4.1-1 (Merkmalstruktur) *x ist eine* Merkmalstruktur ($x \in \mathcal{FS}$) *gdw$_{df}$ es $Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, q_0, \delta, \alpha$ gibt derart, dass*

(a) $x = \langle Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, q_0, \delta, \alpha \rangle$,

(b) *Q ist eine endliche Menge (von Knoten),*

(c) *$\mathcal{F}, \mathcal{A}$ sind nichtleere Mengen (von Merkmalen und atomaren Werten),*

(d) $q_0 \in Q$,

(e) $\delta :\subseteq \mathcal{F} \times Q \mapsto Q$,[1]

(f) $\alpha :\subseteq Q \mapsto \mathcal{A}$,

---

[1]Die Notation

$$f :\subseteq M \mapsto N$$

soll ausdrücken, dass f eine *partielle* Funktion mit Definitionsmenge M und Wertemenge N ist. Eine partielle Funktion ist eine rechtseindeutige Relation, die jedoch nicht für alle Elemente des Definitionsbereichs definiert sein muss. $\mathbf{Def}(f)$ bezeichnet den Definitionsbereich von f also:

$$\mathbf{Def}(f) := \{x \mid \text{es gibt } y \in N : \langle x, y \rangle \in f\}$$

(g) *für alle $q \in Q$ gilt: wenn es ein $F \in \mathcal{F}$ und $q' \in Q$ gibt, so dass $\delta(F, q) = q'$, dann gibt es kein $A \in \mathcal{A}$, so dass $\alpha(q) = A$ und*

(h) *für kein $q \in Q$ gibt es ein $F \in \mathcal{F}, q' \in Q$, so dass $\delta(F, q) = q'$ und q von q' aus δ-erreichbar ist (Azyklizität).*

Definition D-4.1-2 (δ-Erreichbarkeit) *Seien $Q, \mathcal{F}$ Mengen und $\delta :\subseteq \mathcal{F} \times Q \mapsto Q$. Dann gilt für alle $q, q' \in Q$, dass q' von q aus δ-*erreichbar *ist gdw$_{df}$*

(a) *$q = q'$ oder*

(b) *es gibt ein $q'' \in Q, F \in \mathcal{F}$, so dass $q'' = \delta(F, q)$ und q' von q'' aus δ-erreichbar ist.*

Statt $\delta(F_n, \delta(F_{n-1}, \ldots, \delta(F_1, q) \ldots))$ schreibt man auch $(qF_1 \ldots F_{n-1}F_n)$ und bezeichnet diese Notation als den Pfad des bezeichneten Knoten. Und statt $\alpha((qF_1 \ldots F_{n-1}F_n))$ wird oft auch einfach $(qF_1 \ldots F_{n-1}F_n)$ geschrieben, wo durch den Kontext klar ist, dass der entsprechende Wert von α gemeint ist; man kann dabei auch vom Pfad des atomaren Wertes sprechen.

Für $A, sg, [\![girl]\!], [\![toy]\!] \in \mathcal{A}$ und $\mathrm{SPEC}, \mathrm{NUM}, \mathrm{PRED}, \mathrm{SUBJ}, \mathrm{OBJ} \in \mathcal{F}$ sind

$$\begin{aligned}
(q_0 \text{ SUBJ SPEC}) &= A && (4.1)\\
(q_0 \text{ SUBJ NUM}) &= sg && (4.2)\\
(q_0 \text{ SUBJ PRED}) &= [\![girl]\!] && (4.3)\\
(q_0 \text{ OBJ SPEC}) &= (q_0 \text{ SUBJ SPEC}) && (4.4)\\
(q_0 \text{ OBJ NUM}) &= sg && (4.5)\\
(q_0 \text{ OBJ PRED}) &= [\![toy]\!] && (4.6)
\end{aligned}$$

Bedingungen an Merkmalstrukturen, deren Konjunktion bei gegebenem $Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}$ eine Klasse von Merkmalstrukturen $\langle Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, q_0, \delta, \alpha \rangle$ beschreibt. Diese Bedingungen werden häufig auch in der folgenden Weise notiert:

$$q_0 : \begin{bmatrix} \text{SUBJ:} & \begin{bmatrix} \text{SPEC:} & \boxed{3}\,A \\ \text{NUM:} & sg \\ \text{PRED:} & [\![girl]\!] \end{bmatrix} \\ \text{OBJ:} & \begin{bmatrix} \text{SPEC:} & \boxed{3} \\ \text{NUM:} & sg \\ \text{PRED:} & [\![toy]\!] \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Die Identität von $(q_0$ OBJ SPEC$)$ und $(q_0$ SUBJ SPEC$)$ wird durch Variablen wie $\boxed{3}$ angezeigt. Bedingungen, in denen Pfade mit Pfaden oder Pfade mit Werten gleichgesetzt werden, werden auch als *Pfadgleichungen* bezeichnet. Eine durch eine Menge von Pfadgleichungen bezeichnete Klasse von Merkmalstrukturen nennt man auch *abstrakte Merkmalstruktur*.

Definition D-4.1-3 (Abstrakte Merkmalstruktur) *Sei Q eine endliche Menge und seien $\mathcal{F}, \mathcal{A}$ nichtleere Mengen. Dann ist* **FS** *eine* abstrakte Merkmalsstruktur *bzgl.* $Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}$ ($\mathbf{FS} \in \mathbf{AFS}(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A})$) *gdw*$_{df}$ *es* $P_1, \ldots, P_n \subseteq \mathcal{FS}$ *gibt, so dass*

(a) $x \in \mathbf{FS}$ *gdw* $x \in \bigcap_{i=1}^{n} P_i$ *und*

(b) *für alle i mit $1 \leq i \leq n$ gilt, dass es $q, q' \in Q, j, k \in \mathbb{N}_0$, $F_1, \ldots, F_j, F'_1, \ldots, F'_k \in \mathcal{F}$ und $a \in \mathcal{A}$ gibt, so dass*

(ba) $P_i := \{\langle Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, q_0, \delta, \alpha\rangle \in \mathcal{FS} \mid \alpha(\delta(F_j \ldots, \delta(F_2, \delta(F_1, q)) \ldots)) = a\}$ *oder*

(bb)

$$P_i := \{\langle Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, q_0, \delta, \alpha\rangle \in \mathcal{FS} \mid \delta(F_j \ldots, \delta(F_2, \delta(F_1, q)) \ldots) = \delta(F'_k \ldots, \delta(F'_2, \delta(F'_1, q')) \ldots)\} \quad (4.7)$$

Die Schnittmengenbildung auf abstrakten Merkmalstrukturen wird auch als *Unifikation* bezeichnet. Eine Menge abstrakter Merkmalstrukturen heißt *unifizierbar* gdw ihre Schnittmenge nicht leer ist. Da jede abstrakte Merkmalstruktur durch eine Konjunktion einer Menge von Pfadgleichungen bestimmt wird, kann die aus der Unifikation einer Menge abstrakter Merkmalstrukturen hervorgehende abstrakte Merkmalstruktur durch die Konjunktion der Vereinigungsmenge der Pfadgleichungen bestimmt werden.

Ersetzt man die Knoten q_0 in den Bedingungen durch Variable, wir wollen die Variablen als $\boxed{0}, \boxed{1}, \ldots$ schreiben, so erhalten wir Ausdrücke für Funktionen, die für Einsetzungen in die Variablen abstrakte Merkmalstrukturen als Wert haben. Die Konjunktion der variablen Pfadgleichungen

$$(\boxed{3}\ \text{SUBJ SPEC}) = A \quad (4.8)$$
$$(\boxed{3}\ \text{SUBJ NUM}) = sg \quad (4.9)$$
$$(\boxed{3}\ \text{SUBJ PRED}) = [\![girl]\!] \quad (4.10)$$
$$(\boxed{3}\ \text{OBJ SPEC}) = (\boxed{3}\ \text{SUBJ SPEC}) \quad (4.11)$$
$$(\boxed{3}\ \text{OBJ NUM}) = sg \quad (4.12)$$
$$(\boxed{3}\ \text{OBJ PRED}) = [\![toy]\!] \quad (4.13)$$

kann als Spezifikation einer einstelligen Funktion $\mathbf{FS}^1(\boxed{3})$ gesehen werden, die für Einsetzungen in $\boxed{3}$ abstrakte Merkmalstrukturen als Werte hat und somit vom Typ

$$\mathbf{FS}^1 : Q \mapsto \mathbf{Pot}(\mathcal{FS})$$

ist. Auf diese Weise spezifizierte Funktionen sollen hier auch *Pfadgleichungsfunktionen* genannt werden:

Definition D-4.1-4 *Sei* $n \in \mathbb{N}$. *Dann wird* $\mathbf{FS}^n$ *eine* n-stellige Pfadgleichungsfunktion *bzgl.* $Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}$ ($\mathbf{FS}^n \in \mathcal{PGF}^n(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A})$) *genannt gdw*$_{df}$

$$\mathbf{FS}^n : Q^n \mapsto \mathbf{AFS}(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A})$$

Die Unifikationsoperation nimmt eine zentrale Stellung in einer Reihe von Grammatiktheorien ein. Sie erlaubt in einer naheliegenden Weise die Formalisierung dessen, was es heißt, dass verschiedene sprachliche Ausdrücke "zusammenpassen" und sich grammatisch oder semantisch "ergänzen".

Hier sei näher auf eine Grammatiktheorie eingegangen, die kontextfreie Grammatiken mit einem unifikationsbasierten Formalismus verknüpft.

4.2 Die Lexikalisch-Funktionale Grammatik

Eine Lexikalisch-Funktionale Grammatik (LFG) ist eine unifikationsbasierte Erweiterung einer kontextfreien Grammatik: Jeder kontextfreien Regel wird eine Konjunktion von zweistelligen Pfadgleichungsfunktionen zugeordnet, deren jeweils erste Argumentstelle mit dem linken Symbol der kontextfreien Regeln und deren zweite Argumentstelle jeweils mit einem der Symbole auf der rechten Seite der Regel assoziiert ist. Immer wenn eine Regel in einer Ableitung benutzt wird, werden den Symbolen der Symbolkette, die ein zuvor vorhandenes Symbol der Symbolkette expandieren, neue Variablen zugeordnet, und in die jeweils ersten Argumentstellen der Pfadgleichungsfunktionen dieser Regel wird die Variable des zu expandierenden Symbols und dem jeweils zweiten Argument die neue Variable des aus der Expansion resultierenden assoziierten Symbols zugeordnet. Auf diese Weise entsteht eine Menge von Pfadgleichungsfunktionen mit Variablen in den Argumentstellen.

Als von der Grammatik erzeugte Zeichenketten werden nur solche betrachtet, für die es

1. eine Ableitung durch die kontextfreien Regeln im Sinne einer kontextfreien Grammatik gibt (man spricht auch vom kontextfreien Rückgrat einer LFG) und

2. eine Einsetzung in die Variablen der Pfadgleichungsfunktionen gibt derart, dass die Schnittmenge der resultierenden abstrakten Merkmalstrukturen nichtleer ist.

Man kann dies auch so ausdrücken: Eine jede Ableitung generiert einen Ausdruck im Sinne einer kontextfreien Grammatik und zusätzlich eine Menge von Pfadgleichungen mit Variablen, die Nebenbedingungen an das kontextfreie Rückgrat der Ableitung angeben. Nur wenn es eine nichtleere abstrakte Merkmalstruktur gibt, die alle Nebenbedingungen erfüllt, handelt es sich um einen von der Grammatik erzeugten Ausdruck.

Definition D-4.2-1 (Lexikalisch-Funktionale Grammatik) *x ist eine* Lexikalisch-Funktionale Grammatik (LFG) ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{LFG})$) *gdw*$_{df}$ *es* $L, D, \Sigma^*, \Sigma, Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, \uparrow, \mathcal{L}, \textbf{F-Strukt}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \#^\rightarrow, \#^{\mathbf{FS}}, \mathbf{lex}$ *gibt, so dass*

(a) $x = \left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, N, \uparrow, \mathcal{L}, \textbf{F-Strukt}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \#^\rightarrow, \#^{\mathbf{FS}}, \mathbf{lex}\right\rangle$,

(b) $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}\rangle$ *ist eine Sprache*,*

(c) $\left\langle \Sigma^*, \Sigma, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow\right\rangle$ *ist eine kontextfreie Grammatik ohne Lexikon,*

(d) N *ist eine abzählbare (Index-)Menge,*

(e) $\#^\rightarrow \subseteq N \times \rightarrow$,

(f) $\#^\rightarrow$ *ist rechtstotal und rechtseindeutig,*[2]

(g) $\#^{\mathbf{FS}} : N \times N \mapsto \mathcal{PGF}^2(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A})$,

(h) $\mathbf{lex} \subseteq \Sigma \times D \times \mathcal{PGF}^1(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A})$,

(i) $\textbf{F-Strukt} \subseteq L \times \mathbf{AFS}(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A})$,

(j) *für alle* $l \in L, \mathbf{FS} \in \mathbf{AFS}(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A})$ *gilt:* $\langle l, \mathbf{FS}\rangle \in \textbf{F-Strukt}$ *gdw es für alle* $C \subseteq \Sigma \times \Sigma^* \times \Sigma^* \times Q$, *die die Regelbedingungen von x bezüglich* **FS** *erfüllen, auch ein* $q \in Q$ *gibt, so dass:*

$$\langle S, l, \epsilon, q\rangle \in C$$

Dabei wollen wir davon sprechen, dass $C \subseteq \Sigma \times L \times L \times Q$ *die Regelbedingungen von* $\left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \textbf{F-Strukt}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \#^\rightarrow, \#^{\mathbf{FS}}, \mathbf{lex}\right\rangle$ *bzgl.* **FS** *erfüllt gdw es eine Abzählung* $a_0, a_1, \ldots$ *von N gibt, so dass*

(ja) *für alle* $n \in \mathbf{Def}(\#^\rightarrow)$ *gilt: es gibt* $m \in \mathbb{N}, c_0, \ldots, c_m \in \Sigma$ *mit*

$$\breve{c}_0 \rightarrow^n \breve{c}_1 \circ \ldots \circ \breve{c}_m$$

so dass für alle $\boxed{0}, \ldots, \boxed{m} \in Q$ *und alle* $s_0, \ldots, s_m \in L$ *gilt: wenn*

$$\begin{array}{rcl} \langle c_1, s_0, s_1, \boxed{1}\rangle & \in & C \qquad (4.14)\\ & \textit{und} & \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ & \textit{und} & \\ \langle c_m, s_{m-1}, s_m, \boxed{m}\rangle & \in & C \qquad (4.15) \end{array}$$

[2] Statt $\#^\rightarrow(n, \langle s, s'\rangle)$ soll auch notiert werden: $s \rightarrow^n s'$.

und

$$\mathbf{FS} \in \#^{\mathbf{FS}}(a_n, a_1)(\boxed{0}, \boxed{1}) \tag{4.16}$$

und

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

und

$$\mathbf{FS} \in \#^{\mathbf{FS}}(a_n, a_m)(\boxed{0}, \boxed{m}) \tag{4.17}$$

dann

$$\langle c_0, s_0, s_m, \boxed{0} \rangle \in C \tag{4.18}$$

und

(jb) *für alle* $\langle c, d, \mathbf{FS}^1 \rangle \in \mathbf{lex}$ *und alle* $l \in L$ *und alle* $\boxed{0} \in Q$ *gilt: wenn* $\mathbf{FS} \in \mathbf{FS}^1(\boxed{0})$, *dann auch* $\langle c, \uparrow(d, l), l, \boxed{0} \rangle \in C$.

und

(k) $\mathcal{L} = \{l \mid$ *es gibt ein* $\mathbf{FS} \in \mathbf{AFS}(Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}) : \langle l, \mathbf{FS} \rangle \in \textbf{F-Strukt}\}$

Diese Definition ist von einer zu **D-2.4-4** alternativen, aber äquivalenten Möglichkeit, die von einer kontextfreien Grammatik erzeugten Ausdrücke zu bestimmen, motiviert. Darauf soll im folgenden Exkurs eingegangen werden.[3]

Die Attribute *lexikalisch* und *funktional* hat dieser Grammatiktyp, weil in speziellen Grammatiken natürlicher Sprachen das Lexikon, also **lex**, in der Regel eine zentrale Rolle spielt und sehr informationsreich ist; von *Funktionen* wird grammatiktheoretisch gesprochen, wo es um die Prädikat-Argument-Struktur eines Satzes geht, meist in Bezug auf die Klassifikation der Argumente. Häufig geht es dabei um Relationen zwischen Satzteilen und dem Gesamtsatz, die der traditionellen Subjekt-Objekt-Distinktion ähnlich sind.

