

**Situierte  
Künstliche  
Kommunikatoren**

**SFB 360**

# **Integrative Phrasenstrukturgrammatik**

**Teil I: Vorüberlegungen und  
theoretische Grundlagen**

Walther Kindt

Report 98/3

**Universität Bielefeld**

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1	Zur Einordnung der IPSP	3
1.2	Ziele und Vorgehensweise	6
2.	Der Übergang zu zweidimensionalen Phrasenstrukturen	8
2.1	Analyse einer Apokoinu-Konstruktion	8
2.2	Analyse einer Ausklammerungskonstruktion	9
2.3	Das Ziel einer inkrementellen Modellierung	12
2.4	Erste Lösungsansätze für die Modellierung von Ausklammerungs- und Apokoinu-Konstruktionen	15
3.	Systemtheoretische Grundlagen	18
3.1	Generelle spieltheoretische Konzepte	19
3.2	Ersetzungsgrammatiken	21
3.3	Produktions- und Rezeptionsaufgabe von Grammatiken	23
3.4	Systeme mit Expansionsregeln	26
3.5	Regeln mit Randbedingungen und mehrdimensionale Zustandsräume	34
3.6	Konstruktionssysteme	48
3.7	Mehrdimensionale Verknüpfungsgrammatiken	55
4.	Literatur	64

## 1. Einleitung

Der nachfolgend entwickelte theoretische Ansatz einer integrativen Phrasenstrukturgrammatik (IPSG) hat drei verschiedene Wurzeln.

- Seit einigen Jahren liegt mein Vorschlag für eine verknüpfungstheoretische Modellierung von Koordinationsellipsen auf der Basis einer zweidimensionalen Verknüpfungsgrammatik vor (vgl. Kindt 1985, Günther et al. 1993, Kindt et al. 1995).
- Verschiedentlich stellte ich in Bielefelder Projekten und Lehrveranstaltungen Überlegungen hinsichtlich einer minimalen Modellerweiterung der Phrasenstrukturgrammatik zur Behandlung von long distance dependency-Konstruktionen an.
- Grundsätzlich gehe ich seit langem davon aus, daß sich Produktion und Rezeption sprachlicher Äußerungen in mehrdimensionalen Verarbeitungssystemen vollziehen und deshalb die Entwicklung systemtheoretisch fundierter Grammatikmodelle erforderlich ist (vgl. Kindt 1991, 1994). M.a.W. es ist ein prinzipieller Paradigmenwechsel erforderlich.

Bislang fehlte jedoch ein Brückenschlag zwischen diesen verschiedenen Entwicklungslinien. Die Untersuchung von Ausklammerungskonstruktionen des Typs

(1) *Aber ich hab dann noch eine Latte über mit drei Löchern.*

im Rahmen des SFB-Projekts „Syntaxkoordination von Sprechern im Diskurs“ (vgl. Skuplik/Kindt 1998) war jetzt der konkrete Anlaß, einen systematischen Zusammenhang zwischen Verknüpfungs- und Phrasenstrukturgrammatik herzustellen. Auf diese Weise ergab sich plötzlich ein theoretischer Rahmen, in dem sich viele notorische Probleme der Syntaxtheorie fast 'wie von selbst' auflösen. Dies soll in der vorliegenden Arbeit demonstriert werden.

### 1.1 Zur Einordnung der IPSG

Zur wissenschaftshistorischen, grammatiktheoretischen und methodologischen Einordnung der IPSG sind an dieser Stelle einige Bemerkungen angebracht. Der in der Syntaxforschung gegenwärtig vorherrschende Methoden- und Modellpluralismus hat unter instrumentellem Aspekt sicherlich für viele Anwendungsziele seine Berechtigung. Allerdings werden dadurch wesentliche grundlagentheoretische Defizite verdeckt. Speziell betrifft dies den Sachverhalt, daß der strukturtheoretische Zusammenhang zwischen unterschiedlichen, konkurrierenden Grammatikmodellen nicht ausreichend geklärt ist. Exemplarisch läßt sich dieses Problem am Verhältnis von Phrasenstruktur- und Dependenzgrammatik verdeutlichen. Nach wie vor ist dieses Verhältnis in der Syntaxliteratur nicht präzise gefaßt (vgl. etwa die Darstellung von Lobin 1997) und deshalb bleibt auch die Frage unbeantwortet, inwieweit die beiden grammatischen Relationen der Dependenz und der Konstituenz abhängig bzw. unabhängig voneinander sind. Als negative Konsequenz resultiert aus derartigen Unklarheiten generell die methodologische Tendenz, 'eindimensionale'

Modellierungen zu bevorzugen bzw. zu versuchen, möglichst viele Phänomene mit Hilfe der jeweils betrachteten grammatischen Kategorien zu beschreiben, ohne aber deren Erklärungsadäquatheit zu reflektieren. Besonders augenfällig wird diese Reduktionsstrategie gegenwärtig beim kategorialgrammatischen Ansatz von Steedman 1996, in dem mit dem Verfahren des Type raising versucht wird, Wortstellungsphänomene auf die Bildung komplexer Konstituentenkategorien zurückzuführen. Der theoretischen Eleganz des gewählten Beschreibungsapparats steht seine mangelnde Erklärungskraft gegenüber: man erhält nämlich keine neuen Informationen darüber, von welchen Faktoren außerhalb von Wortstellung und Konstituenz die kategoriale Zuordnung abhängt.

Für die eben skizzierten grundlagentheoretischen Defizite des Status quo in der Syntaxforschung gibt es sicherlich verschiedene Ursachen. Eine besondere Bedeutung hat aber der Umstand, daß die Methodologie zur Erforschung komplexer Systeme in der Linguistik unterentwickelt ist bzw. nicht zum Standardwissen gehört. In diesem Zusammenhang ist es wissenschaftshistorisch interessant, retrospektiv den Entscheidungsprozeß zu reflektieren, der zur Einführung der Transformationsebene durch Harris (1957) führte. Diesbezüglich gibt es nämlich einen bemerkenswerten Unterschied in der Einschätzung des Stellenwerts von Transformationen zwischen einerseits Harris und andererseits der durch Chomsky geprägten Konzeption der Transformationsgrammatik. Bei Harris bilden Transformationen nur einen Spezialfall des wissenschaftstheoretisch üblichen Verfahrens einer Abstraktion und zugehörigen Komplexitätsreduktion von empirischen Daten. In der generativen Transformationsgrammatik sind Transformationen demgegenüber ein Verfahren, das u.a. dazu dient, Konstruktionen zu erfassen, deren Behandlung in der Phrasenstrukturgrammatik schwierig ist bzw. als inadäquat galt. Das Problem der zweiten Art des Umgangs mit Transformationen besteht nun darin, daß durch den mit ihnen verbundenen Abstraktionsprozeß gerade diejenigen Einflußfaktoren defokussiert werden, die für die spezifischen Eigenschaften der schwierigen Konstruktionen verantwortlich sind. Mit anderen Worten, Transformationen verhelfen dann zwar zu einer besseren Beschreibungsadäquatheit, bringen aber keinen Erklärungsgewinn und erschweren die Entdeckung der ursächlichen Systembedingungen.

Die IPSP knüpft unmittelbar an die Auffassung von Harris an und beantwortet zugleich die Frage, wie z.B. Konstruktionen mit diskontinuierlichen Konstituenten ohne Transformationen erzeugt werden können. Die Anknüpfung an Harris bedeutet, daß der mit Transformationen verbundene Abstraktionsprozeß rückgängig gemacht werden muß. Deshalb ist zu fragen, von welchen Äußerungseigenschaften Transformationen abstrahieren und wie diese Eigenschaften konzeptuell zu fassen sind. Tatsächlich liefert – wie wir noch genauer diskutieren werden – das von Harris benutzte Kookkurrenzkonzept die entscheidende Beschreibungsgrundlage für eine transformationsfreie Modellierung von long distance dependency-Konstruktionen.

Ein weiterer wesentlicher Anknüpfungaspekt für die IPSP bezieht sich auf das Problem, mit welchem Typ formaler Grammatiken long distance dependency-Konstruktionen modelliert werden sollen. Diesbezüglich ist plausibel, daß eine trans-

formationsfreie Modellierung in die Richtung kontextsensitiver Grammatiken gehen muß. Dabei stellt sich heraus, daß die von Chomsky (1959) vorgenommene Fokussierung auf einen speziellen Typ kontextsensitiver Austauschregeln in Typ 1-Grammatiken empirisch unzweckmäßig ist, weil sie als kanonischen Fall unterstellt, daß Schwesterkonstituenten linear benachbart positioniert werden. Diese Unterstellung macht es überhaupt erst notwendig, z.B. das Phänomen diskontinuierlicher Konstituenten auf den scheinbar kanonischen Fall zurückzuführen. Der Allgemeingrad von Regeln einer Typ 1-Grammatik ist jedoch größer, d.h. man kann auch ohne Anwendung von Transformationen bzw. Umstellungsregeln den Fall diskontinuierlich platzierter Konstituenten erfassen.

Der über die beiden genannten Anknüpfungspunkte hinausgehende entscheidende Modellerweiterungsschritt der IPSP besteht allerdings in dem Übergang von eindimensionalen grammatischen Baumstrukturen zu zweidimensionalen Graphen. Damit wird das Problem gelöst, das bei long distance dependency-Konstruktionen bisher als unüberwindlich galt: im Rahmen von Konstituentenstrukturen des herkömmlichen Typs führen solche Konstruktionen zwangsläufig zu Graphen mit sich überschneidenden Kanten und dies schien mit unübersehbaren theoretischen Schwierigkeiten verbunden zu sein, die man bisher in jedem Fall vermeiden wollte. Genau dieses Problem läßt sich sehr einfach in mehrdimensionalen Systemen lösen, weil dort diskontinuierliche Verknüpfungen nicht über die Konstituentenrelation erfaßt werden müssen, sondern auf davon partiell unabhängige Konkurrenzbeziehungen zurückführbar sind. Darüber hinaus ergibt sich, daß die linguistisch relevanten kontextsensitiven Phänomene beim Übergang zu mehrdimensionalen Systemen im wesentlichen in finite state-Grammatiken behandelt werden können. Insofern erweisen sich die auf diesen Grammatiktyp bezogenen Inadäquatheitsbehauptungen von Chomsky (1957) als irreführend und die maßgeblich durch Chomsky beeinflusste Hinwendung zu komplexeren Grammatiktypen stellt sich als unnötig bzw. unzweckmäßig heraus.

Die Idee einer mehrdimensionalen Modellierung von Sprache und Kommunikation liegt vor dem Hintergrund der heute in Mathematik und Naturwissenschaften betrachteten Systeme sicherlich näher als für Harris und Chomsky in den 50er Jahren. Allerdings hätte eine theoretisch systematische Berücksichtigung vorliegender empirischer Erkenntnisse durchaus mehrfach Anlaß sein können, reduktionistische Pfade der Syntaxforschung zu vermeiden oder aufgrund bestimmter 'Alarmsignale' zu verlassen. Als Alarmsignal muß z.B. immer die Entdeckung scheinbar unerklärlicher Asymmetrien gelten, die in allen Bereichen der Linguistik in großer Zahl zu beobachten sind. Sie bilden jeweils ein Indiz dafür, daß bestimmte noch verborgene Einflußfaktoren aufzuspüren sind. Die Methodologie einer systematischen Untersuchung von Asymmetrien bildet für die Linguistik kein Neuland. Vielmehr hat bereits im vorigen Jahrhundert Karl Verner (1877) in seiner berühmten Arbeit über Lautgesetze, die hinsichtlich logischer Klarheit und Explizitheit kaum zu übertreffen ist, vorbildlich demonstriert, wie man das Vorliegen einer Asymmetrie als Ausgangspunkt für die Suche nach versteckten Einflußfaktoren nimmt und für die anschließende Regularitätenbestimmung ausnutzt. Genauso kann bzw. sollte man in der Grammatikforschung verfahren. Zur Veranschaulichung ein Beispiel.

- (2a) *Adam joggt und Eva gärtner des guten Wetters wegen.*
- (2b) *Adam joggt des guten Wetters und Eva gärtner des strahlenden Sonnenscheins wegen.*
- (3a) *Wegen des guten Wetters joggt Adam und gärtner Eva.*
- (3b) *\*Wegen des guten Wetters joggt Adam und des strahlenden Sonnenscheins gärtner Eva.*

Diese für Koordinationsellipsen einschlägige Asymmetrie hinsichtlich der grammatischen Korrektheit von Sätzen wurde z.B. ausführlich von Klein (1981) diskutiert, ohne daraus die erforderlichen grammatiktheoretischen Konsequenzen zu ziehen. Die Asymmetrie zeigt nämlich eindeutig, daß Konstituenz und Dependenz bzw. Kookkurrenz zwei partiell voneinander unabhängige grammatische Relationen bilden. Hieraus ergibt sich sofort: ein erklärungsadäquates Grammatikmodell muß über mindest zwei voneinander unabhängige syntagmatische Relationen verfügen.

Aus der bisherigen Situationsdarstellung resultiert folgende theoretische und methodologische Grundposition. Produktion und Rezeption von Äußerungen sind aufzufassen als komplexe Strukturbildungsprozesse in multidimensionalen Systemen. Ziel von Syntaxforschung muß es daher sein, die verschiedenen an den betreffenden Prozessen beteiligten Strukturebenen und die jeweils zugehörigen Einflußfaktoren zu identifizieren. Sodann kann versucht werden, die verschiedenen Strukturebenen und ihre Regularitäten aufgrund geeigneter Abstraktionen zunächst getrennt zu studieren. Und schließlich sind durch eine systematische Theorienintegration die Überlagerungsprozesse der Strukturbildung zu untersuchen. Insgesamt muß man versuchen herauszufinden, wie der aufgrund der Sequentialität verbaler Äußerungen begrenzte Codierungsspielraum zur Repräsentation von Informationen der einzelnen Strukturebenen genutzt wird.

## 1.2 Ziele und Vorgehensweise

Ein natürlicher Anlaß für die Erweiterung oder Modifikation bestehender Theorien ist gegeben, wenn empirische Phänomene modelliert werden sollen, bei deren Behandlung man bisher auf besondere Schwierigkeiten gestoßen ist. Im Bereich der Syntax liegt dieser Fall z.B. für Konstruktionen vor, die als typisch für gesprochene Sprache gelten oder dort zumindest gehäuft vorkommen. Das methodologische Prinzip der Untersuchung von 'problematischen' Konstruktionen liegt auch der Entwicklung der IPSP zugrunde. Insbesondere wird mit ihr das Ziel verfolgt, Konstruktionen wie Apokoinu-Konstruktionen, Appositionen, Ausklammerungen, diskontinuierliche Konstituenten, Koordinationsellipsen, Nachträge, Reparaturen etc. zu behandeln. Dabei wird nicht nur Beschreibungsadäquatheit, sondern auch ein größeres Maß an Erklärungsadäquatheit als in bisherigen Syntaxmodellen angestrebt. Dies betrifft insbesondere die Inkrementalität von Sprachverarbeitung. Beispielsweise wurde in Günther et al. (1993) und Kindt et al. (1995) gezeigt, daß die üblichen reduktionstheoretischen Erklärungsansätze für Koordinationsellipsen nicht den Verarbeitungsgegebenheiten entsprechen und statt ihrer ein verknüpfungstheoretischer Ansatz zu bevorzugen ist. Hinsichtlich des Anspruchs, Inkrementalität adäquat abzubilden, soll allerdings vorerst nur das Ziel verfolgt werden, daß bei der

Modellierung von long distance dependency-Konstruktionen – anders als in gängigen Versionen der Phrasenstrukturgrammatik – eine Reorganisation der syntaktischen Struktur früher verarbeiteter Konstituenten möglichst vermieden wird (vgl. Kapitel 2).

Eine letzte generelle Zielsetzung der IPSP besteht schließlich darin, das System grammatischer Regeln von vornherein so anzulegen, daß Produktion und Rezeption von Sätzen je nach Anwendungsrichtung gleichermaßen erfaßt sind. Eine solche Grammatikkonzeption ist insbesondere deshalb anzustreben, weil in der mündlichen Kommunikation häufig kooperative Satzproduktionen zu beobachten sind. Dieses, für das SFB-Projekt „Syntaxkoordination von Sprechern im Diskurs“ einschlägige Phänomen, bedeutet, daß ein Rezipient, der die von einem Produzenten begonnene Satzkonstruktion fortsetzt, unmittelbar von der aus seiner bisherigen Rezeption resultierenden syntaktischen Teilstruktur auf die Äußerungsproduktion und damit auf die Erzeugung einer produktionsrelevanten syntaktischen Teilstruktur umschalten können muß. Das Umgekehrte gilt für den Produzenten: er sollte die Möglichkeit haben, ohne Schwierigkeiten von der produktionsbedingten Teilstruktur auf eine Strukturierung aus der Rezipientenperspektive umzusteigen. Ein solches Umschalten läßt sich aber auf besonders einfache Weise realisieren, wenn produktions- und rezeptionsbedingte Strukturen – zumindest auf einem bestimmten Abstraktionsniveau – als identisch angenommen werden können.

Die genannten drei Ziele müssen weiter konkretisiert werden und zugleich ist eine transparente systematische Vorgehensweise festzulegen. Der Einfachheit halber soll die IPSP ausschließlich an Konstruktionen des Deutschen entwickelt und/oder illustriert werden. Dabei wird für den systematischen Theorienaufbau im wesentlichen nur vorausgesetzt, daß für vorliegende Äußerungen entscheidbar ist, ob sie (korrekte) Sätze bilden oder nicht. Der erste Schritt der syntaktischen Theorieentwicklung bezieht sich auf die Erfassung von Phrasenstrukturen in Kapitel 4. Zuvor soll jedoch in Kapitel 2 der Übergang zu zweidimensionalen Strukturen veranschaulicht und plausibilisiert werden. Und Kapitel 3 dient der Entwicklung einer generellen Theorie für die zu betrachtenden formalen Systeme. Die schon in 1.1 erwähnte Integrationsstrategie soll in den auf Kapitel 4 folgenden Theorieentwicklungsschritten jeweils so realisiert werden, daß eine neue Strukturebene betrachtet und die zugehörigen Auswirkungen auf die resultierende Strukturüberlagerung untersucht werden. Grundsätzlich werden dabei konservative Theorie- bzw. Strukturerweiterungen angestrebt, d.h. die für die jeweils vorherige Strukturebene postulierten Strukturen sollen im wesentlichen auch nach dem Erweiterungsschritt ihre Gültigkeit behalten. Zugleich wird eine Befolgung des Prinzips der minimalen Modellerweiterung angestrebt, d.h. jeder neue Schritt der Theorieentwicklung soll nur soviel an Strukturveränderung mit sich bringen, wie für die Modellierung eines zusätzlichen empirischen Phänomens unbedingt erforderlich zu sein scheint. Im Anschluß an die verschiedenen Modellerweiterungsschritte wird abschließend für verschiedene relevante grammatische Konstruktionen die Anwendbarkeit der Theorie demonstriert.

## 2. Der Übergang zu zweidimensionalen Phrasenstrukturen

Wie in Abschnitt 1.1 erwähnt war einer der Gründe für die Einführung der generativen Transformationsgrammatik die Auffassung, Phrasenstrukturgrammatiken seien zur Beschreibung natürlicher Sprachen im allgemeinen und für die Behandlung diskontinuierlicher Konstituenten im besonderen unangemessen (vgl. etwa die Formulierung in Bartsch et al. (1977): 100). Diese 'starke' Behauptung wird üblicherweise gerechtfertigt unter Verweis auf die Autorität von Chomsky bzw. auf Äußerungen in Chomsky (1963) und Chomsky/Miller (1963), denen zufolge syntaktische Strukturen mit sich überschneidenden Kanten nicht erlaubt seien. Eine solche normative Argumentation kann im Wissenschaftsdiskurs natürlich grundsätzlich nicht akzeptiert werden und insbesondere enthebt sie nicht der Notwendigkeit, die Sachlage genauer zu analysieren. Aus diesem Grund sollen hier zwei prototypische Beispielkonstruktionen diskutiert werden, an denen man die Probleme einer phrasenstrukturellen Erfassung leicht erkennen kann. Zugleich repräsentieren diese Beispiele die beiden Fälle von möglichen Verstößen gegen das sogenannte Verwicklungsverbot für Bäume, nämlich einerseits Vernetzungen und andererseits Überschneidungen.

### 2.1 Analyse einer Apokoinu-Konstruktion

Apokoinu-Konstruktionen (auch Pivot-Konstruktionen genannt) (vgl. Scheutz 1992) kommen in der gesprochenen Sprache relativ häufig vor, sie werden aber auch in schriftlichen Texten verwendet, z.B. um bestimmte stilistische oder semantische Effekte zu erzeugen. Ein Beispiel letzteren Typs bildet folgende Überschrift eines Artikels aus der Zeitung der Organisation terre des hommes (Februar 1998).

(4) *Arbeit ist Geld ist Macht.*

Als eine ('mit österreichischem Charme' gesprochene) Konstruktionsrealisierung aus der mündlichen Kommunikation sei folgendes von Scheutz stammendes Belegbeispiel zitiert.

(5) *Des is was Furchtbares is des.*

Wenn man (5) in üblicher Weise eine Phrasenstruktur zuordnet, kommt man zu folgendem Resultat.

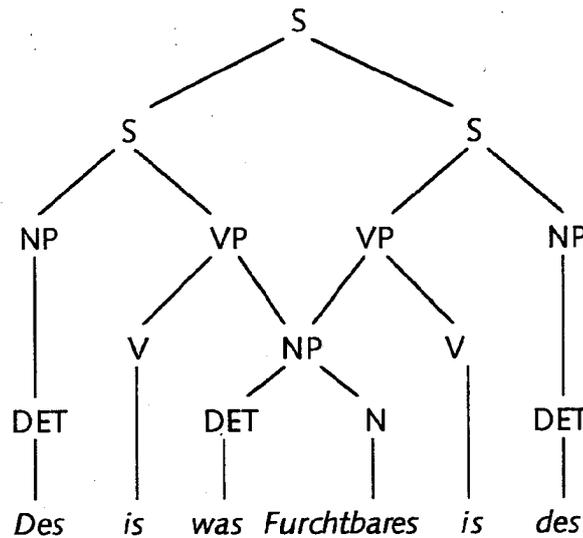


Abbildung 1

Das Verwicklungsverbot für Baumstrukturen schließt diesen Graphen wegen seiner lokalen Vernetzung aus der Klasse der Bäume aus. Aber genau betrachtet ist der Graph nicht so furchterregend, daß er grundsätzlich nicht als syntaktische Repräsentation für die Struktur von (5) in Frage käme. Überdies gewinnt man ihn aus (5) in ganz natürlicher Weise. Schließlich sind partiell überlappende Strukturen, bei denen ein Strukturelement zu zwei Teilstrukturen gehört und jeweils verschiedene Funktionen für sie hat, etwas ganz 'Normales' in Natur und Gesellschaft. Beispielsweise kann man im Bereich der Gesellschaftsspiele an die Zwickmühlen-Stellung im Mühle-Spiel denken; hier gehört ein und derselbe Stein zu zwei Mühlen und besitzt die Funktion, die eine Mühle geschlossen zu haben und die andere beim nächsten Zug zu schließen.

Prinzipiell gesehen ist also bisher kein Grund erkennbar, warum vernetzte Graphen – unter geeigneten Bedingungen – nicht als adäquate syntaktische Strukturrepräsentationen zugelassen sein sollten. Der (5) zugeordnete Graph führt auch zu keinerlei darstellungstechnischen Problemen und der für ihn erforderliche Vernetzungsschritt ist mit Hilfe einer Austauschregel erreichbar, die im Bereich der Typ 1-Grammatiken erlaubten Regeln bleibt. Im Vergleich dazu kann man eine Modellierung, bei der (5) transformationell aus zwei vollständigen Teilsätzen *des ist was Furchtbares* und *was Furchtbares is des* abgeleitet wird, sogar als eher 'unnatürlich' einstufen.

## 2.2 Analyse einer Ausklammerungskonstruktion

Die Situation ist bei Konstruktionen wie z.B.

(6) *Karl hat ein Mädchen angesprochen mit roten Haaren.*

im Vergleich zu (5) schon etwas problematischer. Hier erhält man nämlich für die Lesart der NP-PP-Verknüpfung einen Graphen mit sich überschneidenden Kanten.

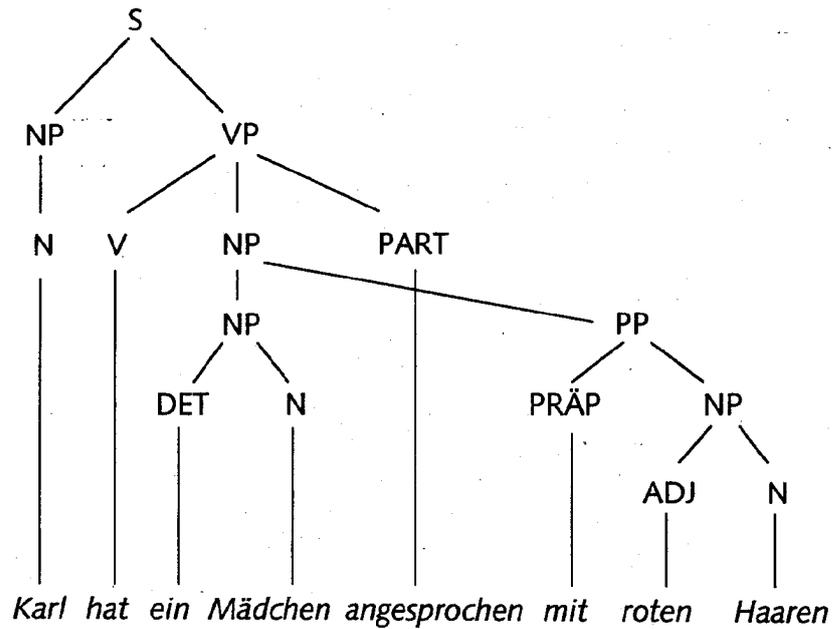


Abbildung 2

Zunächst ist auch bei dieser Struktur das Natürlichkeitsargument geltend zu machen: sie entspricht nämlich genau dem, was man erwartet, wenn man (6) so analysiert, daß die Nominalphrase *ein Mädchen* und die Präpositionalphrase *mit roten Haaren* zu einer komplexen Nominalphrase zusammen gesetzt werden. Auch das Normalitätsargument spricht für die gewählte Strukturierung. Denn beispielsweise ist es ganz 'normal' (wenn auch unerträglich), daß im Fernsehen gesendete Filme durch eingeschobene Werbesequenzen unterbrochen werden und dadurch etwa die Phase der Darstellung des Höhepunkts in zwei diskontinuierlich liegende Teile zerschnitten ist. Weiterhin sind Strukturen wie die für (6) ohne Schwierigkeiten mit Typ 1-Regeln erzeugbar. Somit bleibt nur das Argument der darstellungstechnischen Schwierigkeit und dies ist für sich genommen nicht sehr überzeugend, zumal als Problemlösung sofort die Möglichkeit einer dreidimensionalen Strukturdarstellung naheliegt.

In der grammatiktheoretischen Literatur (vgl. etwa Levelt 1974) werden noch einige andere, bisher nicht genannte Argumente gegen die Strukturrepräsentationen kontextsensitiver Grammatiken vorgebracht. Sie betreffen allerdings einerseits Regeltypen, die für die bisher diskutierten Konstruktionen nicht gebraucht werden und sind deshalb nicht einschlägig. Andererseits lassen sich auch diese Argumente widerlegen, was jetzt aber nicht diskutiert werden soll.

