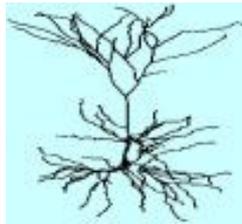

Günter Kochendörfer

Kortikale Linguistik

Teil 5: Syntax



<http://www.cortical-linguistics.de>
15. 9. 2008

Gesamtinhaltsübersicht

Teil 1: Wissenschaftstheoretische Voraussetzungen

Teil 2: Grundlagen

Teil 3: Phonetik/Phonologie

Teil 4: Lexikon, Morphologie

Teil 5: Syntax

Teil 6: Gedächtnisformen, Textverstehen

Teil 7: Denken und Formulieren

Teil 8: Spracherwerb

Teil 9: Sprachpathologie

Teil 10: Randgebiete

Anhang: Software

Literatur

Index

Teil 5

Syntax

Chomskys generative Grammatik ist (per Definition) kein mögliches Modell der Syntax im Gehirn. Dasselbe gilt für neuere syntaktische Theorien wie die „Radical Construction Grammar“. Moderne Methoden der Hirnforschung wie PET, fMRI, EKP liefern noch nicht Informationen, die präzise genug wären, um viele der in diesem Gebiet relevanten Fragen zu beantworten.

Die Geschwindigkeit der Prozesse im Gehirn setzt massive Parallelverarbeitung voraus und damit die Identität von Gedächtnisstrukturen und verarbeitenden Einheiten. Als Konsequenz dieser Voraussetzung ist es schwierig, Regeln als Verarbeitungskomponenten anzunehmen. Andererseits hat die syntaktische Kompetenz nicht die Form eines Lexikons mit ganzen Sätzen als Einträgen. Konnektionistische Modelle in der Tradition von Rumelhart & McClelland, Elman und anderen, die einige Linguisten als eine mögliche Lösung sehen, sind noch nicht mit einer den beobachtbaren syntaktischen Fakten entsprechenden Komplexität konstruiert worden.

Trotzdem kann die Linguistik nicht ohne Syntax auskommen und in der post-generativistischen Ära muss versucht werden, Erkenntnisse über die Natur syntaktischer Repräsentationen und Prozesse im Gehirn (!) zu gewinnen. Dieser Teil des Projekts „Kortikale Linguistik“ hat zum Ziel, neue Vorschläge zum Verständnis von Syntax zu entwickeln, auf der Basis von Informationen über mögliche neuronale Funktionen, unter Berücksichtigung von Konsequenzen, die sich aus anderen Komponenten der Sprachverarbeitung (Phonologie, Lexikon, Semantik) ergeben, und unter Einbeziehung beobachtbarer Verarbeitungscharakteristika wie der Möglichkeit von Reparaturen bei gesprochener Sprache. Simulationsmodelle werden überall in dieser Untersuchung als wesentliche Forschungsinstrumente eingesetzt.

Inhalt

- 5.1 Problematik aktueller syntaktischer Theorien und Modelle
 - 5.1.1 Generativismus
 - 5.1.2 Radical Construction Grammar
 - 5.1.3 Neuronale Modelle
 - 5.1.4 Konsequenzen

- 5.2 Grundlegende neuronale Strukturen der Syntax
 - 5.2.1 Einleitende Bemerkungen
 - 5.2.2 Syntaktische Sequenzen
 - 5.2.3 Alternativen und lokale Mehrdeutigkeit
 - 5.2.4 Sequenzen von Kategorien und Rekursivität

- 5.3 Abhängigkeiten
 - 5.3.1 Die Gegenstände
 - 5.3.2 Kongruenz
 - 5.3.3 Verbvalenz
 - 5.3.4 Diskontinuierliche Konstituenten
 - 5.3.5 Einheitlichkeit syntaktischer und lexikalischer
Strukturprinzipien für Perzeptionsvorgänge

- 5.4 Inkohärenz, Reparaturen
 - 5.4.1 Monitoring
 - 5.4.2 Reparaturen
 - 5.4.3 Gesprochene Sprache

- 5.5 Ergänzende Überlegungen zu den Prozessen der Satzproduktion und des Satzverstehens
 - 5.5.1 Allgemeine Bemerkungen
 - 5.5.2 Satzproduktion in dem Modell von Levelt (1989)
 - 5.5.3 Satzproduktion in einer neuronalen Struktur: lexikalische Voraussetzungen
 - 5.5.4 Satzproduktion in einer neuronalen Struktur: syntaktische Prozesse
 - 5.5.5 Simulationen
 - 5.5.6 Satzverstehen

- 5.6 Schlussbemerkungen
 - 5.6.1 Bemerkungen zur Methode der Modellbildung
 - 5.6.2 Biologische Grundlagen
 - 5.6.3 Phonologische und lexikalische Umgebung
 - 5.6.4 Die Struktur syntaktischer Kategorien
 - 5.6.5 Parsingprobleme: das technische Gegenstück

5.1 Problematik aktueller syntaktischer Theorien und Modelle

Dieses Kapitel stellt eine kleine Auswahl von typischen Versuchen vor, mit dem Problem der Syntax unter mentalistischem Aspekt umzugehen. Ziel ist nicht eine erschöpfende Darstellung, sondern die Bewertung nach Kriterien, die auf ein Modell des Sprachbesitzes im Gehirn anzuwenden sind. Der Generativismus ist immer noch weithin die herrschende Syntaxtheorie mit mentalistischem Anspruch und mit dem interessanten zusätzlichen Aspekt, dass Computermodelle entwickelt worden sind, die auf unterschiedlichen, aber insgesamt als generativistisch zu bewertenden Grammatikvarianten beruhen. Beispiel für eine Grammatiktheorie, die ebenfalls mit mentalistischem Anspruch auftritt, aber explizit als Gegenposition zum Generativismus gedacht ist, ist die „Radical Construction Grammar“, die gegenwärtig eine gewisse Popularität erreicht hat. Schließlich gibt es einige spärliche Versuche der neuronalen Modellierung sowohl auf Seiten des Standard-Konnektionismus, als auch mit mehr biologischer Grundlage.