4.2.1 Exkurs: Definite Clause Grammars

Übersetzt man jede kontextfreie Regel der Form

$$\breve{c}_0 \rightarrow \breve{c}_1 \circ \ldots \circ c_n$$

in einen prädikatenlogischen Satz der Form

$$\forall l_0, \ldots, l_n \in L : (C(c_0, l_0, l_n) \supset C(c_1, l_0, l_1) \wedge \ldots \wedge C(c_n, l_{n-1}, l_n))$$

[3] Diese Möglichkeit erleichtert die Integration von Zusatzbedingungen in kontextfreie Grammatiken, während die in **D-2.4-4** gewählte Möglichkeit die Verallgemeinerung auf Typ0- und Typ1-Grammatiken vereinfachte.

und jeden Lexikoneintrag der Form

$$\mathbf{lex}(c, d)$$

in einen prädikatenlogischen Satz der Form

$$\forall l \in L : C(c, \uparrow(d, l), l)$$

so sind die von der kontextfreien Grammatik erzeugten Ausdrücke l genau diejenigen, für die sich aus den prädikatenlogischen Sätzen herleiten lässt, dass $C(S, l, \epsilon)$. Die prädikatenlogische Satzmenge wird auch als *Definite Clause Grammar (DCG)* bezeichnet. Sämtliche prädikatenlogischen Sätze einer DCG sind Hornklauseln. Für endliche Hornklauselmengen M ist immer entscheidbar, ob eine ausschließlich existenzquantifizierte atomare Formel aus M bei einer standardmäßigen Interpretation der logischen Konstanten folgt. Somit ist für jedes l auch entscheidbar, ob $C(S, l, \epsilon)$ aus einer gegebenen DCG herleitbar ist.

Hornklauseln können wie folgt definiert werden, dabei seien Mengen von Individuenvariablen, Individuenkonstanten, Prädikatausdrücken, Funktionsausdrücken und Satzkonstanten sowie die logischen Konstanten $\supset, \wedge$, der Allquantor und das zweistellige Prädikat $\equiv$ (Identität) bereits eingeführt:

Definition D-4.2-2 (Hornklausel) *x ist eine Hornklausel gdw$_{df}$ es Hornformeln y gibt und x aus y hervorgeht, indem alle freien Variablen in y durch Allquantoren gebunden werden.*

Definition D-4.2-3 (Hornformel) *x ist eine Hornformel gdw$_{df}$ es ein $n \in \mathbb{N}$ und Prädikatterme $\alpha_0, \ldots, \alpha_n$ gibt, so dass*

(a) $x = \alpha_0 \supset \alpha_1 \wedge \ldots \wedge \alpha_n$ *oder*

(b) $x = \alpha_0$.

Definition D-4.2-4 (Prädikatterm) *x ist ein Prädikatterm gdw$_{df}$*

(a) *es Argumentausdrücke ξ_1 und ξ_2 gibt, so dass $x = \xi_1 \equiv \xi_2$,*

(b) *es einen n-stelligen Prädikatausdruck Π und n Argumentsausdrücke $\xi_1, \ldots, \xi_n$ gibt, so dass $x = \Pi(\xi_1, \ldots, \xi_n)$ oder*

(c) *es eine Satzkonstante Ψ gibt, so dass $x = \Psi$.*

Definition D-4.2-5 (Argumentausdruck) *x ist ein Argumentausdruck gdw$_{df}$*

(a) *es einen n-stelligen Funktionsausdruck Π und n Argumentsausdrücke $\xi_1, \ldots, \xi_n$ gibt, so dass $x = \Pi(\xi_1, \ldots, \xi_n)$,*

(b) *es eine Individuenkonstante κ gibt, so dass $x = \kappa$ oder*

(c) *es eine Individuenvariable χ gibt, so dass $x = \chi$*

Auch Pfadgleichungen für Merkmalstrukturen lassen sich als Prädikatterme auffassen. Die Aufnahme von Pfadgleichungen in die Wenn-Seite von DCG-Klauseln belässt diesen ihren Status als Hornklauseln ebenso wie die Aufnahme zusätzlicher Argumente in die C-Prädikatterme.

In der obigen Definition der LFG wird von den mengentheoretischen Entsprechungen der Hornklauseln Gebrauch gemacht.

4.2.2 Ein Beispiel für eine spezielle LFG

In **D-4.2-1** werden kontextfreien Regeln durch $\#^{\rightarrow}$ natürliche Zahlen zugeordnet, eine Regel kann mehrere Nummern tragen, aber keine Zahl kann mehrfach an Regeln vergeben werden. Durch $\#^{\mathbf{FS}}$ werden den nummerierten Regeln und ihren – ebenfalls durchzunummerierenden – Symbolen auf der rechten Seite Pfadgleichungsfunktionen zugeordnet. Jedes Symbol auf der rechten Seite jeder Regel ist auf diese Weise mit einer Pfadgleichungsfunktion assoziert. Dabei können Pfadgleichungsfunktionen abhängig von zwei Variablen sein, deren eine durch C in Beziehung zum Symbol auf der linken Seite der Regel und deren andere mit dem assoziierten Symbol selbst in Beziehung gesetzt wird.

In der Notation der LFG wird dies dadurch reflektiert, dass die die Pfadgleichungsfunktionen definierenden Pfadgleichungen unter das mit ihnen assoziierte Symbol geschrieben werden und $\uparrow$ für die mit dem linken Symbol einer Regel in Beziehung zu setzende Variable steht, während $\downarrow$ für die mit dem assoziierten Symbol in Beziehung zu setzende Variable steht. Die in LFG-Notation geschriebene Bedingung

$$\mathsf{S} \;\rightarrow\; \begin{pmatrix} \mathsf{NP} \\ (\uparrow SUBJ) = \downarrow \\ (\downarrow KASUS) = nom \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathsf{VP} \\ \uparrow = \downarrow \end{pmatrix} \tag{4.19}$$

entspricht somit den Bedingungen:

$$\mathsf{S} \rightarrow^{n} \mathsf{NP}\ \mathsf{VP}$$

und $\mathbf{FS} \in \#^{\mathbf{FS}}(n,1)(\boxed{0},\boxed{1})$ gdw für $\mathbf{FS}$ gilt:

$$(\boxed{0}\ SUBJ) \;=\; \boxed{1} \tag{4.20}$$

$$(\boxed{1}\ KASUS) \;=\; nom \tag{4.21}$$

und $\mathbf{FS} \in \#^{\mathbf{FS}}(n,2)(\boxed{0},\boxed{2})$ gdw für $\mathbf{FS}$ gilt:

$$\boxed{0} = \boxed{2} \tag{4.22}$$

für ein $n \in N$.

Durch die folgende Definition soll eine LFG für ein kleines Fragment der Deutschen eingeführt werden:

Definition D-4.2-6 *x ist eine LFG für FragmDt* ($x \in$ **LFGFragmDt**) *gdw$_{df}$ es* $L, D, \Sigma^*, \Sigma, \uparrow, \mathcal{L}, \mathbf{F\text{-}Strukt}, \uparrow^{\Sigma}, S, \rightarrow, \#^{\rightarrow}, \#^{\mathbf{FS}}, \mathbf{lex}, \mathsf{S}, \mathsf{NP}, \mathsf{VP}, \mathsf{Art}, \mathsf{N}, \mathsf{V}, KASUS, NUM, SUBJ, OBJ, TRANS, DEF, PRED, ARG1, ARG2, GEN, nom, akk, sg, pl, mask, fem, \oplus, \ominus, [\![linguistin]\!], [\![linguist]\!], [\![kommt]\!], [\![sieht]\!], V_{\text{ein}}, V_{\text{eine}}, V_{\text{einen}}, V_{\text{der}}, V_{\text{die}}, V_{\text{den}}, V_{\text{Linguistin}}, V_{\text{Linguistinnen}}, V_{\text{Linguist}}, V_{\text{Linguisten}}, V_{\text{kommt}}, V_{\text{kommen}}, V_{\text{sieht}}, V_{\text{sehen}}$ *gibt, so dass*

(a) $x = \langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, N, \uparrow, \mathcal{L}, \mathbf{F\text{-}Strukt}, \uparrow^{\Sigma}, S, \rightarrow, \#^{\rightarrow}, \#^{\mathbf{FS}}, \mathbf{lex}\rangle$,

(b) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{LFG})$,

(c) $\mathsf{S}, \mathsf{NP}, \mathsf{VP}, \mathsf{Art}, \mathsf{N}, \mathsf{V} \in \Sigma$ *sind paarweise voneinander verschieden,*

(d) $KASUS, NUM, SUBJ, OBJ, TRANS, DEF, PRED, ARG1, ARG2, GEN \in \mathcal{F}$ *sind paarweise voneinander verschieden,*

(e) $nom, akk, sg, pl, mask, fem, \oplus, \ominus, [\![linguistin]\!], [\![linguist]\!], [\![kommt]\!], [\![sieht]\!] \in \mathcal{A}$ *sind paarweise voneinander verschieden,*

(f) $V_{\text{ein}}, V_{\text{eine}}, V_{\text{einen}}, V_{\text{der}}, V_{\text{die}}, V_{\text{den}}, V_{\text{Linguistin}}, V_{\text{Linguistinnen}}, V_{\text{Linguist}}, V_{\text{Linguisten}}, V_{\text{kommt}}, V_{\text{kommen}}, V_{\text{sieht}}, V_{\text{sehen}} \in D$ *sind paarweise voneinander verschieden,*

(g) $\rightarrow, \#^{\rightarrow}, \#^{\mathbf{FS}}$ *genügen den folgenden Bedingungen in LFG-Notation:*

$$\mathsf{S} \rightarrow \begin{pmatrix} \mathsf{NP} \\ (\downarrow KASUS) = nom \\ (\uparrow SUBJ) =\downarrow \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathsf{VP} \\ \uparrow=\downarrow \end{pmatrix} \tag{4.23}$$

$$\mathsf{NP} \rightarrow \begin{pmatrix} \mathsf{Art} \\ \uparrow=\downarrow \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathsf{N} \\ \uparrow=\downarrow \end{pmatrix} \tag{4.24}$$

$$\mathsf{NP} \rightarrow \begin{pmatrix} \mathsf{N} \\ (\downarrow NUM = pl) \\ \uparrow=\downarrow \\ \uparrow DEF = \ominus \end{pmatrix} \tag{4.25}$$

$$\mathsf{VP} \rightarrow \begin{pmatrix} \mathsf{V} \\ (\downarrow TRANS) = intr \\ \uparrow=\downarrow \end{pmatrix} \tag{4.26}$$

$$\mathsf{VP} \rightarrow \begin{pmatrix} \mathsf{V} \\ (\downarrow TRANS) = tr \\ \uparrow=\downarrow \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathsf{NP} \\ (\downarrow KASUS) = akk \\ (\uparrow OBJ) =\downarrow \end{pmatrix} \tag{4.27}$$

und

(h) *die Elemente von* **lex** *seien genau*

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{ein}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = nom \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = mask \\ (\uparrow DEF) = \ominus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{eine}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = nom \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = fem \\ (\uparrow DEF) = \ominus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{einen}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = akk \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = mask \\ (\uparrow DEF) = \ominus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{eine}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = akk \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = fem \\ (\uparrow DEF) = \ominus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{der}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = nom \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = mask \\ (\uparrow DEF) = \oplus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{die}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = nom \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = fem \\ (\uparrow DEF) = \oplus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{den}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = akk \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = mask \\ (\uparrow DEF) = \oplus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{die}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = akk \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = fem \\ (\uparrow DEF) = \oplus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{die}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = nom \\ (\uparrow NUM) = pl \\ (\uparrow DEF) = \oplus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{Art}, V_{\text{die}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = akk \\ (\uparrow NUM) = pl \\ (\uparrow DEF) = \oplus \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{N}, V_{\text{Linguistin}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = nom \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = fem \\ (\uparrow PRED) = [\![linguistin]\!] \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{N}, V_{\text{Linguistin}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = akk \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = fem \\ (\uparrow PRED) = [\![linguistin]\!] \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{N}, V_{\text{Linguistinnen}}, \begin{array}{l} (\uparrow NUM) = pl \\ (\uparrow GEN) = fem \\ (\uparrow PRED) = [\![linguistin]\!] \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{N}, V_{\text{Linguist}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = nom \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = mask \\ (\uparrow PRED) = [\![linguist]\!] \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{N}, V_{\text{Linguisten}}, \begin{array}{l} (\uparrow KASUS) = akk \\ (\uparrow NUM) = sg \\ (\uparrow GEN) = mask \\ (\uparrow PRED) = [\![linguist]\!] \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{N}, V_{\text{Linguisten}}, \begin{array}{l} (\uparrow NUM) = pl \\ (\uparrow GEN) = mask \\ (\uparrow PRED) = [\![linguist]\!] \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{V}, V_{\text{kommt}}, \begin{array}{l} (\uparrow SUBJ\ NUM) = sg \\ (\uparrow TRANS) = intr \\ (\uparrow PRED\ REL) = [\![kommt]\!] \\ (\uparrow PRED\ ARG1) = (\uparrow SUBJ) \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{V}, V_{\text{kommen}}, \begin{array}{l} (\uparrow SUBJ\ NUM) = pl \\ (\uparrow TRANS) = intr \\ (\uparrow PRED\ REL) = [\![kommt]\!] \\ (\uparrow PRED\ ARG1) = (\uparrow SUBJ) \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{V}, V_{\text{sieht}}, \begin{array}{l} (\uparrow SUBJ\ NUM) = sg \\ (\uparrow TRANS) = tr \\ (\uparrow PRED\ REL) = [\![sieht]\!] \\ (\uparrow PRED\ ARG1) = (\uparrow SUBJ) \\ (\uparrow PRED\ ARG2) = (\uparrow OBJ) \end{array} \right\rangle$$

$$\left\langle \mathsf{V}, V_{\text{sehen}}, \begin{array}{l} (\uparrow SUBJ\ NUM) = pl \\ (\uparrow TRANS) = tr \\ (\uparrow PRED\ REL) = [\![sieht]\!] \\ (\uparrow PRED\ ARG1) = (\uparrow SUBJ) \\ (\uparrow PRED\ ARG2) = (\uparrow OBJ) \end{array} \right\rangle$$

(wobei im Lexikon $\uparrow$ die Argumentstelle der einstelligen Pfadgleichungsfunktion bezeichne).