Das einzige Argument, das wirklich gegen die Struktur in Abbildung 2 spricht, bezieht sich nicht auf die Existenz einer Überschneidung sondern darauf, daß die topologische Struktur von (6) nicht angemessen repräsentiert ist. Legt man nämlich die für das Deutsche einschlägige Unterteilung des Satzes in Vorfeld, Mittelfeld und Nachfeld zugrunde, dann ergibt sich, daß die Objektnominalphrase *ein Mädchen* im Mittelfeld und die Präpositionalphrase *mit roten Haaren* im Nachfeld steht. Nominalphrase und Präpositionalphrase bilden aber nach der Struktur in Abbil-

dung 2 zusammen eine Nominalphrase, die innerhalb der Verbalphrase steht, also zum Mittelfeld gehört. Somit ist die Präpositionalphrase einerseits dem Nachfeld und andererseits dem Mittelfeld zuzurechnen. Will man diesen Widerspruch auflösen und eine topologisch adäquatere Repräsentation wählen, kann man folgende Phrasenstruktur wählen:

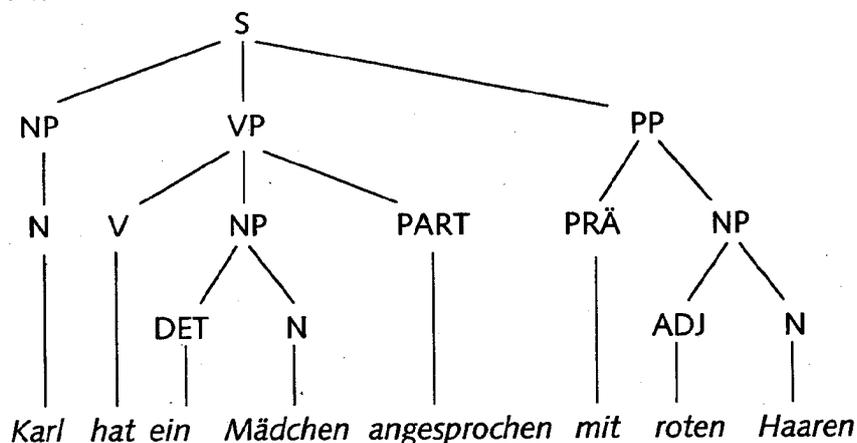


Abbildung 3

Diese Phrasenstruktur hat allerdings den Nachteil, daß sie die Zusammengehörigkeit der Objekt nominalphrase mit der Präpositionalphrase nicht mehr abbildet.

Im Rahmen der Aufgabenstellung, angemessene Phrasenstrukturen zuzuordnen, hat es in der Vergangenheit immer wieder Situationen gegeben, in denen kontrovers über konkurrierende Strukturierungsalternativen diskutiert wurde, die jede für sich ihre Berechtigung zu haben scheinen. Eine solche Konstellation liegt auch im Fall des PP-Attachment vor. Neben der in Abbildung 2 gewählten Strukturierung kann aus semantischen Gründen auch für folgende Repräsentation argumentiert werden.

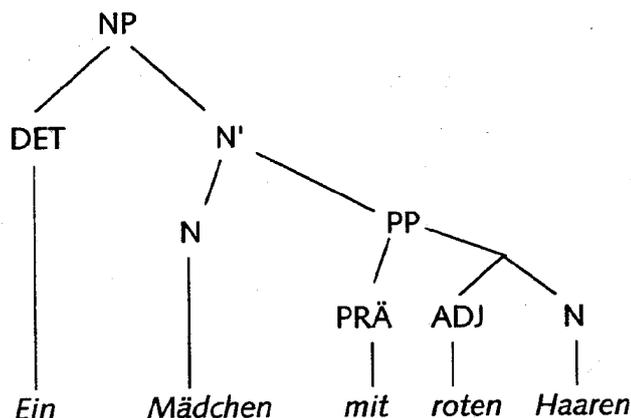


Abbildung 4

Eigentlich müßten solche häufig wiederkehrenden typischen Konstellationen der Entscheidungsunsicherheit methodologisch Anlaß sein, auf die Existenz einer mehrdimensionalen syntaktischen Struktur rückzuschließen. Wenn man nämlich argumentieren kann: in einer Hinsicht ist die erste Strukturierung angemessen und in

anderer Hinsicht die zweite, dann liegen dem beobachteten Phänomen offensichtlich zwei von einander unabhängige Faktoren zugrunde. Was nun die beiden konkurrierenden Phrasenstrukturen von Abbildung 2 und Abbildung 3 anbetrifft, so dürfte nach den Überlegungen in Kapitel 1 schon klar sein, wie das Entscheidungs-dilemma aufzulösen ist. Hinsichtlich einer grammatischen Dimension, nämlich der Konstituenz bzw. der Teil-Ganze-Relation, ist die Struktur von Abbildung 3 korrekt. Allerdings muß man zwei partiell von einander unabhängige grammatische Zusammengehörigkeitsrelationen unterscheiden. Neben der Zusammengehörigkeit, die dadurch gegeben ist, daß zwei Phrasen gemeinsam Teil einer größeren Einheit sind, kann die Zusammengehörigkeit von Phrasen auch durch ihre Kookkurrenz bedingt sein. Nun besteht offensichtlich eine Kookkurrenzbeziehung in (6) zwischen Objektnominalphrase und Präpositionalphrase. Will man dies repräsentieren, so muß die NP-PP-Kante in der Struktur von Abbildung 2 in geeigneter Weise durch einen 'Kookkurrenzbogen' ersetzt werden. Eine endgültige Entscheidung darüber, wie die für (6) angemessene Phrasenstruktur aussieht, sei noch zurückgestellt.

### 2.3 Das Ziel einer inkrementellen Modellierung

Vor einer Fortsetzung der Argumentation von 2.2 soll die Behandlung von Satz (6) noch aus einer anderen Perspektive diskutiert werden. Ausgehend von Abbildung 2 kann bei Vernachlässigung von Kongruenz- und Valenzrestriktionen folgendes fragmentarisches Regelsystem einer kontextfreien Grammatik formuliert werden.

- (R1) S → NP VP
- (R2) NP → N
- (R3) NP → DET N
- (R4) NP → ADJ N
- (R5) NP → NP PP
- (R6) PP → PRÄP NP
- (R7) VP → V NP PART
- (R8) DET → *ein*
- (R9) N → *Karl, Mädchen, Haaren*
- (R10) V → *hat*
- (R11) PART → *angesprochen*
- (R12) PRÄP → *mit*
- (R13) ADJ → *roten*

Mit dieser Grammatik kann man folgende unausgeklammerte Version von (6) erzeugen.

(6a) *Karl hat ein Mädchen mit roten Haaren angesprochen.*

Für die Erzeugung von (6a) gibt es natürlich verschieden Ableitungswege; man kann aber auch einen Weg wählen, der die stückweise Äußerungsproduktion der

Wörter von (6a) von links nach rechts simuliert. Ein Anfangsstück des entsprechenden Ableitungsweges ist gegeben durch:

S							
NP	VP						
N	VP						
Karl	VP						
Karl	V	NP	PART				
Karl	hat	NP	PART				
Karl	hat	NP	PP	PART			
Karl	hat	DET	N	PP	PART		
Karl	hat	ein	N	PP	PART		
Karl	hat	ein	Mädchen	PP	PART		
Karl	hat	ein	Mädchen	PRÄP	NP	PART	
Karl	hat	ein	Mädchen	mit	NP	PART	

Relativ dazu, wie man sich intuitiv einen wortweise vorgehenden Äußerungsprozeß vorstellen würde, weist dieser Ableitungsweg zwei zu stark einschränkende Voraussetzungen auf. Erstens ist nicht einzusehen, warum man während des gesamten Ableitungsweges immer so viele nichtterminale Kategorien 'mitschleppen' muß, deren Realisierung noch gar nicht ansteht und zweitens muß die Entscheidung, eine komplexe Nominalphrase mit PP-Attachment zu formulieren, in der Einleitung sehr früh fallen und im Gegensatz dazu könnte man sich vorstellen, daß Produzenten eine solche Entscheidung in bestimmten Fällen erst fällen, wenn die Nominalphrase *ein Mädchen* schon ausgesprochen ist. Mit anderen Worten, es stellt sich die Frage, ob man nicht das Regelsystem so modifizieren kann, daß diese beiden Einschränkungen aufgehoben werden. Tatsächlich läßt sich eine solche Modifikation auf sehr einfache Weise erreichen. Die erste erforderliche Veränderung besteht darin, daß man alle Regeln, die die Ersetzung eines Symbols durch mehrere Symbole vorsehen, in eine Einsetzungsregel und eine oder mehrere Expansionsregeln zerlegt. Konkret bedeutet das folgende Modifikationen. (R1) wird zerlegt in

- (R1a)  $S \rightarrow NP$   
 (R1b)  $NP \Rightarrow VP$ .

Ganz analog zu dieser Zerlegung formuliert man auch (R3), (R4), (R5), (R6) und (R7) um. Für die Darstellung von Ableitungen in dem veränderten Regelsystem empfiehlt sich die Wahl eines Tabellenformats. D.h. man füllt nacheinander jeweils die Spalten einer Tabelle aus, wobei Spalten durch Anwendung von Einsetzungsregeln und Zeilen durch Anwendung von Expansionsregeln zustande kommen. Eine Ableitung z.B. von *ein Mädchen mit* sieht deshalb folgendermaßen aus.

NP		
NP		PP
DET	N	PRÄ
ein	Mädchen	mit

Der besondere 'Clou' der gerade realisierten Zerlegungs-idee besteht darin, daß sie ganz unabhängig von der empirisch gewonnenen Einsicht, zweidimensionale Phrasenstrukturen zugrunde zu legen, durch eine theoretische Überlegung zu demselben Resultat führt. Welche Konsequenzen sich im einzelnen für die Formulierung von Regeln und Randbedingungen eines solchen zweidimensionalen Systems ergeben, soll erst in Kapitel 3 genauer diskutiert werden. Schon jetzt kann man aber aus genereller theoretischer Sicht als Charakteristikum zweidimensionaler Grammatiken die Eigenschaft hervorheben, daß in ihnen paradigmatische und syntagmatische Ebene systematisch von einander getrennt werden und daß dementsprechend für jede Ebene zugehörige Teilsysteme von Regeln vorgesehen sind.

Der zweite Einwand, der oben aus der Perspektive einer inkrementellen Modellierung gegen das eingeführte Regelsystem vorgebracht wurde, läßt sich folgendermaßen umformulieren. Wenn man bei der Planung etwa der Äußerung (6) nicht von vornherein eine Expansion der Objektnominalphrase durch die Präpositionalphrase vorsieht und deshalb beim siebten Ableitungsschritt nicht die Regel (R5) sondern gleich die Regel (R3) angewendet hat, dann läßt sich eine spätere PP-Expansion nur durch Reorganisation der Ableitung bzw. Restrukturierung der zugeordneten Phrasenstruktur erreichen. Diese Eigenschaft des Regelsystems ist un-zweckmäßig, erscheint als unplausibel und sollte möglichst vermieden werden. Die einfachste sich hierfür anbietende Problemlösung besteht darin, daß die Regeln (R3) und (R5) ersetzt werden durch

(R3') NP → DET N PP.

Für die zweidimensionale Grammatik bedeutet dies, daß zunächst die Regeln (R5a) und (R5b) gestrichen werden. Die (oben nicht explizit aufgeführten) Regeln (R3a) und (R3b) können übernommen werden:

(R3a) NP → DET

(R3b) DET ⇒ N.

Schließlich kommt

(R3c) N ⇒ PP

neu hinzu. Insgesamt ergibt sich dann in der zweidimensionalen Grammatik – wie gewünscht – die Möglichkeit, daß die PP-Expansion erst unmittelbar im Anschluß an die lexikalische Realisierung der Objektnominalphrase geplant und in jedem Fall ohne Restrukturierung durchgeführt wird. Die zu (R3) und (R3a)-(R3c) gehörige Phrasenstruktur entspricht aber auch den unterschiedlichen (und früher als divergierend erscheinenden) intuitiven Erwartungen am besten.

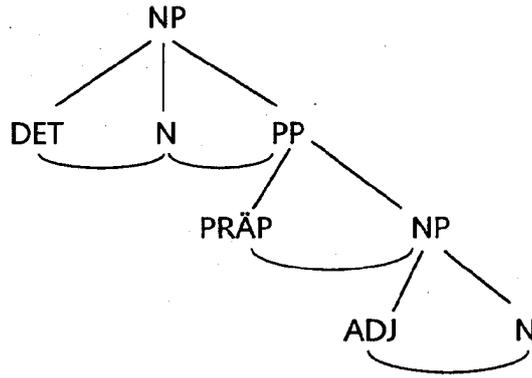


Abbildung 5

Diese Phrasenstruktur liefert eine kombinierte vollständige Repräsentation sowohl der Teil-Ganze-Beziehungen aus der Austauschgrammatik als auch der Kookkurrenzbeziehungen aus der zweidimensionalen Grammatik. Damit ist die PP-Expansion – wie gewünscht – als subordinative endozentrische NP-Konstruktion dargestellt und bildet außerdem mit Hilfe des N-PP-Kookkurrenzboogens die aus semantischen Gründen plausible Zusammengehörigkeit von Nomen und Präpositionalphrase ab. In Vergleich zur Strukturierung in Abbildung 2 fehlt allerdings noch eine Repräsentation des Umstands, daß DET und N in irgendeiner Hinsicht enger zusammengehören als N und PP. Diese intuitiv erwartete und durch einen Substitutionstest begründbare Struktureigenschaft wird sich später als ein topologisches Strukturierungsphänomen herausstellen, das aber durch die in Abbildung 2 benutzte und auf (R5) basierende Repräsentation auch nicht adäquat abgebildet ist.

#### 2.4 Erste Lösungsansätze für die Modellierung von Ausklammerungs- und Apokoinu-Konstruktionen

Die Diskussionsergebnisse der Abschnitte 2.2 und 2.3 geben zusammengenommen bereits sehr deutlich eine Richtung dafür vor, wie man Ausklammerungskonstruktionen in einer zweidimensionalen Phrasenstrukturgrammatik erfassen kann. Zunächst liegt es nahe, einem Satz wie in (6) (im Fall der Lesart, daß die Präpositionalphrase an das Objekt anknüpft) folgende Phrasenstruktur zuzuordnen.

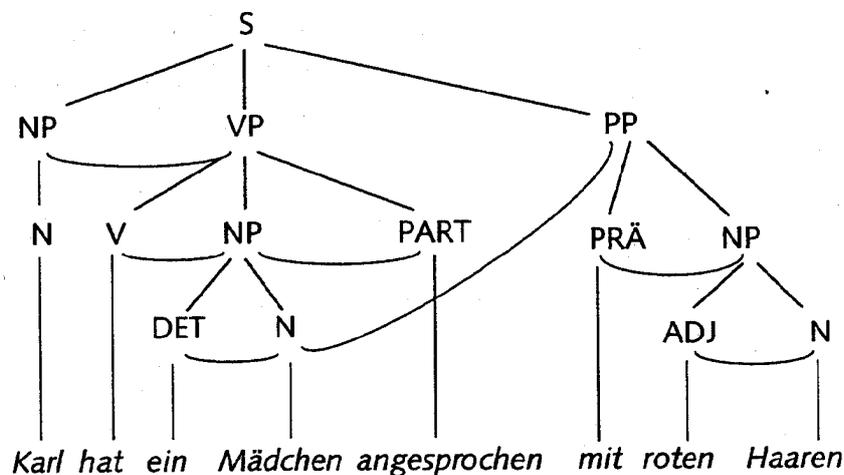


Abbildung 6

Diese Struktur repräsentiert erstens sämtliche Teil-Ganze-Beziehungen für die vorkommenden terminalen und nichtterminalen Symbole, zweitens sämtliche Kookkurrenzbeziehungen, die durch Regelanwendungen etabliert werden und drittens implizit die Präzedenzbeziehungen, wie sie auf den verschiedenen Hierarchiestufen durch die inkrementelle Regelanwendung zustande kommen. Genau genommen sind also drei Dimensionen der grammatischen Beschreibung von (6) erfaßt.

Die Besonderheit der Phrasenstruktur einer Ausklammerungskonstruktion gegenüber 'klassischen' Konstruktionen liegt darin, daß in ihr zwei kookkurrenente Phrasen vorkommen, deren zugehörige Knoten keinen gemeinsamen, unmittelbar dominierenden Knoten besitzen, die also nicht Teil eines unmittelbar übergeordneten Ganzen sind. Die Existenz solcher Nicht-Übereinstimmungen von Kookkurrenz- und Teil-Ganze-Struktur gibt Anlaß zu der Frage, ob auch das Umgekehrte gelten kann: Gibt es Strukturen, in denen zwei Phrasen zwar Teil derselben übergeordneten Einheit sind, aber nicht in einer Kookkurrenzbeziehung zueinander stehen? Die empirische Beantwortung dieser Frage muß auf später verschoben werden; theoretisch gesehen ist aber vorerst kein Grund erkennbar, warum Sprachen nicht von einer solchen Strukturierungsmöglichkeit Gebrauch machen sollten.

Was besagt die Struktur in Abbildung 6 nun für ein zu definierendes Regelsystem, mit dem (6) abgeleitet werden kann? Grundlage für die im Nachfeld produzierte PP-Expansion ist offensichtlich dieselbe Regel, die schon in Abschnitt 2.3 für die Anknüpfung von Präpositionalphrasen an Nominalphrasen vorgesehen war, nämlich (R3c). Korrekt wiedergegeben ist auch der Sachverhalt, daß die Präpositionalphrase erst nach Abschluß der Verbalphrase angefügt werden darf. Schließlich geht aus der vorgeschlagenen Phrasenstruktur, daß eine zusätzliche Einsetzungsregel

(R1.2a)  $S \rightarrow PP$

benötigt wird. Die Hinzunahme dieser Regel rechtfertigt sich unabhängig von Ausklammerungskonstruktionen dadurch, daß sie auch für Sätze mit topikalisierten Präpositionalphrasen erforderlich ist, also etwa für das Beispiel

(7) *Mit roten Haaren kam sie vom Friseur zurück.*

Angesichts der neuen Modellierungsperspektive von zweidimensionalen Phrasenstrukturen stellt sich die Frage, ob hieraus vielleicht auch für die Behandlung von Apokoinu-Konstruktionen alternative Strukturierungen resultieren. Diese Frage soll zunächst am Beispiel des Satzes

(4) *Arbeit ist Geld ist Macht.*

diskutiert werden. Tatsächlich liegt es jetzt nahe, (4) folgende zweidimensionale Phrasenstruktur zuzuordnen.

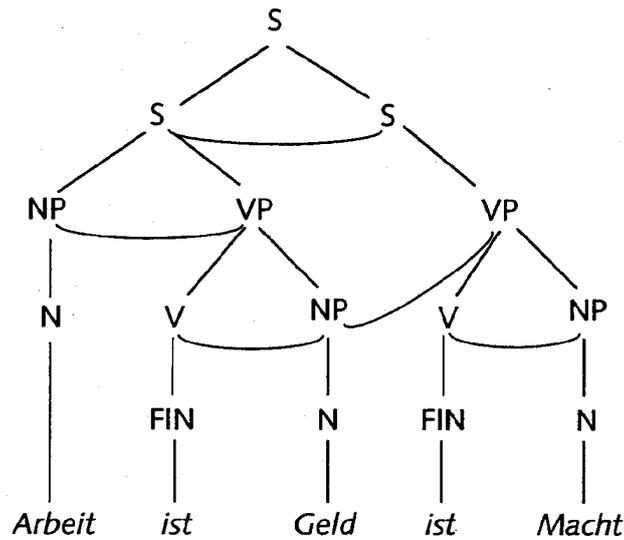


Abbildung 7

Im Unterschied zur Auffassung in Abbildung 1, gehört in der Phrasenstruktur von Abbildung 7, die beiden Teilen von (4) gemeinsame Nominalphrase *Geld* (das sogenannte Koinon) im strikten Sinne nur zum ersten Teil, wird aber dennoch mit Hilfe einer Kookkurrenzbeziehung als Subjekt für eine zweite Verbalphrase genutzt. Diesbezüglich besteht wieder eine interessante Analogie zu dem in Abschnitt 2.1 erwähnten Zwickmühlen-Beispiel.

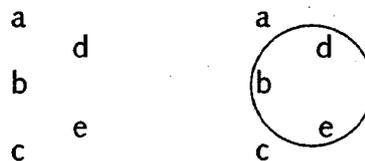


Abbildung 8

Der Stein b wird primär als Teil der Mühle abc wahrgenommen. Allerdings existiert hier ein typischer 'Umkippeffekt' (Gestalt switch): Konzentriert man sich auf die Wahrnehmung der offenen Mühle dbe, erscheint b nicht mehr als unmittelbar zu a und c gehörig. Ein entsprechender dynamischer Effekt ist auch für Apokoinu-Konstruktionen zu vermuten. Er würde bedeuten, daß während der Verarbeitung von (4) die Teil-Ganze-Zugehörigkeit des Koinon *Geld* wechseln kann, daß also die Phrasenstruktur gemäß Abbildung 7 umkippt in folgende Struktur.

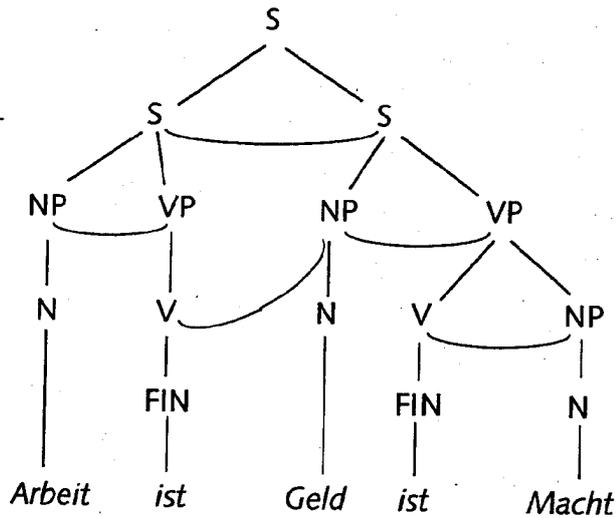


Abbildung 9

Der Vergleich von Abbildung 7 und 9 zeigt, daß der Umkippeffekt in einer 'Wanderung' der zur NP führenden Teil-Ganze-Kante besteht.

Vor dem Hintergrund der vorgeschlagenen dynamischen Konzeptualisierung von Apokoinu-Konstruktionen, kommt man also auch im Fall von Vernetzungen zu einer Neubewertung des Verwicklungsverbots. Die in Abbildung 1 für Satz (5) vorgeschlagene Phrasenstruktur kann man jetzt so lesen, daß im Einklang mit dem Verwicklungsverbot jeweils nur eine der beiden VP-NP-Kanten realisiert wird, daß aber ein Wechsel zwischen beiden Positionen möglich ist. Wenn während der Verarbeitung von (5) das Koinon *was Furchtbares* von der ersten VP abgekoppelt und an die zweite VP angehängt wird, dann ist in der Struktur von Abbildung 1 nicht repräsentiert, daß nach wie vor ein grammatischer Zusammenhang zwischen erster VP und dem Koinon besteht. Dieser Zusammenhang wird erst durch Hinzunahme bestehender Kookkurrenzbeziehungen transparent und insofern demonstrieren auch Apokoinu-Konstruktionen auf sehr elementare Weise, warum man für eine angemessene grammatische Analyse vieler Konstruktionen zu zweidimensionalen Phrasenstrukturen übergehen muß.

### 3. Systemtheoretische Grundlagen

Für eine Realisierung der in Kapitel 2 dargestellten Modellierungsideen benötigt man einen geeigneten theoretischen Rahmen. Er sollte so allgemein formuliert sein, daß die Charakteristika der anvisierten Grammatikkonzeption auf möglichst einfache Weise erfaßt werden. Zugleich sollte deutlich werden, wie diese Konzeption an die klassische Theorie formaler Grammatiken anschließt und welche Erweiterungs- oder Verallgemeinerungsschritte dabei vollzogen werden. Wenn es um eine Untersuchung von Regelsystemen geht, dann ist es immer zweckmäßig, einen spieltheoretischen Rahmen zugrunde zu legen. Weiterhin kann man sich für einen Umgang mit dem Aspekt der Mehrdimensionalität an der Vorgehensweise in der Theorie der

Vektorräume orientieren. Und schließlich sind generell prozessuale und dynamische Phänomene am besten systemtheoretisch beschreibbar.

Innerhalb des zu entwickelnden theoretischen Rahmens müssen verschiedene Aufgaben durchgeführt werden. Zum einen sind die zentralen Begriffe der anvisierten Grammatikkonzeption zu definieren. Zum anderen muß geklärt werden, wie bestimmte Funktionsmechanismen der Grammatik beschrieben werden können. Dies betrifft z.B. folgende Fragen.

- Wie interagieren die Regeln verschiedener Dimensionen miteinander?
- Welche Mechanismen sind für eine Steuerung der Reihenfolge bei der Regelanwendung einzusetzen?
- Wie konstituieren sich in mehrdimensionalen Systemen Anfangs- und Endzustände?

Für eine Bewältigung der Definitions- und Beschreibungsaufgaben liegen aus den genannten Grundlagentheorien nur teilweise Lösungen vor. Deshalb muß ihr Begriffs- und Beschreibungsinstrumentarium in bestimmten Fällen weiterentwickelt werden und gerade dieses Erfordernis führt auch zu neuen Modellierungsmöglichkeiten.

### 3.1 Generelle spieltheoretische Konzepte

Für die Untersuchung natürlichsprachlicher Kommunikation liegt grundsätzlich eine spieltheoretische Konzeptualisierung nahe. Die Teilnehmer an einer Kommunikation sind danach als Spieler aufzufassen, die – im Normalfall nacheinander und nur in Sonderfällen teilweise überlappend – nach bestimmten Regeln kommunikative Züge in Form verbaler Äußerungen machen. Die Konstellation, daß mehrere Personen an einem Kommunikationsspiel beteiligt sind, ist sogar für die Grammatiktheorie einschlägig. Denn seitdem sich die Linguistik der Erforschung syntaktischer Strukturen in der gesprochenen Sprache zugewandt hat, weiß man, daß Kommunikationsteilnehmer manchmal auch Sätze kooperativ produzieren. Dieser Sachverhalt soll aber im folgenden unberücksichtigt bleiben und insofern kann dann die Grammatik einer Sprache als Regelsystem eines Einpersonenspiels bzw. eines Spiels ohne Spezifikation der Spielerkoordination aufgefaßt werden, das der syntaktischen Verarbeitung bei der Produktion oder Rezeption von Sätzen dient. Der Einfachheit halber wird im folgenden eine Einpersonenkongstellation angenommen.

#### 3.1.1 Definition

$S = \langle Z, R \rangle$  ist ein *Spiel* genau dann, wenn  $Z$  nicht leer ist und wenn  $R \subset Z \times Z$ , also eine zweistellige Relation über  $Z$  ist.  $Z$  wird *Zustandsraum* und  $R$  *Übergangsrelation* genannt. Außerdem heißen die Elemente von  $R$  *Spielregeln*.

Eine  $n$ -gliedrige Folge  $\pi$  von Zuständen (also Elementen von  $Z$ ) ist eine *Partie* in  $S$  genau dann, wenn  $\langle z_i, z_{i+1} \rangle \in R$  für  $0 \leq i < n$ . Somit besteht der in  $\pi$  vollzogene Spielverlauf gerade darin, daß die als Spieler fungierende Person beginnend mit  $z_0$  jeweils einen gemäß  $R$  zulässigen Zug macht, d.h. einen der möglichen Nachfolge-

zustände auswählt; dieses Verfahren wendet der Spieler solange an, bis der Zustand  $z_{n-1}$  erreicht ist. Insbesondere kann man also sagen, daß die Partie  $\pi$  von  $z_0$  zum Zustand  $z_{n-1}$  führt.

Die Menge der zu einem Zustand  $z$  gehörigen Nachfolgezustände wird mit  $R[z]$  bezeichnet und die Menge der Vorgängerzustände läßt sich als  $R^{-1}[z]$  darstellen, nämlich als die Menge der Nachfolgezustände bei der inversen Relation  $R^{-1}$ . Zustände  $z$ , die keinen Vorgängerzustand besitzen, heißen *Anfangszustände*; für sie gilt also  $R^{-1}[z] = \emptyset$ . Zustände  $z$ , für die kein Nachfolgezustand existiert, heißen *Endzustände*; für sie gilt  $R[z] = \emptyset$ . Partien dürfen im Prinzip bei beliebigen Zuständen beginnen und auch bei beliebigen Zuständen abgebrochen werden. Um aber eine gewisse Vollständigkeit von Partien zu erreichen, gibt es häufig zusätzliche Regelungen über den Beginn und das Ende von Partien. Die einfachste Art einer solchen Regelung ist die Bestimmung, daß Partien standardmäßig mit Anfangszuständen beginnen und mit Endzuständen aufhören. Neben den durch  $R$  selbst gegebenen *absoluten Anfangs- und Endzuständen* sind in vielen Anwendungsfällen noch *relative Anfangs- oder Endzustände* vorgesehen, die zusätzliche Ein- oder Ausstiegsmöglichkeiten für Partien bieten. Speziell im Bereich der Kommunikation wird hiervon häufig Gebrauch gemacht. Beispielsweise wird man eine Rede im Standardfall mit einer Einleitung beginnen; man kann aber auch gleich in medias res gehen. Und für die Satzproduktion gilt: im Prinzip gibt es überhaupt keine absoluten Endzustände, weil jeder Satz z.B. durch hypotaktisch angeschlossene Nebensätze verlängert werden kann. Formal dargestellt bedeutet die Hinzunahme von relativen Anfangs- und Endzuständen, daß neben den Komponenten  $Z$  und  $R$  des betreffenden Spiels noch zwei weitere Komponenten existieren, nämlich eine Menge  $Z_A \subset Z$  und eine Menge  $Z_E \subset Z$ , die die absoluten Anfangs- bzw. Endzustände umfassen (d.h.  $Z_A \subset \cup \{R^{-1}[z] \mid z \in Z\}$  und  $Z_E \subset \cup \{R[z] \mid z \in Z\}$ ). Allerdings kann man auf eine gesonderte Auszeichnung von  $Z_A$  und  $Z_E$  verzichten, wenn man  $R$  so definiert, daß direkte Übergänge von absoluten zu relativen Anfangszuständen vorgesehen sind und umgekehrt Übergänge von relativen Endzuständen zu absoluten.