5.1.1 Generativismus

Sprache wird als Menge von Sätzen gesehen. Diese Satzmenge bildet den Gegenstand der generativen Sprachtheorie. Das wird in frühen Arbeiten von Chomsky explizit in dieser Weise formuliert, so z. B. in Chomsky (1957:13):

„From now on I will consider a *language* to be a set (finite or infinite) of sentences, each finite in length and constructed out of a finite set of elements. All natural languages in their spoken or written form are languages in this sense[...]. The fundamental aim in the linguistic analysis of a language L is to separate the *grammatical* sequences which are the sentences of L from the

ungrammatical sequences which are not sentences of L and to study the structure of the grammatical sequences.“

Später ist diese Voraussetzung oft nicht mehr so deutlich, aber, wenn man die entsprechenden Formulierungen genauer analysiert, unverändert maßgebend.

Der erste Absatz in den „Aspects“ (Chomsky, 1965:3) beginnt so:

„This study will touch on a variety of topics in syntactic theory and English syntax, a few in some detail, several quite superficially, and non exhaustively. It will be concerned with the syntactic component of a generative grammar, that is, with the rules that specify the well-formed strings of minimal syntactically functioning units (*formatives*) and assign structural information of various kinds both to these strings and to strings that deviate from well-formedness in certain respects.“

Der dritte Absatz desselben Textes vertritt nur scheinbar eine etwas veränderte Position:

„Linguistic theory is concerned primarily with an ideal speaker-listener, in a completely homogeneous speech-community, who knows its language perfectly and is unaffected by such grammatically irrelevant conditions as memory limitations, distractions, shifts of attention and interest, and errors (random or characteristic) in applying his knowledge of the language in actual performance.“ (Chomsky,1965:3)

Das Konzept des idealen Sprechers-Hörers dient zur Definition dessen, was als grammatisch korrekte Satzmenge Basis der „theories of linguistic competence“ sein soll. Zum Stichwort „mentalistisch“ heißt es konsequenterweise (Chomsky, 1965:4):

„The problem for the linguist, as well as for the child learning the language, is to determine from the data of performance the underlying system of rules [...]. Hence, in the technical sense, linguistic theory is mentalistic, since it is concerned with discovering a mental reality underlying actual behavior.“

Es wird allerdings der fatale Schluss mindestens zugelassen, dass die Theorie tatsächlich eine mentale Realität wiedergibt, wobei die Art der Beziehung

zwischen linguistischer Theorie und mentaler Realität hier und während des gesamten Verlaufs der Geschichte des Generativismus unklar bleibt. Sie wird als Abstraktion verstanden und begründet mit dem ungenügenden Stand der Hirnforschung (Chomsky, 1975: 36):

„With the progress of science, we may come to know something of the physical representation of the grammar and the language faculty [...]. For the present, we can only characterize the properties of grammars and of the language faculty in abstract terms.“

Ein späteres entsprechendes Zitat aus Chomsky (1999) wird in Teil 1, „Wissenschaftstheoretische Voraussetzungen“, Abschnitt 1.1.1, wiedergegeben.

Die Idee der Satzmenge bzw. Äußerungsmenge als Basis linguistischer Forschung unter mentalistischem Anspruch ist ebenfalls noch später, z. B. in den Essays, die 2000 unter dem Titel „New horizons in the study of language and mind“ erschienen sind, lebendig. Chomsky (2000: 169):

„Suppose Peter’s FL [= faculty of language] is in state L. We may say that Peter has (speaks, understands, . . .) the language L. Here the term “language” is used in a technical sense: call L an “I-language” — “I” to suggest internal and individual, and also intensional, in that L is a specific procedure that generates infinitely many expressions of L. [...] The part of the science of human nature that concerns itself with FL, the states it assumes, and the expressions these I-languages generate, we could call “I-linguistics”.“

Die „I-language“ L wird als Prozedur zur Erzeugung unendlich vieler Ausdrücke verstanden. Es versteht sich von selbst, dass der Umgang mit sprachlichem Material in den Arbeiten zur generativistischen Sprachtheorie diesem Bild entspricht. Psycholinguistische Experimente, Elektrophysiologie und bildgebende Verfahren als zusätzliche Stütze spielen nur eine marginale Rolle, und davon abgesehen kommt das Gehirn als Gegenstand nicht vor.