Sätze, die durch eine solchermaßen bestimmte Grammatik $\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, N, \uparrow, \mathcal{L}, \textbf{F-Strukt}, \uparrow^{\Sigma}, S, \rightarrow, \#^{\rightarrow}, \#^{\textbf{FS}}, \textbf{lex}\rangle \in \mathbf{M}(\textbf{LFGFragmDt})$ erzeugt werden, also Elemente von $\mathcal{L}$, sind beispielsweise

Beispiel B-4.2-1

- *Ein Linguist sieht die Linguistinnen.*
- *Linguistinnen kommen.*
- *Die Linguistinnen sehen einen Linguisten.*

und zahlreiche andere. Dabei ordnet **F-Strukt** jedem Satz mindestens eine Merkmalstruktur zu. Man kann zeigen, dass beispielsweise für alle Merkmalstrukturen

$\langle Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, q_0, \delta, \alpha \rangle$, die dem ersten Satz zugeordnet werden, gilt:

$$q_0 : \begin{bmatrix} SUBJ : \boxed{1} \begin{bmatrix} NUM & : sg \\ GEN & : mask \\ KASUS & : nom \\ DEF & : \ominus \\ PRED & : [\![linguist]\!] \end{bmatrix} \\ OBJ \;\; : \boxed{2} \begin{bmatrix} NUM & : pl \\ GEN & : fem \\ KASUS & : akk \\ DEF & : \oplus \\ PRED & : [\![linguistin]\!] \end{bmatrix} \\ PRED : \begin{bmatrix} REL & : [\![sieht]\!] \\ ARG1 & : \boxed{1} \\ ARG2 & : \boxed{2} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \tag{4.28}$$

Die einem Satz zugeordnete abstrakte Merkmalsstruktur wird auch als *F-Struktur* bezeichnet, die Ableitung des Satzes durch das kontextfreie Fragment der Grammatik (genauer der Ableitungsbaum) heißt auch seine *C-Struktur* (von: “Konstituentenstruktur”).

Isolierte Theorie-Elemente in LFGs

Ähnlich wie bei kontextfreien Sprachen kann man auch bei LFGs dafür argumentieren, dass bei den Bestimmungsstücken der Modelle $L, D, \Sigma^*, \Sigma, Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, \uparrow, \mathcal{L}$, $\mathbf{F\text{-}Strukt}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \#^\rightarrow, \#^{\mathbf{FS}}, \mathbf{lex}$ nur $L, D, \uparrow, \mathcal{L}$ zu beobachtbaren Teil gehören. **Red** ist also eine Funktion vom Typ

$$\mathbf{Red} : \mathbf{M_p}(\mathbf{LFG}) \mapsto \mathbf{M}(\text{Sprache*})$$

In [Bresnan and Kaplan 1982] wurde bereits gezeigt, dass

$$\overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\Lambda_2)) \subset \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\mathbf{LFG})) \subseteq \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M}(\Lambda_1))$$

Die Elemente $L, D, \uparrow, \mathcal{L}$ werden in der Definition von $\mathbf{M}(\mathbf{LFG})$ durch keine anderen Charakterisierungen bestimmt als auch in der Definition von $\mathbf{M}(\Lambda_2)$. Deshalb gilt auch, dass

$$\overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M_p}(\mathbf{LFG})) = \overline{\mathbf{Red}}(\mathbf{M_p}(\Lambda_2)) = \mathbf{M}(\text{Sprache*})$$

$\mathbf{M_p}(\mathbf{LFG})$ kann aufgrund der Definition von $\mathbf{M}(\mathbf{LFG})$ bestimmt werden. Die genaue Bestimmung ist für unsere Zwecke jedoch nicht relevant.

4.3 Spezielle Gesetze in LFGs

Durch spezielle Forderungen an $\rightarrow, \#^{\rightarrow}, \#^{\mathbf{FS}}$ und **lex** wurde die Modellklasse von **LFG** in **LFGFragmDt** bis auf eine sehr spezielle Teilklasse eingeengt. Analog, nur wesentlich komplexer, kann man sich die Beschreibung der grammatisch wohlgeformten Ausdrücke einer natürlichen Sprache $\mathbf{L}_{nat}$ durch eine spezielle LFG vorstellen. Spezielle LFGs wurden erfolgreich schon für größere Sprachausschnitte einer ganzen Reihe natürlicher Sprachen entwickelt.

Kleiner als die Modellklasse der LFG allgemein, größer aber als $\mathbf{M}(\mathbf{L}_{nat})$ sind Modellklassen von LFGs mit speziellen Gesetzen für Klassen von natürlichen Sprachen, seien es typologisch definierte Klassen, wie die der stark oder schwach flektierenden Sprachen, der Ergativ- oder Akkusativ-Sprachen u.ä., oder genetisch definierte Sprachklassen, wie die der romanischen, der slawischen, der ostseefinnischen etc. Sprachen, oder auch für die Klasse der natürlichen Sprachen allgemein. Spezielle Gesetze bestehen in der Regel in Spezifikationen, die der Form eines Regelsystems wie z.B. (4.23)–(4.27) auferlegt werden oder in Bedingungen an die Menge der Merkmalstrukturen $\{\mathbf{FS} \mid \text{es gibt ein } l \in \mathcal{L} : \textbf{F-Strukt}(l, \mathbf{FS})\}$.

Zwischen der **LFG**, einer Theorie für alle natürlichen Sprachen, die durch Hinzunahme weiterer Gesetze entsteht, einer Theorie für eine Sprachklasse und einer Theorie für eine Einzelsprache dieser Sprachklasse besteht die Beziehung, dass die jeweils allgemeinere Theorie dieselbe Klasse an partiellen potentiellen Modelle wie die speziellere hat, nämlich $\mathbf{M}$(Sprache*).

Es scheint auch, dass alle sinnvollen Spezialgesetze für Sprachklassen und Einzelsprachen sich in der Regel als Relationen zwischen den Bestimmungsstücken einer Theorie darstellen, und somit keine Charakterisierungen sind. Dies schließt jedoch keineswegs aus, dass aus den Spezialgesetzen Charakterisierungen *zu folgern* sind. Zwar stellen (4.23)–(4.27) Relationen zwischen $\rightarrow, \#^{\rightarrow}$ und $\#^{\mathbf{FS}}$ her, aber aus diesen LFG-Regeln können kontextfreie, nur $\rightarrow$ betreffende hergeleitet werden (durch Weglassung der Pfadgleichungen), und diese betreffen nur die eine Relation $\rightarrow$. Fordern wir, dass die Menge der potentiellen Modelle einer Theorie die *kleinste* nur durch Charakterisierungen bestimmbare Obermenge der Modelle einer Theorie sein soll, so können wir es für die Spezialisierung von Grammatiktheorien nicht aufrecht erhalten, dass die speziellere Theorie dieselbe Menge potentieller Modelle hat wie die allgemeinere. Dies wird aber manchmal[4] für Theorien gefordert.

Mit der üblichen Auffassung von Sepzialisierungen gehen aber auch die speziellen LFGs konform, indem eine jede Spezialisierung die Menge der Modelle einschränkt. Eine speziellere Theorie ist auch für einen spezielleren Anwendungsbereich intendiert, nicht für alle natürlichen Sprachen, sondern Teilklassen oder Einzelsprachen. Das zwischen allgemeineren und spezielleren Grammatiktheorien bestehende Verhältnis scheint durch den folgendermaßen einzuführenden Spezia-

[4]Vgl. [Stegmüller 1973b, S. 101] in der nicht geklammerten Variante von D2-5.

lisierungsbegriff somit adäquat erfasst:

Definition D-4.3-1 (Isolierte Theoriekern-Spezialisierung) *Seien* $\mathbf{K_i}(\theta) = \langle \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta)\rangle$ *und* $\mathbf{K_i}(\theta') = \langle \mathbf{M_p}(\theta'), \mathbf{M}(\theta'), \mathbf{M_{pp}}(\theta')\rangle$ *isolierte Theoriekerne von Theorien* θ, θ'. *Dann ist* $\mathbf{K_i}(\theta)$ *eine* isolierte Kernspezialisierung *von* $\mathbf{K_i}(\theta')$ $(\mathbf{K_i}(\theta) \varsigma_{\mathbf{K_i}} \mathbf{K_i}(\theta'))$ *gdw*$_{df}$

(a) $\mathbf{M_{pp}}(\theta) = \mathbf{M_{pp}}(\theta')$,

(b) $\mathbf{M_p}(\theta) \subseteq \mathbf{M_p}(\theta')$ *und*

(c) $\mathbf{M}(\theta) \subseteq \mathbf{M}(\theta')$.

Definition D-4.3-2 (Isolierte Theorie-Element-Spezialisierung) *Seien* $\mathbf{T_i}(\theta) = \langle \mathbf{K_i}(\theta), \mathbf{I}(\theta)\rangle$ *und* $\mathbf{T_i}(\theta') = \langle \mathbf{K_i}(\theta'), \mathbf{I}(\theta')\rangle$ *isolierte Theorie-Elemente von Theorien* θ, θ'. *Dann ist* $\mathbf{K_i}(\theta)$ *eine* isolierte Spezialisierung *von* $\mathbf{K_i}(\theta')$ $(\mathbf{K_i}(\theta) \varsigma_{\mathbf{T_i}} \mathbf{K_i}(\theta'))$ *gdw*$_{df}$

(a) $\mathbf{K_i}(\theta) \varsigma_{\mathbf{K_i}} \mathbf{K_i}(\theta')$ *und*

(b) $\mathbf{I}(\theta) \subseteq \mathbf{I}(\theta')$.

Von der Spezialisierungsrelation wird ein Baum von Theorie-Elementen aufgespannt mit der allgemeinen **LFG** als Wurzel.

4.3.1 Spezialisierungen und Nebenbedingungen

Die Spezialisierungen einer allgemeinen Theorie spielen zumeist eine sehr wichtige Rolle bei der Bestimmung der theoretischen Relationen. So kann eine F-Struktur eines Satzes wie (4.28) nie aufgrund einer Satzmenge und des Theorie-Elements von **LFG** alleine gewonnen werden. Zu diesem Zweck ist ein spezielleres Theorie-Element erforderlich, z.B. das einer LFG des Deutschen oder das von **LFGFragmDt**.

In naturwissenschaftlichen Theorien spielen so aus den intendierten Anwendungen des spezielleren Theorie-Elements gewonnene Werte der theoretischen Relationen oft auch eine Rolle in *anderen* Anwendungen der allgemeineren oder der spezielleren Theorie. So gehen wir bei der Bestimmung des Masseverhältnisses zweier Körper a und b davon aus, dass es zulässig ist, zunächst das Masseverhältnis von a zu einem Körper c beispielweise durch eine Anwendung der Balkenwaagentheorie zu bestimmen, anschließend auf ähnliche Weise das von b zu c und das Masseverhältnis von a und b schließlich als den Quotienten der beiden Verhältnisse aufzufassen.

Ein solches indirektes Bestimmungsverfahren theoretischer Relationen setzt voraus, dass die Masse eines Körpers (mindestens jedoch sein Masseverhältnis zu anderen Körpern) in verschiedenen Anwendungen einer Theorie, auch in Spezialisierungen einer Theorie unverändert bleibt. Manche theoretischen Relationen unterliegen derartigen anwendungsübergreifenden Identitätsbedingungen, andere unterliegen schwächeren Bedingungen und wieder andere gar keinen. Bedingungen, die Verknüpfungen zwischen den theoretischen Relationen in den theoretischen Ergänzungen verschiedener Anwendungen einer Theorie herstellen, werden auch als Nebenbedingungen *(constraints)* einer Theorie bezeichnet, um sie von den die Modellklasse bestimmenden Bedingungen zu unterscheiden.

Nebenbedingungen stellen keine weiteren Bedingungen an *einzelne* Modelle, sondern sagen etwas darüber, welche Modelle miteinander vereinbar sind. Modelle, in denen demselben Körper verschiedene Massen zugeordnet werden, sind beispielsweise nicht miteinander vereinbar. Nebenbedingungen können folglich als Mengen von Modellmengen eingeführt werden, wobei eine Modellmenge die miteinander verträglichen Modelle enthält. Da jedes Modell mit sich selbst verträglich ist, enthält eine Nebenbedingung auch für jedes Modell der Theorie eine Menge, die nur dieses enthält. Für Nebenbedingungen C einer Theorie θ gilt also

$$C(\theta) \subseteq \mathbf{Pot}(\mathbf{M}(\theta))$$

und für alle $x \in \mathbf{M}(\theta)$

$$\{x\} \in C$$

In Grammatiktheorien scheint es keine derartigen Nebenbedingungen zu geben. Die theoretischen Relationen, die bei einer theoretischen Ergänzung einer Anwendung der **LFG** oder einer ihrer Spezialisierungen hinzugefügt werden müssen, scheinen in verschiedenen Anwendungen völlig unabhängig voneinander wählbar. Die F-Struktur eines Satzes in einer Sprache hat keinen Einfluss auf die Wahl der F-Struktur eines Satzes in einer anderen Sprache. Sprachen scheinen also zumindest vom Standpunkt des Grammatikers isolierte Gebilde zu sein. Selbstverständlich ist dadurch nicht ausgeschlossen, was faktisch auch ein Hauptanliegen grammatiktheoretischer Forschung ist, nämlich generalisierende Behauptungen über alle oder eine Vielzahl von Sprachen aufzustellen und Gemeinsamkeiten ihrer theoretischen Strukturen zu finden. Den Grund dafür mag man darin sehen, dass Verbindungen zwischen Sprachen erst durch einen gemeinsamen Weltbezug, Übersetzungsrelationen oder deren Beziehung auf dasselbe oder ähnliche kognitive Subjekte hergestellt werden. Diese Beziehungen involvieren aber semantische oder kognitivistische Theorien und haben somit ihren Platz nicht in einer reinen Grammatiktheorie. Für die Nebenbedingungen der **LFG** gilt demnach:

$$\mathbf{C}(\mathbf{LFG}) = \mathbf{Pot}(\mathbf{M}(\mathbf{LFG})) \tag{4.29}$$

Fügt man die Nebenbedingungen als viertes Element in einen isolierten Theoriekern ein, so gelangt man zu einem (echten) Theoriekern.

Definition D-4.3-3 (Theoriekern) *x ist ein* Theoriekern *einer Theorie θ ($x \in$ $\mathbf{K}(\theta)$) gdw$_{df}$ es gibt $\mathbf{M_{pp}}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{C}(\theta)$, so dass*

(a) $x = \langle \mathbf{M_{pp}}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{C}(\theta) \rangle$,

(b) $\langle \mathbf{M_{pp}}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_p}(\theta) \rangle$ *ist ein isolierter Theoriekern,*

(c) $\mathbf{C}(\theta) \subseteq \mathbf{Pot}(\mathbf{M}(\theta))$ *und*

(d) *für alle $y \in \mathbf{M}(\theta)$ gilt, dass $\{y\} \in \mathbf{C}(\theta)$.*

Für *Theorie-Elemente* kann man dann festlegen:

Definition D-4.3-4 (Theorie-Element) $\mathbf{T}(\theta)$ *ist ein* Theorie-Element *einer Theorie θ gdw$_{df}$ es $\mathbf{I}(\theta), \mathbf{K}(\theta), \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta), \mathbf{C}(\theta)$ gibt, so dass*

(a) $\mathbf{T}(\theta) = \langle \mathbf{K}(\theta), \mathbf{I}(\theta) \rangle$,

(b) $\mathbf{K}(\theta) = \langle \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta), \mathbf{C}(\theta) \rangle$ *Theoriekern der Theorie θ ist,*

(c) $\mathbf{I}(\theta) \subseteq \mathbf{M_{pp}}(\theta)$ *und*

(d) $\mathbf{I}(\theta)$ *die Menge der intendierten Anwendungen von θ ist.*

Die Spezialisierungsrelationen zwischen Theoriekernen und -Elementen sind entsprechend zu erweitern:

Definition D-4.3-5 (Theoriekern-Spezialisierung) *Seien* $\mathbf{K}(\theta) = \langle \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta), \mathbf{C}(\theta) \rangle$ *und* $\mathbf{K}(\theta') = \langle \mathbf{M_p}(\theta'), \mathbf{M}(\theta'), \mathbf{M_{pp}}(\theta'), \mathbf{C}(\theta') \rangle$ *Theoriekerne von Theorien θ, θ'. Dann ist* $\mathbf{K}(\theta)$ *eine* Kernspezialisierung *von* $\mathbf{K}(\theta')$ ($\mathbf{K}(\theta) \varsigma_{\mathbf{K}} \mathbf{K}(\theta')$) *gdw$_{df}$*

(a) $\langle \mathbf{M_p}(\theta), \mathbf{M}(\theta), \mathbf{M_{pp}}(\theta) \rangle \varsigma_{\mathbf{K_i}} \langle \mathbf{M_p}(\theta'), \mathbf{M}(\theta'), \mathbf{M_{pp}}(\theta') \rangle$ *und*

(b) $\mathbf{C}(\theta) \subseteq \mathbf{C}(\theta')$.