Systemtheoretisch gesehen sind Spiele im Sinne von 3.1.1 spezielle *sequentielle Systeme* (vgl. etwa Homuth 1977), d.h. daß ihre Zustandsentwicklung in diskreten Zeitabständen beschrieben wird. Außerdem handelt es sich um *autonome Systeme*, weil sie ohne Spezifikation von Ein- und Ausgaben charakterisiert sind. Falls die Übergangsrelation  $R$  keine Funktion bildet, liegen überdies *nichtdeterministische Systeme* vor. Von einem Spiel zu sprechen, ist bei der Modellierung von Kommunikation insbesondere dann sinnvoll, wenn impliziert werden soll, daß die Zustandsübergänge durch Handlungen oder Entscheidungen von Agenten zustande kommen. Auch die in der Theorie formaler Sprachen betrachteten Grammatiken der Chomsky-Hierarchie, die sogenannten (allgemeinen) *Regelgrammatiken*, lassen sich als Spiele auffassen (vgl. 3.2). Dabei fungieren Zeichenfolgen als Zustände.

<sup>1</sup> Mit dem Symbol „ $\emptyset$ “ wird in der Mengentheorie die leere Menge notiert, gleichzeitig aber die natürliche Zahl „Null“ mit der leeren Menge identifiziert. Außerdem ist nach der Definition von Funktionen und Folgen auch die leere Folge (ohne Glieder) identisch mit  $\emptyset$  und deshalb benötigt man kein eigenes Symbol für sie.

Partien in Grammatiken werden üblicherweise *Ableitungen* genannt, um die Analogie zum Umgang mit Kalkülen in der Logik deutlich zu machen. Dementsprechend soll hier auch das bekannte Ableitungssymbol benutzt und mit  $z \vdash z'$  der Sachverhalt notiert werden, daß es eine von  $z$  zu  $z'$  führende Partie gibt. Als einziger grammatischer Anfangszustand ist die nur aus dem Start-/Satzsymbol bestehende Folge ausgezeichnet. Weiterhin bildet jede nur aus terminalen/lexikalischen Symbolen bestehende Zeichenfolge einen Endzustand. Schließlich werden die zulässigen Zustandsübergänge mit Hilfe der sogenannten Produktionsregeln definiert.

Von dem üblichen Begriffsapparat der Spieltheorie sind noch zwei zentrale Konzepte zu besprechen, nämlich das Strategie- und das Gewinnkonzept, die auch in spezifischer Weise miteinander verknüpft sind. Im prototypischen Fall ist es das Ziel des (jedes) Spielers, den Spielverlauf in einer Partie so zu gestalten, daß sich am Partienende ein möglichst hoher Gewinn für den (jeweiligen) Spieler ergibt. Dieses Ziel läßt sich am besten erreichen, wenn man über eine Strategie verfügt, die möglichst für jeden in Frage kommenden Zustand oder zumindest für einen Teil der Zustände festlegt, wie der durch  $R$  gegebene Handlungsspielraum optimal für das Gewinnziel auszunutzen ist. Wenn sich ein Spieler nach einer Strategie richtet, die jeweils die Wahl genau eines Nachfolgezustands vorschreibt, dann ist das Verhalten des Spielers durch ein deterministisches System beschreibbar. Angewendet auf den Fall von Grammatiken bedeutet dies, daß die Auswahl von Nachfolgezuständen z.B. von semantischen Faktoren abhängig gemacht werden kann, die ansonsten in der Grammatik nicht thematisiert werden. Analoges gilt auch für das Ziel- und Gewinnkonzept. Aus rein syntaktischer Perspektive ist das Ziel von Ableitungen in einer Grammatik schon dann erreicht, wenn die Partie insgesamt zur Formulierung eines vollständigen und wohlgeformten Satzes geführt hat. Für die produzierte Äußerung könnte aber beispielsweise auch der Grad ihrer Verständlichkeit gemessen werden und das Spiel nur dann als gewonnen gelten, wenn der Verständlichkeitsgrad einen bestimmten Minimalwert erreicht. Oder man vergleicht am Partienende Äußerungsbedeutung und Darstellungsintention und die Verteilung von Gewinnpunkten wird davon abhängig gemacht, inwieweit beides übereinstimmt. Da alle solche Aspekte im folgenden keine Rolle spielen, soll hier auf eine formale Definition von Strategie- und Gewinnbegriff verzichtet werden.

## 3.2 Ersetzungsgrammatiken

Die theoretisch explizite Hinführung vom Spielkonzept zu den Regelgrammatiken soll in verschiedenen Schritten erfolgen, um spätere Verallgemeinerungen zu erleichtern.

### 3.2.1 Definition

$S = \langle Z, R, V \rangle$  ist ein *Sprachspiel* genau dann, wenn

- (i)  $\langle Z, R \rangle$  ist ein Spiel,
- (ii)  $V$  ist endlich und nichtleer,
- (iii)  $Z = V^*$ .

$V$  wird *Vokabular* genannt und die Elemente von  $V$  heißen *Zeichen* oder *Symbole*. Mit  $V^*$  wird wie üblich die Menge der endlichen Zeichenfolgen notiert.

In Sprachspielen sind ganz unterschiedliche Arten von Zustandsübergängen denkbar. Beispielsweise können in Zeichenfolgen zum Zweck der Übersetzung von einer Teilsprache in eine andere schrittweise Symbolsubstitutionen vorgenommen werden. Oder das Ziel des Spiels besteht gerade darin, ein vorgegebenes Zeichen, also etwa ein Wort, durch Anfügen neuer Wörter zu einem Satz zu verlängern. In der Theorie der Regelgrammatiken ist aber nur ein Typ von Zustandsübergängen bzw. Regeln zugelassen.

### 3.2.2 Definition

Ein Sprachspiel  $S = \langle Z, R, V \rangle$  ist ein *Ersetzungssystem* genau dann, wenn für alle  $z, z', w_1, w_2 \in Z$  gilt<sup>2</sup>: falls  $\langle z, z' \rangle \in R$ , so auch  $\langle w_1 z w_2, w_1 z' w_2 \rangle \in R$ .

Die Übergangsrelation  $R$  ist in Ersetzungssystemen also gegenüber einer *Umgebungsvergrößerung* abgeschlossen. Dies bedeutet zugleich, daß sich Zustandsübergänge stets durch Ersetzung einer Teilfolge im Gesamtzustand durch eine andere Zeichenfolge vollziehen.

### 3.2.3 Definition

$S = \langle Z, R, V \rangle$  sei ein Ersetzungssystem.

Die Relation  $R' \subset R$  ist eine *Basis* von  $R$  genau dann, wenn es für alle  $w, w'$  mit  $\langle w, w' \rangle \in R$  stets ein  $z, z', w_1, w_2$  mit  $w = w_1 z w_2$ ,  $w' = w_1 z' w_2$  und  $\langle z, z' \rangle \in R$  gibt.

Die als Ausgangspunkt für die Definition der Regelgrammatiken betrachteten Semi-Thue-Systeme<sup>3</sup> bilden im Sinne der hier eingeführten Terminologie gerade Ersetzungssysteme mit endlicher Basis. Ansonsten liegt das Spezifikum dieser Grammatiken darin, daß das Vokabular  $V$  in zwei disjunkte Teilmengen zerfällt, die hier als das Vokabular  $V_k$  der *kategorialen Zeichen* und das Vokabular  $V_l$  der *lexikalischen Zeichen* angesprochen werden sollen. Dabei ist die Bezeichnung „lexikalisch“ mit Blick auf die Standardanwendung in Satzgrammatiken gewählt, bei denen die lexikalischen Elemente die sprachlichen Basiseinheiten bilden. Entsprechende Systeme können insofern Grammatiken genannt werden, als man die Beziehungen zwischen grammatischen Kategorien und Folgen von lexikalischen Zeichen mit Hilfe der Regeln von  $R$  beschreiben kann.

### 3.2.4 Definition

$G = \langle Z, R, V_k, V_l \rangle$  ist eine *Ersetzungsgrammatik* genau dann, wenn

- (i)  $\langle Z, R, V_k \cup V_l \rangle$  ist ein Ersetzungssystem mit endlicher Basis,
- (ii)  $V_k \cap V_l = \emptyset$ .

<sup>2</sup> Wie üblich wird für Zeichenfolgen  $z_1, z_2 \in V^*$  mit  $z_1 z_2$  die Verkettung (Konkatenation) von  $z_1$  und  $z_2$  notiert.

<sup>3</sup> Semi-Thue-Systeme werden häufig auch Produktionssysteme genannt. Der Terminus „Produktion“ soll aber ab 3.3 in einen linguistisch spezifischerem Sinn verwendet werden.

Die in der Chomsky-Hierarchie betrachteten Regelgrammatiken sind spezielle Ersetzungsgrammatiken und zwar wird in ihnen die Zustandsentwicklung auf die Richtung des Übergangs von kategorialen zu lexikalischen Zeichenfolgen festgelegt. Dabei ist im Prinzip die Geltung folgender Bedingungen intendiert:

- (1) Den einzigen Anfangszustand bildet die Zeichenfolge, die nur aus einem besonderen kategorialen Zeichen, nämlich dem sogenannten *Start- oder Satzsymbol* „S“ besteht.
- (2) Es gibt keine Ersetzungsregeln<sup>4</sup> des Typs  $0 \rightarrow z$ .
- (3) Für jedes  $v \in V_k$  gibt es Regeln des Typs  $w_1 v w_2 \rightarrow w_1 z w_2$ .
- (4) Für jedes  $v \in V_l$  gilt: es gibt keine Regeln des Typs  $v \rightarrow z$  oder  $w_1 v w_2 \rightarrow w_1 w z w_2$  derart, daß  $v$  nicht in  $w$  vorkommt.

Nur die Bedingung (2) ist in gängigen Definitionen von Regelgrammatiken explizit formuliert. Demgegenüber wird die Geltung von (1) statt über eine entsprechende Einschränkung von  $R$  dadurch erreicht, daß praktisch nur mit dem Startsymbol beginnende Ableitungen betrachtet werden. Mit einer Bedingung wie (3) wäre zumindest für kontextsensitive Grammatiken garantiert, daß die Zeichen von  $V_k$ , die üblicherweise auch *nichtterminale* Symbole genannt werden, tatsächlich einen diesem Namen entsprechenden Status haben. Eine derartige Definitionsbedingung wird allerdings nie gefordert. Ähnliches gilt auch für (4). Daß auf lexikalische Zeichen, auch *terminale* Symbole genannt, keine Ersetzungsregeln mehr anwendbar sein sollen, ist in der Definition von Regelgrammatiken nicht gewährleistet<sup>5</sup>, sondern wird nur durch eine entsprechende praktische Handhabung erreicht. Trotz dieser Inkonsistenzen war die Entwicklung der Theorie der Regelgrammatiken sehr erfolgreich und für die Anwendungen in der Linguistik überaus wichtig; dieser Sachverhalt darf hier als bekannt vorausgesetzt werden und braucht deshalb nicht nachgezeichnet zu werden. Vielmehr soll im folgenden dargestellt werden, wie bestimmte Einschränkungen dieser Theorie schrittweise aufgehoben werden können.

### 3.3 Produktions- und Rezeptionsaufgabe von Grammatiken

Wenn ein bestimmtes lexikalisches Vokabular  $V_l$  gegeben ist, dann faßt man Teilmengen von  $V_l^*$  jeweils als *Sprachen* über  $V_l$  auf. Ziel der Formulierung einer Regelgrammatik  $G$  für eine Sprache  $L \subset V_l^*$  ist es, alle Elemente von  $L$  oder einer Teilmenge von  $L$  mit Hilfe von  $G$  zu erzeugen. Im Einklang damit gilt es als Standardaufgabe der linguistischen Syntaxforschung, Grammatiken zu definieren, die die Sätze vorliegender natürlicher Sprachen generieren. Wenn man zum Beispiel in üblicher Weise Phrasenstrukturregeln zur Erzeugung von Sätzen des Deutschen formuliert, dann umfaßt das resultierende Regelsystem zwangsläufig auch Regeln für die Produktion von Nominalphrasen. Dies zeigt, daß es zu einseitig und auch

<sup>4</sup> Als Schreibweise für Regeln wird im folgenden wie üblich statt  $\langle z, z' \rangle$  auch die Notation  $z \rightarrow z'$  verwendet.

<sup>5</sup> Auch die in Maurer (1969) formulierte Bedingung, daß für jede Regel  $z \rightarrow z'$  in  $z$  mindestens ein kategoriales Zeichen vorkommt, ist nicht hinreichend.

unzweckmäßig ist, wenn in Regelgrammatiken nur die aus dem Start-/Satzsymbol ableitbaren lexikalischen Zeichenfolgen als zur Sprache gehörige Produktionsresultate eingestuft werden. Vielmehr kann man genereller für jedes kategoriale Zeichen und sogar für jede Folge kategorialer Symbole die in der jeweiligen Grammatik erzeugbare Menge lexikalischer Zeichenfolgen definieren.

### 3.3.1 Definition

$G = \langle Z, R, V_k, V_l \rangle$  sei eine Ersetzungsgrammatik.

Für  $z \in V_k^+$  wird gesetzt  $L(G, z) = \{z' \in V_l^* \mid z \vdash z'\}$ <sup>6</sup>.  $L(G, z)$  soll die Menge der in  $G$  produzierbaren sprachlichen Realisierungen der Kategorie  $z$  heißen.

Der wichtigste Anwendungsfall von  $L(G, z)$  liegt natürlich vor, wenn  $z$  nur aus einem kategorialen Symbol besteht, und einen Spezialfall hiervon bildet dann die üblicherweise betrachtete Menge  $L(G, S)$  der von  $G$  produzierten Sätze.

Abgesehen von dem durch 3.3.1 gegebenen Generalisierungsvorteil ergibt sich aus 3.3.1 auch eine Lösung des in 3.2 im Zusammenhang mit den Bedingungen (1) - (4) diskutierten Inkonsistenzproblems. Von der Produktionsaufgabe von Grammatiken her gesehen sind diese Bedingungen nämlich alle unnötig bzw. unzweckmäßig. Dies soll nachfolgend genauer erläutert werden.

Auf die Bedingung (1), daß die eingliedrige Folge  $S$  den einzigen Anfangszustand darstellt, kann man verzichten, wenn man zuläßt, daß Partien/Ableitungen mit beliebigen Zeichenfolgen beginnen. Weiterhin ist die Bedingung (2) empirisch unzweckmäßig, weil sich mit Regeln des Typs  $0 \rightarrow z$  zum Beispiel auf besonders einfache Weise das Phänomen erfassen läßt, daß in gesprochenen Sätzen immer zwischen zwei Wörtern Hesitationssignale wie *äh* eingefügt werden dürfen. Zugleich macht das Beispiel deutlich, daß Regeln dieses Typs nicht zu Problemen führen müssen, sofern geeignete Anforderungen an  $z$  und an die sich daraus ergebenden Ableitungen gestellt werden. Was die Bedingung (3) angeht, so reicht es, für die Produktionszielsetzung zu verlangen, daß nicht für alle  $z \in V_k^+$  gilt:  $L(G, z) = \emptyset$ . Zwar ist es dann nicht mehr sinnvoll, kategoriale Zeichen generell nichtterminal zu nennen; auf diese Bezeichnung sollte man aus später ersichtlichen Gründen aber ohnehin verzichten. Schließlich erübrigt es sich für Grammatiken mit Produktionszielsetzung auch, die Geltung der Bedingung (4) zu fordern. Es gibt nämlich verschiedene syntaktische Phänomene, die es nahelegen, Regeln zuzulassen, in denen lexikalische Zeichen oder Zeichenfolgen ersetzt werden. Beispielsweise läßt sich die Kopulatilgung in Telegrammellipsen wie *Oma gut angekommen* auf diese Weise leicht erfassen. Und auch die Bildung von sogenannten Portmonteaumorphen wie *im* (abgeleitet aus *in dem*) ist dann sehr einfach modellierbar. Der Verzicht auf eine Kopplung der Bezeichnungen „lexikalisch“ und „terminal“ erweist sich demgegenüber wieder als unerheblich (bzw. sogar wünschenswert).

In der klassischen Theorie formaler Sprachen wird der Grammatikbegriff einseitig auf die von Regelgrammatiken realisierten Produktionsaufgaben syntaktischer

<sup>6</sup> Wie üblich wird gesetzt  $V^+ = V^* - \{\emptyset\}$ .

Sprachverarbeitung bezogen. Es ist aber auch legitim, den Grammatikbegriff bei der rezeptionsseitigen Aufgabenstellung syntaktischer Verarbeitung zu verwenden, und deshalb haben wir in die Definition 3.2.4 der Ersetzungsgrammatik keine Bedingung zur Festlegung einer Verarbeitungsrichtung aufgenommen. Will man nun Grammatiken mit Produktions- und Rezeptionsaufgabe voneinander unterscheiden, ist es nützlich, zunächst eine zu 3.3.1 komplementäre Definition einzuführen.

### 3.3.2 Definition

$G = \langle Z, R, V_k, V_l \rangle$  sei eine Ersetzungsgrammatik.

Für  $z \in V_l^+$  wird gesetzt  $K(G, z) = \{z' \in V_k^* \mid z \vdash z'\}$ .  $K(G, z)$  soll die Menge der bei Rezeption von  $z$  in  $G$  für  $z$  zuordenbaren Kategorien heißen.

Der wichtigste Anwendungsfall von  $K(G, z)$  liegt vor, wenn diese Menge mindestens ein kategoriales Zeichen enthält, d.h. daß  $z$  eine grammatische Standardkategorie aus  $V_k$  realisiert.

Mit Hilfe von 3.3.1 und 3.3.2 kann die gewünschte Unterscheidung folgendermaßen expliziert werden.

### 3.3.3 Definition

$G = \langle Z, R, V_k, V_l \rangle$  sei eine Ersetzungsgrammatik.

$G$  ist eine *Produktionsgrammatik* genau dann, wenn es mindestens  $z \in V_k^+$  mit  $L(G, z) \neq 0$  gibt, aber kein  $z \in V_l^+$  mit  $K(G, z) \neq 0$ . Umgekehrt ist  $G$  eine *Rezeptionsgrammatik*, wenn es mindestens ein  $z \in V_l^+$  mit  $K(G, z) \neq 0$  gibt, aber kein  $z \in V_k^+$  mit  $L(G, z) \neq 0$ .

Aus 3.3.3 ergibt sich unmittelbar, daß durch Übergang von  $R$  zur inversen Relation  $R^{-1}$  aus einer Produktions- eine Rezeptionsgrammatik wird und umgekehrt. So gesehen ist es erstaunlich und nur wissenschaftshistorisch zu erklären, daß man in der klassischen Theorie formaler Sprachen die Produktions- und Rezeptionsrichtung von syntaktischer Sprachverarbeitung nicht im Rahmen desselben Systemtyps untersuchte, sondern für die Behandlung der Rezeptionsseite zu einer automaten-theoretischen Behandlung überwechselte. Diese Inhomogenität hat verschiedene negative Konsequenzen. Vergleichsweise unerheblich ist noch die uneinheitliche Terminologie (z.B. wird  $V_l$  einmal terminales Vokabular und das andere Mal Inputvokabular genannt<sup>7</sup>). Demgegenüber ist aus systemtheoretischer Perspektive gravierend, daß weder das Verhältnis zwischen inkrementellen und nicht inkrementellen Systemen noch das Verhältnis zwischen autonomen und Input-Output-Systemen behandelt wird. Schließlich läßt sich mit dem automaten-theoretischen Ansatz zwar die rezeptionsseitige Aufgabe erfüllen, über die Zugehörigkeit einer lexikalischen Zeichenfolge zu einer syntaktischen Kategorie wie dem Satz entscheiden zu können. Im Unterschied zu den Gegebenheiten bei Austauschregeln (vgl. 3.4) fehlt für die Übergangsfunktion von Automaten aber eine kanonische bzw.

<sup>7</sup> Beide Bezeichnungen sind nur relativ zu der betrachteten Verarbeitungsrichtung sinnvoll und somit für eine davon abstrahierende Behandlung unzweckmäßig.

empirische Interpretation und dies macht die Anwendung des vorliegenden automaten-theoretischen Ansatzes unattraktiv.

Die vorangegangenen Überlegungen machen deutlich, daß die Durchführung verschiedener Arbeitsschritte zur Weiterentwicklung der Theorie der Ersetzungsgrammatiken wünschenswert wären.

- Die vorliegende Theorie der Regelgrammatiken ist im Sinne der Diskussion über die Bedingungen (1) – (4) zu ergänzen.
- Parallel zum theoretischen Programm der Regelgrammatiken lassen sich verschiedene Typen rezeptionsseitiger Ersetzungsgrammatiken unterscheiden und in Beziehung zueinander setzen. Dabei verlangt die zu Typ 1-Regelgrammatiken komplementäre Restriktion, daß alle Regeln  $z \rightarrow z'$  die Eigenschaft  $|z'| \leq |z|$  haben<sup>8</sup>, und innerhalb dieses Regeltyps können die zu kontextsensitiven, kontextfreien und regulären Regeln gehörigen Inversen jeweils als Spezialfälle betrachtet werden.
- Jeweils getrennt für produktions- und rezeptionsseitige Ersetzungsgrammatiken sollte der Zusammenhang inkrementellen und nicht inkrementellen sowie zwischen autonomen und nicht autonomen Systemen untersucht werden.

Das so umrissene Untersuchungsprogramm soll im folgenden nicht systematisch verfolgt werden. Vielmehr steht im Vordergrund des Forschungsinteresses ein anderer Theorieerweiterungsschritt, nämlich die Einführung von Expansionsregeln als neuem Regeltyp. Außerdem liegt der nachfolgenden Diskussion in einem Aspekt eine ganz andere Ausgangsposition als der Theorie der Regelgrammatiken zugrunde. Empirisch gesehen ist die Frage nach dem für die Grammatik natürlicher Sprachen erforderlichen Systemtyp einfach zu beantworten, wenn man als Definitionskriterium für natürliche Sprachen den Sachverhalt berücksichtigt, daß aufgrund der eingeschränkten Verarbeitungsfähigkeiten von Menschen nur Äußerungen mit beschränkter Einbettungstiefe und Länge als Sätze vorkommen bzw. rezipierbar sind. So beurteilt ist die Menge der in Grammatiken zu betrachtenden Zeichenfolgen, also der relevanten Zustände, endlich und es liegt in jedem Fall ein finites System vor. Ganz unabhängig von diesem Umstand bleibt aber zu klären, mit welchen Regeln und Regeltypen man eine Grammatik ausstatten sollte, um die syntaktische Verarbeitung von natürlichsprachigen Äußerungen möglichst gut zu modellieren.

### 3.4 Systeme mit Expansionsregeln

Sprachspiele im Sinne von 3.2.1 können noch andere Arten von Zustandsübergängen oder Randbedingungen realisieren, als sie in Ersetzungssystemen vorgesehen sind. Dabei müssen nach den Vorüberlegungen von Kapitel 1 und 2 insbesondere Expansions- bzw. Kookurrenzeigenschaften berücksichtigt werden, wenn man den syntagmatischen Aspekt von Äußerungsstrukturen adäquat erfassen will.

---

<sup>8</sup> Mit  $|z|$  wird für Zeichenfolgen  $z$  die Länge von  $z$ , d.h. die Anzahl der Glieder von  $z$  notiert.

Als Ausgangspunkt für die Diskussion von Expansionsregeln kann wieder das Phänomen der diskontinuierlichen Konstituenten dienen. Wie in Kapitel 2 dargestellt, besteht die Problematik dieses Phänomens im Auftreten von Graphen mit sich überschneidenden Kanten. Eine Betrachtung solcher Strukturen wollte man in der Syntaxforschung bisher möglichst vermeiden und dies läßt sich auch erreichen, wenn man die Beschreibung von Typ 1-Sprachen auf den Fall der Verwendung von kontextsensitiven Regeln beschränkt, also von Regeln des Typs  $w_1 z w_2 \rightarrow w_1 z' w_2$  mit  $|z| = 1$  und  $z' \neq \emptyset$ . Hier schließt die linear zusammenhängende Positionierung der Glieder von  $z'$  gerade unerwünschte *diskontinuierliche Verteilungen* aus. Theoretisch ist eine Beschränkung auf kontextsensitive Regelsysteme insofern legitim, als Grammatiken, die Regeln der allgemeineren, für Typ 1-Sprachen einschlägigen Version  $w \rightarrow w'$  mit  $|w| \leq |w'|$  verwenden, immer durch schwach äquivalente, d.h. dieselbe Sprache erzeugende kontextsensitive Grammatiken ersetzt werden können. Empirisch gesehen gibt es allerdings keinen Grund, die Verwendung von Ersetzungsregeln mit diskontinuierlicher Verteilung (kurz: *diskontinuierlichen Ersetzungsregeln*) zu verbieten. Beispielsweise läßt sich ein Satz wie

(8) *Karl spricht ein Mädchen an.*

unmittelbar in einer Typ 1-Grammatik erzeugen, wenn man das Regelsystem von 2.3 durch folgende Regeln ergänzt.

- (R14) VP  $\rightarrow$  V NP  
 (R15) V NP  $\rightarrow$  FIN NP PRÄF  
 (R16) FIN  $\rightarrow$  *spricht*  
 (R17) PRÄF  $\rightarrow$  *an*

Das einer diskontinuierlichen Ersetzungsregel wie (R15) zugrundeliegende Format  $u z w_1 w_2 \rightarrow u z' w_1 z'' w_2$  mit  $|z| = 1$ ,  $z' \neq \emptyset$  und  $z'' \neq \emptyset$  ist – unabhängig von dem Problem sich überschneidender Kanten – als komplex einzustufen. Deshalb ist es im Sinne des Prinzips der Komplexitätsreduktion sinnvoll zu versuchen, diskontinuierliche Ersetzungsregeln auf die Kombination einfacherer Regeln zurückzuführen. Statt der Wahl einer Transformationslösung kann man sich aber auch die Zerlegungsidee von 2.3 zunutze machen und den bei Anwendung diskontinuierlicher Regeln resultierenden Zustandsübergang in folgende zwei Schritte aufteilen.

- $u z w_1 w_2$   
 $u z' w_1 w_2$   
 $u z' w_1 z'' w_2$

Der erste Übergangsschritt basiert auf einer kontinuierlichen Ersetzung und der zweite Schritt auf einer diskontinuierlichen Expansion, die allerdings selbst komplex strukturiert ist und später weiter reduziert werden soll.

Die zentrale grammatiktheoretische Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, Austausch- und Expansionsregeln in geeigneter Weise miteinander zu verbinden, ver-

langt als nächstes die Definition eines entsprechenden Systemtyps. Hierfür sind einige vorbereitende Überlegungen erforderlich.

### 3.4.1 Definition

$S = \langle Z, R, V \rangle$  sei ein Sprachspiel.  $\langle w, w' \rangle \in R$  ist eine *Expansionsregel* genau dann, wenn es  $w_1, w_2, z'$  mit  $w = w_1 z' w_2$  und  $z' \neq \emptyset$  gibt. Demgegenüber ist  $\langle w, w' \rangle \in R$  eine *Austauschregel* genau dann, wenn es  $w_1, w_2, z, z'$  mit  $w = w_1 z w_2, w' = w_1 z' w_2, z \neq \emptyset$  und  $z \cap z' = \emptyset$  gibt.