Die auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse sind im Prinzip nicht falsch und die Diskussion auf dieser methodischen Basis hat ihre Berechtigung. Man kann das in Teil 1, „Wissenschaftstheoretische Voraussetzungen“, Kapitel 1.2, beschriebene strukturalistische Theorienkonzept heranziehen, um zu verstehen, welche Rolle den Satzbeispielen zukommt: Die Sätze natürlicher Sprachen sind intendierte Anwendungen, für die die Aussagen der

Theorie gelten sollen. Für die Bewertung der Theorie und deren Weiterentwicklung gilt, neben allgemeinen Forderungen wie Konstistenz, Gültigkeit der Belegungsmodelle usw., dass größtmögliche Generalisierung (zeitweise mit Einfachheit identifiziert) anzustreben ist.

Soweit sich die behandelte Realität in dieser Weise auf Satzmengen beschränkt und diesbezüglich die Gültigkeit von Aussagen behauptet wird, sind die Theorien der Generativisten *als Theorien* in Ordnung. Konflikte entstehen, wenn zusätzlich zu den Informationen in Satzmengen biologische Daten herangezogen werden.

Es ist trotzdem ein noch etwas anderer Gesichtspunkt, auch Modellgültigkeit zu verlangen. Die generative Sprachtheorie hat nicht Modellcharakter. Eine generative Grammatik will kein Sprecher- bzw. Hörermodell sein, sie soll jedenfalls neutral sein gegenüber Prozessen der Sprachproduktion und der Sprachperzeption. Entsprechende Textstellen bei Chomsky sind in Teil 1, Abschnitt 1.1.1 wiedergegeben. Sie bildet auch die Menge der Sätze einer Sprache nicht modellartig ab. Wenn einzelnen Sätzen Strukturbäume zugeordnet werden, kann auch die Menge dieser Strukturbäume nicht als Gegenstand einer Modellbildung durch die Grammatik verstanden werden. Man kann zugestehen, dass die Grammatik Aussagen über die Strukturen von Sätzen der Satzmenge macht. Das entspricht der Leistung einer Theorie, entspricht aber nicht dem, was man von einem Modell verlangt.

Damit entfallen wesentliche Kritikmöglichkeiten, die sich aus dem Modellkonzept (jedenfalls in der Version, die in Teil 1, „Wissenschaftstheoretische Voraussetzungen“ entwickelt worden ist) ergeben. Das gilt insbesondere für die Präziesierbarkeitsforderung (Teil 1, Abschnitt 1.3.3). Es ist wahrscheinlich prinzipiell(!) möglich, die Vorstellungen der generativen Sprachtheorie in ein symbolverarbeitendes Modell zu integrieren, das tatsächlich die Satzmenge einer natürlichen Sprache in Produktion und Perzeption syntaktisch gewährleistet. Dieses Modell kann aber nicht Daten und Prozesse im Gehirn modellhaft zum Gegenstand haben, da es an der Präziesierbarkeitsforderung scheitert, das heißt, dass es nicht möglich ist, die Abstraktionsebene des Modells auf die Ebene neuronaler Strukturen zu senken. Das wesentlichste Argument in diesem Sinne ist, dass im Gehirn kein Transport kodierter Daten auf dazu geeigneten Strukturen stattfinden kann. Man vgl. dazu z. B. Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitte 2.2.5 und 2.6.1. Damit ist auch keine Trennung von Daten und Prozessen oder die Speicherung statischer Kompetenzprinzipien möglich, die in wiederholbaren Prozessen auf Inputsätze zur Zuweisung syntaktischer Strukturen angewandt werden könnten, wozu diese Strukturen kurzzeitig und in mehr oder weniger vorläufiger Form auf inhaltsneutralen adressierbaren Speicherplätzen (mit der Funktion eines Arbeitsgedächtnis-

ses?) zwischengespeichert und anschließend an übergeordnete Prozesse zur Weiterverarbeitung übergeben werden müssten. Die entsprechenden, schematisch in Abbildung 5.1.1–1 skizzierten Verhältnisse sind im Gehirn nicht gegeben.

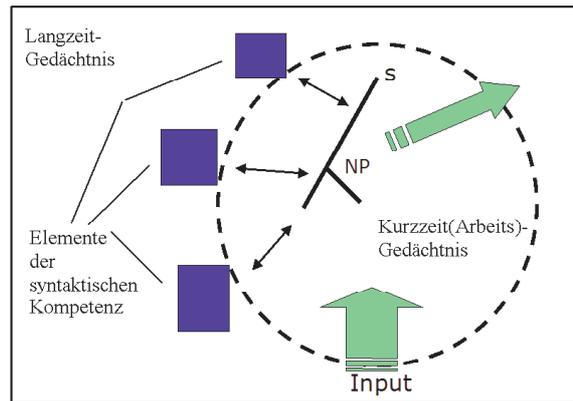


Abbildung 5.1.1–1: Schema zur Rolle des Arbeitsgedächtnisses und damit verbundener Datentransporte bei der Modellierung von Verstehensprozessen nach den Vorstellungen der generativen Sprachtheorie (unter Voraussetzung einer prozesshaften Interpretation).

Wenn man Modularität so versteht, dass durch ein Modul symbolisch kodierte Inputrepräsentationen in ebensolche weiterverarbeitbare Outputrepräsentationen übergeführt werden, ist auch das nicht möglich.