Falls zwei isolierte Theoriekerne von Grammatiktheorien in der Relation isolierter Theoriekern-Spezialisierungen stehen, sind sie auch (echte) Theoriekern-Spezialisierungen, wenn (4.29) und Analoges für die Nebenbedingungen anderer Grammatiktheorien gilt. Denn aus

$$\mathbf{M}(\theta) \subseteq \mathbf{M}(\theta')$$

$$\mathbf{C}(\theta) = \mathbf{Pot}(\mathbf{M}(\theta))$$

und

$$\mathbf{C}(\theta') = \mathbf{Pot}(\mathbf{M}(\theta'))$$

folgt:

$$\mathbf{C}(\theta) \subseteq \mathbf{C}(\theta)$$

Definition D-4.3-6 (Theorie-Element-Spezialisierung) *Seien* $\mathbf{T}(\theta) = \langle \mathbf{K}(\theta), \mathbf{I}(\theta)\rangle$ *und* $\mathbf{T}(\theta') = \langle \mathbf{K}(\theta'), \mathbf{I}(\theta')\rangle$ *isolierte Theorieelemente von Theorien* θ, θ'. *Dann ist* $\mathbf{T}(\theta)$ *eine* Spezialisierung *von* $\mathbf{T}(\theta')$ $(\mathbf{T}(\theta) \varsigma \mathbf{T}(\theta'))$ *gdw*$_{df}$

(a) $\mathbf{K}(\theta) \varsigma_{\mathbf{K}} \mathbf{K}(\theta')$ *und*

(b) $\mathbf{I}(\theta) \subseteq \mathbf{I}(\theta')$.

Ein durch die Spezialisierungsrelation zwischen Theorie-Elementen N aufgespanntes Netz $\langle N, \varsigma\rangle$ wird auch als *Theoriennetz* bezeichnet. Da ς von der Teilmengenbeziehung die Reflexivität, Transitivität und Antisymmetrie "erbt", ist $\langle N, \varsigma\rangle$ gruppentheoretisch gesprochen eine Halbordnung, also als ein Baum oder eine Ansammlung von Bäumen vorstellbar, wobei das je allgemeinste Theorie-Element die Wurzel bildet. Im Falle der **LFG**-basierten Grammatiktheorien ist zudem erfüllt, dass alle Spezialisierungen vom Theorie-Element **LFG** aus erreichbar sind, der Baum also eine eindeutige Wurzel hat.

4.4 Verbindungen zu anderen linguistischen Theorien

Im Abschnitt 3.7.3 war darauf hingewiesen worden, dass es keine endlich widerlegbaren Grammatiktheorien mit einer generativen Kapazität oberhalb der regulären Grammatiken gibt. Für die Wahl eines *bestimmten* Grammatikformalismus, dessen generative Kapazität in einer zur Beschreibung kreuzserieller Konstruktionen geeigneten Weise zwischen kontextfreien und kontextsensitiven Grammatiken angesiedelt ist, gibt es keine zwingenden grammatiktheoretischen Gründe, soweit bekannt ist. Zu den Grammatiktheorie-internen Gründen für die Entscheidung für einen Grammatikformalismus gehören Intuitionsnähe, Ökonomie und Algorithmisierbarkeit. Letzteres spielt sowohl für die empirische Arbeit eine Rolle, da ja entscheidbar sein soll, ob die Grammatik Testergebnissen entspricht oder nicht, als auch für Anwendungen in der maschinellen Sprachverarbeitung.

Ausschlaggebend für die Wahl eines theoretischen Apparates scheinen aber eher Gründe zu sein, die in der Verknüpfbarkeit mit anderen linguistischen Theorien liegen. Die Semantik scheint bei der Wahl der theoretischen Beschreibungsmöglichkeiten für grammatische Phänomene eine Schlüsselposition einzunehmen. Da in praktisch allen Bereichen der Linguistik mehr oder weniger kompatible Theorieansätze miteinander konkurrieren und Ansätze in verschiedenen Bereichen häufig nahezu beliebig kombinierbar sind, kann hierzu kaum Abschließendes gesagt werden. Die Fruchtbarkeit eines Theorieansatzes in einem Bereich für die Verknüpfung mit anderen wird meist exemplarisch an Theoriefragmenten der anderen Bereiche gezeigt. Die folgenden Bemerkungen sollen Hinweise geben, wie die Verknüpfungen wissenschaftstheoretisch zu rekonstruieren sind. Dabei scheint sich nur für die Bereiche Semantik, Morphologie und Phonologie Verbindliches zu ihrer Verbindung zur Grammatiktheorie feststellen zu lassen.

4.4.1 Semantische Theorien

Semantische Theorien natürlicher Sprachen beschreiben

- Folgerungsbeziehungen zwischen Satzmengen und Sätzen,
- Synonymieverhältnisse zwischen sprachlichen Ausdrücken,
- Beziehungen zwischen sprachlichen Ausdrücken und außersprachlichen Gegenständen,
- Wortfelder (Netze semantischer Relationen).

Zu diesem Zweck verfügen semantische Theorien (explizit oder implizit) über eine Funktion ϕ, die sprachliche Ausdrücke auf die zugehörigen außersprachlichen Gegenstände abbildet. Diese außersprachlichen Gegenstände können im Falle einer modelltheoretischen Semantik Elemente eines oder mehrerer Diskursuniversen bzw. Elemente einer darauf definierten typisierten Mengenstruktur sein.

ϕ ist auch für andere Ausdrücke als Sätze definiert: für Wortformen, Phrasen etc. Kompositionelle Semantiktheorien treffen auch immer eine Aussage darüber, wie sich die Bedeutung eines größeren Ausdrucks aus den Bedeutungen seiner Teilausdrücke zusammensetzt, es gibt also eine Funktion f derart, dass

$$\phi(s_1 \circ \ldots \circ s_n) = f(\phi(s_1), \ldots, \phi(s_n))$$

In einer modelltheoretischen Semantik wird ϕ häufig so eingerichtet, dass

$$f(\phi(s_1), \ldots, \phi(s_n)) = \langle \phi(s_2), \ldots, \phi(s_n) \rangle \in \phi(s_1)$$

oder

$$f(\phi(s_1), \ldots, \phi(s_n)) = \langle \phi(s_1), \phi(s_3) \ldots, \phi(s_n) \rangle \in \phi(s_2)$$

etc.

Das Finden geeigneter Funktionen ϕ und f in natürlichen Sprachen wird erheblich dadurch erschwert, dass in natürlichen Sprachen die Reihenfolge der Teilausdrücke $s_1, \ldots, s_n$ auch bei gleichbleibender Satzbedeutung teilweise variabel ist und die als Funktion und Argument "zusammengehörigen" Ausdrücke zum Teil durch andere Ausdrücke voneinander getrennt sind, bei den kreuzseriellen Abhängigkeiten sogar systematisch.

Die starke Intuition, dass eine kontextfreie Analyse kreuzserieller Abhängigkeiten nicht angemessen ist, kann nun aus semantischer Sicht darauf zurückgeführt werden, dass bei der kontextfreien Analyse aus der Expansion eines Symbols hervorgehende Symbolketten immer geschlossene sind und die Ableitung in einer kontextfreien Grammatik die semantischen Verhältnisse nicht wiederspiegelt.

In LFGs sind zumindest die F-Strukturen in keiner Weise an die lineare Ordnung des Satzes gebunden. F-Strukturen können gewissermaßen zueinander gehörige Satzteile "einsammeln", auch wenn sie nicht benachbart sind. Dies macht man sich in semantischen Theorien zu LFGs oder anderen unifikationsbasierten Grammatiktheorien zunutze, indem man eine Funktion ϕ' einführt, die nicht direkt sprachliche Ausdrücke auf außersprachliche Gegenstände abbildet, sondern abstrakte Merkmalstrukturen auf außersprachliche Gegenstände. In der Regel wird in LFGs ein Merkmal $PRED$ eingeführt, das als Grundlage für die Definition von ϕ' dient. In (4.28) können Prädikat und zugehörige Argumente direkt am Pfad $q_0 PRED$ abgelesen werden. Die für die Bestimmung der Satzbedeutung relevante Unterstruktur ist:

$$q_0 : \left[PRED\!: \left[\begin{array}{ll} REL & : [\![\mathit{sieht}]\!] \\ ARG1\!: & \left[\begin{array}{ll} PRED\!: & [\![\mathit{linguist}]\!] \\ DEF & : \ominus \end{array} \right] \\ ARG2\!: & \left[\begin{array}{ll} PRED\!: & [\![\mathit{linguistin}]\!] \\ DEF & : \oplus \end{array} \right] \end{array} \right] \right] \tag{4.30}$$

(Die Pfade (q_0 $PRED$ $ARG1$ DEF) und (q_0 $PRED$ $ARG1$ DEF) werden zur Ermittlung der korrekten Quantifikationsstruktur benötigt.)

Die indirekte Interpretation von natürlichsprachlichen Ausdrücken über theoretische Strukturen erlaubt es auch, ϕ' als Funktion einzuführen und dennoch mehrdeutige sprachliche Ausdrücke zuzulassen: **lex** kann einem lexikalischen Element mehrere Symbole oder Pfadgleichungsfunktionen zuordnen, auch der Regelapparat kann mehrere Analysen desselben Ausdrucks zulassen. Wenn dies bei einem Satz zu mehreren F-Strukturen führt, kann ϕ' ihnen auch verschiedene Interpretationen zukommen lassen.

Zu den Relationen der Modelle einer derartigen auf einer LFG aufsetzenden semantischen Theorie wird auch die Relation **F-Strukt** gehören, die sprachlichen Ausdrücken F-Strukturen zuordnet. Wenn wir zu den Bestimmungsstücken der Modelle einer semantischen Theorie die Bestimmungsstücke einer Sprache* $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L} \rangle$, die Diskursuniversen $U_1, \ldots, U_n$ und die für die Interpretation benötigten Mengen der auf den Diskursuniversen definierten typisierte Mengenstruktur $P_1, \ldots, P_m$, ϕ', **F-Strukt** sowie diverse semantische Relationen $S_1, \ldots, S_l$ rechnen, so erhalten wir Modelle der Form: $\langle L, D, \uparrow, \mathcal{L}, U_1, \ldots, U_n, P_1, \ldots, P_m, \phi'$, $\mathbf{F\text{-}Strukt}, S_1, \ldots, S_l, \ldots \rangle$. Ohne dass an dieser Stelle ein umfassendes Urteil darüber gefällt werden könnte, welche Relationen einer semantischen Theorie als theoretisch zu betrachten sind, ist es doch auszuschließen, dass $L, D, \uparrow, \mathcal{L}$, **F-Strukt** dazu gehören, weil diese Relationen schon zumindest in den durch Spezialisierungen abgedeckten Sprachklassen der Grammatiktheorie hinreichend genau bestimmt werden und die semantische Theorie kaum etwas zu ihrer näheren Bestimmung beitragen dürfte.

4.4.2 Morphologische Theorien

Auch die lexikalischen Elemente in D und die ihnen durch **lex** zugeordneten Kategorisierungen unterliegen bestimmten Regularitäten, sofern wir Wortformen als Elemente von D wählen. Wortformen sind häufig in kleinere Elemente wie Präfixe, Stämme und Suffixe oder andere Wortformen segmentierbar, die kleinsten Segmente einer morphologischen Theorie sind die *Morphe*. Im Prinzip sind diese Regularitäten sämtlich in eine Satzgrammatik zu integrieren, man muss dazu nur D als die Menge der Morphe statt der Wortformen wählen und die übrigen Elemente der Grammatiktheorie entsprechend einrichten. Aus drei Gründen wird die Morphologie jedoch in der Regel separat behandelt:

1. die Morphologie ist ausnahmebehafteter als die Satzgrammatik,

2. an den Segmentgrenzen beeinflussen sich Morphe in ihrer Gestalt,

3. Wortformen als kleinste Einheiten der Satzgrammatik korrespondieren den kleinsten Einheiten, die in der Semantik für gewöhnlich interpretiert werden.

Eine morphologische Theorie ist ähnlich aufgebaut wie eine satzgrammatische Theorie. Sie beschreibt eine Sprache* $\langle W, M, \uparrow, \mathcal{W}\rangle$, wobei in den intendierten Anwendungen $\mathcal{W}$ die Menge der Wortformen einer Sprache und M die Menge der Morphe ist. Im Gegensatz zu einer Satzgrammatik gibt es in einer morphologischen Theorie gleich mehrere Startsymbole $S_1, \ldots, S_n$, für jede Wortart eines. Eine morphologische Theorie für eine unifikationsbasierte Grammatik ist sinnvollerweise selbst als unifikationsbasierte Grammatik angelegt. Es wird dann eine zu **F-Strukt** analoge Zuordnung von F-Strukturen zu Wortformen, nennen wir sie $\mathbf{F\text{-}Strukt}^M$, geben.

Die Verknüpfung zwischen einer morphologischen Theorie und einer LFG kann für auf dieselbe natürliche Sprache bezogene Modelle nun so konstruiert werden: Sei $\left\langle L, D, \Sigma^*, \Sigma, Q, \mathcal{F}, \mathcal{A}, N, \uparrow, \mathcal{L}, \mathbf{F\text{-}Strukt}, \uparrow^\Sigma, S, \rightarrow, \#^\rightarrow, \#^{\mathbf{FS}}, \mathbf{lex}\right\rangle$ ein Modell der LFG und $\langle W, M, \uparrow, \mathcal{W}, \ldots, \mathbf{F\text{-}Strukt}_M, \ldots, S_1, \ldots, S_n, \rightarrow_M, \ldots, \mathbf{lex}_M\rangle$ ein zugehöriges Modell der morphologischen Theorie. Die lexikalischen Elemente D einer Satzgrammatik sind dann genau die Elemente von $\mathcal{W}$. Die Wortarten $S_1, \ldots, S_n$ können Symbolen der Satzgrammatik gleichgesetzt werden, und zwar genau den Symbolen, die durch **lex** den lexikalischen Elementen zugeordnet werden, also $\{S_1, \ldots, S_n\} \subseteq \Sigma$. Die Pfadgleichungsfunktionen, die **lex** den lexikalischen Elementen zuordnet, können, bei entsprechender Einrichtung der morphologischen Theorie, schließlich aus den F-Strukturen gewonnen werden, die $\mathbf{F\text{-}Strukt}_M$ zu den Elementen von $\mathcal{W}$ in Beziehung setzt. Genauer: **lex** kann aufgrund des entsprechenden Modells der morphologischen Theorie folgendermaßen bestimmt werden: Für alle $w \in \mathcal{W}, c \in \Sigma, f \in \mathbf{AFS}$ gilt:

$$\langle w, c, f\rangle \in \mathbf{lex}$$

gdw es ein $s' \in \Sigma^*{}_M$ gibt, so dass

$$c \Rightarrow^* s'$$

und

$$\mathbf{lex}^*_M(w, s')$$

und

$$f \in \{\mathcal{FS} \mid \langle w, \mathcal{FS}\rangle \in \mathbf{F\text{-}Strukt}_M\}$$

In der für semantische und morphologische Theorien angedeuteten Weise kann man Verknüpfungen zwischen Theorien als Bedingungen an die Kombinierbarkeit von Modellen verstehen. Für dieselbe natürliche Sprache sind nur bestimmte grammatiktheoretische Modelle mit bestimmten morphologischen und semantischen Modellen kombinierbar. Solche intertheoretischen Verknüpfungen sind folglich als Relationen zwischen den Klassen der potentiellen Modelle der Theorien rekonstruierbar, für zwei Theorien θ, θ' ist also eine intertheoretische Verknüpfung eine Relation L

$$L \subseteq \mathbf{M_p}(\theta) \times \mathbf{M_p}(\theta')$$

4.5 Schluss

Diese Arbeit hat Grammatiktheorien und ihre Beziehung zur Empirie in einer Weise rekonstruiert, die zwar Spezialisierungen von Grammatiktheorien einen starken empirischen Gehalt zuspricht, jedoch die rein grammatiktheoretischen Argumente für oder wider eine bestimmte allgemeine Basistheorie schwach erscheinen lässt.