Grund für die in 3.4.1 vorgenommene Unterscheidung ist folgender Sachverhalt. Im weiten Sinne läßt sich jeder Zustandsübergang in einem Sprachspiel als eine Ersetzung auffassen und deshalb kann man Expansionsregeln in ihrer Auswirkung auf den Nachfolgezustand nur von Austauschregeln eindeutig abgrenzen. Bezogen auf Ersetzungssysteme kann die Abgrenzung zweierlei bedeuten. Einerseits ist eine Einschränkung auf die Betrachtung von Austauschregeln unproblematisch, weil sich zeigen läßt, daß Ersetzungsregeln immer auf die Kombination von Austauschregeln zurückführbar sind. Beispielsweise läßt sich eine Regel des Typs  $z \rightarrow z z'$  mit  $z \cap z' = \emptyset$  durch die beiden Austauschregeln  $z \rightarrow x z'$  und  $x \rightarrow z$  ersetzen, wenn  $x$  ein neues, bisher nicht im Vokabular enthaltenes Symbol ist. Andererseits soll hier versucht werden, die Regeln von Sprachspielen in elementare Regelanteile zu zerlegen und unter dieser Zielsetzung sind Ersetzungsregeln als Mischformen aus Expansions- und Austauschregeln aufzufassen. Dabei ist es allerdings zweckmäßig (s.u.), für Expansionsregeln andere Anwendungsbedingungen anzusetzen als für Ersetzungsregeln. Deshalb bedeuten 3.4.1 und der Übergang zu Systemen mit Expansionsregeln nicht nur eine interne Ausdifferenzierung von Ersetzungsregeln.

Mit der Unterscheidung von Expansions- und Austauschregeln sind verschiedene auffällige Asymmetrien verbunden. Zunächst ergibt sich aus der Einschränkung auf Austauschregeln eine Lösung für das alte Problem von Typ 0- und Typ 1-Grammatiken, daß nämlich bei deren Regelformulierung nicht eindeutig entscheidbar ist, welche Anteile der Zeichenfolge, auf die eine Regel angewendet wird, als der zu ersetzende Teil, im folgenden *Angriffspunkt* genannt, gelten soll und welche Anteile die *Kontext-* bzw. *Umgebungsbedingung* ausmachen. Faßt man z.B. eine Regel der Form  $w_1 z_1 z_2 z_3 w_2 \rightarrow w_1 z_1 z_2' z_3 w_2$  mit  $z_2 \neq \emptyset$  und  $z_2 \cap z_2' = \emptyset$  als Ersetzungsregel auf, dann kommen u.a.  $z_1 z_2 z_3$  oder  $z_2$  als Angriffspunkt infrage; demgegenüber ist es bei einer Auffassung als Austauschregel naheliegend,  $z_2$  als Angriffspunkt zu definieren. Bei Expansionsregeln  $\langle w_1 w_2, w_1 z' w_2 \rangle$  gibt es jedoch im allgemeinen keinen Anhaltspunkt für eine Unterteilung in Angriffspunkt und Umgebungsbedingung. Und damit deutet sich bereits an, daß noch eine differenziertere Beschreibung von Expansionsregeln erforderlich wird. Der Angriffspunkt einer Expansionsregel läßt sich nur in speziellen Fällen näher bestimmen, nämlich wenn keine Umgebungsabhängigkeit besteht und nur elementare Zeichenfolgen expandiert werden. Dies gilt zunächst für Regeln des Typs  $\langle \emptyset, z' \rangle$ , also Expansionen der leeren Folge, und außerdem für Regeln des Typs  $\langle z, z z' \rangle$  oder  $\langle z, z' z \rangle$  mit  $|z| = 1$ , falls umgebungsbedingte Expansionen der leeren Folge ausgeschlossen werden.

$\langle z, z' \rangle$  kann man dann eine *Rechtsexpansion* und  $\langle z', z \rangle$  eine *Linksexpansion* nennen.

Eine weitere interessante Asymmetrie von Expansions- und Austauschregeln bezieht sich auf die Möglichkeit, Regeln zu formulieren, die mit der leeren Folge operieren. In Abschnitt 3.3 haben wir dafür argumentiert, derartige Regeln zuzulassen. Aus der Definition 3.4.1 ergibt sich jetzt zwangsläufig, daß im Prinzip einerseits Expansionen  $\langle 0, z' \rangle$  mit  $z' \neq 0$  und andererseits Ersetzungen  $\langle z, 0 \rangle$  mit  $z \neq 0$  zulässig sind, also eine gewisse 'Arbeitsteilung' zwischen Expansions- und Austauschregeln besteht. Zugleich erscheint diese Arbeitsteilung z.B. für Produktionsgrammatiken als natürlich, weil die umgekehrte Verteilung unzumutbar wäre: eine leere Expansion  $\langle z, z' \rangle$  ändert gar nichts am bisherigen Zustand, während ein Austausch  $\langle 0, z \rangle$  mit  $z \neq 0$  bedeuten würde, daß bestimmte sprachliche Einheiten der Kategorie 0 zugeordnet werden müßten.

Schließlich ist noch eine Asymmetrie hinsichtlich einer mehrfachen Anwendung von Regeln auf denselben Angriffspunkt bemerkenswert. Eine solche Mehrfachanwendung ist bei Austauschregeln grundsätzlich ausgeschlossen und zwar deshalb, weil der jeweilige Angriffspunkt beim Übergang zum Nachfolgezustand getilgt wird. Demgegenüber sind Expansionsregeln je nach Kontext ggf. mehrfach anwendbar und dies steht auch gut im Einklang mit den Gegebenheiten natürlicher Sprachen. Beispielsweise liegt es nahe, die Produktion von Adjektiven in Nominalphrasen durch eine Expansionsregel  $\langle \text{DET}, \text{DET ADJ} \rangle$  (oder  $\text{DET} \Rightarrow \text{ADJ}$  in der Schreibweise von 2.3.1) zu modellieren und diese Regel sollte dann mehrfach anwendbar sein. Anders verhält es sich mit einer möglichen Expansionsregel  $\langle \text{DET}, \text{DET N} \rangle$  für die Nomen-Produktion, die auf eine einmalige Anwendung eingeschränkt werden muß. Wie dies genau zu bewerkstelligen ist, braucht jetzt noch nicht diskutiert zu werden. Aber es ist einerseits schon klar, daß diese Regel genau in der angegebenen Form verfügbar sein muß, wenn man am Ende eines Satzes (d.h. mit der leeren Folge aus rechter Umgebung) eine Nominalphrase des Typs  $\text{DET N}$ , also z.B. *ein Mädchen*, produzieren will. Andererseits kann für diese Regel nicht die für Ersetzungssysteme geforderte Eigenschaft der Abgeschlossenheit gegenüber Umgebungsvergrößerungen gelten, denn sonst müßte  $\langle \text{DET N}, \text{DET N} \rangle$  auch eine zulässige Expansion sein, was gerade ausgeschlossen werden soll, um z.B. die Produktion von *ein Mädchen Mädchen* als Nominalphrase zu vermeiden. Somit wird noch ein weiterer empirisch begründbarer Unterschied zwischen Expansions- und Austauschregeln deutlich, nämlich der Umstand, daß erstere nicht in jedem Fall die betreffende Abgeschlossenheitseigenschaft haben und daß somit andere Anwendungsbedingungen für sie gelten. Insgesamt motiviert die vorangegangene Diskussion folgende Definition.

### 3.4.2 Definition

Ein Sprachspiel  $S = \langle Z, R, V \rangle$  ist ein *Austausch-Expansions-System* (abgekürzt *A-E-System*) genau dann, wenn für alle  $z, z' \in Z$  gilt:

- (i) Falls  $\langle z, z' \rangle \in R$ , so ist  $\langle z, z' \rangle$  eine Austausch- oder eine Expansionsregel.

- (ii) Falls  $\langle z, z' \rangle$  eine Austauschregel ist, so gilt  $\langle w_1 z w_2, w_1 z' w_2 \rangle \in R$  für alle  $w_1, w_2 \in R$ .
- (iii) Falls  $\langle z, z' \rangle$  eine Expansionsregel ist, so gilt  $\langle w z, w z' \rangle \in R$  für alle  $w \in R$  oder  $\langle z w, z' w \rangle$  für alle  $w \in R$ .

Die Bedingung (iii) verlangt im Unterschied zu (ii) für Expansionsregeln nur eine Abgeschlossenheit gegenüber Vergrößerungen der rechten oder der linken Umgebung. Außerdem basiert (i) auf der Einschätzung, daß der für Grammatiken einschlägige Systemtyp nur Austausch- und/oder Expansionsregeln zu enthalten braucht.

Mit Hilfe von Definitionen, die ganz analog zu 3.2.3, 3.2.4, 3.3.1 und 3.3.3 formulierbar sind, könnte man nun bestimmte spezielle A-E-Systeme als Produktionsgrammatiken auszeichnen, die über Austausch- und/oder Expansionsregeln verfügen. Diese Arbeitsschritte sollen jedoch nicht explizit durchgeführt werden. Vielmehr wollen wir uns damit begnügen, einige Vor- und Nachteile solcher Grammatiken zu benennen.

Produktionsgrammatiken mit Expansionsregeln sind offensichtlich gut dafür geeignet, diskontinuierliche Kookurrenzbeziehungen zu erfassen. Beispielsweise kann man zur Erzeugung des eingangs behandelten Satzes (8) die Regeln (R14) und (R15) folgendermaßen in einfache Expansions- und Austauschanteile zerlegen<sup>9</sup>.

- (R14a)  $VP \rightarrow V$
- (R14b)  $V \Rightarrow NP$
- (R15a)  $V \rightarrow FIN$
- (R15b)  $FIN/_{-NP} \Rightarrow PRÄF/_{-NP}$

Zugleich eröffnet die partielle Unabhängigkeit von Expansions- und Austauschregeln die Möglichkeit, Äußerungsstrukturen in Betracht zu ziehen, bei denen Konstituenz- und Kookurrenzbeziehungen 'auseinanderfallen'. Für das Phänomen diskontinuierlicher Konstituenten bedeutet dies, daß man dem Satz (8) z.B. auch folgende mit (R14a) - (R15b) kompatible Struktur zuordnen kann.

<sup>9</sup> Für umgebungsabhängige Expansionsregeln der Form  $\langle w_1 z w_2 w_3, w_1 z w_2 z' w_3 \rangle$  soll auch die Notierung  $z/w_1 - w_2 w_3 \Rightarrow z'/w_1 - w_2 - w_3$  verwendet werden.

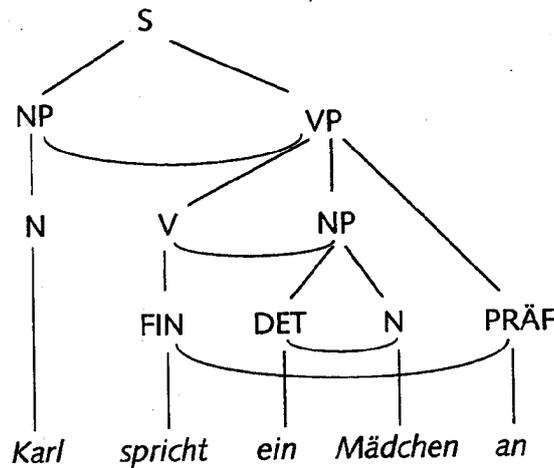


Abbildung 10

Gemäß der Struktur von Abbildung 10 wird das Präfix *an* zwar einerseits als unmittelbare Konstituente der Verbalphrase aufgefaßt, andererseits aber ist *an* aufgrund der Kookurrenzkante zwischen FIN und PRÄF hierarchisch enger mit *spricht* verknüpft als die Nominalphrase *ein Mädchen*. Folglich wird sowohl dem Sachverhalt der engen Zusammengehörigkeit von Verb und Präfix Rechnung getragen als auch dem Umstand, daß das Präfix eine der Objektnominalphrase vergleichbare Eigenständigkeit innerhalb der Verbalphrase besitzt. Eine genauere Begründung für das Zustandekommen von Strukturen wie in Abbildung 10 können wir allerdings erst später geben.

Diskontinuierliche Kookurrenzbeziehungen wie im Beispiel von Satz (8) stellen einen noch vergleichsweise 'harmlosen' Fall von long distance dependency-Konstruktionen dar. Erheblich komplexer sind demgegenüber Ellipsenkonstruktionen.

(9) *Karl sieht und begrüßt das Mädchen.*

Der präferierten Lesart von (9) liegt ein transitiver Gebrauch von *sieht* zugrunde und in diesem Fall ist eine diskontinuierliche Verknüpfung von *sieht* und *das Mädchen* über eine Teilsatzgrenze hinweg erforderlich. Läßt man auch diskontinuierliche Anwendungen der Regel (14b) zu (was ohnehin schon für die Erzeugung von Sätzen wie *Karl sieht heute das Mädchen* notwendig wird), dann kann eine Ableitung von (9) im Prinzip dadurch zustande kommen, daß *das Mädchen* als eine für *sieht* und *begrüßt* gemeinsame Expansion eingeführt wird. Diese intuitiv sehr plausible Lösung setzt nur voraus, daß 'integrierte Doppelanwendungen' von Expansionsregeln erlaubt sind.

Bestimmte Vorteile der Verwendung von Expansionsregeln lassen sich auch schon an Standardkonstruktionen demonstrieren. Das mehrfache (im Prinzip sogar unbeschränkte) Vorkommen attributiver Adjektive in Nominalphrasen kann man im Rahmen von Austauschgrammatiken auf zwei verschiedene Arten erfassen. Entweder formuliert man für jede mögliche Anzahl von Adjektiven eine eigene NP-Regel, also z.B.  $NP \rightarrow DET ADJ ADJ ADJ ADJ N$ , um eine Nominalphrase wie

(10) *das schlanke rothaarige blauäugige englische Mädchen*

erzeugen zu können. Die betreffenden Regeln haben zwar den Vorteil, flache Konstituentenstrukturen zu erzeugen, nachteilig ist aber, daß man dann eine große Anzahl solcher Regeln (oder sogar unendlich viele) benötigt. Deshalb wird im allgemeinen eine andere Lösung bevorzugt, die von der Möglichkeit rekursiver Regeln Gebrauch macht.

NP → DET ADJ N

ADJ → ADJ ADJ

Diese Lösung hat allerdings den Nachteil, daß sie bei der üblichen Baumrepräsentation von Austauschregeln zu hierarchisch, intuitiv unplausiblen Konstituentenstrukturen führt. Deshalb ist es naheliegender, die zweite rekursive Regel als mehrfach anwendbare, umgebungsunabhängige Expansionsregel  $ADJ \Rightarrow ADJ$  aufzufassen und entsprechend zu repräsentieren. Auf diese Weise vermeidet man zum einen die kleine, bei Interpretation von  $ADJ \rightarrow ADJ ADJ$  als Austauschregel noch vorhandene kategoriale Inkorrektheit, daß eine Folge von Adjektiven nicht selbst ein Adjektiv darstellt. Zum anderen – und das ist wichtiger – ergibt sich bei der Auffassung als Expansionsregel eine flache syntaktische Struktur. Dies soll am Beispiel von (10) veranschaulicht werden.

Zur Erzeugung von (10) benötigt man neben naheliegenden lexikalischen Einsetzungsregeln die schon aus 2.3 bekannte Regel

(R3a) NP → DET

sowie die Regeln

(R3c) DET ⇒ ADJ

(R3d) ADJ ⇒ ADJ

(R3e) ADJ ⇒ N.

Wenn man – anders als in Abbildung 10 – vorsichtshalber darauf verzichtet, zusätzliche Konstituentenkanten einzutragen, dann ergibt sich korrespondierend zur Ableitung von (10) folgende Struktur.

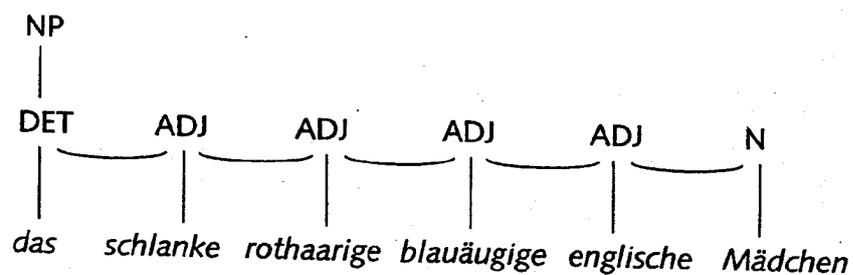


Abbildung 11

Daß hier eine flache Struktur vorliegt, basiert natürlich auf der zerlegungstheoretischen und empirisch begründeten Entscheidung, Expansionsregeln dimensional anders zu repräsentieren als Austauschregeln.

Eine genaue empirische Analyse der Kookurrenzbeziehungen von Nominalphrasen im Deutschen legt übrigens die Vermutung nahe, daß die Konstituenten in Nominalphrasen noch anders verknüpft sind als in Abbildung 11 dargestellt. Einerseits besteht nämlich eine unmittelbare Abhängigkeit zwischen der Flexionsform des Determinators und der Wahl der schwachen oder starken Flexion beim Adjektiv. Dies könnte ein Indiz dafür sein, daß bei der Ableitung von (10) statt einer Anwendung von Regel (R3a) die Regel (R3c) mehrfach eingesetzt wird. Andererseits basiert die Interdependenz zwischen Determinator und Nomen auf Kongruenzdimensionen, die partiell unabhängig von der Beziehung zwischen Determinator und Adjektiv sind. Dies könnte bedeuten, daß statt der Regel (R3e) die schon in 2.3 formulierte Regel

(R3b) DET  $\Rightarrow$  N

zum Einsatz kommt, dann allerdings in diskontinuierlicher Realisierung. Insgesamt gesehen sind also noch verschiedene Strukturierungsvarianten zu Abbildung 11 denkbar. Eine von ihnen sei hier wiedergegeben.

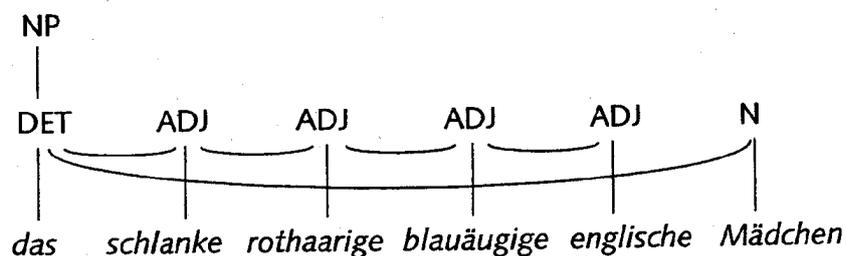


Abbildung 12

Unabhängig von einer noch ausstehenden Entscheidung über die Adäquatheit von Abbildung 11 und 12 weist Abbildung 12 auf die Möglichkeit hin, daß die verschiedenen Teile einer Konstituente in unterschiedlicher Weise miteinander verknüpft sind. Somit kann die Einführung von Expansionsregeln evtl. zu differenzierteren syntaktischen Strukturbeschreibungen führen, als sie in reinen Ersetzungsgrammatiken erreichbar sind.

Das in 3.4.2 gewählte Strukturformat von A-E-Systemen reicht allerdings noch nicht aus, um für natürliche Sprachen angemessene Produktionsgrammatiken zu definieren. Ein Problem wurde schon in der vorangegangenen Diskussion deutlich. Bei der Anwendung von Expansionsregeln bleibt bisher unklar, zu welcher hierarchisch höheren Konstituente die Expansion gehören soll oder kann. M.a.W. die Interaktion zwischen Expansions- und Austauschregeln muß in diesem Aspekt noch genauer spezifiziert werden. Darüber hinaus sind die Probleme für die Anwendung von Expansionsregeln, die auf den oben beschriebenen Asymmetrien

basieren, noch ungelöst. Deshalb ist zunächst zu untersuchen, ob die mit Hilfe von Umgebungsabhängigkeiten formulierbaren Anwendungsbedingungen für eine angemessene Lösung dieses Problems ausreichen. Beispielsweise muß man im Rahmen von A-E-Systemen dem Umstand Rechnung tragen, daß es in natürlichen Sprachen obligatorische Expansionen gibt. Z.B. ist es bei der Ableitung eines Satzes wie

(9a) *Karl begrüßt das Mädchen.*

notwendig, die oben eingeführte Expansionsregel

(R14b) V  $\Rightarrow$  NP

vor der weiteren Anwendung einer Austauschregel auf V einzusetzen. Andernfalls erhält man evtl. als Produktionsresultat die syntaktisch unvollständige Äußerung *Karl begrüßt*. Eine Möglichkeit, dies zu verhindern, besteht darin, daß die lexikalische Einsetzung von *begrüßt* vom Vorkommen des Symbols NP in der rechten Umgebung abhängig gemacht wird. Das oben formulierte Regelsystem wäre also durch die Regel FIN NP  $\rightarrow$  *begrüßt* NP zu ergänzen. Allerdings braucht die für *begrüßt* erforderliche Objektnominalphrase nicht in unmittelbarer Nachbarschaft des Verbs zu stehen, sondern es sind verschiedene Konstellationen hinsichtlich der Position der Nominalphrase und ihrer Umgebungen möglich, so z.B. die Konstellation in

(9b) *Karl begrüßt heute auf dem Schulhof – er spielt gerne den Charmeur – mit freundlichen Worten das Mädchen.*

Man würde als eine Vielzahl von umgebungsabhängigen lexikalischen Einsetzungsregeln für *begrüßt* benötigen. Dies ist jedoch theoretisch unzweckmäßig und legt die Vermutung nahe, daß die Problemursachen auf anderer Ebene anzusiedeln sind. Deshalb soll im nächsten Abschnitt eine alternative Problemlösung diskutiert werden.

### 3.5 Regeln mit Randbedingungen und mehrdimensionale Zustandsräume

In der Theorie der Regelgrammatiken ist als einziger Typ von Randbedingungen für die Regelanwendung der Fall umgebungsabhängiger Regeln vorgesehen. Dies bedeutet eine starke Einschränkung. Nun hat sich im vorigen Abschnitt herausgestellt, daß das Problem der Expansionsobligatorik besser auf andere Weise, also ohne Rückgriff auf Umgebungsrestriktionen, behandelt werden sollte. Deshalb ist es zweckmäßig zu untersuchen, welche Arten von Randbedingungen für Regeln es überhaupt gibt und welche davon für syntaktische Modellierungen relevant sind.

Für die Darstellung und das Erlernen von Spielregeln ist es oft zweckmäßig, wenn man sie in verschiedene Teilregeln und -bedingungen zerlegt. So kann man versuchen, Regeln in einem ersten Schritt möglichst generell zu formulieren, damit sie auf viele oder alle Zustände anwendbar sind. In einem zweiten Schritt wird die Geltung

dieser Regeln dann durch Ausnahmebedingungen eingeschränkt oder durch Zusatzbestimmungen spezialisiert. Oder aber man führt bestimmte elementare Regeln zunächst nur für ausgewählte Zustände ein und überträgt sie später unter Angabe geeigneter Anwendungsbedingungen auf andere Zustände. Letzteres Verfahren wird ja auch bei der Definition von Regelgrammatiken und Ersetzungssystemen genutzt, weil die Abgeschlossenheit gegenüber Umgebungsvergrößerungen ein Prinzip der Regelübertragung bildet. Dieses Verfahren wollen wir jetzt auch als Ausgangspunkt für eine differenziertere Beschreibung von Spielregeln wählen.

Eine Übergangsrelation  $R$  im Spiel  $S = \langle Z, R \rangle$ , die nach dem eben skizzierten Übertragungsverfahren formuliert ist, läßt sich mit Hilfe von drei Komponenten definieren: einer *Regelbasis*  $R_0 \subset Z \times Z$ , einer *Anwendbarkeitsrelation*  $A \subset R \times Z \times Z$  und einer *Resultatfunktion*  $f: R_0 \times Z \times Z \rightarrow Z$ . Der hier verwendete Basisbegriff ist eine Verallgemeinerung des in 3.2.3 eingeführten Begriffs. Die Regeln von  $R_0$  kann man sich vorstellen als elementare Regeln, die mit Hilfe von  $A$  und  $f$  auf andere Zustände übertragen werden. Ob eine Regel der Basis  $R_0$  in übertragener Version auf einen Zustand  $z$  anwendbar ist, wird durch  $A$  geregelt. Dabei wollen wir  $\langle r, a, z \rangle \in A$  als den Sachverhalt interpretieren, daß es in  $z$  einen Teilzustand  $a$  (Angriffspunkt) mit der Eigenschaft gibt, daß sich  $r$  in  $z$  auf  $a$  anwenden läßt. Wenn eine entsprechende Anwendbarkeit vorliegt, dann stellt  $f(r, a, z)$  den zugehörigen Nachfolgezustand dar. Die gewünschte Definition von  $R$  läßt sich dann folgendermaßen formulieren<sup>10</sup>:  
 $\langle z, z' \rangle \in R$  genau dann, wenn es  $r \in R_0$  und  $a \subset z$  gibt mit  $\langle r, a, z \rangle \in A$  und  $z' = f(r, a, z)$ .

Ein wichtiger Spezialfall von  $R_0$  liegt vor, wenn mit  $r \in R_0$  auch  $r \in R$  gilt. In diesem Fall setzt man als Eigenschaft von  $A$  und  $f$  voraus, daß für alle  $\langle z, z' \rangle \in R_0$  gilt:  
 $\langle \langle z, z' \rangle, z, z \rangle \in A$  und  $f(\langle z, z' \rangle, z, z) = z'$ . M.a.W.  $\langle z, z' \rangle$  ist insbesondere dann anwendbar, wenn  $z$  selbst den zugrundeliegenden Zustand bildet und  $z$  zugleich als Angriffspunkt gewählt wird; außerdem erhält man in diesem Fall  $z'$  als resultierenden Nachfolgezustand.

Geordnete Paare  $\langle r, a \rangle$  mit  $r \in R_0$  und  $a \subset z$  kann man auch (*potentielle*) Züge für  $z$  nennen.  $A$  regelt also, ob die für mögliche Angriffspunkte in  $z$  aus  $R_0$  ausgewählten Züge tatsächlich durchführbar sind. Teilbedingungen, von denen  $A$  abhängt, sollen *Randbedingungen* von  $R$  heißen. Dieser Name läßt sich auch folgendermaßen rechtfertigen. Neben  $R$  kann man eine *maximale Übergangsrelation*  $R^+$  definieren durch:

$\langle z, z' \rangle \in R^+$  genau dann, wenn es einen potentiellen Zug für  $z$  mit  $z' = f(r, a, z)$  gibt. Zwischen  $R$  und  $R^+$  besteht dann folgender Zusammenhang. Die Menge der gemäß  $R$  tatsächlich realisierbaren Zustandsübergänge geht aus der Menge der nach  $R^+$  zulässigen, aber nur potentiellen Zustandsübergänge durch die Formulierung einschränkender Randbedingungen hervor.

<sup>10</sup> Das Symbol „ $\subset$ “ verwenden wir wie üblich auch für den verallgemeinerten Fall der Substrukturbeziehung.

Die hier vorgeschlagene Regelbeschreibung mit Hilfe der drei Komponenten  $R_0$ ,  $A$  und  $f$  kann man bei real angegebenen Spielen/Systemen allenfalls in unvollständiger und/oder impliziter Form wiederfinden. Z.B. wird bei den in der Literatur üblichen Definitionen für Semi-Thue-Systeme und Regelgrammatiken nur die Regelbasis  $R_0$  explizit als Systemkomponente aufgeführt, die Übertragung der Regeln von  $R_0$  auf beliebige Zustände und das zugehörige Anwendungsergebnis definiert man aber ohne Bezug auf eine Anwendbarkeitsrelation und eine Resultatfunktion. Dieser Sachverhalt ist für sich genommen natürlich unproblematisch. Er kann allerdings den Blick dafür verstellen, daß noch andere Arten von Randbedingungen und Resultatfunktionen bei der Regelübertragung denkbar sind.