Generalisierungen, die für die Theoriebildung im generativistischen Paradigma eine große Bedeutung haben, sind kein grundsätzliches Prinzip der Repräsentation im Gehirn. Es ist im Gegenteil mit einer relativ großen Redundanz zu rechnen. Daraus ergibt sich auch, dass Vorstellungen über Ausstattung und Leistung des mentalen Lexikons, die im Generativismus auf der Forderung nach Redundanzfreiheit basieren – auch bezüglich der Voraussetzungen für die Syntax (zur Phonologie vgl. Teil 3, „Phonetik/Phonologie“) – revisionsbedürftig sind.

Angeborene Prinzipien als Basis des Spracherwerbs in der Form, wie sie von generativistischen Spracherwerbtheorien vorausgesetzt werden, scheitern an Problemen der Sprachevolution und am Problem der Zuweisung von lexikalischen Ausdrucksseiten zu den in den Prinzipien vorausgesetzten syntaktischen Kategorien.

Versuche, psycholinguistische Untersuchungen auf der Basis von Vorstellungen der generativen Sprachtheorie zur Klärung mentaler Prozesse zu strukturieren, haben unter solchen Aspekten von vornherein nur einen beschränkten Wert. Das gilt auch für Grammatiktypen und Prozesse, die im Zusammenhang mit computerlinguistischen Problemstellungen entwickelt worden sind, da hier symbolverarbeitende Prozesse, von der ursprünglichen Zielsetzung her, selbstverständlich vorausgesetzt werden.

5.1.2 Radical Construction Grammar (RCG)

Die „Construction Grammar“ ist aus dem Problem der syntaktischen Behandlung von idiomatischen Ausdrücken heraus entstanden. Eine der Varianten ist die „Radical Construction Grammar“, die auf William Croft zurückgeht und in Croft (2001) ausführlicher beschrieben und begründet wird. Sie ist – was sie in unserem Zusammenhang interessant macht – als Alternative zu anderen Grammatiktheorien gedacht, vor allem solchen, die im Paradigma der generativen Sprachtheorie angesiedelt sind und entfernt sich radikaler als andere Varianten der „Construction Grammar“ von der generativen Konkurrenz. Die allgemeine Zielvorstellung ist allerdings im Groben mit der des Generativismus identisch:

„Radical Construction Grammar is a theory of syntax, that is, a theory characterizing the grammatical structures that are assumed to be represented in the mind of a speaker.“ Croft (2001:3)

Es ist also auch bei Croft der mentalistische Anspruch manifest. Wie für den Generativismus, so gilt aber auch hier die hohe Abstraktheit der „Charakterisierung“, von einem Modell der Grammatik im Gehirn kann nicht die Rede sein. Es wird eine Theorie über sprachliche Äußerungen konstruiert, Informationen über Verarbeitungsmöglichkeiten des Gehirns spielen, von der Behauptung der Realisierbarkeit entsprechender mentaler Repräsentationen abgesehen, keine nennenswerte Rolle.

Die Grundidee der Construction Grammar, auch in der Version von Croft, ist, dass sprachliche Strukturen vollständig durch Gebilde („Constructions“) beschrieben werden können, die wie ein Saussuresches Zeichen aus Form und Bedeutung bestehen, für den syntaktischen Bereich also aus einer symbolischen Zuordnung von syntaktischer Struktur und konventioneller Bedeutung dieser Struktur.

Diese Idee ermöglicht es, ein Kontinuum an Lexikalisierung für Morphologie und Syntax anzunehmen, und damit idiomatische und nicht-idiomatische Ausdrücke gleich zu behandeln. (Man vgl. dazu das Kapitel 11, „The usage-

based model“, in Croft & Cruse (2004); für die Morphologie auch Kortikale Linguistik, Teil 4, „Lexikon“, Kapitel 4.5.3).

Der Sprachbesitz eines Sprechers besteht in taxonomischen Hierarchien von solchen Constructions. Eine stark vereinfachte Hierarchie (analog dem bei Croft, 2001:26 gegebenen Beispiel) gibt die Abbildung 5.1.2–1 wieder.

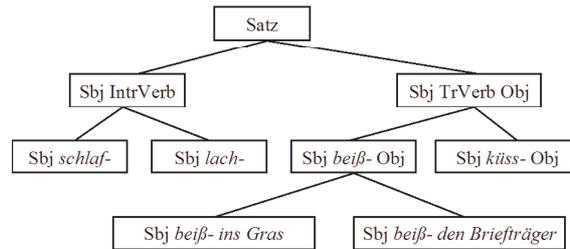


Abbildung 5.1.2–1: Vereinfachte taxonomische Hierarchie von Constructions.

Die Constructions sind hier nur durch ihre syntaktische Struktur zitiert. Die syntaktischen Kategorien gelten weder als atomar noch als universell, sondern sind nur innerhalb einer Sprache und innerhalb der Constructions, in denen sie vorkommen, definiert. Mit mehr Details versehen hat eine Construction bei Croft die allgemeine Form der Abbildung 5.1.2–2:

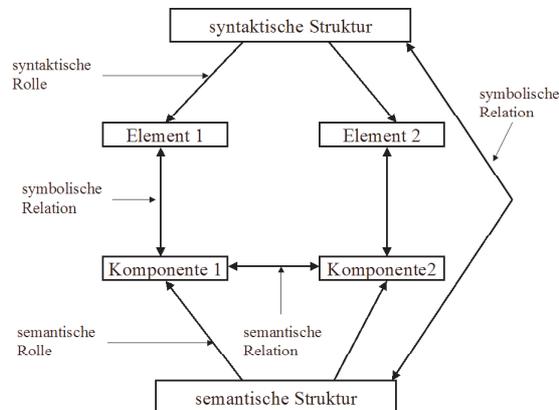


Abbildung 5.1.2–2: Interne Struktur einer Construction. Angepasst nach Croft (2001: 204).