Die Entscheidung für oder wider eine grammatische Basistheorie in der Linguistik scheint wesentlich von der Verknüpfbarkeit der Grammatiktheorien mit benachbarten Theorien abhängig. Bei Grammatikformalismen mit ausreichender generativer Mächtigkeit, mindestens also bei Theorien von der Mächtigkeit kontextsensitiver Grammatiken, scheidet die isolierte empirische Adäquatheit als Auswahlkriterium einer Grammatiktheorie aus. Es ist davon auszugehen, dass die intertheoretische Verknüpfbarkeit zum entscheidenden Kriterium wird.

Literaturverzeichnis

[Aarts and Meijs 1984] Aarts, Jan and W. Meijs, eds. (1984). *Corpus linguistics*. New Series 45. Rodopi, Amsterdam.

[Aarts and Meijs 1986] Aarts, Jan and W. Meijs, eds. (1986). *Corpus linguistics II*. New Series 47. Rodopi, 1986.

[Aarts and Meijs 1990] Aarts, Jan and W. Meijs, eds. (1990). *Theory and practice in corpus linguistics*. Rodopi, Amsterdam.

[Abramson and Dahl 1989] Abramson, Harvey and V. Dahl (1989). *Logic Grammars*. Symbolic Computation. Springer-Verlag, New York; Berlin; Heidelberg; London; Paris; Tokyo.

[Ades and Steedman 1980] Ades, Anthony E. and M. J. Steedman (1980). *On the order of words*. Linguistics and Philosophy, 4:517–558.

[Allan 1986] Allan, Keith (1986). *Linguistic Meaning*. Routledge and Kegan Paul. 2 vols.

[Allen 1987] Allen, James (1987). *Natural Language Understanding*. Benjamin / Cummings Publishing Company, Menlo Park, California etc.

[Anderson 1993] Anderson, David Leech (1993). *What is the model-theoretic argument?*. The Journal of Philosophy, XC(6):306–322.

[Atkins et al. 1992] Atkins, Sue, J. Clear, and N. Ostler (1992). *Corpus design criteria*. Literary and Linguistic Computing, 7(1):1–16.

[Bach 1984] Bach, Emmon (1984). *Some Generalizations of Categorial Grammars*, pp. 1–23. In [Landman and Veltman 1984].

[Balzer 1976] Balzer, Wolfgang (1976). *Holismus und Theoriebeladenheit der Beobachtungssprache (ein Beispiel)*. Erkenntnis, 10:337–348.

[Balzer 1980] Balzer, Wolfgang (1980). *Günther Ludwigs Grundstrukturen einer physikalischen Theorie*. Erkenntnis, 15:391–408.

[Balzer 1982] Balzer, Wolfgang (1982). *Empirische Theorien: Modelle, Strukturen, Beispiele*. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Wiesbaden.

[Balzer 1985] Balzer, Wolfgang (1985). *Theorie und Messung*. Springer-Verlag, Berlin etc.

[Balzer 1996] Balzer, Wolfgang (1996). *Theoretical Terms: Recent Developments*. In: [Balzer and Moulines 1996], Kap. 8.

[Balzer und Heidelberger 1983] Balzer, Wolfgang und M. Heidelberger, Hrsg. (1983). *Zur Logik empirischer Theorien*. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

[Balzer and Moulines 1980] Balzer, Wolfgang and C. U. Moulines (1980). *On theoreticity*. Synthese, 44:467–494.

[Balzer and Moulines 1996] Balzer, Wolfgang and C. U. Moulines, eds. (1996). *Structuralist Theory of Science*. Perspectives in Analytical Philosophy. Walter de Gruyter, Berlin; New York.

[Balzer et al. 1987] Balzer, Wolfgang, C. U. Moulines, and J. D. Sneed (1987). *An Architectonic for Science*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht etc.

[Balzer und Sneed 1983] Balzer, Wolfgang und J. D. Sneed (1983). *Verallgemeinerte Netz-Strukturen empirischer Theorien*. In: [Balzer und Heidelberger 1983].

[Bar-Hillel 1960] Bar-Hillel, Yehoshua (1960). *Some recent results in theoretical linguistics*. In [Nagel et al. 1960], pp. 551–557.

[Bar-Hillel 1964a] Bar-Hillel, Yehoshua (1964a). *Language and Information. Selected Essays on their Theory and Application.*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts; Palo Alto; London.

[Bar-Hillel 1964b] Bar-Hillel, Yehoshua (1964b). *On Categorial and Phrase Structure Grammar*, chap. 8, pp. 99–115. In [Bar-Hillel 1964a]. First appeared in The Bulletin of the Research Council of Israel, vol. 9F (1960), pp. 1-16.

[Bar-Hillel 1964c] Bar-Hillel, Yehoshua (1964c). *On Formal Properties of Simple Phrase Structure Grammars*, chap. 9, pp. 116–150. In [Bar-Hillel 1964a]. First appeared in Zeitschrift für Phonetik, Sprachwissenschaft und Kommunikationsforschung, vol. 14 (1961), pp. 143-172.

[Bar-Hillel et al. 1961] Bar-Hillel, Yehoshua, M. Perles, and E. Shamir (1961). *On formal properties of simple phrase structure grammars*. Zeitschrift für Phonetik, Sprachwissenschaft und Kommunikationsforschung, 14:143–172.

[Barton 1986] Barton, E. (1986). *Computational complexity in two-level morphology*. In *24th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*.

[Bartsch und Vennemann 1983] Bartsch, Renate und T. Vennemann (1983). *Grundzüge der Sprachtheorie. Eine linguistische Einführung*. Konzepte der Sprach- und Literaturwissenschaft. Niemeyer, Tübingen.

[Barwise and Cooper 1980] Barwise, Jon and R. Cooper (1980). *Generalized quantifiers and natural language*. Linguistics and Philosophy, 4:159–218.

[Bátori et al. 1989] Bátori, István S., W. Lenders, and W. Putschke, eds. (1989). *Computational Linguistics – Computerlinguistik*. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

[Bäuerle et al. 1979] Bäuerle, Rainer, U. Egli, and A. V. Stechow, eds. (1979). *Semantics from Different Points of View*. Springer Series in Language and Communication. Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg; New York.

[Bäuerle et al. 1983] Bäuerle, Rainer, C. Schwarze, and A. V. Stechow, eds. (1983). *Meaning, Use, and Interpretation of Language*. Walter de Gruyter, Berlin; New York.

[Bausch 1979] Bausch, Karl-Heinz (1979). *Intuition und Datenerhebung in der Linguistik. Zur pragmatischen Basis linguistischer Methodologie*. In [Bergenholtz and Schaeder 1979], pp. 71–88.

[Benthem 1988] Benthem, Johan Van (1988). *A Manual of Intensional Logic*. Menlo Park, CA; Stanford, CA; Palo Alto, CA, 2. ed.

[Benthem 1989] Benthem, Johan Van (1989). *Polyadic quantifiers*. Linguistics and Philosophy, 12:437–464.

[Benthem and Meulen 1985] Benthem, Johan Van and A. T. Meulen, eds. (1985). *Generalized Quantifiers in Natural Language*. Groningen-Amsterdam Studies in Semantics. Foris Publications, Dordrecht, Holland; Cinnaminson, USA.

[Bergenholtz and Mugdan 1989] Bergenholtz, Henning and J. Mugdan (1989). *Korpusproblematik in der Computerlinguistik: Konstruktionsprinzipien und Repräsentativität*. In [Bátori et al. 1989], pp. 141–150.

[BERGENHOLTZ and SCHAEDER 1979] BERGENHOLTZ, HENNING and B. SCHAEDER, eds. (1979). *Empirische Textwissenschaft*. Monographien Linguistik und Kommunikationswissenschaft, Bd. 39. Scriptor, Königstein/Ts.

[BERWICK 1990] BERWICK, R. (1990). *Grammar, transformational*. In [SHAPIRO 1990], pp. 353–361.

[BERWICK 1984] BERWICK, ROBERT C. (1984). *Strong generative capacity, weak generative capacity, and modern linguistic theories*. Computational Linguistics, 10(3-4):189–202.

[BIBER 1993a] BIBER, DOUGLAS (1993a). *The multi-dimensional approach to linguistic analyses of genre variation: An overview of methodology and findings*. Computers and the Humanities, 26:331–345.

[BIBER 1993b] BIBER, DOUGLAS (1993b). *Using register-diversified corpora for general language studies*. Computational Linguistics, 19(2):219–241.

[BIELEFELD et al. 1977] BIELEFELD, HANS-ULRICH, E. W. HESS-LÜTTICH und A. LUNDT, Hrsg. (1977). *Soziolinguistik und Empirie*. Athenaion-Skripten Linguistik. Athenaion, Wiesbaden.

[BIERWISCH 1983] BIERWISCH, MANFRED (1983). *Semantische und konzeptuelle Repräsentation lexikalischer Einheiten*. In: RUZICKA, RUDOLF und W. MOTSCH, Hrsg.: *Untersuchungen Zur Semantik*, S. 61–99. Akademie-Verlag, Berlin.

[BILLMEIER 1969] BILLMEIER, GÜNTHER (1969). *Worthäufigkeitsverteilungen vom Zipfschen Typ, überprüft an deutschem Textmaterial*. IKP-Forschungsbericht 69–6. IKP, Bonn.

[BILLMEIER und KRALLMANN 1969] BILLMEIER, GÜNTHER und D. KRALLMANN (1969). *Bibliographie zur statistischen Linguistik*. IKP-Forschungsbericht 69–3. IKP, Bonn.

[BIRD 1992] BIRD, STEVEN (1992). *Finite-state phonology in HPSG*. In [BOITET 1992], pp. 74–80.

[BLOOMFIELD 1933] BLOOMFIELD, L. (1933). *Language*. New York.

[BODEN 1990] BODEN, MARGARET A., ed. (1990). *The Philosophy of Artificial Intelligence*. Oxford Readings in Philosophy. Oxford University Press, Oxford etc.

[BOITET 1992] BOITET, CH., ed. (1992). *COLING-92 Nantes. Proceesings of the 14th International Conference on Computational Linguistics*, Nantes. ICCL.

[BRAITHWAITE 1930] BRAITHWAITE, R. B., ed. (1930). *The Foundations of Mathematics and other Logical Essays by Frank Plumpton Ramsey*. Routledge & Kegan Paul Ltd, London.

[BRESNAN et al. 1982] BRESNAN, JOAN, R. M. KAPLAN, S. PETERS, and A. ZAENEN (1982). *Cross-serial dependencies in Dutch*. Linguistic Inquiry, 13(4):613–635.

[BRESNAN 1982] BRESNAN, JOAN W., ed. (1982). *The Mental Representation of Grammatical Relations*. MIT Press, Cambridge, Mass.

[BRESNAN and KAPLAN 1982] BRESNAN, JOAN W. and R. M. KAPLAN (1982). *Lexical functional grammar: A formal system for grammatical representation*. In [BRESNAN 1982], pp. 173–281.

[BRISCOE et al. 1993] BRISCOE, TED, V. DE PAIVA, and A. COPESTAKE, eds. (1993). *Inheritance, Defaults and the Lexicon*. Studies in Natural Language Processing. Cambridge University Press, Cambridge, Mass.

[BROWN 1976] BROWN, HAROLD I. (1976). *Reduction and scientific revolutions*. Erkenntnis, 10:381–385.

[BRUCE and MOSER 1990] BRUCE, B. and M. G. MOSER (1990). *Grammar, case*. In [SHAPIRO 1990], pp. 333–339.

[BRYANT et al. 1986] BRYANT, BARRETT R., D. JOHNSON, and B. EDUPUGANTY (1986). *Formal specification of natural-language syntax using two-level grammar*. In *Proceedings of COLING '86. 11Th International Conference on Computational Linguistics*, Bonn. University of Bonn.

[BUCHBERGER 1987] BUCHBERGER, ERNST, Hrsg. (1987). *AI-Dictionary. Die Begriffswelt der Wissensverarbeitung und Künstlichen Intelligenz*, Bd. 1 d. Reihe *Schriftenreihe der österreichischen Gesellschaft für Artificial Intelligence*. Symbolics GmbH, Eschborn/Ts.

[BUNGARTEN 1979] BUNGARTEN, THEO (1979). *Das Korpus als empirische Grundlage in der Linguistik und Literaturwissenschaft*. In: [BERGENHOLTZ and SCHAEDER 1979], S. 28–51.

[BURGIN and KUZNETSOV 1994] BURGIN, MARK and V. KUZNETSOV (1994). *Scientific problems and questions from a logical point of view*. Synthese, 100:1–28.

[Burton 1990] Burton, R. (1990). *Grammar, transformational*. In [Shapiro 1990], pp. 351–353.

[Cann 1993] Cann, Ronnie (1993). *Formal Semantics: An Introduction*. Cambridge Textbooks in Linguistics. Cambridge University Press, Cambridge.

[Carnap 1947] Carnap, Rudolf (1947). *Meaning and Necessity. A Study in Semantics and Modal Logic.*. University of Chicago Press, Chicago and London, 2nd ed. Enlarged edition 1956. Reprinted 1988.

[Carson 1988] Carson, Julie (1988). *Unification and transduction in computational phonology*. In [Vargha 1988], pp. 106–110.

[Chang and Keisler 1990] Chang, C. C. and H. J. Keisler (1990). *Model Theory*. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics. Elsevier Science Publishers, Amsterdam; New York; Oxford; Tokyo, 3rd ed.

[Charniak and McDermott 1984] Charniak, Eugene and D. McDermott (1984). *Introduction to Artificial Intelligence*. Series in Computer Science. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass.; Menlo Park, Cal. etc.

[Cheyne 1993] Cheyne, Colin (1993). *Discussion: Reduction, elimination, and firewalking*. Philosophy of Science, 60:349–357.

[Chierchia and McConnell-Ginet 1990] Chierchia, Gennaro and S. McConnell-Ginet (1990). *Meaning and Grammar: An Introduction to Semantics*. The MIT Press, Cambridge, Mass.; London, England.

[Chomsky 1956] Chomsky, Noam (1956). *Three models for the description of language*. IRE Transactions on Information Theory, IT-2(3):113–124.