Für den vorliegenden Diskussionszusammenhang hat die Regelbeschreibung mit  $R_0$ ,  $A$  und  $f$  den Zweck, verschiedene Arten von Randbedingungen systematisch voneinander abzugrenzen und ihr jeweiliges Funktionsspektrum zu verdeutlichen. Dabei sollen für die drei Argumentstellen von  $A$  der Reihe nach unterschiedliche Möglichkeiten einschränkender Relationen abgehandelt werden. Den einfachsten Fall von Randbedingungen bilden Bedingungen auf der Basis von einstelligigen Relationen. Z.B. kann es eine notwendige Bedingung für  $\langle r, a, z \rangle \in A$  sein, daß  $r \in B$  für  $B \subset R_0$  gilt. Der Fall einer solchen Randbedingung ist allerdings nicht relevant, weil sich die Regelbasis dann von vornherein auf  $B$  einschränken läßt. Ähnlich verhält es sich auch mit Randbedingungen des Typs  $a \in B$  für  $B \subset Z$ ; in einem solchen Fall würde man die Teilstrukturen von  $z$ , die grundsätzlich nicht als Angriffspunkte in Frage kommen, aus  $z$  tilgen bzw. eine Zustandsmenge einführen, die von solchen Substrukturen abstrahiert. Der Fall einer Randbedingung  $z \in B$  für  $B \subset Z$  kann demgegenüber für ein Spiel von Belang sein; denn in diesem Fall gibt  $Z - B$  eine Menge von Endzuständen an, die diesen Status allein aufgrund einer Eigenschaft der Zustände selbst besitzen. Beispielsweise könnte man die Erzeugung von Sätzen in Produktionsgrammatiken durch eine Randbedingung dieses Typs einschränken, indem man eine weitere Regelanwendung für Zustände verbietet, deren aus lexikalischen Zeichen bestehender Anteil mehr als 1000 Glieder umfaßt.

Bei Randbedingungen für  $\langle r, a, z \rangle \in A$  auf der Basis von zweistelligen Relationen lassen sich ebenfalls drei Grundtypen unterscheiden. Der Fall, daß  $\langle r, z \rangle \in B$  für ein  $B \subset R_0 \times Z$  verlangt wird, ähnelt dem zuletzt besprochenen einstelligen Fall, weil es bei einer solchen Randbedingung für bestimmte Arten von Zuständen grundsätzliche Beschränkungen der Regelanwendung gibt. Z.B. könnte man in einem Austausch-Expansions-System die Anwendung von Expansionsregeln verbieten, wenn der Zustand eine bestimmte Länge erreicht hat; dies würde eine Längenbeschränkung der erzeugbaren Zeichenfolgen garantieren, sofern für die Austauschregeln  $w \rightarrow w'$  zusätzlich die Bedingung  $|w'| \leq |w|$  erfüllt ist.

Über Bedingungen des Typs  $\langle \langle z, z' \rangle, a \rangle \in B$  für  $B \subset R_0 \times Z$  kann geklärt werden, welche Regeln auf welche Angriffspunkte angewendet werden dürfen. Für den bisher diskutierten Fall  $Z = V^*$  ist im Prinzip an die Forderung nach Identität von  $z$  und  $a$  gedacht. Allerdings weicht die Numerierung der Glieder in  $z$  immer dann von der Numerierung in  $a$  ab, wenn  $a$  nicht am Anfang des jeweiligen Zustands steht.

Deshalb darf nur eine (die Reihenfolge der Glieder respektierende) Isomorphie zwischen  $z$  und  $a$  (notiert durch  $z \cong a$ ) verlangt werden. Weitere einschränkende Bedingungen sind aber nicht vorgesehen. Dies gilt auch für den später betrachteten Fall von Zeichenfolgen, die zusätzlich durch Expansionsbeziehungen strukturiert sind.

Schließlich kommen noch zweistellige Randbedingungen des Typs  $\langle a, z \rangle \in B$  für  $B \subset Z \times Z$  in Betracht. Wieder mit Blick auf den Fall  $Z = V^*$  ist zu berücksichtigen, daß grundsätzlich die Existenz von  $z_1, z_2$  mit  $z = z_1 a z_2$ , also eine zusammenhängende Positionierung von  $a$  in  $z$  gefordert wurde. Diese Randbedingung soll auch weiterhin Bestand haben. Daneben kann man sich eine Reihe von Gründen vorstellen, warum ein zusammenhängender Teil  $a$  in  $z$  nicht für die Anwendung von Regeln *frei* ist. Wir wollen vier Untertypen derartiger Randbedingungen unterscheiden.

Wenn  $a$  allein aufgrund der Position in  $z$  nicht angegriffen werden darf, kann man von *Positionsrestriktion* sprechen. Beispielsweise läßt sich in einer kontextfreien Grammatik – wie bereits in 2.3 demonstriert – dadurch eine inkrementelle Wort-für-Wort Produktion erreichen, daß man verlangt, daß immer das erste kategoriale Zeichen eines Zustands angegriffen wird. Demgegenüber liegt eine *Umgebungsrestriktion* vor, wenn auf  $a$  nur in dem Fall Regeln anwendbar sind, daß in der Nachbarschaft von  $a$  bestimmte Zeichenfolgen vorkommen oder gerade nicht vorkommen. Faßt man z.B. in einer Schriftsprachengrammatik auch das Interpunktionszeichen „Punkt“ als lexikalisches Symbol auf, dann kann man mit einer entsprechenden Umgebungsrestriktion verhindern, daß über den Punkt hinausgehende diskontinuierliche Expansions durchgeföhrt werden. Weiterhin beinhaltet eine *Restriktion der Angriffsreihenfolge* den Sachverhalt, daß bestimmte Arten von Angriffspunkten in  $z$  grundsätzlich vor anderen zu behandeln sind. Schließlich will man evtl. ausschließen, daß ein Teil  $a$  von  $z$  mehr als einmal oder öfter als eine vorgegebene Zahl angegriffen wird. Eine solche Randbedingung kann man *Restriktion für Mehrfachangriffe* nennen. Allerdings setzt eine entsprechende Einschränkung voraus, daß man bei den möglichen Angriffspunkten in  $z$  überhaupt erkennen kann, ob auf sie bereits eine oder mehrere Regeln angewendet wurden. Diese Voraussetzung ist für den bisher betrachteten Zustandstyp, nämlich für Zeichenfolgen, nicht erfüllt und deshalb muß im folgenden noch ein anderer, entsprechend differenzierter Zustandstyp eingeföhrt werden. Zuvor wollen wir jedoch den Fall dreistelliger Randbedingungen diskutieren.

Jedem der eben angesprochenen vier Restriktionstypen kann man einen korrespondierenden *regelabhängigen Restriktionstyp* zuordnen. M.a.W. es ist denkbar, daß eine Regel  $r$  nicht auf  $a$  in  $z$  angewendet werden darf, weil  $a$  nicht die richtige Position in  $z$  hat oder nicht in der einschlägigen Umgebung vorkommt. Oder es liegen einschränkende Bedingungen vor, die festlegen, auf welche Angriffspunkte in welcher Reihenfolge welche Regeln angewendet werden können. Mit einer Randbedingung dieses Typs läßt sich das oben diskutierte Problem der Expansionsobligatorik lösen, sofern man für die betreffenden Zeichenfolgen vorschreibt, daß zuerst Expansions- und erst danach Austauschregeln angewendet werden. Für eine

solche Lösung muß man jedoch zusätzlich über eine regelabhängige Restriktion für Mehrfachangriffe verfügen.

Neben den vier angeführten regelabhängigen Restriktionen ist noch ein weiterer Typ von Randbedingungen wichtig, der *Resultatrestriktion* heißen soll. Die Anwendung einer Regel  $r$  auf  $a$  in  $z$  kann nämlich auch davon abhängig gemacht werden, ob für eine vorgegebene Menge  $B \subset Z$   $f(r,a,z) \in B$  gilt. In Grammatiken lassen sich insbesondere Wortstellungsregularitäten gut mit Hilfe von Resultatrestriktionen erfassen.

Als Fazit der vorangegangenen Unterscheidungen soll noch einmal festgehalten werden, daß Umgebungsrestriktionen nur eine sehr spezielle Art von Randbedingungen darstellen. Deshalb lohnt es sich bei der Beschreibung eines Spiels/Systems zu untersuchen, in welche Teilbedingungen Anwendbarkeitsbeschränkungen von Regeln zweckmäßig zerlegt werden können und wie sie miteinander interagieren. Darüber hinaus liegt es jetzt nahe, für das Problem der Expansionsobligatorik eine Lösung zu formulieren, bei der regelabhängige Restriktionen der Angriffsreihenfolge mit solchen für Mehrfachangriffe kombiniert werden.

Ob für einen Angriffspunkt  $a$  die Anwendung bestimmter Expansionsregeln obligatorisch ist oder nicht, läßt sich nur an Eigenschaften von  $a$  selbst festmachen. Man kann also unterstellen, daß es eine disjunkte Klassenunterteilung von  $Z$  derart gibt, daß für jede Klasse und ihre Elemente eindeutig bestimmt ist, welche Regeln oder Regelgruppen im Bereich der Expansionsregeln als obligatorisch gelten. Wenn also  $a$  zu einer Klasse gehört, bei der die Anwendung bestimmter Expansionsregeln obligatorisch ist, dann muß es entweder die Möglichkeit geben, diese Regeln auch nach der Anwendung von Austauschregeln noch einzusetzen, oder aber ihr Einsatz muß vorher vollzogen werden. Von diesen beiden Möglichkeiten läßt sich nach der bisherigen Konzeption von Austausch-Expansions-Systemen nur die zweite realisieren, weil Angriffspunkte nach Anwendung von Austauschregeln jeweils getilgt werden. Wie die erste Möglichkeit zu realisieren ist, soll im Abschnitt 3.7 zur Sprache kommen.

Die Formulierung von Regeln und Randbedingungen unter Bezug auf externe Klassenunterteilungen hat generell den Nachteil einer gewissen Umständlichkeit und Intransparenz. Deshalb bevorzugt man häufig eine Darstellungsform, bei der bedingende Eigenschaften direkt an der internen Struktur von Objekten abgelesen werden können. Zum Beispiel werden in kontextfreien Grammatiken Regeln zur Behandlung von Kongruenzphänomenen üblicherweise mit Hilfe indizierter kategorialer Symbole formuliert. Statt der noch undifferenzierten Regel  $S \rightarrow NP VP$  legt man also Regeln wie

$$S \rightarrow NP_{\text{NOM,3.P,SG}} VP_{\text{3.P,SG}}$$

zugrunde, um zu erfassen, daß Nominativnominalphrasen der 3. Person Singular und Verbalphrasen der 3. Person Singular zusammengehören. Diese Art der Formulierung ist einfacher, als wenn man für Kasus, Person und Numerus jeweils Klas-

senunterteilungen für das Vokabular der kategorialen Zeichen einführen würde und dann Austauschregeln von Bedingungen über die Zugehörigkeit der jeweils betrachteten Symbole zu solchen Klassen abhängig machen müßte.

Die Verwendung indizierter Symbole wird üblicherweise als 'geschickte' Notationskonvention aufgefaßt, mit der man sich die Einführung und Benennung von Zeichen erleichtert; den Zeichen selbst wird aber keine der Indexnotationen entsprechende interne Struktur zugewiesen. Diese Auffassung hat den Nachteil eines 'Generalisierungsverlustes', weil es bei ihr nicht möglich ist, Phrasen, die sich nur in Nebenkategorien unterscheiden, als Vertreter derselben Hauptkategorie zu identifizieren. Beispielsweise lassen sich die Pronomina *ich* und *du* zwar als Realisierungen von  $NP_{NOM,1.P,SG}$  bzw.  $NP_{NOM,2.P,SG}$  erkennen, aber eine gemeinsame Kategorisierung als Nominativnominalphrase ist dann im grammatischen System nicht angelegt.

Dieser Generalisierungsverlust läßt sich vermeiden, wenn man indizierte Symbole als komplexe mehrdimensionale Zeichen auffaßt und ihnen eine zur Indexnotation korrespondierende interne Struktur zuspricht. Z.B. könnte mit  $NP_{NOM,1.P,SG}$  das Quadrupel  $\langle NP, NOM, 1.P, SG \rangle$  gemeint sein, also ein vierdimensionales Zeichen, dessen Komponenten jeweils Elemente aus Teilvokabularen kategorialer Zeichen (im erweiterten Sinne) bilden. Bei dieser Auffassung sind *ich* und *du* sofort gemeinsam als Nominalphrasen im Nominativ klassifizierbar, weil die beiden ersten Komponenten der ihnen zugewiesenen Kategorien übereinstimmen.

Das eben exemplarisch vorgeführte Verfahren, Eigenschaften von Objekten durch eine mehrdimensionale interne Strukturierung statt durch eine Klassenunterteilung zu repräsentieren, läßt sich generell anwenden und folgendermaßen beschreiben. Zunächst geht man davon aus, daß für eine Menge  $X$  von Objekten eine Menge von disjunkten Klassenunterteilungen vorgesehen ist. Jede dieser Unterteilungen  $K$  stellt gewissermaßen eine relevante Eigenschaftsdimension dar und die Elemente von  $K$  lassen sich als die in der Dimension möglichen Eigenschaften auffassen. Den Sachverhalt, daß ein Objekt  $x$  bei  $K$  die Eigenschaft  $k$  hat, also daß  $x \in k$  und  $k \in K$  gilt, kann man als das geordnete Paar  $\langle x, \langle K, k \rangle \rangle$  repräsentieren und die Gesamtheit der Eigenschaften von  $x$  läßt sich als Menge aller entsprechender Paare zusammenfassen. Im nächsten Schritt führt man paarweise disjunkte Mengen  $D$  und  $M_d$  für jedes  $d \in D$  mit neuen Objekten derart ein, daß einerseits jedem  $K$  eindeutig ein  $d \in D$  und andererseits jedem  $k \in K$  eindeutig ein  $m \in M_d$  für das zu  $K$  gehörige  $d$  zugeordnet ist. Genau besehen hat man auf diese Weise die *extensionale Eigenschaftsrepräsentation* der Form  $\langle x, \langle K, k \rangle \rangle$  durch eine *intensionale Repräsentation* der Form  $\langle x, \langle d, m \rangle \rangle$  ersetzt und man kann für letztere die Sprechweise *x besitzt in der Dimension d das Merkmal m* einführen. Im Endeffekt wird durch das angegebene Verfahren eine Funktion definiert, die jedem Objekt  $x$  eine Funktion bzw. in anderer Terminologie eine *Familie* zuordnet, die für jede Dimension das zu  $x$  gehörige Merkmal angibt. Die Elemente einer solchen dimensionsindizierten Merkmalsfamilie, die geordnete Paare der Form  $\langle d, m \rangle$  sind, nennt man auch *Attribut-Wert-Paare*. Zugleich kann man Merkmalsfamilien als Verallgemeinerung von Tupeln bzw. von Vektorrepräsentationen auffassen. Wenn nun ein Objekt  $x$  durch eine zugehörige Merkmalsfamilie selbst eindeutig bestimmt bzw. für

das jeweilige Modellierungsziel ausreichend charakterisiert ist, dann läßt sich diese Familie selbst zur Objektrepräsentation verwenden. Insofern kann man die Objektmenge  $X$  als mehrdimensionalen Raum auffassen.

Das Verfahren der intensionalen Eigenschaftsrepräsentation wurde hier deshalb etwas ausführlicher dargestellt, weil die Verwendung eines mehrdimensionalen Vokabulars generell für Grammatiken zweckmäßig ist und deshalb auch das Problem der Expansionsobligatorik in einen entsprechenden Modellierungsrahmen eingepaßt werden soll. In diesem Sinne kann man jetzt voraussetzen, daß es eine Dimension  $d_{ob}$  gibt, in der sich spezifizieren läßt, ob und ggf. welche Expansionsregeln obligatorisch anzuwenden sind. Ein einfacher Mechanismus für die Realisierung dieses Ziels könnte folgendermaßen aussehen.  $d_{ob}$  wird als Merkmal jeweils eine ggf. leere Teilmenge einer vorgegebenen endlichen Menge  $E$  zugeordnet. Die Elemente von  $E$  heißen *Expansionstypen*. Außerdem gibt es eine *Gruppierungsfunktion*  $g$  die jeder Expansionsregel einen Expansionstyp zuordnet. Ist nun die einen Angriffspunkt  $a$  in der Dimension  $d_{ob}$  zugeordnete Menge nicht leer, dann soll für jeden Expansionstyp  $e$  dieser Menge mindestens eine Regel  $r$  mit  $e = g(r)$  angewendet werden, bevor bei  $a$  Austauschregeln zum Einsatz kommen. Als Randbedingung für die Anwendung von Austauschregeln auf  $a$  muß also verlangt werden, daß es keinen zu  $a$  gehörigen Expansionstyp  $e$  mehr ohne Regelanwendung aus  $g^{-1}(e)$  gibt. Somit ist nur noch das Problem zu lösen, wie man an einem Zustand ablesen kann, ob bereits alle obligatorischen Expansionen durchgeführt wurden.

An einer Zeichenfolge allein ist nicht erkennbar, auf welche ihrer möglichen Angriffspunkte schon Expansionsregeln angewendet wurden. Entsprechende Aussagen kann man aber machen, wenn man nicht nur den jeweils letzten Zustand einer Ableitung betrachtet, sondern auch frühere Zustände einbezieht, aus denen er hervorgegangen ist. In diesem Fall wird also der *historische Entstehungskontext* mitberücksichtigt. Im Prinzip bedeutet eine solche Vorgehensweise nur, daß Zeichenfolgen nicht als Information für die erforderlichen Regelformulierungen ausreichen und daß man deshalb Folgen von Zeichenfolgen als relevante Zustände (neuer Art) auffaßt. Statt einer vollständigen Berücksichtigung des historischen Kontexts genügt es aber auch, Zeichenfolgen durch die Information anzureichern, welche Angriffspunkte schon mit welchen Expansionsregeln bearbeitet wurden. Die so strukturierten Zeichenfolgen sind dann als Zustände neuer Art einzuführen. Formal läßt sich diese Idee folgendermaßen realisieren.

Der Sachverhalt, daß auf einen Angriffspunkt  $a$  eine Expansionsregel von Typ  $e$  angewendet wurde, läßt sich am einfachsten durch das geordnete Paar  $\langle a, e \rangle$  repräsentieren. Allerdings ist es aus verschiedenen Gründen zweckmäßig, wenn Zustände  $z$  auch die Information beinhalten, durch welche Teilfolge  $b$  der Angriffspunkt  $a$  bei der Regelanwendung expandiert wurde. Deshalb sollen Tripel des Typs  $\langle a, e, b \rangle$ , die als Nebenbedingung  $a \subset z$  und  $b \subset z$  erfüllen, als ergänzende Information hinzugenommen werden. Da diese Information nicht nur im Fall der obligatorischen Anwendung von Expansionsregeln nützlich sind, bei jeder Anwendung einer Expansionsregel  $r$  die Entstehung der *gerichteten und typisierten Kokurrenzkannte*  $\langle a, g(r), b \rangle$  im Zustand eingetragen werden.

Es ist jetzt naheliegend, *strukturierte Zustände* neuer Art als geordnete Paare  $z = \langle t, \kappa \rangle$  zu definieren, bei denen  $t$  eine Zeichenfolge und  $\kappa$  eine Menge zugehöriger Kanten ist. Somit kommt zu dem oben dargestellten Mehrdimensionalitätsaspekt jetzt unmittelbar eine Zweidimensionalität des Zustandsraums hinzu. Aber auch die Unterteilung in Austausch- und Expansionsregeln bzw. die daraus resultierende Unterscheidung zweier Kantentypen ist als Dimensionalitätsphänomen zu werten, wie noch im nächsten Abschnitt genauer begründet werden soll. Insgesamt ist damit die Perspektive vorgezeichnet, daß Grammatiken als in verschiedener Hinsicht mehrdimensionale Systeme konzipiert werden, um auch komplexere Eigenschaften der syntaktischen Sprachbearbeitung angemessen zu erfassen.

Die Einführung strukturierter Zustände für Austausch-Expansions-Systeme erbringt als unmittelbar positiven Effekt die Auflösung eines in 3.4 erwähnten Problems, nämlich den Wunsch, durch einen Vergleich von Zustand und Nachfolgezustand nach Anwendung einer Expansionsregel eindeutig den jeweiligen Angriffspunkt zu identifizieren. Die gewünschte Problemlösung ergibt sich natürlich daraus, daß gemäß obiger Forderung in der zweiten Komponente des Nachfolgezustands die zur Regelanwendung gehörige neue Kookurrenzkannte enthalten sein soll und damit auch der Angriffspunkt bestimmt ist.

Wir wollen hier darauf verzichten, die Konsequenzen aus der vorangegangenen Diskussion für eine Ausdifferenzierung von A-E-Systemen formal zu repräsentieren, da auch im nächsten Abschnitt noch ein zentraler Erweiterungsschritt durchzuführen ist. Abschließend soll aber an einem Beispiel demonstriert werden, welche Möglichkeiten der Spracherzeugung sich beim gegenwärtigen Stand des theoretischen Rahmens für Grammatiken mit Expansionsregeln ergeben.

Die Notwendigkeit einer Abkehr vom Systemtyp der finite state-Grammatiken begründete Chomsky (1957) mit der Aussage, bestimmte in natürlichen Sprachen vorkommende Konstruktionen seien in solchen Grammatiken nicht erzeugbar. In Bartsch et al. (1977) wird als Belegbeispiel für eine solche Konstruktion der Satz

(11) *Franz, Frieda, Berta und Paul ... sind 1,57 m, 1,73 m, 1,98 m bzw. 1,45 m ... groß.*

genannt. Formal präzisiert läßt sich die Behandelbarkeit der *bzw.*-Konstruktion auf die Frage reduzieren, im Rahmen welcher Grammatiktypen die Sprache  $L = \{a^n b^n \mid 1 \leq n < \omega\}$  erzeugt werden kann. Tatsächlich kommen *bzw.*-Konstruktionen wie (11) empirisch nur mit einer sehr beschränkten Zahl von Koordinationsgliedern in Subjekt und Prädikat vor; schon im Fall von vier Gliedern hat man (speziell in mündlicher Kommunikation) erhebliche Schwierigkeiten präzise wiederzugeben, welche Größenangabe zu welcher Person gehört. Insofern ist gegen die Aussage von Chomsky einzuwenden, daß sie von falschen empirischen Voraussetzungen ausgeht und daß deshalb auch die These der Inadäquatheit von finite state-Grammatiken relativiert werden muß.

Trotzdem ist es natürlich legitim zu fragen, welchen Grammatiktyp man benötigt, wenn man ganz  $L$  erzeugen möchte. Und die korrekte Antwort auf diese Frage heißt bekanntlich, daß  $L$  keine reguläre Sprache ist, aber z.B. durch folgendes kontextfreies Regelsystem erzeugt werden kann:

- $S \rightarrow ab$
- $S \rightarrow aSb$ .

Wenn man allerdings die zu den Ableitungen des Systems gehörigen Baumstrukturen betrachtet, dann zeigt sich – bezogen auf das Ziel einer angemessenen Beschreibung der *bzw.*-Konstruktion – in zwei Aspekten eine Inadäquatheit. Dies soll am Beispiel der zu  $a^2b^2$  gehörigen Struktur verdeutlicht werden.

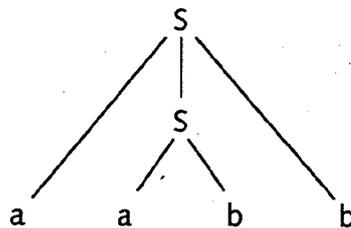


Abbildung 13

Einerseits ist es empirisch nicht plausibel, daß das eingebettete  $S$  eine Schwesterkonstituente der beiden äußeren lexikalischen Konstituenten sein soll. Andererseits wird die Zusammengehörigkeit zwischen den  $a$ 's und  $b$ 's nicht korrekt wiedergegeben; so wie (11) zu interpretieren ist, müßten nämlich das erste  $a$  mit dem ersten  $b$  und das zweite  $a$  mit dem zweiten  $b$  verknüpft sein. Deshalb kommt statt der Baumstruktur von Abbildung 13 eher eine der beiden folgenden Strukturen als angemessene syntaktische Repräsentation infrage.

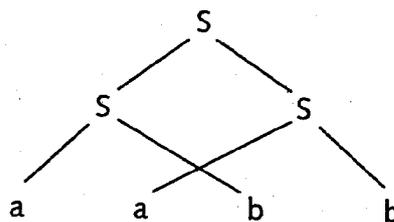


Abbildung 14

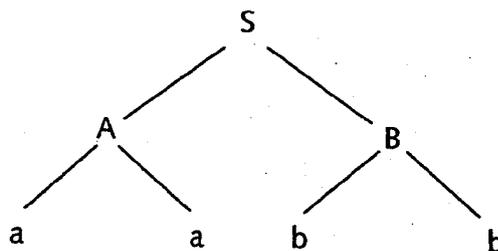


Abbildung 15

Die Struktur von Abbildung 14 stellt  $a^2b^2$  als zwei ineinander verschränkte Sätze dar. Sie hat allerdings den Nachteil, daß die Beziehung zwischen den beiden a's bzw. b's nicht repräsentiert ist. Wenn man aber diesen Nachteil vermeiden will und die Struktur von Abbildung 15 wählt, dann geht dabei die wünschenswerte Repräsentation der Beziehung zwischen dem jeweils korrespondierenden a und b verloren und man hat kein allgemeines Verfahren mehr um zu garantieren, daß die Anzahl der a's und b's identisch ist.

Die Frage nach der adäquaten syntaktischen Struktur von *bzw.*-Konstruktionen läßt sich im Rahmen von Austausch-Expansions-Systemen differenzierter als in Ersetzungssystemen behandeln und dann auf natürliche Weise entscheiden. Als Einstieg in eine solche Diskussion soll zunächst das Regelsystem  $S \rightarrow ab$  und  $S \rightarrow aSb$  nach dem schon bekannten Verfahren in Austausch- und Rechtsexpansionsregeln zerlegt werden.

Die erste Regel kann man übersetzen in

- ( $r_1$ )  $S \rightarrow a$   
 ( $r_2$ )  $a \Rightarrow b$

Dabei muß  $a \Rightarrow b$  eine alternativ (s.u.) obligatorisch anzuwendende Expansionsregel sein, sie darf aber nicht mehr als einmal angewendet werden. Bei Zerlegung der zweiten Ersetzungsregel erhält man zunächst wieder die Austauschregel  $S \rightarrow a$ , die sich schon aus dem ersten Zerlegungsschritt ergeben hat und deshalb nicht neu hinzugenommen werden muß. Weiterhin bekommt man die Expansionsregel

- ( $r_3$ )  $a \Rightarrow S,$

die offensichtlich alternativ zu ( $r_2$ ) einsetzbar ist und ebenfalls nur einmal angewendet werden darf. Schließlich muß geklärt werden, wie die Expansion durch b aus der zweiten Ersetzungsregel zustande kommen soll. Hierfür gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten. Wir diskutieren zunächst den Fall einer Hinzunahme der obligatorisch und nur einmal anzuwendenden Expansionsregel

- ( $r_4$ )  $S \Rightarrow b.$

Bei der Regel ( $r_4$ ) entsteht das Problem, daß mit Hilfe von ( $r_1$ ), ( $r_2$ ) und ( $r_4$ ) auch  $ab^2$  erzeugt werden kann. Dieses Problem läßt sich auf einfache Weise lösen, wenn man ein neues Zeichen  $S_0$  einführt,  $S_0$  statt S als Startsymbol verwendet und die Austauschregel

- ( $r_0$ )  $S_0 \rightarrow a$

hinzunimmt.

Mit Hilfe der Regeln ( $r_0$ ) - ( $r_4$ ) kann man – genauso wie mit der als Ausgangspunkt gewählten Ersetzungsgrammatik – die Sprache L erzeugen, wenn die Anwendbar-

keit der Expansionsregeln noch im folgender Hinsicht präzisiert wird:  $(r_2)$ ,  $(r_3)$  und  $(r_4)$  sind umgebungsunabhängig, aber nur kontinuierlich einsetzbar; letzteres bedeutet, daß die Expansion unmittelbar rechts neben dem Angriffspunkt positioniert wird.

Gegenüber der Ersetzungsgrammatik bietet das Regelsystem  $(r_0) - (r_4)$  den Vorteil, daß nicht zwangsläufig die Existenz einer Konstituente  $aSb$  angenommen werden muß, sondern auch folgende Strukturierung für  $a^2b^2$  denkbar ist (der Einfachheit halber wird in der graphischen Darstellung keine Unterscheidung zwischen  $S$  und  $S_0$  gemacht).