Ein Verstehensprozess auf der Basis einer solchen Construction besteht aus vier Schritten, die nicht notwendig sequenziell sein sollen (was immer das heißen mag), aber doch eine gewisse Abhängigkeit voneinander haben, die eine auch innerhalb der Theorie ernst zu nehmende Reihenfolge etabliert.

„In step 1, the hearer recognizes the utterance as an instance of a particular construction. That is, the hearer is able to identify the box labeled ‘syntactic structure’ in Figure 6.1 [entspricht Abbildung 5.1.2–2] as the syntactic structure of a particular construction. In step 2, the hearer accesses the semantic structure of that construction in his or her memory via the symbolic relation between the syntactic structure as a whole and the semantic structure as a whole. By this step, the hearer also accesses the semantic components and semantic relations between components. In Step 3, the hearer identifies the elements of the syntactic construction via the syntactic roles of the construction. Finally, in Step 4, the hearer utilizes the symbolic relations to identify the appropriate semantic component corresponding to each syntactic element.“ (Croft, 2001:205)

Der Schritt 1 ist insofern besonders kritisch, als er offenbar nicht voraussetzen soll, dass die syntaktischen Elemente, die Rollenpositionen in der syntaktischen Struktur belegen, *vor* der Zuordnung der Äußerung zu einer bestimmten Construction analysiert werden sollen. Was man sich unter der syntaktischen Struktur vorzustellen hat, wird am Beispiel einer Construction deutlich, die sich auf eine Äußerung bezieht, in der ein Verb zusammen mit drei Elementen in einer festen Reihenfolge steht.

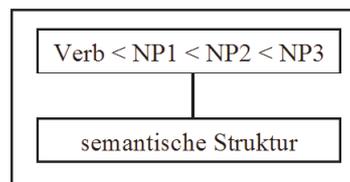


Abbildung 5.1.2–3: Beispiel einer syntaktischen Struktur, verändert nach Croft (2001: 222).

Wenn eine Äußerung als eine Instanz dieser Construction erkannt werden soll, ist das strenggenommen in exakter Form nur möglich, wenn die taxonomische Hierarchie der Constructions, wie sie in der RCG ja tatsächlich

vorausgesetzt wird, von unten nach oben abgearbeitet worden ist. Im Falle einer festen Redewendung kann dann tatsächlich in einem zweiten Schritt die Bedeutung abgeleitet werden, das gilt aber nicht für „normale“ Äußerungen.

Croft sieht offenbar dieses Problem und versucht, die für die Grundidee der RCG nicht gut akzeptierbare Folgerung durch eine besondere Konstruktion zu vermeiden:

„[...] This task presupposes that the hearer can identify the construction in the first place — Step 1 — and as a consequence access the semantic structure of the construction — Step 2. But there are clues in the structure of constructions that aid the hearer in this task as well.

For example, the English Passive construction has two unique parts — the Auxiliary verb *be* and the Past Participle Verb form — which jointly specify that this construction is a Passive (and not a Progressive or a Perfect); the Agent Phrase provides a third unique part, the Preposition *by*. These cues taken as a whole provide a structural Gestalt which aids the hearer in identifying the Passive construction as a whole — Step 1 in comprehension.“

Insgesamt sind die Annahmen der RCG über Strukturen und vor allem Prozesse zu vage, um als Grundlage für eine tatsächliche Klärung kognitiver Voraussetzungen (unter Modellperspektive) dienen zu können. Es werden auch Annahmen gemacht, die den Möglichkeiten des Gehirns nicht entsprechen. Beispiele:

- Es wird angenommen, dass Beziehungen in den repräsentationellen Strukturen nicht identisch sind mit Verarbeitungsbahnen, es also eine Trennung gibt von Speicherung und Verarbeitung, das heißt Prozesse (siehe das Stichwort „steps“), die auf Datenstrukturen operieren (siehe oben zur Charakteristik des Generativismus).
- Die Annahme gestalthafter Cues setzt eine Möglichkeit der Zwischenspeicherung von Verarbeitungsprodukten voraus (also wieder eine Art Arbeitsspeicher). Dasselbe gilt für die Gewährleistung realistischer Zeitverläufe beim Verstehensprozess.
- Die durch Pfeile in den Schemata ausgedrückten Beziehungen sind nicht gleichartig, teilweise auch bidirektional. Die Interpretation als neuronale Verbindungen verbietet sich; wenn man an Zeiger denkt, bleibt offen, wie dergleichen realisiert sein soll.

Wenn man einen kurzen Blick auf andere Varianten der Construction Grammar wirft, stellt man fest, dass Strukturen verwendet werden, die deutlich an der computerbezogenen Künstlichen Intelligenz orientiert sind und von vornherein nicht auf das Gehirn passen. Ein Beispiel dafür ist die Embodied Construction Grammar, wie sie in Bergen & Chang (2005) beschrieben wird.