[Chomsky 1957] Chomsky, Noam (1957). *Syntactic Structures*. Janua Linguarum. Mouton & Co., 'S-Gravenhage.

[Chomsky 1959] Chomsky, Noam (1959). *Review of B.F. Skinner: Verbal behavior*. Language, 35:26–58.

[Chomsky 1963] Chomsky, Noam (1963). *Formal properties of grammars*. In [Luce et al. 1963], chap. 12, pp. 323–418.

[Chomsky 1965] Chomsky, Noam (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. M.I.T. Press, Cambridge, Mass.

[Chomsky 1980] Chomsky, Noam (1980). *Rules and Representations*. Columbia University Press, New York.

[Chomsky 1992] Chomsky, Noam (1992). *Sprache und Geist*. Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, Frankfurt am Main, 5. Aufl.

[Chomsky und Halle 1968] Chomsky, Noam und M. Halle (1968). *The Sound Pattern of English*. Harper & Row, New York, Evanston, London.

[Church and Patil 1982] Church, Kenneth and R. Patil (1982). *Coping with syntactic ambiguity or how to put the block in the box on the table*. American Journal of Computational Linguistics, 8(3-4):139–149.

[Clark and Roberts 1993] Clark, Robin and I. Roberts (1993). *A computational model of language learnability and language change*. Linguistic Inquiry, 24(2):299–345.

[Coelho 1990] Coelho, H. (1990). *Grammar, definite-clause*. In [Shapiro 1990], pp. 339–342.

[Covington 1989] Covington, Michael A. (1989). *Gulp 2.0: An extension of prolog for unification-based grammar*. Research Report AI-1989-01, Advanced Computational Methods Center, University of Georgia, Athens, Georgia.

[Covington 1994] Covington, Michael A. (1994). *Natural Language Processing for Prolog Programmers*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

[Covington et al. 1988] Covington, Michael A., D. Nute, N. Schmitz, and D. Goodman (1988). *From English to Prolog via Discourse Representation Theory*. Research Report 01-0024, Advanced Computational Methods Center, University of Georgia, Athens, Georgia.

[Covington and Schmitz 1989] Covington, Michael A. and N. Schmitz (1989). *An implementation of Discourse Representation Theory*. Research Report 01-0023, Advanced Computational Methods Center, University of Georgia, Athens, Georgia.

[Cresswell 1973] Cresswell, M. J. (1973). *Logics and Languages*. Methuen & Co. Ltd., London.

[Croft 1993] Croft, William (1993). *Functional-typological theory in its historical and intellectual context*. Sprachtypologie und Universalienforschung, 46(1):15–26.

[Crystal 1990] Crystal, David (1990). *A Dictionary of Linguistics and Phonetics*. Basil Blackwell, Cambridge, Mass., 2 ed.

[Culy 1985] Culy, Christopher (1985). *The complexity of the vocabulary of Bambara*. Linguistics and Philosophy, 8:345–351.

[Dahl 1993] Dahl, Verónica (1993). *What the study of language can contribute to AI*. AICOM, 6(2):92–106.

[Dalrymple et al. 1995] Dalrymple, Mary, R. M. Kaplan, J. T. M. III, and A. Zaenen (1995). *Formal Issues in Lexical-Functional Grammar*. CSLI Lecture Notes. CSLI Publications, Stanford, California.

[Daly 1974] Daly, Richard Timon (1974). *Applications of the Mathematical Theory of Linguistics*. Janua Linguarum. Mouton, The Hague, Paris.

[Dekker 1996] Dekker, Paul (1996). *The values of variables in dynamic semantics*. Linguistics and Philosophy, 19:211–257.

[Diederich 1981] Diederich, Werner (1981). *Strukturalistische Rekonstruktionen*. Friedr. Vieweg & Sohn, Brauschweig, Wiesbaden.

[Diederich 1982] Diederich, Werner (1982). *Review article: Stegmüller on the structuralist approach in the philosophy of science*. Erkenntnis, 17:377–397.

[Dik 1992] Dik, Simon C. (1992). *Functional Grammar in Prolog*, vol. 2 of *Natural Language Processing*. Mouton de Gruyter, Berlin, New York.

[Dölling 1993] Dölling, Johannes (1993). *Commonsense ontology and semantics of natural language*. Sprachtypologie und Universalienforschung, 46:133–141.

[Dorling 1992] Dorling, Jon (1992). *Bayesian conditionalization resolves positivist/realist disputes*. The Journal of Philosophy, 89(7):362–382.

[Dowty et al. 1985] Dowty, David R., L. Karttunen, and A. M. Zwicky (1985). *Natural Language Parsing*. Cambridge University Press, Cambridge, Mass.

[Edwards 1972] Edwards, Paul, ed. (1972). *The Encyclopedia of Philosophy. Reprint edition*. Collier Macmillan Publishers, New York, London.

[Egidi 1991] Egidi, Rosaria (1991). *Ramsey and Wittgenstein on scientific theories*. Theoria, LVII:196–210.

[Feyerabend 1977] Feyerabend, Paul (1977). *Review of [Stegmüller 1973a]*. British Journal of the Philosophy of Science, 28:351–369.

[Fillmore 1968] Fillmore, Charles (1968). *The case for case*. In Bach, Emmon and R. T. Harms, eds.: *Universals in Linguistic Theory.*, pp. 1–90. Holt, Rinehart and Winston, Chicago.

[Fodor and Fodor 1980] Fodor, Jerry A. and J. D. Fodor (1980). *Functional structure, quantifiers, and meaning postulates*. Linguistic Inquiry, 11(4):759–770.

[Fodor and Katz 1965] Fodor, Jerry A. and J. J. Katz (1965). *The Structure of Language. Readings in the Philosophy of Language*. Prentice-Hall, Englewood-Cliffs, New Jersey, 2nd ed.

[Frege 1892] Frege, Gottlob (1892). *Über Sinn und Bedeutung*. In: Patzig, Günther, Hrsg.: *Funktion, Begriff, Bedeutung*, S. 40–65. Vandenhoek und Ruprecht, Göttingen, 6. Aufl. Orig. in Ztschr. f. Philos. u. philos. Kritik, NF 100, 1892, S. 25-50.

[Frege 1962] Frege, Gottlob (1962). *Grundgesetze der Arithmetik*, Bd. I. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2. Aufl. Unveränderter reprographischer Nachdruck der Auflage Jena 1893.

[Frege 1978] Frege, Gottlob (1978). *Ausführungen über Sinn und Bedeutung*, S. 25–34. Philosophische Bibliothek. Felix Meiner Verlag, Hamburg, 2. Aufl.

[Frege 1986a] Frege, Gottlob (1986a). *Logische Untersuchungen*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 3., durchgesehene und bibliographisch ergänzte Auflage Aufl. Herausgegeben und eingeleitet von Günther Patzig.

[Frege 1986b] Frege, Gottlob (1986b). *Logische Untersuchungen, dritter Teil: Gedankengefüge*. In: [Frege 1986a], S. 72–91. Orig. in Beitr. zur Philos. des deutschen Idealismus 3, 1923-1926, S. 36-51.

[Gabbay and Guenthner 1984] Gabbay, Dov M. and F. Guenthner, eds. (1984). *Handbook of Philosphical Logic*, vol. II: Extensions of classical logic of *Synthese Library*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.

[Gähde 1983] Gähde, Ulrich (1983). *T-Theoretizität und Holismus*. Lang, Frankfurt am Main; Bern.

[Gähde 1983] Gähde, Ulrich (1983). *T-Theoretizität und Holismus*. Europäische Hochschulschriften: Reihe 20, Philosophie, Bd. 105. Peter Lang, Frankfurt am Main; Bern.

[Gamut 1982a] Gamut, L. T. F. (1982a). *Logica, taal en betekenis*, Bd. 1: Inleiding in de logica. Uitgeverij Het Spectrum, De Meern. English translation: [Gamut 1991a].

[Gamut 1982b] Gamut, L. T. F. (1982b). *Logica, taal en betekenis*, Bd. 2: Intensionele logica en logische grammatica. Uitgeverij Het Spectrum, De Meern. English translation: [Gamut 1991b].

[Gamut 1991a] Gamut, L. T. F. (1991a). *Logic, Language, and Meaning*, vol. 1: Introduction to Logic. The University of Chicago Press, Chicago; London. Translation of [Gamut 1982a].

[Gamut 1991b] Gamut, L. T. F. (1991b). *Logic, Language, and Meaning*, vol. 2: Intensional Logic and Logical Grammar. The University of Chicago Press, Chicago; London. Translation of [Gamut 1982b].

[Gärdenfors 1987] Gärdenfors, Peter, ed. (1987). *Generalized Quantifiers. Linguistic and Logical Approaches*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht; Boston; Lancaster; Tokyo.

[Gärdenfors 1993] Gärdenfors, Peter (1993). *The emergence of meaning*. Linguistics and Philosophy, 16:285–309.

[Gazdar 1990] Gazdar, G. (1990). *Grammar, generalized phrase structure*. In [Shapiro 1990], pp. 342–344.

[Giere 1994] Giere, Ronald N. (1994). *The cognitive structure of scientific theories*. Philosophy of Science, 61(61):276–296.

[Görz 1988a] Görz, Günther (1988a). *A finite state approach to german verb morphology*. In [Vargha 1988], pp. 212–215.

[Görz 1988b] Görz, Günther (1988b). *Strukturanalyse natürlicher Sprache*. Addison-Wesley, Bonn; Reading, Mass. etc.

[Görz 1993] Görz, Günther, Hrsg. (1993). *Einführung in die künstliche Intelligenz*. Addison-Wesley, Bonn; Paris; Reading, Mass.

[Görz und Paulus 1988] Görz, Günther und D. Paulus (1988). *A Finite State Approach to German Verb Morphology*. In: [Vargha 1988], S. 212–215.

[Grize 1990] Grize, Jean-Blaise (1990). *Logique et langage*. Ophrys.

[Groenendijk and Stockhof 1991] Groenendijk, J. and M. Stockhof (1991). *Dynamic predicate logic*. Linguistics and Philosophy, 14:39–100.

[Groenendijk et al. 1981a] Groenendijk, J. A. G., T. M. V. Janssen, and M. B. J. Stockhof, eds. (1981a). *Formal Methods in the Study of Language, Part 1*, vol. 130 of *Mathematical Center Tracts*. University of Amsterdam, Amsterdam.

[Groenendijk et al. 1981b] Groenendijk, J. A. G., T. M. V. Janssen, and M. B. J. Stockhof, eds. (1981b). *Formal Methods in the Study of Language, Part 2*, vol. 130 of *Mathematical Center Tracts*. University of Amsterdam, Amsterdam.

[Groenendijk et al. 1987] Groenendijk, Jeroen, D. de Jongh, and M. Stockhof, eds. (1987). *Studies in Dicourse Representation Theory and the Theory of Generalized Quantifiers*. Groningen-Amsterdam Studies in Semantics. Foris Publications, Dordrecht, Holland; Providence, USA.

[Gross 1977] Gross, Maurice (1977). *Remarks on the Separation between Syntax and Semantics*, pp. 71–81. In [Hopper 1977].

[Guenthner 1987] Guenthner, Franz (1987). *Linguistic meaning in discourse representation theory*. Synthese, 73:569–598.

[Haas 1987] Haas, William (1987). *Function and Structure in Linguistic Descriptions*, chap. 13, pp. 333–355. Benjamins, Amsterdam; Philadelphia.

[Hajič 1988] Hajič, Jan (1988). *Formal morphology*. In [Vargha 1988], pp. 222–224.

[Halvorsen 1983] Halvorsen, Per-Kristian (1983). *Semantics for lexical-functional grammar*. Linguistic Inquiry, 14(4):567–615.

[Händler 1980] Händler, Ernst W. (1980). *The role of utility and of statistical concepts in empirical economy theories: The empirical claims of the systems of aggregate market can supply an demand functions approach*. Erkenntnis, 15:129–157.

[Händler 1982] Händler, Ernst W. (1982). *The evolution of economic theories. A formal approach*. Erkenntnis, 18:65–96.

[Harel 1984] Harel, David (1984). *Dynamic Logic*, chap. II.10, pp. 497–604. Vol. II: Extensions of classical logic of [Gabbay and Guenthner 1984].

[Harris 1951] Harris, Z. S. (1951). *Methods in structural linguistics*. Chicago.

[Haspelmath 1994] Haspelmath, Martin (1994). *Functional categories, X-bar theory, and grammaticalization*. Sprachtypologie und Universalienforschung, 47(1):3–15.

[Heger 1970] Heger, K. (1970). *Belegbarkeit, Akzeptabilität und Häufigkeit*. In [Pilch and Richter 1970], pp. 23–33.

[Heidelberger 1976] Heidelberger, Michael (1976). *Some intertheoretic relations between Ptolemean and Copernican astronomy*. Erkenntnis, 10:323–336.

[Heim 1983] Heim, Irene (1983). *File change semantics and the familiarity theory of definiteness*. In [Bäuerle et al. 1983], pp. 164–189.

[Heinemann und Weihrauch 1992] Heinemann, Bernhard und K. Weihrauch (1992). *Logik für Informatiker*. Leitfäden und Monographien der Informatik. B. G. Teubner, Stuttgart, 2., durchgesehene Aufl.

[Hellwig 1989] Hellwig, Peter (1989). *Parsing: Grundlagen*. In: [Bátori et al. 1989], S. 348–377.

[Hempel 1977] Hempel, Carl G. (1977). *Aspekte wissenschaftlicher Erklärung*. De-Gruyter-Studiebuch: Grundlagen der Kommunikation. de Gruyter, Berlin; New York. Orig.: Aspects of Scientific Explanantion and other Essays in the Philosophy of Science. New York: 1965.

[Herdan 1964] Herdan, G. (1964). *Quantitative Linguistics*. Butterworths, London.

[Heringer 1972] Heringer, Hans Jürgen (1972). *Formale Logik und Grammatik*. Germanistische Arbeitshefte. Max Niemeyer Verlag, Tübingen.

[Hermes 1961] Hermes, H. (1961). *Aufzählbarkeit, Entscheidbarkeit, Berechenbarkeit. Einführung in die Theorie der rekursiven Funktionen*. Die Grundlagen der mathematischen Wissenschaften. Springer-Verlag, Berlin; Göttingen; Heidelberg.

[Hess-Lüttich 1977] Hess-Lüttich, Ernest W.B. (1977). *Linguistik und Empirie*. In: [Bielefeld et al. 1977], S. 10–28.

[Higginbotham 1984] Higginbotham, James (1984). *English is not a context-free language*. Linguistic Inquiry, 15(2):225–234. S. a. Entgegnung in [Pullum 1985].

[Higginbotham 1985] Higginbotham, James (1985). *Reply to Pullum*. Linguistic Inquiry, 16(2):298–304. Antwort auf [Pullum 1985].

[Hintikka 1977] Hintikka, Jaakko (1977). *Quantifiers in natural language: Some logical problems II*. Linguistics and Philosophy, 1:153–172.

[Hintikka et al. 1970] Hintikka, Jaakko, J. Moravcsik, and P. Suppes, eds. (1970). *Approaches to Natural Language.*, Dordrecht. 1970 Stanford Workshop on Grammar and Semantics, D. Reidel Publishing Company.

[Hopcroft und Ullman 1994] Hopcroft, John E. und J. D. Ullman (1994). *Einführung in die Automatentheorie, formale Sprachen und Komplexitätstheorie*. Internationale Computer-Bibliothek. Addison-Wesley, Bonn, Paris etc., 3. Aufl. Orig.: Introduction to automata theory, languages and computation.

[HOPPER 1977] HOPPER, PAUL J., ed. (1977). *Studies in Descriptive and Historical Linguistics. Festschrift for Winfred P. Lehmann*. Current Issues in Linguistic Theory. John Benjamins B.V., Amsterdam.