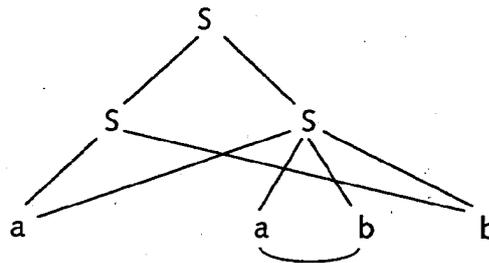


Abbildung 16

Die hier und in den folgenden Graphen eingetragenen Konstituenzkanten ergeben sich nicht unmittelbar aus dem Regelsystem, sondern sind in naheliegender Weise ergänzt.

Der Vorteil der Struktur in Abbildung 16 liegt darin, daß genauso wie in Abbildung 14 und im Unterschied zu Abbildung 13  $S$  nicht auf derselben Hierarchiestufe der Konstituentenstruktur wie  $a$  und  $b$  liegt. Nachteilig an der Struktur von Abbildung 16 ist aber, daß anders als in Abbildung 14 die Zusammengehörigkeit von  $a$ 's und  $b$ 's nicht in der gewünschten Reihenfolge repräsentiert wird. Diesem Problem kann man abhelfen, indem die umgebungsunabhängige Anwendbarkeit der Regeln  $(r_2)$  und  $(r_4)$  aufgehoben und zugleich ihre diskontinuierliche Realisierung ermöglicht wird. Für  $(r_2)$  etwa bedeutet dies, daß  $a \Rightarrow b$  weiterhin Basisregel bleibt, aber daß sich die Übertragungsvorschriften für  $(r_2)$  ändern. Nach wie vor gilt die für Rechtsexpansionen einschlägige Eigenschaft der Abgeschlossenheit gegenüber einer Vergrößerung der linken Umgebung von  $a$ . Ansonsten soll  $b$  stets an das rechte Ende der jeweiligen Zeichenfolge gesetzt werden. Die durch Übertragung von  $(r_2)$  entstehenden Regeln haben dann das Format  $\langle w_1 a w_2, w_1 a w_2 b \rangle$  für beliebige  $w_1, w_2 \in V^*$ . Bei der Erzeugung von  $L$  wird  $w_2$  – so kann man sich schnell überlegen – in Gestalt von  $b^n$  für jedes  $n \geq 1$  benötigt. Somit läßt sich  $w_2$  nicht durch eine oder mehrere einheitliche Umgebungsrestriktionen für  $a$  erfassen. Also gibt es auch keine endliche Menge umgebungsabhängiger Regeln, die statt  $(r_2)$  als Basisregeln angesetzt werden können. Insgesamt zeigt sich, daß die diskontinuierliche Positionierung von  $b$  kein Phänomen der Umgebungsabhängigkeit darstellt, sondern einfach als Effekt der Resultatfunktion gelten kann.

Die vorgeschlagene Änderung der Anwendungsbedingungen von  $(r_0) - (r_4)$  führt zu folgender Modifikation von Abbildung 16.

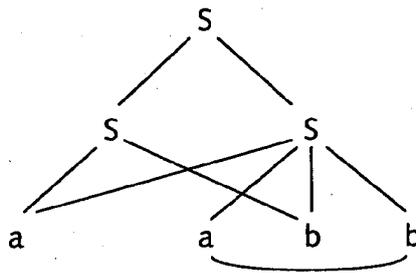
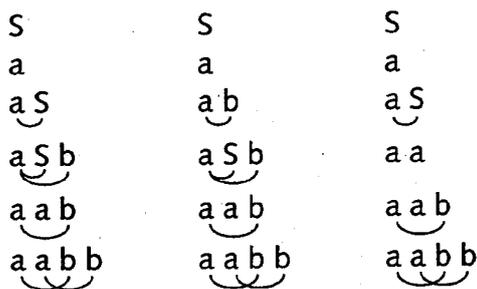


Abbildung 17

An dieser Struktur ist natürlich noch die Asymmetrie störend, daß das zweite a und das zweite b, nicht aber das erste a und das erste b direkt durch eine Kookurrenz-kante miteinander verbunden sind. Diese Asymmetrie läßt sich vermeiden, wenn man auf die Regel ( $r_4$ ) verzichtet, ( $r_2$ ) zu einer absolut obligatorischen Regel macht und ( $r_3$ ) den Status einer fakultativen Regel gibt. Zugleich kann dann die Regel ( $r_0$ ) gestrichen werden. In dem so vereinfachten Regelsystem gibt es folgende drei Ableitungswege für  $a^2b^2$ , wobei der Einfachheit halber die Information über die Kookurrenz-kanten graphisch markiert wird.



Für alle drei Ableitungswege erhält man folgende im Vergleich zu Abbildung 17 symmetrischere Struktur.

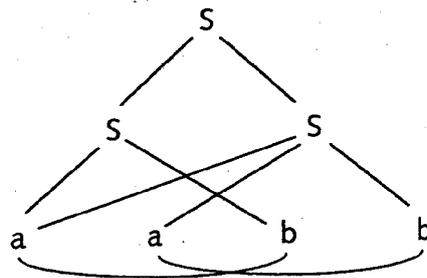


Abbildung 18

Allerdings gilt dies für den dritten Ableitungsweg nur in dem Fall, daß beim Übergang von der Zeile aa zu aab die Regel ( $r_2$ ) auf das erste a angewendet wird und nicht auf das zweite. Anderenfalls ergibt sich wieder die unerwünschte Zusammengehörigkeit des ersten a mit dem zweiten b und des zweiten a mit dem ersten b. Will man diese Strukturzeugung vermeiden, muß man die Regel ( $r_2$ ) mit einer zusätzlichen Randbedingung etwa des Inhalts versehen, daß bei Vorkommen von zwei oder mehreren obligatorisch mit ( $r_2$ ) zu bearbeitenden Angriffspunkten der Reihe nach von links nach rechts vorgegangen werden muß. Eine solche Bedingung

einzuführen, sollte man wegen ihrer Komplexität aber möglichst vermeiden und sie ist vorerst auch nicht empirisch zu begründen. Deshalb liegt es nahe, nach einer anderen Lösungsmöglichkeit zu suchen.

Auch gegen die Struktur von Abbildung 18 ist noch einzuwenden, daß die Kookurrenzkannte zwischen a und S eine nicht plausible Asymmetrie bedeutet. Insofern sollte man als mögliche Alternativen Kookurrenzverbindungen zwischen S und S oder zwischen a und a in Betracht ziehen. Die erste Möglichkeit läßt sich dadurch realisieren, daß man die Regel (r<sub>3</sub>) streicht und dafür zwei Regeln für die Bildung koordinierter Sätze einführt.

$$\begin{aligned} (r_0') \quad S_0 &\rightarrow S \\ (r_0'') \quad S &\Rightarrow S \end{aligned}$$

Die Regel (r<sub>0</sub>'') ist fakultativ und kann mehrfach umgebungsunabhängig, aber nur kontinuierlich angewendet werden.

An der Ableitung

S<sub>0</sub>  
S  
S S  
a S  
aa

sieht man allerdings sofort, daß wieder dasselbe Problem wie beim vorigen Regelsystem auftritt. Deshalb ist auf günstigere Verhältnisse bei der zweiten Möglichkeit zu hoffen. In jedem Fall muß man sie schon deswegen gegenüber der ersten bevorzugen, weil sie als einzige die Beziehung zwischen den a's berücksichtigt, die in Satz (11) durch die *und*-Verknüpfung der Subjektglieder realisiert wird. Für das zugehörige Regelsystem nimmt man wie bisher (r<sub>1</sub>) und (r<sub>2</sub>) und ersetzt (r<sub>3</sub>) durch

$$(r_3') \quad a \Rightarrow a.$$

(r<sub>3</sub>') ist fakultativ und darf nur einmal kontinuierlich angewendet werden. Außerdem reicht eine Anwendung als Basisregel, d.h. mit leerer rechter Umgebung. Zunächst scheint mit dem Übergang zu dem veränderten Regelsystem nichts gewonnen zu sein. Denn auch hier tritt wieder das schon bekannte Problem bei der Ableitung

S  
a  
a a  
aab

auf. Wenn der Übergang von der dritten zur vierten Zeile durch Anwendung von (r<sub>2</sub>) auf das zweite a zustande kommt, dann würde die anschließende Anwendung

von ( $r_2$ ) auf das erste a zu den unerwünschten Zusammengehörigkeitsverhältnissen führen. Man kann jetzt aber empirische Gründe dafür angeben, warum eine Anwendung von ( $r_2$ ) auf das erste a in diesem Fall gar nicht mehr möglich ist. Und zwar hängt dies mit folgender erstmals in Kindt (1985) beschriebenen Transitivitätseigenschaft von Koordinationskonstruktionen zusammen. Wenn eine Zeichenfolge x koordinativ mit einer Folge x' zu xx' verknüpft ist und x' anschließend durch irgendeine Verknüpfungsbeziehung mit y zu x'y verbunden wird, dann ist indirekt auch x mit y in dieser Beziehung verknüpft. Angewendet auf die obige Ableitung bedeutet dies: da ( $r_3'$ ) eine koordinative Verknüpfung bewirkt, überträgt sich bei Anwendung von ( $r_2$ ) die zwischen dem zweiten a und b etablierte Beziehung auch auf das erste a und b und insofern kann das erste a nicht mehr durch Anwendung von ( $r_2$ ) angegriffen werden, d.h. aab ist schon ein vollständiger Satz. Dieses Ergebnis widerspricht zwar der zunächst vorgegebenen Zielsetzung nur Sätze aus L zu erzeugen. Empirisch ist es aber demgegenüber wünschenswert, mit einem möglichst einfachen Regelsystem sämtliche verwandte Konstruktionen zu erfassen. Und in diesem Sinne erweist sich die Einschränkung der Betrachtung auf L als unzweckmäßig.

Die Geltung des Transitivitätsgesetzes für Koordinationskonstruktionen läßt sich auch am Vergleich folgender Sätze demonstrieren.

(11a) *Franz und Frieda sind 1,57 m bzw. 1,73 m groß.*

(11b) *Franz und Frieda sind 1,73 m groß.*

Die in (11b) formulierte Größenangabe für *Frieda* überträgt sich automatisch als Größenzugabe für *Franz* (zumindest wenn keine kollektive Lesart für das Subjekt gewählt wird).

Insgesamt kommt man also zu einer Struktur, die nicht als Satzverschränkung zu gelten hat, sondern als eine Integration zweier verschiedener aber paralleler Sachverhalte in einem Satz, wie sie nach der Verknüpfungstheorie (vgl. Kindt 1985) generell für Koordinationskonstruktionen charakteristisch ist.

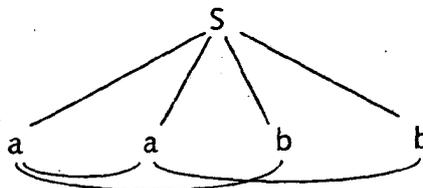


Abbildung 19

Die Struktur von Abbildung 19 kann prinzipiell nicht durch eine Konstituentenstruktur äquivalent abgebildet werden und dieser Umstand korrespondiert zu dem Dilemma, daß weder Abbildung 14 noch Abbildung 15 allein eine adäquate Konstituentenstruktur darstellen. Formal lassen sich Abbildung 14 und 15 natürlich zu folgender, Abbildung 19 ähnlicher Struktur vereinen.

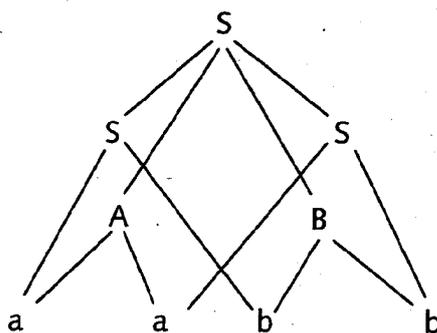


Abbildung 20

Die 'seltsame' Konstituentenstruktur von Abbildung 20 gibt Anlaß zu der Frage, welche der dort angelegten Teilstrukturen tatsächlich Konstituentenbeziehungen in einem empirisch angemessenen Sinne repräsentieren. Ohne dies jetzt genauer zu begründen, soll davon ausgegangen werden, daß die A und B betreffenden Teilstrukturen Konstituentenbeziehungen abbilden und daß dementsprechend die jeweils ein a und ein b verbindenden Strukturen nicht als Konstituenten-, sondern wie in Abbildung 19 als Kookurrenzphänomen behandelt werden müssen. Daraus ergibt sich als letzte Folgerung unserer Diskussion, daß die Struktur von Abbildung 19 noch in folgender Weise ausdifferenziert werden kann.

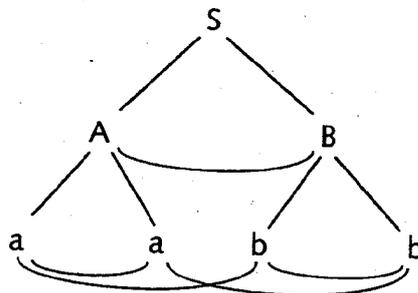


Abbildung 21

Da das genaue Verhältnis zwischen Konstituenz- und Kookurrenzkanten erst im nächsten Abschnitt diskutiert wird, wollen wir jetzt auf die Angabe eines für Abbildung 21 einschlägigen Regelsystems verzichten.

### 3.6 Konstruktionssysteme

Die bisher entwickelte Konzeption von Austausch-Ersetzungs-Systemen läßt insbesondere noch zwei Fragen unbeantwortet:

- In welcher Weise sind Austausch- und Expansionsregeln systematisch aufeinander zu beziehen, wenn man die in den Strukturrepräsentationen postulierten Verbindungen zwischen Konstituenz- und Kookurrenzkanten (vgl. z.B. Abbildung 21) erfassen will?
- Welche Arten von Randbedingungen müssen berücksichtigt werden und wie kann ihre Interaktion mit Austausch- und Expansionsregeln auf möglichst einfache Weise modelliert werden?

Ein erstes wichtiges Ergebnis für die Beantwortung dieser beiden Fragen ist die Erkenntnis, daß sie nicht unabhängig voneinander zu sehen sind, sondern in einem systematischen Zusammenhang stehen. Es stellt sich nämlich heraus, daß die Kontextabhängigkeit von Austausch- und Expansionsregeln teilweise auf einer Interaktion beider Regeltypen basiert und deshalb durch eben diese Interaktion spezifischer beschreibbar ist als durch die in Ersetzungsgrammatiken formulierbaren Umgebungsrestriktionen. Einen zweiten wichtigen Antwortaspekt bildet der Umstand, daß die Systemmodellierung um so einfacher wird, je konsequenter man die bereits praktizierte Zerlegungsmethodologie weiter anwendet. Konkret bedeutet das: einerseits ist es zweckmäßig, das Problem der Erfüllung von Randbedingungen weitgehend vom Verfahren der Regelanwendung abzukoppeln; andererseits lassen sich dann alle Randbedingungen auf die beiden Grundtypen Positions- und Verknüpfbarkeitsrestriktionen zurückführen.

Um die beiden obigen Fragen im Detail zu beantworten, muß der bisher formulierte systemtheoretische Rahmen in verschiedener Hinsicht vereinfacht und verallgemeinert werden. Die Grundidee dabei ist, daß die Konstruktion von Objekten – seien es nun sprachliche Äußerungen oder Gegenstände wie z.B. ein Flugzeug – nach denselben generellen Positions- und Verknüpfungsprinzipien erfolgt. Systeme, in denen eine entsprechende Objekt konstruktion vollzogen werden kann, sollen *Konstruktionssysteme* heißen. Zunächst geht die Definition von Zuständen in solchen Systemen genauso wie bei Sprachspielen und Ersetzungssystemen von einem Vokabular  $V$  aus. Bei nichtsprachlichen Konstruktionen kann man aber statt von Vokabular auch von Bauteile-Inventar sprechen. Zugleich macht das Beispiel der Baukonstruktion auf einen Aspekt aufmerksam, der bei unserer bisherigen Diskussion über Sprachspiele und Grammatiken im Hintergrund geblieben ist: für eine Beschreibung von Konstruktionen interessiert i.a. nur eine Angabe des Typs der verwendeten individuellen Teile und dann ist mit  $V$  nicht die Menge der einsetzbaren Teile, sondern die Menge der Typen dieser Teile gemeint. Dies gilt auch für die Beschreibung sprachlicher Konstruktionen. Allerdings muß bei einer solchen Auffassung von  $V$  vorausgesetzt werden, daß in einer Konstruktion, in der mehrere Teile desselben Typs verwendet werden, diese Teile und ebenso ihre Beziehungen zu anderen Teilen noch voneinander unterscheidbar sind. Diese Voraussetzung wird in den bisher betrachteten Systemen dadurch erfüllt, daß man Zeichen, die mehrfach in einem Zustand vorkommen, aufgrund ihrer differierenden Position in der Zeichenfolge eindeutig voneinander unterscheiden kann.

Das eben beschriebene Verfahren der Teileunterscheidung wird auch in Konstruktionssystemen beibehalten. Die Zustandsdefinition muß man jedoch verallgemeinern. Genauso wie im vorigen Abschnitt sind Zustände geordnete Paare des Typs  $z = \langle t, \kappa \rangle$ , wobei  $t$  und  $\kappa$  aber eine teilweise veränderte Bedeutung haben. Wir beschreiben zunächst, wie man  $t$  aus  $V$  erhält. Ein erster Aspekt der Mehrdimensionalität konstruierter Objekte besteht darin, daß die Elemente von  $V$  in einem  $n$ -dimensionalen Raum  $P$  positioniert werden. Für die hier interessierenden Anwendungsfälle kommen für  $P$  insbesondere Teilmengen von  $Q^n$  ( $Q$  bezeichnet die Menge der rationalen Zahlen) infrage. In Verallgemeinerung der Bildung von  $V^*$  kann man dann setzen  $V^{*P} = \{t \in V^M \mid M \subset P \text{ und } M \text{ ist endlich}\}$ .

Die Elemente von  $V^*P$  sind also Funktionen, die jeweils endlich vielen Positionen aus  $P$  Werte aus  $V$  zuordnen, und sie sollen *Tabellen* heißen. Wenn für zwei Elemente  $\langle p, u \rangle$  und  $\langle q, v \rangle$  einer Tabelle  $p$  und  $q$  in allen Komponenten bis auf eine übereinstimmen ( $p_i = q_i$  für  $i \neq j$  und  $p_j \neq q_j$ ), dann kann man sagen, daß sie *auf derselben Ebene liegen*. Außerdem läßt sich dann die strikte lineare Ordnung in der  $j$ -ten Positionskomponente mit folgender Definition auf eine strikte Halbordnung in der Tabelle übertragen:

$\langle p, u \rangle <_j \langle q, v \rangle$  genau dann, wenn  $p_j < q_j$  und  $p_i = q_i$  für alle  $i \neq j$ .

Die entsprechenden Halbordnungen machen es möglich, Randbedingungen hinsichtlich der Position und Reihenfolge von Zeichen in einer Konstruktion zu formulieren.

Aus Tabellen erhält man dadurch potentielle Konstruktionen, daß die Tabellenelemente in verschiedenen Dimensionen miteinander verknüpft werden. Dementsprechend besteht die zweite Zustandskomponente  $\kappa$  aus der Menge zugehöriger Kanten. Mit  $\kappa$  ist also ein zweiter Aspekt der Mehrdimensionalität von Konstruktionssystemen gegeben. Im vorigen Abschnitte hatten wir die Notation  $\langle a, e, b \rangle$  schon für den Sachverhalt verwendet, daß ein Angriffspunkt  $a$  durch Anwendung einer Expansionsregel vom Typ  $e$  zu  $b$  expandiert wird bzw. daß eine Kante des Typs  $e$  von  $a$  nach  $b$  führt. Diese Notation soll jetzt einerseits auf den Fall beliebiger Kantentypen erweitert werden, wobei sich die generalisierte Verwendung des Buchstabens „ $e$ “ auch dadurch rechtfertigt, daß Konstituenzkanten bzw. die Anwendung von Austauschregeln als Strukturexpansion 'nach unten' gedeutet werden können. Andererseits ist es jetzt legitim, die Einschränkung zu machen, daß  $a$  und  $b$  Tabellenelemente, also positionierte Zeichen (und nicht Zeichenfolgen) bilden; durch Umformulierung und Zerlegung von Typ 1-Regeln bzw. von kontextsensitiven Ersetzungsregeln läßt sich nämlich stets eine Reduktion auf entsprechend elementare Zeichenregeln erreichen.

Die Zustandsübergänge in einem Konstruktionssystem basieren auf zwei Grundoperationen. Eine Operation besteht darin, daß man ein Element  $v \in V$  auswählt und  $v$  auf einen noch freien Tabellenplatz bringt. Bei der anderen Operation werden zwei bereits vorhandene Tabellenelemente miteinander verknüpft. Die Anwendung einer Expansionsregel im bisherigen Sinne kombiniert also beide Operationen: zunächst wählt man zu einem im bisherigen Zustand  $z$  enthaltenen Angriffspunkt  $a$  einen *Zielpunkt*  $b$ , was beinhaltet daß man die Zeichenfolge  $z$  an einer bestimmten Position durch ein neues Zeichen ergänzt; außerdem werden  $a$  und  $b$  durch eine Kante des Regeltyps  $e$  verbunden. Im Unterschied zu A-E-Systemen soll jetzt auch erlaubt sein, daß man Expansionsregeln entgegen ihrer vorgegebenen Orientierung 'rückwärts' anwendet. D.h. wenn  $a = \langle p, v \rangle$  der im bisherigen Zustand gewählte Angriffspunkt ist und  $b = \langle p', v' \rangle$  zu  $a$  als neues Tabellenelement hinzugefügt wird, dann darf man in  $\kappa$  auch eine von  $b$  zu  $a$  führende Kante  $\langle b, e, a \rangle$  eintragen, falls  $\langle v, v' \rangle$  eine Basisregel vom Typ  $e$  ist. In diesem Fall bildet also  $a$  den Zielpunkt der neuen Verknüpfung und  $b$  fungiert als ihr *Ausgangspunkt*. Somit muß jetzt terminologisch zwischen Angriffs- und Ausgangspunkt unterschieden werden.

Anders als nach der bisherigen Konzeption soll die Anwendbarkeit von Basisregeln in Konstruktionssystemen nicht direkt von Randbedingungen abhängig gemacht werden. Dies bedeutet: wenn  $\langle v, v' \rangle$  eine zum System gehörige Basisregel vom Typ  $e$  ist, dann darf man im Zustand  $z = \langle t, \kappa \rangle$  durch  $\langle \langle p, v \rangle, e, \langle p', v' \rangle \rangle$  ergänzen, falls  $\langle p, v \rangle \in t$  und  $\langle p', v' \rangle \in t$  (*Verknüpfungsfall*); oder falls  $\langle p', v' \rangle \notin t$  und die Position  $p'$  noch frei ist (d.h. es gibt kein  $u \in V$  mit  $\langle p', u \rangle \in t$ ), darf man  $\langle p', v' \rangle$  zu  $t$  hinzufügen (*Verlängerungsfall*). Die in dieser Weise praktizierte Toleranz gegenüber evtl. noch unerwünschten Zustandsübergängen, d.h. die Betrachtung der maximalen Übergangsrelation (im Sinne von 3.5) kann durch die Einführung von Randbedingungen ausgeglichen werden, die post hoc feststellen, ob das Resultat einer Regelanwendung den Erwartungen entspricht, die man an die im System zu konstruierenden Objekte stellt. Spieltheoretisch formuliert: bei Zugrundelegen von 'nachträglichen' Randbedingungen bzw. *Konstruktionserwartungen* führt regelkonformes Verhalten nicht zwangsläufig zu gewinnbringenden Endzuständen, sondern es müssen geeignete Strategien eingesetzt werden, um die gewünschten Resultate zu erreichen. Die Abkopplung von Regeln und Randbedingungen/Erwartungen hat neben modellökonomischen Gründen zwei empirische Vorteile. Zum einen kann man in einem System mit Konstruktionserwartungen auch das Vorkommen von nicht erwünschten Zuständen und dem eventuellen Einsatz von Reparaturverfahren erfassen. Zum anderen muß nicht unterstellt werden, daß jede individuelle Regelanwendung zu einem erwartungsgemäßen Resultat führt. Vielmehr lassen sich erwünschte Zustände evtl. nur durch geeignete Kombination von Regelanwendungen erreichen; in Grammatiken ist dieser Aspekt z.B. für die Unterscheidung von syntaktischer Unvollständigkeit und Inkorrektheit wichtig.

Ähnlich wie schon in 3.5 wird vorausgesetzt, daß es für eine Gruppierungsfunktion gibt, die jeder Basisregel einen Verknüpfungstyp  $e$  zuordnet. Darüber hinaus können Konstruktionen die Eigenschaft haben, daß nicht alle ihrer Teile zugänglich sind. Grund hierfür ist der Umstand, daß bei bestimmten Regelanwendungen die hinzugefügten Teile evtl. so positioniert werden, daß sie andere Konstruktionsteile 'verdecken'. In einem solchen Fall stehen also nur bestimmte Tabellenelemente und -positionen für Regelanwendungen zur Verfügung. In Ersetzungssystemen und A-E-Systemen ist eine entsprechende Einschränkung dadurch bedingt, daß bei der Anwendung von Austauschregeln jeweils der Angriffspunkt aus dem Zustand getilgt wird. Die Durchführung von Zügen ist also nur bei Tabellenelementen möglich, die sozusagen im jeweiligen *Außenteil* des Zustands liegen, d.h. nicht Ausgangspunkt einer Kante eines der zu Austauschregeln gehörigen Verknüpfungstypen sind. Diese Zugänglichkeitsrestriktion ist für Grammatik empirisch unangemessen und soll daher aufgehoben werden.

Nach den verschiedenen Vorüberlegungen über Konzeption und Eigenschaften von Konstruktionssystemen kann jetzt die genaue Definition dieses Systemtyps angegeben werden.

### 3.6.1 Definition

$S = \langle Z, R, V, P, R_0, g, B \rangle$  ist ein *Konstruktionssystem* genau dann, wenn gilt<sup>11</sup>:

- (i)  $Z = V^*P \times \text{Pot}((P \times V) \times \text{Bild}g \times (P \times V))$ .
- (ii)  $P \neq \emptyset, V \neq \emptyset, V$  ist endlich und  $R_0 \subset V \times V$ .
- (iii)  $g$  ist eine Funktion mit  $\text{Def } g = R_0$  und  $B \subset Z$ .
- (iv) Für alle  $t, t', \kappa, \kappa'$  gilt  $\langle \langle t, \kappa \rangle, \langle t', \kappa' \rangle \rangle \in R$  genau dann, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:
  - $\kappa = \kappa'$  und es gibt  $p \in P, v \in V$  mit  $\langle p, v \rangle \notin t$  für alle  $v' \in V$  und  $t' = t \cup \{ \langle p, v \rangle \}$ ,
  - $t = t'$  und es gibt  $p, p' \in P, r \in R_0$  und  $v, v' \in V$  mit  $\langle p, v \rangle \in t, \langle p', v' \rangle \in t$  und  $\kappa' = \kappa \cup \{ \langle \langle p, v \rangle, g(r), \langle p', v' \rangle \rangle \}$ .

In 3.6.1 ist der Einfachheit halber keine einschränkende Bedingung formuliert, die garantiert, daß Anfangs- und Endpunkt von Kanten selbst zur Tabelle gehören. Diese Bedingung wird aber aufgrund der Definition der Übergangsrelation automatisch erfüllt, wenn man bei der Betrachtung von Ableitungen von geeigneten Anfangszuständen (z.B. von  $\langle 0, 0 \rangle$ ) ausgeht. Für relevante Anwendungen von 3.6.1 müssen natürlich noch spezifischere Voraussetzungen über die verschiedenen Systemkomponenten gemacht werden. Dabei wollen wir uns zunächst auf die Diskussion der Frage konzentrieren, welche für Grammatiken wichtige Randbedingungen mit Hilfe von  $B$  formulierbar sind.