Man kann also zusammenfassend konstatieren, dass die Construction Grammar in ähnlicher Weise wie die generative Sprachtheorie (wenn auch mit anderen formalen Konzepten) letztlich Charakterisierungen von Satzmengen liefert und scheitert, wenn man die Ansprüche höher schraubt. Es handelt sich um eine (nicht allzu starke) *Theorie*, nicht ein *Modell* neuronaler Prozesse.

5.1.3 Neuronale Modellierung

Während die generative Sprachtheorie und die Construction Grammar als Theorien, nicht als Modelle zu betrachten sind, gilt der Modell-Anspruch ausdrücklich für verschiedene als „neuronal“ charakterisierte Versuche zur Erklärung der syntaktischen Kompetenz.

Konnektionismus

Grundannahmen zur „neuronalen“ Natur von verteilten und lokalistischen Modellen im Rahmen des Standardkonnektionismus (im Unterschied zu den unten noch zu besprechenden, eher biologisch orientierten Modellen, die auf der Idee von Zellasemblies beruhen), sind in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.2.3 diskutiert. Dort wird gezeigt, dass die konnektionistischen Netze zwar aus vernetzten Elementen mit sehr beschränkter Verarbeitungskapazität bestehen, aber schon die Elemente selbst, von den Architekturen insgesamt abgesehen, unbiologische Eigenschaften haben.

Die Versuche zur syntaktischen Verarbeitung im Rahmen *verteilter* (oder als solche bewerteter) konnektionistischer Modelle zeigen wenig beeindruckende Leistungen:

- Lernvorgänge im morphologischen Bereich (vgl. Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Kapitel 4.1.3)
- Zuweisung von Kasusrollen (McClelland & Kawamoto, 1986) durch ein zweischichtiges Modell, dessen Schichten aus relativ kompliziert definierten „Mikrofeature“-Repräsentationen bestehen. Die Inputschicht repräsentiert jeweils eine „normalisierte“ syntaktische Oberfläche, die

Outputschicht repräsentiert die zugehörige Kasusstruktur. Das Modell wird durch Paare von Input und Outputstrukturen trainiert und liefert auch bei unvollständigem Input brauchbare Ergebnisse.

- Generierung und Erkennung syntaktischer Wortfolgen (Elman, 1990) durch ein rekurrentes Netz, also ein Netz, das in einem Erkennungsprozess mit jeweils einem Sequenzelement (z. B. der verteilten Repräsentation eines Worts) als Input, das folgende Element erwartet. Rekurrente Modelle sind dreischichtig und meist mit einer vierten Schicht (Kontextschicht) ausgestattet, die eine Kopie des vorangegangenen Berechnungsergebnisses für die Bearbeitung des folgenden Sequenzelements bereitstellt. Zum Training wird der Back-Propagation-Algorithmus verwendet.
- Repräsentation von Strukturbäumen (RAAM; Pollack, 1990), was als Vorarbeit für eine komplexere Lösung des Problems der syntaktischen Verarbeitung gesehen werden kann.

Der Erfolg besteht eher darin, dass gezeigt wird, dass bestimmte syntaktische Prozesse und Phänomene auch ohne syntaktische Regeln zustande kommen können.

Lokalistische Modelle sind zwar im Unterschied zu den verteilten dadurch charakterisiert, dass man Einzelleistungen mit Netzpositionen in Zusammenhang bringen kann, es werden aber ebenfalls nicht Regeln im eigentlichen Sinne verwendet, das heißt, es handelt sich nicht um Regeln die auf unabhängig repräsentierte Daten anzuwenden wären. Es ist leichter, Strukturbäume zu repräsentieren, größere Schwierigkeiten haben in der Vergangenheit zeitliche Abfolgen gemacht.

Ein älteres, aber in einigen Punkten beispielhaftes Modell ist das von Waltz & Pollack (1985). Es wird ein Netz verwendet, das nach dem Prinzip der „Spreading Activation“ arbeitet: Erregte Zellen geben Erregung an Zellen weiter, mit denen sie verbunden sind. Alle Verbindungen sind bidirektional. Zellen, die unterschiedlichen Alternativen angehören, hemmen sich gegenseitig. Die Architektur und der Zustand des Netzes nach 50 Arbeitszyklen aufgrund des Inputs *John shot some bucks* im Kontext *HUNT* ist in der folgenden Abbildung 5.1.3–1 wiedergegeben.

Kontextebene und lexikalische Ebene mit semantischen Mikrofeatures dienen der Entscheidung darüber, welche Wortart bei einem mehrdeutigen Input vorliegt. Diese Information hat dann über Verbindungen in eine baumförmig erscheinende Syntax den Effekt, dass Einheiten, die zusammen einen syntaktischen Strukturbaum bilden, entsprechend erregt werden. Die baum-

förmige Struktur enthält Alternativen, es ist also nicht so, dass aus einer Menge jeweils separat repräsentierter Strukturbäume ein passender ausgewählt wird.