[ITKONEN 1976] ITKONEN, ESA (1976). *Was für eine Wissenschaft ist die Linguistik eigentlich?*. In: [WUNDERLICH 1976], S. 56–76.

[ITKONEN 1978] ITKONEN, ESA (1978). *Grammatical Theory and Metascience*, vol. 5 of *Current Issues in Linguitic Theory*. John Benjamins B.V., Amsterdam.

[JANSSEN 1980] JANSSEN, THEO M. V. (1980). *Logical investigations on PTQ arising from programming requirements*. Synthese, 44:361–390.

[JOHANSSON 1976] JOHANSSON, STIG (1976). *Computer corpora in English language research*, pp. 3–6. In [JOHANSSON and STENSTRÖM 1976].

[JOHANSSON and STENSTRÖM 1976] JOHANSSON, STIG and A.-B. STENSTRÖM, eds. (1976). *English Computer Corpora: selected papers and research guide*. No. 3 in *Topics in Linguistics*. Mouton de Gruyter, Berlin, New York.

[JOHNSON 1994] JOHNSON, MARK (1994). *Two ways of formalizing grammars*. Linguistics and Philosophy, 17:221–248.

[JOSHI 1990] JOSHI, A. (1990). *Grammar, phrase-structure*. In [SHAPIRO 1990], pp. 344–351.

[KAMLAH 1976] KAMLAH, ANDREAS (1976). *An improved definition of 'theoretical in a given theory'*. Erkenntnis, 10:349–359.

[KAMP 1981] KAMP, HANS (1981). *A theory of truth and semantic representation*. In [GROENENDIJK et al. 1981a], pp. 277–322.

[KAMP 1985] KAMP, HANS (1985). *Context, thought and communication*. Proceedings of the Aristotelian Society, LXXXV:239–261.

[KAMP and REYLE 1993] KAMP, HANS and U. REYLE (1993). *From Discourse to Logic*. Studies in Linguistics and Philosophy. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; Boston; London. 2 volumes.

[KAMP and ROHRER 1983] KAMP, HANS and C. ROHRER (1983). *Tense in texts*. In [BÄUERLE et al. 1983], pp. 250–269.

[KANAZAWA 1994] KANAZAWA, MAKOTO (1994). *Weak vs. strong readings of donkey sentences and monotonicity inference in a dynamic setting*. Linguistics and Philosophy, 17(2):109–158.

[Karttunen et al. 1992] Karttunen, Lauri, R. M. Kaplan, and A. Zaenen (1992). *Two-level morphology with composition*. In [Boitet 1992], pp. 141–148.

[Kay 1979] Kay, Martin (1979). *Functional grammar*. In *Proc. 5th Ann. Meeting of the Berkeley Ling. Soc.*, pp. 142–158.

[Kemeny 1956a] Kemeny, John G. (1956a). *A new approach to semantics – part I*. The Journal of Symbolic Logic, 21(1):1–27.

[Kemeny 1956b] Kemeny, John G. (1956b). *A new approach to semantics – part II*. The Journal of Symbolic Logic, 21(2):149–161.

[Kempson and Cormack 1980] Kempson, Ruth M. and A. Cormack (1980). *Ambiguity and quantification*. Linguistics and Philosophy, 4:259–309.

[King 1989] King, Margaret (1989). *Simulation of Language Understanding: Semantic Models and Semantic Interpretation*, chap. 34, pp. 440–460. In [Bátori et al. 1989].

[Kockelmans 1976] Kockelmans, Joseph J. (1976). *Review of [Stegmüller 1973a]*. Philosophy of Science, 43:293–306.

[Kolb 1987] Kolb, Hans-Peter (1987). *Diskursrepräsentationstheorie und Deduktion*. Linguistische Berichte, 110:247–282.

[Kondakow 1978] Kondakow, N.I. (1978). *Wörterbuch der Logik*. Verlag das europäische Buch, Berlin. Herausgeber der deutschen Ausgabe: Prof. Dr. sc. Erhard Albert, Prof. Dr. sc. Günter Asser.

[Koskenniemi 1983] Koskenniemi, Kimmo (1983). *Two-level morphology: a general computational model for word-form recognition and production*. Publication No. 11. University of Helsinki: Department of General Linguistics, Helsinki.

[Koskenniemi 1988] Koskenniemi, Kimmo (1988). *Complexity, two-level morphology, and Finnish*. In [Vargha 1988], pp. 335–339.

[Koskenniemi 1990] Koskenniemi, Kimmo (1990). *Finite-state parsing and disambiguation*. In Karlgren, Hans, ed.: *COLING-90. Papers Presented to the 13Th International Conference on Computational Linguistics*, pp. 229–232.

[Koskenniemi and Church 1988] Koskenniemi, Kimmo and K. W. Church (1988). *Complexity, two-level morphology and finnish*. In [Vargha 1988], pp. 335–340.

[Kühn 1979] Kühn, Peter (1979). *Der Grundwortschatz: Bestimmung und Systematisierung*. No. 17 in *Reihe germanistische Linguistik*. Niemeyer, Tübingen.

[Kuhn 1976a] Kuhn, Thomas S. (1976a). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Suhrkamp, Frankfurt am Main, 2. Aufl. Orig.: The Structure of Scientific Revolutions. Chicago 1962.

[Kuhn 1976b] Kuhn, Thomas S. (1976b). *Theory change as structure-change: Comments on the Sneed-formalism*. Erkenntnis, 10:179–199.

[Kuhn 1992] Kuhn, Thomas S. (1992). *Die Entstehung des Neuen*, vol. 236 of *Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft*. Suhrkamp, Frankfurt am Main, 4 ed.

[Kühnhold und Wellmann 1973] Kühnhold, Ingeburg und H. Wellmann (1973). *Deutsche Wortbildung. Typen und Tendenzen in der Gegenwartssprache. Das Verb*. Pädagogischer Verlag Schwann, Düsseldorf.

[Kulas et al. 1988] Kulas, Jack, J. H. Fetzer, and T. L. Rankin, eds. (1988). *Philosophy, Language, and Artificial Intelligence. Resources for Processing Natural Language*. Studies in Cognitive Systems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

[Kutschera 1967] Kutschera, Franz von (1967). *Elementare Logik*. Springer-Verlag, Wien, New York.

[Kutschera 1972a] Kutschera, Franz von (1972a). *Wissenschaftstheorie. Grundzüge der allgemeinen Methodologie der empirischen Wissenschaften*, vol. I. Wilhelm Fink Verlag, München.

[Kutschera 1972b] Kutschera, Franz von (1972b). *Wissenschaftstheorie. Grundzüge der allgemeinen Methodologie der empirischen Wissenschaften*, vol. II. Wilhelm Fink Verlag, München.

[Kutschera 1975] Kutschera, Franz von (1975). *Sprachphilosophie*. Uni-Taschenbücher. Wilhelm Fink Verlag, München, 2. völlig neu bearbeitete und erweiterte ed.

[Kutschera 1976] Kutschera, Franz von (1976). *Einführung in die intensionale Semantik*. De-Gruyter-Studienbuch: Grundlagen der Kommunikation. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

[Kutschera 1977] Kutschera, Franz von (1977). *Humes Gesetz*. Grazer Philosophische Studien, 4:1–14.

[Kutschera 1978] Kutschera, Franz von (1978). *Goodman on induction*. Erkenntnis, 12:189–207.

[Kutschera 1982] Kutschera, Franz von (1982). *Grundfragen der Erkenntnistheorie*. De Gruyter Studienbücher. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

[Ladusaw 1983] Ladusaw, William A. (1983). *Logical form and conditions on grammaticality*. Linguistics and Philosophy, 6:373–392.

[Landman and Moerdijk 1983] Landman, Fred and I. Moerdijk (1983). *Compositionality and the analysis of anaphora*. Linguistics and Philosophy, 6:89–114.

[Landman and Veltman 1984] Landman, Fred and F. Veltman, eds. (1984). *Varieties of Formal Semantics*, Groningen-Amsterdam Studies in Semantics, Dordrecht, Holland; Cinnaminson, USA. Fourth Amsterdam Colloquium, September 1992, Foris Publications.

[Langendoen 1977] Langendoen, D. Terence (1977). *On the Inadequacy of Type-3 and Type-2 Grammars for Human Languages*, pp. 159–171. In [Hopper 1977].

[Langendoen and Postal 1984] Langendoen, D. Terence and P. M. Postal (1984). *Comments on Pullum's criticisms*. Computational Linguistics, 10(3-4):187–188. Kommentar zu [Pullum 1984].

[Lenders 1989a] Lenders, Winfried (1989a). *Computergestützte Verfahren zur semantischen Beschreibung von Sprache*, Kap. 20, S. 231–244. In: [Bátori et al. 1989].

[Lenders 1989b] Lenders, Winfried (1989b). *Segmentierung in der Computerlinguistik*, S. 159–166. In: [Bátori et al. 1989].

[Lenders 1993] Lenders, Winfried (1993). *Korpora – Stand der Forschung*. Sprache und Datenverarbeitung, 17(1–2):9–20.

[Lenk 1971] Lenk, H., Hrsg. (1971). *Neue Aspekte der Wissenschaftstheorie*. Braunschweig. Beiträge zur wissenschaftlichen Tagung des Engeren Kreises der Allgemeinen Gesellschaft für Philosophie in Deutschland, Karlsruhe 1970.

[LePore 1987] LePore, Ernest, ed. (1987). *New Directions in Semantics*. Cogntive Science Series. Academic Press, London; Orlando; New York etc.

[Levelt 1974a] Levelt, W. J. M. (1974a). *Formal Grammars in Linguistics and Psycholinguistics*, vol. II: Applications in Linguistic Theory of *Janua Linguarum*. Mouton, The Hague; Paris.

[LEVELT 1974b] LEVELT, W. J. M. (1974b). *Formal Grammars in Linguistics and Psycholinguistics*, vol. III: Psycholinguistic Applications of *Janua Linguarum*. Mouton, The Hague; Paris.

[LINK 1979] LINK, GODEHARD (1979). *Montague-Grammatik*. Kritische Information. Wilhelm Fink Verlag, München.

[LINK 1991] LINK, GODEHARD (1991). *Formale Methoden in der Semantik*. In: [STECHOW und WUNDERLICH 1991], Kap. 41, S. 833–860.

[LOHNSTEIN 1996] LOHNSTEIN, HORST (1996). *Formale Semantik und natürliche Sprache*. Westdeutscher Verlag, Opladen.

[LUCE et al. 1963] LUCE, R. DUNCAN, R. R. BUSH, and E. GALANTER, eds. (1963). *Handbook of Mathematical Psychology*, vol. II. John Wiley and Sons, Inc., New York; London.

[LUTZEIER 1973] LUTZEIER, PETER (1973). *Modelltheorie für Linguisten*. Max Niemeyer Verlag, Tübingen.

[LYONS 1969] LYONS, JOHN (1969). *Introduction to Theoretical Linguistics*. Cambridge at the University Press, Cambridge, 2nd ed.

[LYONS 1977a] LYONS, JOHN (1977a). *Semantics*, vol. 1. Cambridge University Press, Cambridge; London; New York; Melbourne.

[LYONS 1977b] LYONS, JOHN (1977b). *Semantics*, vol. 2. Cambridge University Press, Cambridge; London; New York; Melbourne.

[MANDEL 1964] MANDEL, JOHN (1964). *The Statistical Analysis of Experimental Data*. Interscience Publishers, New York; London; Sydney.

[MARCUS 1980] MARCUS, MITCHELL P. (1980). *A Theory of Syntactic Recognition for Natural Language*. The MIT Press, Cambridge, Mass.; London, England.

[MCCONNELL-GINET 1982] MCCONNELL-GINET, SALLY (1982). *Adverbs and logical form: A linguistically realistic theory*. Language, 58(1):144–184.

[MEIJS 1987] MEIJS, WILLEM, ed. (1987). *Corpus linguistics and beyond*. Rodopi, Amsterdam.

[MITTELSTRASS] MITTELSTRASS, JÜRGEN, ed. *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Bibliographisches-Institut-Wissenschaftsverlag, Mannheim, Wien, Zürich. Unter ständiger Mitwirkung von Siegfried Blasche, Gottfried Gabriel, Herbert R. Ganslat, Matthias Gatzemeier, Carl F. Gethmann, Peter Janich, Friedrich Kambartel, Kuno Lorentz, Klaus Mainzer, Peter Schroeder, Oswald Schwemmer, Christian Thiel, Reiner Wimmer in Verbindung mit Gereon Wolters herausgegeben.

[Montague 1976] Montague, Richard (1976). *The Proper Treatment of Quantification in Ordinary English*, chap. 8, pp. 247–271. Yale University Press, New Haven; London, 2nd ed. Urspr. veröffentlicht in [Hintikka et al. 1970].

[Morrill 1995] Morrill, Glyn (1995). *Discontinuity in categorial grammar*. Linguistics and Philosophy, 18:175–219.

[Moulines 1976] Moulines, C. Ulises (1976). *Approximate application of empirical theories: A general explication*. Erkenntnis, 10:201–227.

[Mugdan 1986] Mugdan, Joachim (1986). *Was ist eigentlich ein Morphem?*. Zeitschrift für Phonetik, Sprachwissenschaft und Kommunikationsforschung, 39(1):29–43.

[Muller 1972] Muller, Charles (1972). *Einführung in die Sprachstatistik*. Max Hueber Verlag, München.

[Muskens 1996] Muskens, Reinhard (1996). *Combining Montague semantics and discourse representation*. Linguistics and Philosophy, 19:143–186.

[Nagel et al. 1960] Nagel, Ernest, P. Suppes, and A. Tarski, eds. (1960). *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proceedings of the 1960 International Congress*, Stanford, California. Stanford University Press.

[Neumann 1993] Neumann, Günter (1993). *Grammatikformalismen in der Generierung und ihre Verarbeitung*. KI, 2:22–30.

[Nevin 1994] Nevin, Bruce (1994). *Claims about Harris and Chomsky*. Electronic Listserver List.

[Nevin 1993] Nevin, Bruce E. (1993). *Harris the revolutionary: Phonemic theory*.

[Nielson and Nielson 1992] Nielson, Hanne Riis and F. Nielson (1992). *Semantics with Applications: A Formal Introduction*. John Wiley & Sons, Chichester; New York; Brisbane; Toronto; Singapore.

[Nikitopoulos 1973] Nikitopoulos, Pantelis (1973). *Statistik für Linguisten*. Forschungsberichte des IdS 13. IdS, Mannheim.

[Nikitopoulos 1974] Nikitopoulos, Pantelis (1974). *Vorgriffe auf eine Thematisierung der Repräsentativität eines Corpus*. Deutsche Sprache, 2(1):32–42.

[Noltemeier 1972] Noltemeier, Hartmut (1972). *Datenstrukturen und höhere Programmiertechniken*. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

[Nunberg 1993] Nunberg, Geoffrey (1993). *Indexicality and deixis*. Linguistics and Philosophy, 16:1–43.

[Paprotté 1992] Paprotté, Wolf (1992). *Korpuslinguistik – Rückkehr zum Strukturalismus oder Erneuerung der Computerlinguistik*. LDV-Forum, 9(2):3–14.

[Parsons 1974] Parsons, Charles (1974). *Informal axiomatization, formalization and the concept of truth*. Synthese, 27:27–47.

[Parsons 1993] Parsons, Charles (1993). *On some difficulties concerning intuition and intuitive knowledge*. Mind, 102(406):233–246.

[Partee 1984] Partee, Barbara H. (1984). *Compositionality*. In [Landman and Veltman 1984], pp. 281–311.