Ein erster Vorteil des Übergangs zur Konstruktionssystemen liegt darin, daß in ihnen das Problem der Expansionsobligatorik einfacher zu lösen ist als in Austausch-Expansions-Systemen. In Konstruktionssystemen wird nämlich die Möglichkeit, Expansionen durchzuführen, nicht auf Angriffspunkte im Außenteil beschränkt. Deshalb besteht auch nicht die Notwendigkeit, Expansionsregeln vor Austauschregeln anzuwenden. Unabhängig davon muß in Betracht gezogen werden, daß bei bestimmten Tabellenelementen bzw. Zeichen die Durchführung einiger Verknüpfungen obligatorisch ist. Welche Verknüpfungsdimensionen davon betroffen sind, sollte – wie schon in 3.5 dargestellt – am jeweiligen Zeichen/Tabellenelement erkennbar sein. Aufgrund der Informationen aus der Kantenmenge  $\kappa$  läßt sich dann feststellen, ob die erforderlichen Verknüpfungen bereits vorgenommen wurden oder nicht. Als eine durch  $B$  zu modellierende Erwartung kann also die Forderung aufgenommen werden, daß man versuchen soll, Endzustände zu erreichen, bei denen alle obligatorischen Verknüpfungen durchgeführt sind.

In ähnlicher Weise kann man mit Hilfe von  $B$  Zustände 'ausfiltern', die entgegen den bei Zeichen und/oder Verknüpfungsdimensionen vorliegenden Informationen eine evtl. unerwünschte Mehrfachverknüpfung realisieren. Mehrfachverknüpfungen lassen sich aber ggf. auch durch Einführung von Positions- bzw. Reihenfolge-restriktionen vermeiden, indem man Zeichenwiederholungen in einer Expansionskette für unzulässig erklärt. Generell spielen Reihenfolgebeschränkungen in der

<sup>11</sup> Pot  $X$  bezeichnet die Potenzmenge von  $X$ , für Funktionen  $f$  wird mit  $\text{Def } f$  der Definitionsbereich von  $f$  notiert und  $\text{Bild } f$  ist der Bild-/Wertebereich von  $f$ .

Kommunikation eine wichtige Rolle und es ist in jedem Fall zweckmäßig, sie von Verknüpfungsregeln abzukoppeln. Diese Einsicht hat sich mittlerweile auch in den neueren Versionen der Phrasenstrukturgrammatik, also etwa der HPSG, durchgesetzt, nicht aber eine systematische Anwendung der Zerlegungsmethodologie. Ein konkretes Beispiel für den Nutzen einer unabhängigen Formulierung von Reihenfolge-restriktionen und Verknüpfungsregeln betrifft die in 3.4 eingeführte Unterscheidung von Rechts- und Linksexpansionen. Während man für die Behandlung von Nominalphrasen aufgrund der festen Wortstellung ausschließlich Rechtsexpansionsregeln benötigt, ist es bei Verben unökonomisch, reihenfolgeabhängige Regeln, also sowohl Rechts- wie Linksexpansionen einzuführen, die dieselben Verknüpfbarkeitsaussagen machen. Folglich sollten Verknüpfungs- und Reihenfolgebedingungen generell voneinander getrennt werden.

Ein letzter besonders interessanter Typ von Konstruktionserwartungen bezieht sich auf die Frage, wie groß die Entfernung zwischen zwei Tabellenelementen höchstens sein darf, damit eine Verknüpfung zwischen ihnen noch als akzeptabel gilt. Von den empirischen Fakten her gesehen ist diese Frage nicht einheitlich zu beantworten, weil die zulässige Distanz u.a. vom Verknüpfungstyp abhängen kann. Dies sieht man z.B. an Ausklammerungskonstruktionen wie

(12a) *Der Hut ist groß von der Frau.*

(12b) *\*Der Hut ist groß der Frau.*

Während (12b) als grammatisch inkorrekt einzustufen ist, kann (12a) noch als akzeptabel gelten.

Bevor man Überlegungen zu Entfernungsbedingungen anstellt, muß geklärt werden, welcher Distanzbegriff zugrunde gelegt werden soll. Im oben erwähnten Fall einer Wahl von  $P \subset Q^n$  stehen die aus der Topologie bekannten Metriken zur Verfügung und es ist unmittelbar plausibel, davon auszugehen, daß zwei Tabellenelemente i.a. verknüpft werden dürfen, wenn sie unmittelbar benachbart sind, d.h. daß sich ihre Lage nur in einer Positionsdimension unterscheidet und daß dort die Positionsdimension minimal ist. Diese Annahme steht jedenfalls in Einklang mit dem Umstand, daß in A-E-Systemen der Austausch von Zeichenfolgen in unmittelbar aufeinanderfolgenden Zeichen vollzogen wird und daß kontinuierliche Expansionen als Normalfall gelten. Deshalb ist vor allem interessant, welche Distanzbedingungen für diskontinuierliche Verknüpfungen einschlägig sind. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse über Koordinationsellipsen in Kindt (1985) liegt es nahe, einen Distanzbegriff zu verwenden, der nicht nur die Entfernungen im *Positionsraum*, sondern auch im *Verknüpfungsraum* berücksichtigt. Konkret bedeutet dies z.B., daß zwei Tabellenelemente auch dann unmittelbar benachbart sind, wenn sie durch eine Kante miteinander verbunden wurden. Genereller kann man z.B. die Kantenzahl des kürzesten Verbindungsweges zwischen zwei Tabellenelementen als Distanzmaß im Verknüpfungsraum verwenden und dieses Maß mit der Entfernung im Positionsraum in geeigneter Weise zu einer *Gesamtdistanz* verrechnen. Mit einer solchen Grundidee lassen sich bestimmte extreme Phänomene von Diskontinuität plausibel machen.

- (13) *Jan hat ein Buch geschrieben, Christoph eine Chronik, Emil einen Essay, Richard eine Rezension, Siegfried eine Streitschrift und Rüdiger heute einen Aufsatz.*

Bei Sätzen wie (13) muß man erklären, warum die Satzglieder – allem Anschein nach – trotz zunehmender (und im Prinzip beliebig zu vergrößernder) linearer Entfernung jeweils mit dem Verb verknüpft werden können. Wenn nun aber die Distanz eines Satzglieds zum Verb dadurch verringert wird, daß andere Satzglieder in seiner Umgebung schon mit dem Verb verknüpft sind,

Abschließend soll noch kurz auf die Aspekte der Reihenfolge und Richtung von Regelanwendungen eingegangen werden. Wie oben schon erwähnt sind in Konstruktionssystemen grundsätzlich keine Restriktionen hinsichtlich der Verarbeitungsreihenfolge vorgesehen. Allerdings können Beschränkungen des Positionsraums dazu führen, daß aus strategischen Gründen spezielle Reihenfolgen der Regelanwendung gewählt werden müssen, wenn man sein Konstruktionsziel erreichen will. Dieser Sachverhalt soll an einem Beispiel erläutert werden.

Wir nehmen an, daß zwei Zeichen, also z.B. DET und N, nebeneinander plziert wurden. Anschließend kann man DET nur dann mit Hilfe der Expansionsregel  $DET \Rightarrow ADJ$  kontinuierlich expandieren, wenn noch eine Position zwischen DET und N zur Verfügung steht. Hat man in  $P = \omega^2$  für DET die Position  $\langle i, j \rangle$  und für N die Position  $\langle i, j+1 \rangle$  gewählt, so ist kein Platz mehr für die gewünschte Expansion vorhanden. Folglich hätte man sich strategisch anders verhalten müssen. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder wären von vornherein eine oder mehrere Positionen zwischen DET und N freizuhalten. Oder es müßte eine inkrementelle Verarbeitungsstrategie gewählt werden, gemäß derer Expansionen von DET in einer der gewünschten Wortstellung entsprechenden Reihenfolge durchzuführen sind.

Werden Konstruktionssysteme als theoretische Grundlage für Grammatiken gewählt, kann man auf einfache Weise gleichermaßen die Produktions- wie die Rezeptionsrichtung von syntaktischer Sprachverarbeitung modellieren. Und es läßt sich auch der bei kooperativen Satzproduktionen auftretende Fall erfassen, daß ein Agent zunächst die von einem zweiten Agenten begonnene Äußerung syntaktisch analysiert und sie dann durch eine eigene Äußerungsproduktion fortsetzt bzw. daß umgekehrt der zweite Agent von seiner Produktion des ersten Äußerungsteils zur Rezeption der durch den Partner generierten Äußerungsfortsetzung überwechselt. Grundlage für diese Modellierungsmöglichkeiten ist der Umstand, daß die Verknüpfungsregeln in Konstruktionssystemen sowohl 'vorwärts' wie 'rückwärts' angewendet werden können. Konkret bedeutet dies z.B.: die Regel  $DET \rightarrow ein$  ist einerseits so anwendbar, daß eine Tabelle, in der DET vorkommt, u.U. 'nach unten' durch *ein* expandiert werden darf; andererseits läßt sich eine Tabelle, die *ein* enthält, u.U. 'nach oben' durch DET expandieren. Die in den Regeln von Konstruktionssystemen angelegte Orientierung ist also nicht an eine feste Verarbeitungsrichtung gekoppelt. Dies bringt beispielsweise auch für eine Modellierung der Äußerungsproduktion den Vorteil, daß nicht von vornherein festgelegt sein muß, welche

kommunikative Gesamteinheit produziert werden soll. Z.B. plant eine Sprecherin in einer Kommunikationssituation vielleicht zunächst, nur eine Nominalphrase als Antwort auf eine vorherige Frage zu formulieren und deshalb beginnt sie quasi eine Äußerungsableitung bei NP. Während des Produktionsprozesses oder am Ende von ihm entscheidet sie sich aber, die Nominalphrase zu einem Satz auszubauen. Dieser Fall ist im Modell dadurch zu erfassen, daß man das Symbol NP nach oben/rückwärts zu S expandiert und anschließend wieder zur Produktionsrichtung übergeht.

Von der Beispieldiskussion in 3.5 steht noch eine Beantwortung der Frage aus, wie ein auch die Konstituentenkanten von  $a^2b^2$  einführendes Regelsystem formulierbar ist. Es läßt sich leicht zeigen, daß dafür einerseits die beiden Regeln  $S \rightarrow b$  und  $b \Rightarrow b$  erforderlich sind. Andererseits benötigt man zwei Konstruktionserwartungen, nämlich die Reihenfolgerestriktion  $a < b$  (in dem Sinn, daß jedes  $a$  vor jedem  $b$  steht) und die Transitivitätseigenschaft von Koordinationskonstruktionen etwa in folgender Formulierung.

(TR) Wenn  $\langle p,a \rangle <_2 \langle p',a \rangle$ ,  $\langle p,a \rangle \Rightarrow \langle p',a \rangle$  und  $\langle p',a \rangle \Rightarrow \langle q,b \rangle$ , dann  $\langle p,a \rangle \Rightarrow \langle q,b \rangle$ .

Hier bedeutet  $\langle p,a \rangle <_2 \langle p',a \rangle$ , daß  $p$  spaltenbezogen vor  $p'$  liegt; außerdem ist z.B. mit  $\langle p,a \rangle \Rightarrow \langle p',a \rangle$  gemeint, daß von  $\langle p,a \rangle$  eine Kante des  $\Rightarrow$  zugeordneten Typs nach  $\langle p',a \rangle$  läuft. Wie ein derartiges Regelsystem im Detail arbeitet, wird im nächsten Abschnitt noch expliziter zu diskutieren sein.

### 3.7 Mehrdimensionale Verknüpfungsgrammatiken

Der Grammatiktyp, der die Grundlage für die im zweiten Teil dieser Arbeit zu entwickelnde Integrative Phrasenstrukturgrammatik bilden soll, kann jetzt als Spezialfall eines Konstruktionssystems eingeführt werden. Dementsprechend sind die frei wählbaren Komponenten des Systems genauer zu spezifizieren.

Wie in Ersetzungsgrammatiken setzt sich das Vokabular  $V$  aus dem Vokabular  $V_k$  der kategorialen Zeichen und dem Vokabular  $V_l$  der lexikalischen Zeichen zusammen. Über  $V_k$  und  $V_l$  werden abgesehen davon, daß sie disjunkt sein sollen, keine weiteren Voraussetzungen gemacht. Insbesondere wird im Sinne der Argumentation von 3.3 kein Zeichen aus  $V_k$  als Startsymbol ausgezeichnet und die Zeichen aus  $V_l$  haben selbst bei Betrachtung der Produktionsrichtung nicht die Terminalitätseigenschaft, daß keine Regeln mehr auf sie anwendbar sind. Letzteres gilt zumindest dann, wenn man das Verhalten sog. unikalener Zeichen (wie z.B. *klipp* in dem Phraselogismus *klipp und klar*) erfassen will und berücksichtigen muß, daß solche Zeichen obligatorisch zu expandieren sind.

Als Positionsraum  $P$  sollen Teilmengen von  $Q^2$  fungieren und für die Regelbasis  $R_0$  wird angenommen, daß sie sich aus zwei Teilen  $R_1$  und  $R_2$  zusammensetzt.  $R_1$  soll die Konstituenz- und  $R_2$  die Kookurrenzbeziehungen modellieren. Zugleich wird im

Einklang mit der gängigen Richtungskonvention von Phrasenstrukturbäumen festgelegt, daß die Regeln aus  $R_1$  vertikal und die aus  $R_2$  horizontal in den zu P und V gehörigen Tabellen operieren. Diese Festlegung kann z.B. mit Hilfe geeigneter Restriktionen in der Systemkomponente B formuliert werden.

Bzgl. der Gruppierungsfunktion  $g$  ist empirisch davon auszugehen, daß es sowohl für die Regeln aus  $R_1$  wie für die aus  $R_2$  mehrere Verknüpfungs- bzw. Kantentypen gibt. Bei  $R_2$  gilt dies bekanntlich schon deshalb, weil u.a. Verben mehrstellig verwendet werden, also mehrere Valenzen haben. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird sich aber zeigen, daß auch unterschiedliche Konstituenzverknüpfungen anzusetzen sind. Insofern ergeben sich aus  $R_1$  auf paradigmatischer und aus  $R_2$  auf syntagmatischer Ebene jeweils verschiedene grammatische Beziehungen und dies führt angesichts eines nur zweidimensionalen Tabellenraums zu folgendem Linearisierungsproblem. Obwohl durch  $R_1$  und  $R_2$  jeweils mehrere Beziehungsdimensionen definiert sind, steht für die Repräsentation der verschiedenen Beziehungen nur jeweils eine Dimension in  $V^*P$  zur Verfügung. Dies bedeutet zwangsläufig eine diskontinuierliche Beziehungsdarstellung und deshalb muß es je nach zulässiger Positionsentfernung unterschiedlich starke syntaktische Verfahren geben, die es möglich machen zu erkennen, welche Tabellenelemente trotz diskontinuierlicher Lage zusammengehören. Abgesehen von der schon im vorigen Abschnitt skizzierten Modellvorstellung, daß lineare Distanz durch Verknüpfungsnähe auszugleichen ist, lassen sich allerdings vorerst keine generell einzuhaltenden Konstruktionserwartungen für die Zulässigkeit diskontinuierlicher Verknüpfungen formulieren.

Ein weiterer wichtiger Typ möglicher Erwartungen betrifft den Aspekt mehrfacher Verknüpfungen. Daß ein und dasselbe Tabellenelement Ausgangs- oder Zielpunkt verschiedener Kantentypen sein kann, versteht sich von selbst. Aber wir haben auch schon Beispiele diskutiert, die die Notwendigkeit zeigen, Mehrfachverknüpfungen desselben Kantentyps zuzulassen. Dies gilt jetzt auch für Konstituenzbeziehungen, weil z.B. für Nominalphrasen neben der bisher betrachteten Regel  $NP \rightarrow DET$  auch die Regeln  $NP \rightarrow ADJ$  und  $NP \rightarrow N$  für eine vollständige Konstruktionsbeschreibung erforderlich sind. Insgesamt gesehen dürfen also keine generellen Einschränkungen hinsichtlich einer Mehrfachverknüpfbarkeit gemacht werden.

Die für Kookurrenzbeziehungen bereits ausführlich diskutierte Frage nach obligatorischen Expansionen ist jetzt in analoger Weise auch für die Regeln aus  $R_1$  zu stellen. Auch wenn unsere bisherige Argumentation, daß Ableitungen bei beliebigen Zuständen beginnen oder enden dürfen, beibehalten werden soll, lassen sich jetzt zusätzliche Bedingungen in Bezug darauf formulieren, wann ein Zustand als Konstruktion gelten kann. Die Forderung von drei Eigenschaften liegt hier nahe. Erstens sollte in der Tabellenzeile mit der kleinsten Nummer nur ein Element  $\langle p, v \rangle$  mit  $v \in V_k$  liegen,  $v$  benennt die Kategorie, die von der Konstruktion insgesamt realisiert wird, und heißt bei Deutung der Konstruktion als Graph auch *Wurzel*. Zweitens wird verlangt, daß zu jedem Tabellenelement in den nachfolgenden Zeilen mindestens eine Kante eines Typs  $g(r)$  mit  $r \in R_1$  führt; diese Bedingung garantiert, daß jedes Tabellenelement konstitutiver Bestandteil der Konstruktion ist. Und drittens soll der Außenteil einer Konstruktion ausschließlich Tabellenelemente  $\langle p, v \rangle$

mit  $v \in V_1$  enthalten; m.a.W. bei Verwendung einer Grammatik in Produktionsrichtung ergibt sich als *Gesamtoutput* eine lexikalisch realisierte Äußerung bzw. umgekehrt fungiert eine solche Äußerung als *Input* bei Verwendung der Grammatik in Rezeptionsrichtung.

Da das Phänomen der sog. diskontinuierlichen Konstituenten über Kookurrenzbeziehungen erfaßt werden kann, ist es – wie schon in der klassischen Grammatiktheorie gewünscht – nicht erforderlich, Graphen mit sich überschneidenden Konstituenzkannten zuzulassen und man kann eine entsprechende Korrektheitserwartung in B aufnehmen. Demgegenüber sind die Positionsrestriktionen in natürlichen Sprachen insgesamt und auch innerhalb einer Sprache selbst so divers, daß sich diesbezüglich keine einheitliche Erwartung formulieren läßt. Insgesamt können die bisherigen Spezifikationen also in folgenden Definitionen zusammengefaßt werden.

### 3.7.1 Definition

$G = \langle V_k, V_1, P, R_1, R_2, g, B \rangle$  ist eine *Grammatikbasis* genau dann, wenn

- (i)  $V_k \cap V_1 = \emptyset$ ,  $V_k$  und  $V_1$  sind endlich.
- (ii)  $P \neq \emptyset$ ,  $P \subset Q^2$ ,  $R_1 \subset V \times V$  und  $R_2 \subset V \times V$ .
- (iii)  $g$  ist eine Funktion mit Def  $g = R_1 \cup R_2$ .
- (iv)  $B \subset (V_k \cup V_1)^{*P} \times (\text{Pot}(P \times (V_k \cup V_1))) \times \text{Bild } g \times (\text{Pot}(P \times (V_k \cup V_1)))$ .
- (v) Für alle  $t, \kappa, p, q, u, v, r$  mit  $\langle t, \kappa \rangle \in B$  und  $\langle \langle p, u \rangle, g(r), \langle q, v \rangle \rangle \in \kappa$  gilt:  
 $p_2 \leq q_2$  und  $p_1 < q_1$ , falls  $r \in R_1$ ;  
 $p_1 = q_1$ , falls  $r \in R_2$ .
- (vi) Für alle  $t, \kappa, p, p', q, q', u, v, u', v', r, r'$  mit  $\langle t, \kappa \rangle \in B$  und  $\langle p, u \rangle, \langle q, v \rangle, \langle p', u' \rangle, \langle q', v' \rangle \in t$   
sowie  $\langle \langle p, u \rangle, g(r), \langle q, v \rangle \rangle, \langle \langle p', u' \rangle, g(r'), \langle q', v' \rangle \rangle \in \kappa$  gilt:  
wenn  $\langle p, u \rangle <_2 \langle p', u' \rangle$ , dann  
 $\langle q, v \rangle <_2 \langle q', v' \rangle$ .

### 3.7.2 Definition

$G = \langle Z, R, V, P, R_0, g, B \rangle$  sei ein Konstruktionssystem.  $G$  ist eine *Mehrdimensionale Verknüpfungsgrammatik* (abgekürzt MVG) genau dann, wenn es  $V_k, V_1, R_1$  und  $R_2$  mit den Eigenschaften gibt:  $V = V_k \cup V_1$ ,  $R_0 = R_1 \cup R_2$  und  $\langle V_k, V_1, P, R_1, R_2, g, B \rangle$  ist eine Grammatikbasis.

Die Aufteilung der Grammatikdefinition in die beiden Schritte 3.7.1 und 3.7.2 soll einerseits der Konvention Rechnung tragen, daß i.a. nur die Komponenten von Grammatiken genannt werden, die noch frei wählbar sind. Andererseits ist es aber systemtheoretisch auch wichtig, den Zustandsraum und die Übergangsrelation als grundlegende Systemkomponenten einzuführen. Insbesondere werden mit  $Z, R, R_0$  und  $V$  im folgenden die gemäß 3.7.1 und 3.7.2 definierbaren Komponenten notiert.

### 3.7.3 Definition

$G = \langle V_k, V_1, P, R_1, R_2, g, B \rangle$  sei die Basis einer Mehrdimensionalen Verknüpfungsgrammatik. Ein Zustand  $z = \langle t, \kappa \rangle \in Z$  ist eine  $R_1$ -vollständige Konstruktion genau dann, wenn

- (i) es gibt  $p, u$  mit  $\langle p, u \rangle \in t$  und  $u \in V_k$  derart, daß für alle  $q, v$  mit  $q \neq p$  und  $\langle q, v \rangle \in t$  gilt:  
 $\langle p, u \rangle <_1 \langle q, v \rangle$  und es gibt  $q', v', r$  mit  $\langle q', v' \rangle \in t$ ,  $r \in R_1$  und  $\langle \langle q', v' \rangle, g(r), \langle q, v \rangle \rangle \in \kappa$ ;
- (ii) für alle  $q, v$  gilt: wenn  $\langle q, v \rangle$  im Außenteil von  $\langle t, \kappa \rangle$  liegt, d.h. daß  $\langle q, v \rangle \in t$  und daß  $\langle \langle q, v \rangle, g(r), \langle q', v' \rangle \rangle \notin \kappa$  für alle  $q', v', g, r$  mit  $\langle q', v' \rangle \in t$  und  $r \in R_1$ , dann  $v \in V_1$ .

Die in 3.7.3 geforderte Eigenschaft bildet – im Sinne unserer Vorüberlegungen – eine einschlägige Konstruktionserwartung; wir haben sie aber deshalb nicht als Definitionsbedingung in 3.7.1 aufgenommen, weil sie sich nur an das Endresultat der Verarbeitungsprozesse in einer Grammatik richtet. Demgegenüber stellen die Bedingungen (v) und (vi) von 3.7.1 Erwartungen dar, die schon lokal bei der Anwendung von Regeln aus  $R_0$  zu berücksichtigen sind, wenn die Chancen, ein erwartungsgemäßes Verarbeitungsergebnis zu erreichen, gewahrt bleiben sollen. M.a.W. man sieht hier, daß im Rahmen des spieltheoretischen Konzepts der Randbedingungen auch eine Unterscheidung von systeminternen *lokalen* und systemexternen *globalen* Erwartungen zweckmäßig ist.

Der Nutzen der Konzeption der MVG liegt vor allem in ihrer späteren Anwendung bei konkreten Modellierungen grammatischer Konstruktionen. Daneben sind auch auf theoretischer Ebene wichtige generelle Eigenschaften dieses Grammatiktyps zu diskutieren. Davon sollen jetzt einige Punkte angesprochen werden.

Zunächst sind verschiedene Finitheitsaspekte zu thematisieren. Mit  $V$  ist auch die Regelbasis  $R_0$  jeder MVG  $G$  endlich. Wenn darüber hinaus die Finitheit von  $P$  vorausgesetzt wird, dann ist zwangsläufig auch  $Z$  endlich und es handelt sich bei  $G$  um ein finites System. Empirisch gesehen kann man aber noch andere Finitheitseigenschaften der Systemkomponenten unterstellen. So ist erstens davon auszugehen, daß  $R_1$  fundiert ist (d.h. daß es keine unendlichen  $R_1$ -Ketten gibt). Zweitens läßt sich die Zahl der unmittelbaren Konstituenten jeder Konstruktion beschränken. Und drittens besteht aufgrund des Problems der Entfernungsüberbrückung bei Verknüpfungen nur ein begrenzter Spielraum für Konstruktionseinbettungen. So gesehen kann man – unabhängig von einer Endlichkeitsvoraussetzung für  $P$  – versuchen, genauer abzuschätzen, wieviele akzeptable sprachliche Realisierungen einer Konstruktion es überhaupt gibt. Dabei ist auch zu bedenken, daß man von einem endlichen Vokabular nur um den Preis von Äußerungswiederholungen einen 'unendlichen Gebrauch' machen kann. Konkret bedeutet dies z.B.: die prinzipielle Möglichkeit eine beliebig lange Adjektivkette in Nominalphrasen zu produzieren oder Sätze durch extrapolierte und aufeinander bezogene Relativsätze eines Standardmusters beliebig zu verlängern, gilt nur, wenn man auch beliebige Wiederho-

lungen zuläßt. Insgesamt wäre also theoretisch und empirisch genauer zu klären, unter welchen Bedingungen man den Bereich akzeptabler Konstruktionen auf einen finiten Teil von  $Z$  eingrenzen kann.

Im vorigen Abschnitt wurde schon dargestellt, daß mit Konstruktionssystemen sowohl die Produktions- und Rezeptionsrichtung von Grammatiken als auch das Umschalten zwischen diesen beiden Richtungen erfaßt werden können. M.a.W. eine solche Grammatik ist unabhängig von Verarbeitungsrichtungen und hat das übergeordnete Ziel, sprachliche Konstruktionen mit Hilfe von mehrdimensionalen Verknüpfungsstrukturen bzw. Graphen zu beschreiben. Welche Arten sprachlicher Verknüpfungen dabei thematisiert werden, ist genau besehen noch nicht vorentschieden (nur die Bedingungen (v) und (vi) in 3.7.1 bilden eine gewisse Einschränkung). Als kanonische Anwendung fungiert zwar insbesondere der Fall, daß  $R_1$  Konstituenz- und  $R_2$  Valenzbeziehungen modelliert; es sind aber auch ganz andere Anwendungen denkbar. Einerseits läßt die Definition 3.7.1 die Möglichkeit  $R_1 = 0$  oder  $R_2 = 0$  zu, d.h. beispielsweise daß nur der Konstituenz- oder nur der Valenzaspekt thematisiert werden. Andererseits könnte man z.B. mit  $R_1$  die informationsstrukturelle Beziehung der Thema-Rhema-Gliederung darstellen und/oder mit  $R_2$  ausschließlich Kongruenzbeziehungen. Je nach Anwendung werden die Komponenten einer MVG also bestimmte zusätzliche Eigenschaften besitzen und man kann dann theoretisch zugehörige Folgerungen aus ihnen ableiten. Ein Beispiel für eine derartige Eigenschaft ist das schon mehrfach angesprochene Transitivitätsgesetz für Koordinationskonstruktionen. Dieses Beispiel verdeutlicht auch, daß es im Sinne der systemtheoretischen Zerlegungsmethodologie Ziel der Grammatikforschung sein muß, sämtliche voneinander unabhängige Verknüpfungsdimensionen zu identifizieren und Verknüpfungsstrukturen entsprechend differenziert zu beschreiben. Aus dieser Perspektive gesehen kommt man z.B. zu der Einsicht, daß Kasus-, Numerus- und Genusbeziehungen in Nominalphrasen des Deutschen voneinander unabhängig sind und partiell unterschiedliche Abhängigkeitsrichtungen zwischen Determinator und Nomen aufweisen; dementsprechend kann man auch verschiedene Verknüpfungstypen ansetzen. Noch wichtiger ist das aus der Untersuchung von Koordinationsellipsen resultierende Ergebnis, daß die Verknüpfung zwischen Satzgliedern in zwei voneinander unabhängige Verknüpfungsarten zerlegt werden muß (vgl. Kindt 1985, Kindt et al. 1995); hierauf werden wir später noch genauer eingehen.