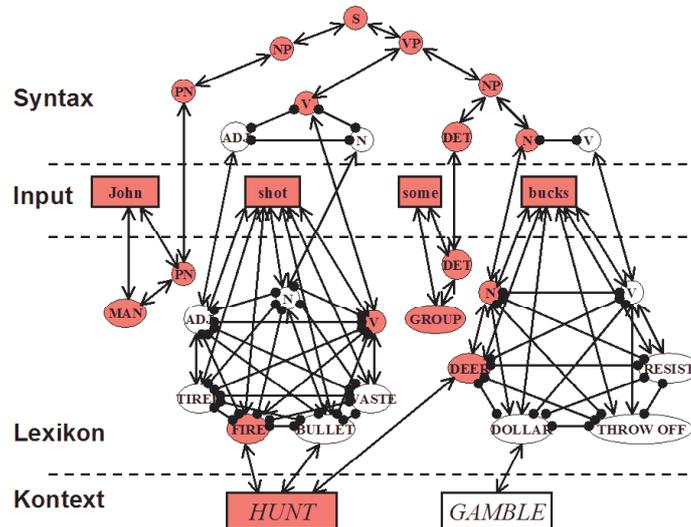


Abbildung 5.1.3-1: Lokalistisches neuronales Modell der Syntax nach Waltz & Pollack (1985: 58).

Die Verarbeitung geschieht insgesamt durch einen Wettbewerbsprozess, der natürlich eine bestimmte Dauer haben muss.

Die Reihenfolge der Inputelemente hat zwar Einfluss auf den Analyseverlauf, wird aber nicht eigentlich bearbeitet. Die Leistung des Modells besteht hauptsächlich in der Disambiguierung auf lexikalischer Ebene. Natürlich wird vorausgesetzt, dass Spreading-Activation ein im Gehirn mögliches und weitverbreitetes Verarbeitungsprinzip ist, was nach Überlegungen, die in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, wiedergegeben sind, nicht der Fall sein kann. Die biologischen Voraussetzungen werden nicht genau genug beachtet.

Lokalistische Modelle sind vor allem auch zur syntaktischen Produktion vorgeschlagen worden, und sie sind detaillierter als die verteilten Versuche. Aber man muss wieder feststellen, dass die Verrechnungseinheiten zwar biologischen Neuronen vage nachempfunden sind, aber sich nicht in der eigentlich erforderlichen Detailliertheit an der biologischen Realität orientieren. Dell (1986) schlägt in einer vielbeachteten Arbeit ein Modell vor, das als Spreading-Activation-Modell charakterisiert wird. Da nicht alle angenommenen Vorgänge neuronal ausbuchstabiert werden können, ist das Modell

eher als hybrid einzustufen und soll hier nicht weiter behandelt werden. Hybrid ist auch das Modell von Roelofs (1992,1997,1997a), das sich vor allem mit lexikalischen Phänomenen beschäftigt. Bei Schade (1992, 1999) wird die Spreading-Activation-Idee in Richtung auf standard-konnektionistische Vorstellungen modifiziert, Schwerpunkt ist auch hier das Lexikon, die Syntax wird nur andeutend behandelt. Außerdem gilt, wie bei anderen Autoren auch, dass die Frage möglicher Lernvorgänge zum Aufbau der postulierten Strukturen unbeachtet bleibt.

Zellensembles (Friedemann Pulvermüller)

Friedemann Pulvermüller (2002) konstruiert ein Syntax-Modell auf der Ebene von Prinzipien, die bestimmte, allerdings hypothetisch bleibende und nicht zusätzlich gestützte Eigenschaften von Zellensembles voraussetzen.

Die Zielformulierung erinnert an entsprechende immunisierende Formulierungen im Paradigma des (Standard-)Konnektionismus.

„Recall that it is the primary purpose of the present considerations to demonstrate syntactic competence in neuronal networks that may be housed in the brain. (The fact that they could be organized slightly differently is irrelevant for this purpose.)“
(Pulvermüller, 2002: 200)

Wenn man die jeweiligen Elementareinheiten, also die konnektionistischen Units mit den Zellensembles bei Pulvermüller vergleicht, wird allerdings deutlich, dass die Zellensembles wesentlich komplexer gedacht sind, als die konnektionistischen Gegenstücke.

Es sind bei Zellensembles vier Typen von Aktivationszuständen zu unterscheiden: Ruhezustand („rest“, 0), Zündung („ignition“, I), Nachschwingen („reverberation“, R), und Voraktivierung („priming“ P).

Wenn keine Erregung erfolgt, wird der Ruhezustand beibehalten. Zündung und Voraktivierung sind Zustände, die kurzfristig anhalten. Auf die Zündung folgt eine Refraktärphase, in dieser Zeit kann keine neue Zündung erfolgen. Die Zündung hat aber zur Folge, dass der Zustand der Reverberation eintritt. (Man beachte, dass es nicht um Zelleigenschaften, sondern um Eigenschaften von Zellensembles geht.) Auf den kurzfristigen Priming-Zustand folgt unmittelbar der Ruhezustand.

Zusätzlich wird beim Auslösen der Zündung unterschieden zwischen einer Zündung, die einen Voraktivierungszustand voraussetzt („primed ignition“, I) und einer Zündung, die ohne diese Voraussetzung stattfindet („full ignition“, I^{\wedge}). Dieser Unterschied ist deshalb wichtig, weil nur die volle Zündung

dazu führt, dass global alle nachschwingenden Assemblies zurückgesetzt werden (Funktion des „threshold control mechanism“). Ohne diesen Rücksetzungsvorgang kann das Nachschwingen mehr als 10 Sekunden andauern, klingt aber mit der Zeit passiv ab, wenn keine weitere Erregung erfolgt.