[Patzig 1970] Patzig, Günther (1970). *Sprache und Logik*. Kleine Vandenhoeck-Reihe. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

[Pearce 1981a] Pearce, David (1981a). *Comments on a criterion of theoreticity*. Synthese, 48:77–86.

[Pearce 1981b] Pearce, David (1981b). *Is there any theoretical justification for a nonstatement view of theories*. Synthese, 46:1–39.

[Pearce 1982] Pearce, David (1982). *Stegmüller on Kuhn and incommensurability*. British Journal of the Philosophy of Science, 33:389–396.

[Perrault 1984] Perrault, C. Raymond (1984). *On the mathematical properties of linguistic theories*. Computational Linguistics, 10(3-4):165–176.

[Pilch and Richter 1970] Pilch, Herbert and H. Richter, eds. (1970). *Theorie und Empirie in der Sprachforschung*. Bibliotheca Phonetica, No. 9. S. Karger, Basel, München, Paris, New York.

[Pinkal 1993] Pinkal, Manfred (1993). *Semantik*. In: [Görz 1993], S. 425–498.

[Pitkänen und Kohonen 1984] Pitkänen, Antti J. und V. Kohonen (1984). *Johdatus kvantitativiseen kielentutkimukseen ja alan ATK-sovelluksiin*. Gaudeamus, Hämeenlinna.

[Popper 1984] Popper, Karl R. (1984). *Logik der Forschung*. J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen, achte, weiter verbesserte und vermehrte Aufl.

[POSTAL 1965] POSTAL, PAUL M. (1965). *Limitations of Phrase Structure Grammars*, pp. 137–154. In [FODOR and KATZ 1965], 2nd ed.

[POSTAL and LANGENDOEN 1984] POSTAL, PAUL M. and D. T. LANGENDOEN (1984). *English and the class of context-free languages*. Computational Linguistics, 10(3-4):177–181.

[PRZEŁĘCKI 1961] PRZEŁĘCKI, MARIAN (1961). *The Logic of Empirical Theories*. London. Dt. Übers. [PRZEŁĘCKI 1983].

[PRZEŁĘCKI 1983] PRZEŁĘCKI, MARIAN (1983). *Die Logik empirischer Theorien*. In [BALZER und HEIDELBERGER 1983], pp. 43–96. Dt. Übers. von [PRZEŁĘCKI 1961] unter Weglassung der Kapitel 7 und 8.

[PULLUM and GAZDAR 1982] PULLUM, G. K. and G. GAZDAR (1982). *Natural and context-free languages*. Linguistics and Philosophy, 4:471–504.

[PULLUM 1984] PULLUM, GEOFFREY K. (1984). *On two recent attempts to show that English is not a CFL*. Computational Linguistics, 10(3-4):182–186.

[PULLUM 1985] PULLUM, GEOFFREY K. (1985). Such That *clauses and the context-freeness of english*. Linguistic Inquiry, 16(2):291–298. Antwort auf [HIGGINBOTHAM 1984].

[PULLUM 1988] PULLUM, GEOFFREY K. (1988). *Footloose and context-free*. In [KULAS et al. 1988], pp. 69–78.

[QUASTHOFF und HARTMANN 1982] QUASTHOFF, UTA M. und D. HARTMANN (1982). *Bedeutungserklärungen als empirischer Zugang zu Wortbedeutungen*. Deutsche Sprache, 10:97–118.

[QUENOUILLE 1950] QUENOUILLE, M. H. (1950). *Introductory Statistics*. Butterworth-Springer, London.

[RAMSEY 1930] RAMSEY, F. P. (1930). *Theories*. In [BRAITHWAITE 1930], chap. IX, pp. 212–236.

[RANTALA 1978] RANTALA, VEIKKO (1978). *The old and the new logic of metascience*. Synthese, 39:233–247.

[RANTALA 1980] RANTALA, VEIKKO (1980). *On the logical basis of the structuralist philosophy of science*. Erkenntnis, 15:269–286.

[RAUTENBERG 1996] RAUTENBERG, WOLFGANG (1996). *Einführung in die Mathematische Logik*. Vieweg, Brauschweig; Wiesbaden.

[REINHARD und SOEDER 1977] REINHARD, FRITZ und H. SOEDER (1977). *dtv-Atlas zur Mathematik*. dtv, München.

[Richter 1970] Richter, H. (1970). *Effektenforschung als neuartige Problematisierung des Theorie-Empirie-Verhältnisses*. In: [Pilch and Richter 1970], S. 66–75.

[Rieger 1979] Rieger, Burghard (1979). *Repräsentativität. Von der Unangemessenheit eines Begriffs zur Kennzeichnung eines Problems linguistischer Korpusbildung*. In: [Bergenholtz and Schaeder 1979], S. 52–70.

[Rieger 1989] Rieger, Burghard (1989). *Unscharfe Semantik*. Peter Lang Verlag, Frankfurt; Bern; New York; Paris.

[Rollinger 1989] Rollinger, Claus-Rainer (1989). *Simulation sprachlichen Verstehens: Generelle Probleme bei der sematischen Interpretation der natürlichen Sprache*, Kap. 33, S. 432–440. In: [Bátori et al. 1989].

[Rosenkrantz 1992] Rosenkrantz, R. D. (1992). *The justification of induction*. Philosophy of Science, 59:527–539.

[Russel and Norvig 1995] Russel, Stuart and P. Norvig (1995). *Artificial Intelligence. A Modern Approach*. Prentice Hall Series in Artficial Intelligence. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

[Savitch et al. 1987] Savitch, Walter J., E. Bach, W. Marsh, and G. Safran-Naveh, eds. (1987). *The Formal Complexity of Natural Language*. Studies in Linguistics and Philosophy. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht; Boston; Lancaster; Tokyo.

[Schaeder 1979] Schaeder, Burkhard (1979). *Zur Methodik der Auswertung von Textkorpora für die Zwecke der Lexikographie*. In [Bergenholtz and Schaeder 1979], pp. 220–267.

[Schaeder 1981] Schaeder, Burkhard (1981). *Lexikographie als Praxis und Theorie*. No. 34 in *Reihe germanistische Linguistik 34*. Niemeyer, Tübingen.

[Schaeder and Rieger 1990] Schaeder, Burkhard and B. Rieger, eds. (1990). *Lexikon und Lexikographie*. Olms, Hildesheim, Zürich, New York.

[Scherb 1992] Scherb, Martin (1992). *Künstliche und natürliche Sprache. Bemerkungen zur Semantik bei Tarski und Wittgenstein*. Philosophische Texte und Studien. Georg Olms Verlag, Hildesheim; Zürich; New York.

[Schnelle 1970] Schnelle, H. (1970). *Theorie und Empirie in der Sprachwissenschaft*. In: [Pilch and Richter 1970], S. 51–65.

[Seewald 1994] Seewald, Uta (1994). *Lexikonbasierte Syntaxmodelle zur natürlichsprachlichen Analyse. Eine vergleichende Einführung in die Lexical-Functional Grammar (LFG) und die Lexicalized Tree-Adjoining Grammar (LTAG)*. Reader, Bonn.

[Shapiro 1990] Shapiro, Stuart C., ed. (1990). *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, vol. 1. John Wiley & Sons, New York etc.

[Shieber 1988] Shieber, Stuart M. (1988). *Evidence against the context-freeness of natural language*. In [Kulas et al. 1988], pp. 79–89.

[Sibelius 1993] Sibelius, Patrick (1993). *A major failure within modern analytic philosophy*. Philosophy of Science, 60:558–567.

[Smith 1989] Smith, William H. (1989). *Problems in applying discourse representation theory*. Research Report AI-1989-04, Artificial Intelligence Programs, University of Georgia, Athens, Georgia.

[Sneed 1971] Sneed, Joseph D. (1971). *The Logical Structure of Mathematical Physics*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, London. 2nd edition 1979.

[Sneed 1976] Sneed, Joseph D. (1976). *Philosophical problems in the empirical science of science*. Erkenntnis, 10:115–146.

[Sommerfeld 1992] Sommerfeld, Karl-Ernst, Hrsg. (1992). *Vom Satz zum Text*. Sprache – System und Tätigkeit. Verlag Peter Lang, Frankfurt am Main; Berlin; Bern; New York; Paris; Wien.

[Speck 1980] Speck, Josef, Hrsg. (1980). *Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe (3 Bde.)*. UTB. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen; Zürich.

[Spencer-Smith 1987] Spencer-Smith, Richard (1987). *Semantics and discourse representation*. Mind & Language, 2:1–26.

[Stechow und Wunderlich 1991] Stechow, Arnim Von und D. Wunderlich, Hrsg. (1991). *Semantik. Semantics*. Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

[Stegmüller 1970] Stegmüller, Wolfgang (1970). *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd. II, 1. Teilband*. Berlin.

[Stegmüller 1971] Stegmüller, Wolfgang (1971). *Das Problem der Induktion: Humes Herausforderung und moderne Antworten*. In: [Lenk 1971], S. 13–74. Beiträge zur wissenschaftlichen Tagung des Engeren Kreises der Allgemeinen Gesellschaft für Philosophie in Deutschland, Karlsruhe 1970.

[Stegmüller 1973a] Stegmüller, Wolfgang (1973a). *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd. II: Theorie und Erfahrung, 2. Teilband: Theorienstrukturen und Theoriendynamik*. Berlin, 2., korrigierte Aufl.

[STEGMÜLLER 1973b] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1973b). *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd. II: Theorie und Erfahrung, 3. Teilband: Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973*. Springer, Berlin.

[STEGMÜLLER 1976] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1976). *Accidental ('non-substantial') theory change and theory dislodgement: To what extent logic can contribute to a better understanding of certain phenomena in the dynamics of theories*. Erkenntnis, 10:147–178.

[STEGMÜLLER 1979a] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1979a). *Akzidenteller ('nichtsubstantieller') Theorienwandel und Theorienverdrängung. Inwieweit logische Analysen zum besseren Verständnis gewisser Phänomene in der Theoriendynamik beitragen können*, S. 131–176. In: [STEGMÜLLER 1979d].

[STEGMÜLLER 1979b] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1979b). *Kausalgesetze und kausale Erklärungen*, S. 87–107. In: [STEGMÜLLER 1979d].

[STEGMÜLLER 1979c] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1979c). *Normale Wissenschaft und wissenschaftliche Revolution. Kritische Betrachtungen zur Kontroverse zwischen Karl Popper und Thomas S. Kuhn*, S. 108–130. In: [STEGMÜLLER 1979d].

[STEGMÜLLER 1979d] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1979d). *Rationale Rekonstruktion von Wissenschaft und ihrem Wandel*. Reclam, Stuttgart.

[STEGMÜLLER 1983] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1983). *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd. I*. Berlin, 2. Aufl.

[STEGMÜLLER 1986] STEGMÜLLER, WOLFGANG (1986). *Das Problem der Induktion: Humes Herausforderung und moderne Antworten – Der sogenannte Zirkel des Verstehens*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

[STEGMÜLLER 1979e] STEGMÜLLER, WOLGANG (1979e). *Walther von der Vogelweides Lied von der Traumliebe und Quasar 3C273. Betrachtungen zum sogenannten Zirkel des Verstehens und zur sogenannten Theorienbeladenheit der Beobachtungen*, S. 27–86. In: [STEGMÜLLER 1979d].

[STILLINGS und OTHERS 1987] STILLINGS, NEIL A. und OTHERS (1987). *Cognitive Science: An Introduction*. MIT Press, Cambridge, Mass.; London, England.

[STUHLMANN-LAEISZ 1982] STUHLMANN-LAEISZ, RAINER (1982). *Kategorien, theoretische Begriffe und empirische Bedeutung, Überlegungen zu Kants Definition des Wissenschaftsbegriffs*. Erkenntnis, 17:361–376.

[Stuhlmann-Laeisz 1983] Stuhlmann-Laeisz, Rainer (1983). *Das Sein-Sollen-Problem. Eine modallogische Studie*. fromann-holzboog, Stuttgart-Bad Cannstatt.

[Suppes 1962] Suppes, P. (1962). *Models of Data*. In: Nagel, E. und Others, Hrsg.: *Logic, Methodology and the Philosophy of Science*. Stanford.

[Suppes 1968] Suppes, P. (1968). *The Desirability of Formalization in Science*. The Journal of Philosophy, LXV(21). Vortrag auf einem APA Symposium über Formalisierung in der Wissenschaft am 29. Dez. 1968.

[Suppes 1983a] Suppes, P. (1983a). *Modelle von Daten*. In: [Balzer und Heidelberger 1983]. Dt. Übers. v. [Suppes 1962].

[Suppes 1983b] Suppes, P. (1983b). *Stimulus-Response Theorie endlicher Automaten*. In: [Balzer und Heidelberger 1983]. Dt. Übers. v. [Suppes 1969].

[Suppes 1983c] Suppes, P. (1983c). *Warum Formalisierung in der Wissenschaft erwünscht ist*. In: [Balzer und Heidelberger 1983]. Dt. Übersetzung von [Suppes 1968].

[Suppes 1969] Suppes, Patrick (1969). *Stimulus-response theory of finite automata*. Journal of Mathematical Psychology, 6:327–355.

[Tuomela 1978] Tuomela, Raimo (1978). *On the structuralist approach to the dynamics of theories*. Synthese, 39:211–231.

[Ulvestad 1979] Ulvestad, Bjarne (1979). *Corpus vs. intuition in syntactical research*. In [Bergenholtz and Schaeder 1979], pp. 89–108.

[Uszkoreit 1986] Uszkoreit, Hans (1986). *Categorial unification grammar*. In *11Th International Conference on Computational Linguistics. Proceedings of Coling '86*, pp. 187–194, Bonn. University of Bonn.

[Vargha 1988] Vargha, Dénes, ed. (1988). *COLING Budapest. Proceesings of the 12th International Conference on Computational Linguistics*, Budapest. John von Neumann Society for Computing Sciences.

[de Velde 1979] Velde, Roger G. van de (1979). *Probleme der linguistischen Theoriebildung einer empirischen Textwissenschaft*. In [Bergenholtz and Schaeder 1979], pp. 10–27.

[Wall 1973] Wall, Robert (1973). *Einführung in die Logik und Mathematik für Linguisten*, Bd. 2: Algebraische Grundlagen d. Reihe *Linguistik und Kommunikationswissenschaft*. Scriptor Verlag, Kronberg/Ts.

[Wätjen 1994] Wätjen, Dietmar (1994). *Theoretische Informatik*. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.

[Weigand 1992] Weigand, Edda (1992). *Semantic methdologies*. Zeitschrift für Phonetik, Sprachwissenschaft und Kommunikationsforschung, 45:321–340.

[Winograd 1983] Winograd, Terry (1983). *Language as a Cognitive Process. Vol. 1: Syntax*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass. etc.

[Woods 1970] Woods, W. A. (1970). *Transition network grammars for natural language analysis*. Communications of the ACM, 13(10):591–606.

[Woods 1990] Woods, W. A. (1990). *Grammar, augmented transition network*. In [Shapiro 1990], pp. 323–333.

[Wunderlich 1976] Wunderlich, Dieter, ed. (1976). *Wissenschaftstheorie der Linguistik*. Athenäum, Kronberg.

[Zadrozny 1994] Zadrozny, Wlodek (1994). *From compositional to systematic semantics*. Linguistics and Philosophy, 17(4):329–342.

[Zeevat 1989] Zeevat, Henk (1989). *A compositional approach to discourse representation theory*. Linguistics and Philosophy, pp. 95–131.

[Zierer 1972] Zierer, Ernesto (1972). *Formal Logic and Linguistics*. Janua Linguarum, Series Minor. Mouton, The Hague; Paris.