Der als Motivation für die Einführung von Konstruktionssystemen genannte Aspekt, daß die in Ersetzungsgrammatiken unspezifisch bleibenden Kontextbedingungen in verschiedene Typen von Randbedingungen aufgelöst und deren Interaktion genauer beschrieben werden sollte, kann jetzt folgendermaßen konkretisiert werden. Ob ein Zeichen  $v$  an einer bestimmten noch freien Tabellenposition plaziert werden darf, hängt von verschiedenen Bedingungen ab. Um von einer mit Ersetzungsgrammatiken vergleichbaren Konstellation auszugehen, wollen wir annehmen, daß es eine Regel aus  $R_1$  gibt, die im Prinzip eine Plazierung von  $v$  bei  $p$  erlaubt. Wenn bei der Regelanwendung allerdings eine Umgebungsabhängigkeit zu berücksichtigen ist, dann können dafür in einer MVG drei (sich nicht ausschließende) Umstände verantwortlich sein. Erstens ist  $v$  möglicherweise nicht 'gesättigt',

sondern verlangt nach einer Verknüpfung eines bestimmten Typs mit einem anderen Tabellenelement; m.a.W. ohne eine solche Verknüpfung ist die entstehende Konstruktion zumindest im Endresultat nicht korrekt. Ein zweiter Vorbehalt für die Regelanwendung kann sich darauf beziehen, daß zwar ein für die gewünschte Verknüpfung geeignetes Tabellenelement vorhanden ist, daß dieses Element aber zu weit von  $\langle v, p \rangle$  entfernt liegt. Drittens schließlich ist die Position  $p$  eventuell grundsätzlich ungeeignet für  $v$ . Zur Veranschaulichung der Wirkung dieser drei Faktoren betrachten wir folgende Beispiele.

- (14a) *Mozart fuhr nach Wien und Beethoven.*
- (14b) *\*Niemand fuhr nach Wien und Beethoven.*
- (14c) *Niemand fuhr nach Wien und Salzburg.*
- (14d) *\*Mozart fuhr nach Wien, das damals die heimliche Hauptstadt Europas war, und Beethoven.*
- (14e) *\*Mozart fuhr und Beethoven nach Wien.*
- (14f) *Mozart fuhr und gelangte nach Wien.*

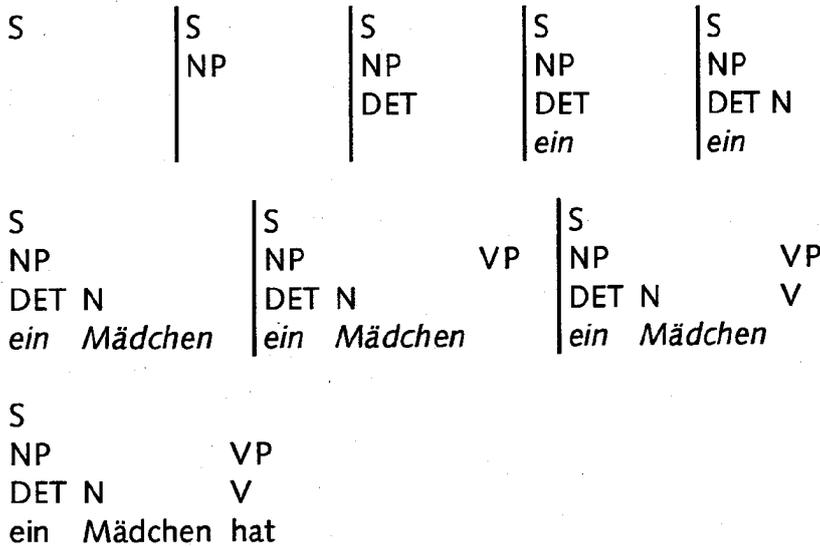
(14b) ist im Unterschied zu (14c) grammatisch nicht korrekt, weil es keinen Verknüpfungspartner für *Beethoven* gibt (sofern man *Beethoven* nicht als Ortsnamen zuläßt). Für die Inkorrektheit von (14d) ist offensichtlich die zu große Distanz zwischen *Mozart* und *Beethoven* verantwortlich. Schließlich zeigt ein Vergleich von (14a), (14e) und (14f), daß sich die in (14e) gewählte Position zwar für eine Verb-, nicht aber für eine Subjektkoordination eignet.

Als letzter Punkt soll der Aspekt der Wahl einer inkrementellen Verarbeitungsstrategie angesprochen werden. Der Einfachheit halber diskutieren wir diesen Punkt nur am Beispiel der Produktionsrichtung. Eine *nichtdeterministische Strategie*  $\sigma$  für ein Spiel  $S = \langle Z, R \rangle$  liegt vor, wenn  $\sigma \subset R$  und  $\sigma \neq R$  gilt. Bei einer strategiegemäßen Partie werden dann jeweils nicht die nach  $R$ , sondern die nach  $\sigma$  zulässigen Nachfolgezustände ausgewählt. Eine *strikt inkrementelle Verarbeitungsstrategie* bei der Sprachproduktion in einer MVG beinhaltet insbesondere zwei Verhaltenseinschränkungen. Einerseits sollen Tabellen immer zuerst in vertikaler Richtung maximal verlängert werden, d.h. vor dem Einsatz von Regeln aus  $R_1$  wendet man solange Regeln aus  $R_1$  auf eine begonnene Tabellenspalte an, bis ein Zeichen aus  $V_1$  erreicht ist. Andererseits verzichtet man grundsätzlich auf Tabellenverlängerungen nach links und innere Verlängerungen (d.h. zwischen zwei Tabellenelementen darf nicht nachträglich ein neues eingefügt werden). Eine solche Strategie ist besonders einfach formulierbar, wenn man als Positionen nur geordnete Paare von ganzen Zahlen zuläßt. Unter dieser Voraussetzung läßt sich eine strikt inkrementelle Produktionsstrategie  $\sigma$  durch folgende Bedingungen charakterisieren.

- (I) Wenn  $\langle \langle t, \kappa \rangle, \langle t', \kappa \rangle \rangle \in \tau$  und  $t' = t \cup \{ \langle p, u \rangle \}$ , dann gibt es ein  $\langle q, v \rangle \in t$  derart, daß eine von den folgenden Teilbedingungen erfüllt ist:
  - (i)  $q_2 = p_2$ ,  
 $q_1 = p_1 + 1$  und es gibt kein  $\langle q', v' \rangle \in t$  mit  $q'_1 > q_1$ .

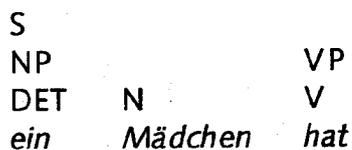
- (ii)  $q_1 = p_1$ ,  $q_2$  ist die kleinste Zahl mit  $p'_2 < q_2$  für alle  $\langle p', v' \rangle \in t$ , und es gibt  $\langle p', v' \rangle \in t$  mit  $p'_2 = q_2 - 1$  und  $v' \in V_1$ .

Ein Beispiel für die Anwendung einer solchen Strategie gibt die folgende, mit bereits eingeführten Regeln arbeitende (unvollständige) Ableitung (die wir zur Platzersparung partiell horizontal und ohne Kantenmarkierung dokumentieren).



Die Anwendung von Strategien ist grundsätzlich mit bestimmten Zielen verbunden. Ein primärer Typ von Strategiezielen basiert darauf, daß man weiß oder hofft, durch Anwendung der Strategie Zustände zu erreichen, die in gewissen Aspekten wünschenswert sind. Das sekundäre Ziel einer Strategie kann demgegenüber der Umstand sein, daß man in besonders einfacher oder schneller Weise zu den Primärzielen gelangt. Eine inkrementelle Sprachproduktionsstrategie sollte natürlich die Eigenschaft haben, daß bei ihr nicht wesentliche Möglichkeiten der Äußerungsformulierung in einer Grammatik verloren gehen. Allerdings ist die Anwendung einer inkrementellen Verarbeitungsstrategie teilweise durch die Rahmenbedingungen menschlicher Kommunikation vorgegeben. Es soll jetzt aber nicht der Frage nachgegangen werden, inwieweit Sprachproduktion realiter inkrementell ist (verschiedene Fakten sprechen gegen eine generelle strikte Inkrementalität). Vielmehr sind noch einige wichtige theoretische Konsequenzen zu erörtern, die sich aus der Wahl einer strikt inkrementellen Strategie bzw. allgemein bei Anwendung von Strategien ergeben.

Bei der obigen Beispielableitung kann man sich – genau besehen – eine Dokumentation sämtlicher Ableitungszwischenschritte ersparen. Denn aus der Tabelle



läßt sich zusammen mit (I) und den Regelsystemen eindeutig rekonstruieren, wie man bei der Ableitung vorgegangen ist. Folglich kann die Tabelle selbst als eine Ableitungsrepräsentation verstanden werden, wenn man sie spaltenweise von links nach rechts und innerhalb der Spalten von oben nach unten durchläuft. M.a.W. entgegen der bisherigen Gewohnheit, Ableitungsrepräsentationen ausschließlich zeilenweise von oben nach unten zu lesen, ist jetzt ein zweidimensionaler Tabledurchlauf notwendig, um die spezifischen Gegebenheiten bei der Anwendung von Austausch- und Rechtsexpansionsregeln angemessen zu erfassen. Allerdings läßt sich die obige Tabelle selbst als eine, positionell ausdifferenzierte Ableitung in einer Ersetzungsgrammatik bzw. als der unvollständige Teil einer solchen Ableitung begreifen, wenn man die Tabelle zeilenweise von oben nach unten liest. Dieses zunächst etwas überraschende Ergebnis erklärt sich natürlich daraus, daß der Übergang von Ersetzungs- zu Mehrdimensionalen Verknüpfungsgrammatiken eine konservative Theorieerweiterung bildet, die Aussagen und Strukturen des ersteren Grammatiktyps im wesentlichen erhält, aber zugleich ausdifferenziert.

Statt des bei einer strikt inkrementellen Produktionsstrategie festgelegten Durchlaufs kann man auch andere Ableitungswege durch eine Tabelle wählen und dies besagt, daß sich Ableitungen generell durch strukturierte Tabellen repräsentieren lassen, für die entweder eine Durchlaufnormierung vorgegeben ist oder in denen der durchlaufene Weg geeignet markiert wird. Will man den aus einem Ableitungsschritt resultierenden Gesamtzustand darstellen, dann muß man in Tabellen allerdings zusätzliche Verknüpfungsmarkierungen eintragen (wie schon in Abschnitt 3.5 beschrieben). Solche Markierungen sind nur erläßlich, falls sie eindeutig aus dem Ableitungsweg rekonstruiert werden können. Bei Ersetzungsgrammatiken und Austausch-Expansions-Systemen läßt sich diese Bedingung erfüllen, falls Ausgangs- und Zielpunkt stets nur auf eine Weise miteinander verknüpfbar sind. Das Phänomen der sogenannten transformationellen Ambiguitäten zeigt allerdings, daß es für Grammatikmodelle durchaus zweckmäßig sein kann, unterschiedliche Verknüpfungsarten zwischen zwei Konstituenten zuzulassen. Zum Beispiel läßt sich die Mehrdeutigkeit von *die Entdeckung des Studenten* (im Sinne von *der Student hat etwas entdeckt* vs. *der Student wurde entdeckt*) auf diese Weise besonders einfach erfassen und überhaupt wird an diesem Beispiel ein weiterer Vorteil der Einbeziehung von Kookkurrenz- bzw. Valenzbeziehungen deutlich. Allerdings ist auch unabhängig von solchen speziellen Ambiguitätsproblemen zu konstatieren, daß Tabellen ohne Verknüpfungsmarkierungen nicht für eine vollständige Zustands- und Ableitungsrepräsentation ausreichen, weil neben den unmittelbar mit einer Tabellenverlängerung verbundenen Verknüpfungen weitere, teilweise nicht eindeutig determinierte Verknüpfungen vorgenommen werden. Dieser Fall liegt beispielsweise in folgendem Satz vor.

(15) *Hans ißt und Reinhard bezahlt den Kuchen.*

(15) kann man sowohl als elliptische wie als nichtelliptische Koordinationskonstruktion analysieren; für erstere Lesart ist aber eine zusätzliche Verknüpfung zwischen dem ersten Verb und der Objektnominalphrase erforderlich. Insgesamt gesehen macht die Notwendigkeit, ein modifiziertes Zustandskonzept einzuführen, ei-

nen zweiten wesentlichen Aspekt der Theorieerweiterung beim Übergang zu Mehrdimensionalen Verknüpfungsgrammatiken aus.

An der Funktionsweise einer inkrementellen Verarbeitungsstrategie lassen sich noch weitere theoretische Konsequenzen der neuen Grammatikkonzeption verdeutlichen. Einerseits hat sich – wie eben diskutiert – ergeben, daß das Zustandskonzept von Ersetzungsgrammatiken für die Behandlung bestimmter grammatischer Phänomene zu restriktiv ist. Andererseits wird die aus dem Übergang von Zeichenfolgen zu strukturierten Tabellen resultierende Komplexitätszunahme durch die Einführung von Strategien teilweise wieder aufgehoben. Verhält man sich strategiegemäß, dann kann bei Zustandsübergängen bzw. Spielzügen nicht mehr jede im Prinzip mögliche Art der Tabellenverlängerung und Elementverknüpfung realisiert werden. Vielmehr soll die Tabelle jeweils nur an bestimmten Positionen ergänzt und es dürfen nur Verknüpfungen bestimmter Arten vorgenommen werden. Für die Auswahl von Zügen ist also gar nicht der jeweilige Gesamtzustand, sondern nur ein gewisser Teil von ihm entscheidend. Zur Beschreibung dieser Konstellation ist eine Einführung von Konzepten nützlich, die man eher theoretischen Zusammenhängen aus Semantik und Pragmatik zurechnen würde. Der Teil des Zustands, der die zulässigen Angriffspunkte samt ihrer näheren Umgebung minimal umfaßt, soll (*aktueller*) *Fokus* heißen. Er repräsentiert gewissermaßen jeweils den relevanten *lokalen Kontext*. Den Bereich der Angriffspunkte selbst kann man *Fokuskern* nennen. Und die Menge der Verknüpfungstypen, die dem Bereich der laut Strategie anzuwendenden Regeln angeben, soll als *Handlungsperspektive* bezeichnet werden.

In einer Ersetzungsgrammatik fungiert jeweils die letzte Ableitungszeile als aktueller Fokus, den Fokuskern bilden sämtliche noch angreifbare Zeichen/Teilfolgen und die Handlungsperspektive umfaßt die Verknüpfungstypen sämtlicher Basisregeln. Auch in Austausch-Expansions-Grammatiken bildet die letzte Ableitungszeile jeweils den Fokus. Falls dort aber expansionsobligatorische Elemente vorkommen, gehören nur sie zum Fokuskern und zwar solange, bis die zugehörigen Verknüpfungstypen abgearbeitet sind. Folglich setzt sich die Handlungsperspektive zunächst aus diesen Typen zusammen. Nach Bearbeitung expansionsobligatorischer Elemente liegen für Fokuskern und Handlungsperspektive aber dieselben Verhältnisse wie in Ersetzungsgrammatiken vor. So gesehen werden in beiden Grammatiktypen Verarbeitungsstrategien ausgewählt, die für eine Modellierung der Verknüpfungsgegebenheiten in natürlichen Sprachen zu restriktiv sind. Demgegenüber wird in einer MVG zunächst keine bestimmte Verarbeitungsstrategie ausgezeichnet und insofern hat dieser Grammatiktyp einen größeren Allgemeinheitsgrad. Welchen Stellenwert besitzt dann aber eine strikt inkrementelle Produktionsstrategie? Zunächst müßte generell oder im konkreten Einzelfall nachgewiesen werden, daß eine solche Strategie keine zu starke Einschränkung für eine angemessene Erfassung grammatischer Konstruktionen in einer MVG bedeutet. Auf diesen Punkt soll jetzt nicht näher eingegangen werden; man darf aber unterstellen, daß ein solcher Nachweis für die relevanten Anwendungsfälle möglich ist. Ansonsten bedeutet eine strikt inkrementelle Verarbeitungsstrategie natürlich eine radikale Vereinfachung: der Fokuskern besteht dann nämlich immer nur aus einem Zeichen bzw.

einem Tabellenelement. Diese Vereinfachung läßt sich auch für den Fall geltend machen, daß gerade eine Tabellenspalte mit der Produktion eines lexikalischen Zeichens abgeschlossen wurde und nun auf irgendeinen Angriffspunkt aus der rechten Tabellenseite eine Regel aus  $R_2$  angewendet werden soll. Die Auswahl dieses Angriffspunkts kann man sich so vorstellen, daß man angefangen beim untersten Element der letzten Spalte schrittweise die rechte Tabellenkante von unten nach oben durchgeht, bis ein Element gefunden ist, bei dem die Rechtsexpansion durchgeführt werden soll. M.a.W. man 'wandert' von einem einelementigen Fokuskern zum nächsten und prüft jeweils, ob eine der laut Handlungsperspektive zulässigen Expansionen durchgeführt werden muß oder soll. So gesehen verfeinert sich die Beschreibung eines Spiels bei Verwendung des Fokuskonzepts dahingehend, daß man die Wanderung von einem Fokuskern  $a_1$  zu einem Kern  $a_2$  bzw. von dem  $a_1$  umgebenden Fokus zu dem zu  $a_2$  gehörigen Fokus auch dann als Zug einstufen kann, wenn  $a_1$  nicht angegriffen, also keine Regel auf  $a_1$  angewendet wird.

Die Frage, wie groß der zu einem Angriffspunkt gehörige Fokus in einer MVG zu wählen ist, kann hier nicht genauer beantwortet werden, weil die Fokuszuordnung von den jeweiligen empirischen Gegebenheiten abhängt. Demgegenüber ist für eine Charakterisierung der jeweiligen Handlungsperspektive klar, daß bei der Verlängerung der Spalte zunächst die Verknüpfungstypen der Regeln aus  $R_1$  und  $R_2$  relevant sind. Allerdings ist es zweckmäßig, eine strikt inkrementelle Produktionsstrategie gleich mit der Anforderung zu koppeln, daß die Konstruktionserwartungen aus B möglichst sofort erfüllt werden, d.h. daß die zusätzlich erforderlichen Verknüpfungen vor dem nächsten Verlängerungsschritt zu realisieren sind. M.a.W. durch eine Strategie kann die Arbeitsteilung zwischen Regeln und Kontextbedingungen wieder ausgeglichen werden, sie bildet also den erforderlichen Koordinationsmechanismus. An diesem Sachverhalt zeigt ich noch einmal, daß neben den Regel- und Randbedingungskonzept auch das spieltheoretische Strategiekonzept einen zentralen Stellenwert für Grammatikmodelle hat.

#### 4. Literatur

- Bartsch, R., Lenerz, J., Ullmer-Ehrich (1997): Einführung in die Syntax. Kronberg/Ts.
- Chomsky, N. (1957): Syntactic Structures. The Hague.
- Chomsky, N. (1959): On Certain Formal Properties of Grammars. In: *Information and Control* 2: 137–67.
- Chomsky, N. (1963): Formal Properties of Grammars. In: Luce et al. (Hg.), Vol. II, 323–418.
- Chomsky, N., Miller, G.A. (1963): Introduction to the Formal Analysis of Natural Languages. In: Luce et al. (Hg.), Vol. II, 269–322.
- Günther, U., Kindt, W., Schade, U., Sichelschmidt, L. Strohner, H. (1991): Elliptische Koordination: Strukturen und Prozesse lokaler Textkohärenz. In: *Linguistische Berichte* 146, 312–342.

- Harris, Z. (1957): Co-occurrence and Transformation in Linguistic Structure. In: *Language* 33, 283–340.
- Homuth, H.H. (1957): Einführung in die Automatentheorie. Braunschweig.
- Kindt, W. (1985): Grammatische Prinzipien sogenannter Ellipsen und ein neues Syntaxmodell. In: Meyer-Hermann, R. Rieser, H. (Hg.): *Ellipsen und fragmentarische Ausdrücke. Bd. 1*, Tübingen, 161–290.
- Kindt, W. (1991): Informationsdynamik bei der grammatischen Verarbeitung. Kolibri-Arbeitsbericht Nr. 36 der DFG-Forschergruppe „Kohärenz“. Universität Bielefeld.
- Kindt, W. (1994): Wortstellung als Problem einer Dynamischen Grammatik. In: Haftka, B. (Hg.): *Was determiniert Wortstellungsvariation*. Opladen. 49–62.
- Kindt, W., Strohner, H., Günther, U., Müsseler, J. (1995): Wie man Bücher und Erbsen liest: Zur Interaktion von Syntax und Semantik bei der Ellipsenverarbeitung. In: *Linguistische Berichte* 160, 447–469.
- Klein, W. (1981): Some Rules of Regular Ellipsis in German. In: Klein, W., Levelt, W.J.M. (Hg.): *Crossing the Boundaries in Linguistics*. Dordrecht. 51–78.
- Levelt, W.J.M. (1974): Formal Grammar in Linguistics and Psycholinguistics. Vol. I. The Hague.
- Lobin, H. (1997): Syntax und Morphologie. In: Bielefelder Linguistik (Hg.): *Linguistik – die Bielefelder Sicht*. Bielefeld. 47–50.
- Luce, R.D., Bark, R.P., Galanter, D. (Hg.) (1963): *Handbook of Mathematical Psychology*. New York.
- Maurer, H. (1969): *Theoretische Grundlagen der Programmiersprachen*. Mannheim.
- Scheutz, H. (1992): Apokoinukonstruktionen. In: Weiss, A. (Hg.): *Dialekte im Wandel*. Göppingen. 243–264.
- Skuplik, K., Kindt, W. (1998): Ausklammerungskonstruktionen. Definition und empirische Untersuchung. Report 98/4 des SFB 360 „Situierete Künstliche Kommunikatoren“. Universität Bielefeld.
- Steedman, M. (1996): *Combinators and Grammars*. Draft Version. University of Pennsylvania.
- Verner, K. (1877): Eine Ausnahme der ersten Lautverschiebung. In: *Zeitschrift für vergleichende Sprachforschung auf dem Gebiete der indogermanischen Sprachen*. 23, 97–130.

## Reports of the SFB 360:

- 94/1 Kognitive Grundlagen situierter künstlicher Kommunikatoren  
(Gert Rickheit und Hans Strohner)
- 94/2 Empirical and Semiotic Foundations for Prosodic Analysis  
(Dafydd Gibbon)
- 94/3 Steps towards the Realization of Behavior-based Agents  
(Henning Lobin, Steffen Förster, Jan-Torsten Milde and Gil Müller)
- 94/4 Die Modellierung von Nichtmonotonie im Rahmen der Prädikatenlogik  
(Walther Kindt)
- 94/5 Ein konnektionistisches Modell für die Produktion von Objektbenennungen  
(Hans-Jürgen Eikmeyer, Ulrich Schade und Marc Kupietz)
- 94/6 Communicating Attention: Gaze Position Transfer in Computer Supported Cooperative Problem Solving  
(Boris Velichkovsky)
- 94/7 Integration von Bild- und Sprachverstehen in einer kognitiven Architektur  
(B. Hildebrandt, R. Moratz, G. Rickheit und G. Sagerer)
- 94/8 Natürlichsprachliche Steuerung eines behaviorbasierten Roboters  
(Kornelia Peters)
- 94/9 Dynamische Konzeptualisierung  
(Bernhard Jung und Ipke Wachsmuth)
- 95/1 An Artificial Neural Network for High Precision Eye Movement Tracking  
(Marc Pomplun, Helge Ritter and Boris Velichkovsky)
- 95/2 Disambiguating Complex Visual Information: Towards Communication of Personal Views of a Scene  
(Marc Pomplun, Helge Ritter and Boris Velichkovsky)
- 95/3 Neuronale und statistische Verfahren zur adaptiven Farbsegmentierung – ein Leistungsvergleich  
(Enno Littmann und Helge Ritter)
- 95/4 Situated Reference in Cognitive Systems  
(Hans Strohner (Ed.))
- 95/5 PEST 1.1 - eine Psychologische Experimental-Steuerung für DOS-PCs  
(Ingo Duwe und Holger Claußen)
- 95/6 Interaktive Montage-Simulation mit wissensbasierter Grafik  
(Bernhard Jung, Britta Lenzmann und Ipke Wachsmuth)
- 95/7 Darf ich dich Marvin nennen? Instruktionsdialoge in einem Wizard-of-Oz Szenario: Materialband  
(Christel Brindöpke, Michaela Johanntokrax, Arno Pahde und Britta Wrede)
- 95/8 Augenbewegung, Fokus und Referenz  
(Thomas Clermont, Clemens Meier, Marc Pomplun, Elke Prestin, Hannes Rieser, Helge Ritter und Boris Velichkovsky)
- 95/9 Visuelle Suchprozesse beim Vergleich zweidimensionaler Objektmengen, Teil I: Zur Rolle der lokalen Verteilungsparameter  
(Marc Pomplun, Lorenz Sichelschmidt, Karin Wagner, Boris Velichkovsky, Gert Rickheit und Helge Ritter)

- 95/10 Architekturkonzeption eines teilautonomen Montageroboters  
(Steffen Förster, Henning Lobin und Kornelia Peters)
- 95/11 Public Information and Mutual Error  
(Wolfgang Heyrich and Hannes Rieser)
- 95/12 Modelling Situated "Reference Shifts" in Task-Oriented Dialogue  
(Clemens Meier and Hannes Rieser)
- 95/13 Realisierung eines aufgabenorientierten visuellen Systems  
(Jens Kammler und Steffen Förster)
- 95/15 A Knowledge-based System Integrating Speech and Image Understanding  
- Manual Version 1.0 -  
(Gudrun Socher and Uta Naeve)
- 95/16 Darf ich Dich Marvin nennen? Instruktionsdialoge in einem Wizard-of-Oz-  
Szenario: Szenario-Design und Auswertung  
(Christel Brindöpke, J. Häger, Michaela Johanntokrax, Arno Pahde,  
Michael Schwalbe und Britta Wrede)
- 95/17 Situiertheit, Integriertheit, Robustheit: Entwicklungslinien für einen Künstlichen  
Kommunikator  
(Ulrich Schade (Hrsg.))
- 95/18 Ein linguistisches Merkmalsmodell für die Lexikalisierung von diskurs-  
gesteuerten Partikeln  
(Kerstin Fischer und Michaela Johanntokrax)
- 95/20 Der CODY Virtuelle Konstrukteur - Manual Version 1.0  
(Martin Hoffhenke, Christian Pütter und Bernhard Jung)
- 96/1 Sprachliche Objektidentifikation in ambigen Situationen: Empirische Befunde  
(Klaus Kessler, Ingo Duwe und Hans Strohner)
- 96/2 Objekterkennung mit neuronalen Netzen  
(Gunther Heidemann und Helge Ritter)
- 96/3 Service Object Request Management Architecture SORMA - Concepts and  
Examples  
(Jörg Walter and Helge Ritter)
- 96/4 The Robotics Laboratory  
(Jörg Walter and Helge Ritter)
- 96/6 Repräsentations-Metonymie, Perspektive und Koordination in  
aufgabenorientierten Dialogen  
(Hannes Rieser)
- 96/7 Aufgabenorientierte Verarbeitung von Interventionen und Instruktionen  
(Karl U. Goecke, Kornelia Peters und Henning Lobin)
- 96/8 Dynamische Konzeptualisierung partieller und vollständiger Aggregate mit  
einem Multiagenten-Ansatz  
(Martin Hoffhenke und Ipke Wachsmuth)
- 97/1 Towards a Cognitive Model of Linguistic Reference  
(Ingo Duwe and Hans Strohner (Eds.))
- 97/2 LAU - Label- und Testumgebung für melodische Aspekte gesprochener  
Sprache (Version 1.0)  
(Christel Brindöpke und Arno Pahde)
- 97/3 Textverarbeitung – Von der Proposition zur Situation  
(Gert Rickheit und Hans Strohner)

- 97/5 Intonation in German  
(Dafydd Gibbon)
- 97/6 Parsing of PP-Attachment in CCG (to appear)  
(Bernd Hildebrandt)
- 97/7 Zur Semantik von Repräsentationsrelationen. Fallstudie eins zum SFB-“Flugzeug”  
(Josef Meyer-Fujara und Hannes Rieser)
- 97/8 Bayesian Reasoning on Qualitative Descriptions from Images and Speech  
(Gudrun Socher, Gerhard Sagerer and Pietro Perona)
- 97/9 Dynamische Konzeptualisierung mit imaginalen Prototypen  
(Martin Hoffhenke und Ipke Wachsmuth)
- 97/10 Situated Communication with Robots  
(Jan-Torsten Milde, Kornelia Peters and Simone Strippgen)
- 97/11 Prosody-Particle Pairs as Discourse Control Signs  
(Dafydd Gibbon and Claudia Sassen)
- 98/1 On Tops and Bottoms: Agents' Coordination on Syntax Production in Dialogue  
(Hannes Rieser)
- 98/2 The effects of structural information on perceived numerosity in two-dimensional  
object distributions  
(Hendrik Koesling, Marc Pomplun and Helge Ritter)