Für die Bewältigung von Mehrdeutigkeiten wird ein Winner-take-all-Prozess angenommen, der hemmende Verbindungen voraussetzt. Auch mit einer Summation von Aktivität aus zwei Quellen in einer dritten Assembly wird gerechnet.

Ergänzend wird zur Lösung von Problemen, die bei der Bewältigung des Unterschieds zwischen Komplementen und Adjunkten, bei der Bearbeitung von Wortformen, die mehrfach in einer Kette auftreten und bei Zentral-einbettung entstehen, angenommen, dass „neuronal sets“ Einheiten sind, „that can exhibit several simultaneous states of reverberation, priming, and ignition at any point in time.“

Nicht alle Zellenassemblies sind im Hinblick auf die genannten Eigenschaften gleichartig. Es werden begriffliche Unterscheidungen eingeführt, die dem Rechnung tragen, hier verkürzt wiedergegeben nach der tabellarischen Darstellung bei Pulvermüller (2002: 171):

Term	Meaning
Neuronal ensemble	Selection of neurons that
Neuronal assembly	Are strongly connected to each other
Cell assembly	Act as a functional unit, ignite
Functional web	Selection of neurons that
	Are strongly connected to each other
	Act as a functional unit, ignite
	Maintain activity, reverberate
Neuronal set	Selection of neurons that
	Are strongly connected to each other
	Act as a functional unit, ignite
	Maintain activity, reverberate
	Can be primed
Sequence set	Selection of neurons that
Sequence detector	Are strongly connected to each other
Sequence web	Act as a functional unit, ignite
	Maintain activity, reverberate
	Can be primed
	Respond specifically to sequences

Auf der Basis solcher Annahmen wird eine neuronale Dependenzgrammatik konstruiert. Das Dependenzprinzip mit abgekoppelter Auswertung von Reihenfolgeregelungen ermöglicht eine bessere Bewältigung von diskontinuierlichen Konstituenten.

Vielleicht überraschenderweise (und von den verteilten Modellen des Konnektionismus abweichend) wird eine Äquivalenz von Regelformulierung (Notation von „Formeln“) und Netzwerkrealisation gesehen. Das ist prinzipiell korrekt, man darf sich aber nicht vorstellen, dass damit ein mit der Regelfunktion z. B. im Generativismus vergleichbarer Verarbeitungsablauf impliziert ist. Es gilt nicht die Struktur der Abbildung 5.1.1–1 mit Trennung von Verarbeitungsprinzipien und Datenbereich (Arbeitsgedächtnis). Die Formeln beschreiben Netzwerke, es gibt keine Trennung von Daten und darauf operierenden, durch Regeln spezifizierten Prozessen.

Die Formeln einer von Pulvermüller konstruierten Grammatik für den Satz *Betty gets up* lauten:

- | | | | |
|-----|----------------|-------------------|--------------------|
| (1) | Betty | \leftrightarrow | N |
| (2) | gets | \leftrightarrow | V |
| (3) | up | \leftrightarrow | V _p |
| (4) | N | | (/* / f) |
| (5) | V | | (p /* / f) |
| (6) | V _p | | (p /* /) |
| (7) | N(f) | \longrightarrow | V(p) |
| (8) | V(f) | \longrightarrow | V _p (p) |

Die Formeln (1) bis (3) werden als „assignment formulas“ bezeichnet, (4) bis (6) sind Valenzformeln, der Stern bezeichnet die Position des links stehenden regierenden Elements, p steht für ein zurückliegendes (past) Element, f für ein nachfolgendes (future) Element. Die allgemeine Form dieser Formeln ist

$$a(p_1, p_2, \dots, p_m /* / f_1, f_2, \dots, f_n),$$

wobei die Reihenfolge innerhalb der p- und f-Elemente nicht als festgelegt gilt. Die Formeln (7) und (8) stehen für Sequenzverbindungen: der Pfeil bedeutet „ist (asymmetrisch) verbunden mit“, X(f) steht für die Position f der Kategorie X, X(p) entsprechend für die Position p.

Diesen Formeln entspricht die schwarz ausgezeichnete Netzstruktur der Abbildung 5.1.3–1. Bemerkenswert ist, dass keine Eins-zu-eins-Zuordnung von Formeln und Netzbestandteilen besteht. Die Zuordnung von Wörtern zu Wortarten z. B., die auch durch eigene Zellassemblies hätte geleistet werden können, wird nicht separat repräsentiert. Die Word-Webs sind direkt mit den entsprechenden Bestandteilen der Valenzformeln verknüpft, was bei

mehreren Wörtern gleicher Wortart zu den in der Abbildung beispielhaft rot eingetragenen Ergänzungen führen würde.

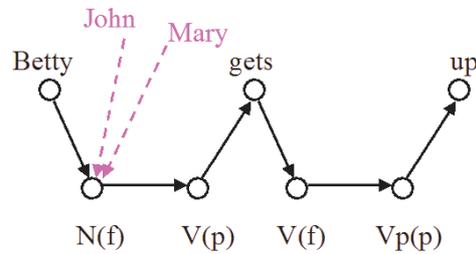


Abbildung 5.1.3–2: Elementares Grammatik-Netz für den Satz *Betty gets up*. Rot gestrichelt sind Verbindungen für zwei zusätzliche Eigennamen eingetragen. Weitere Erläuterungen im Text.

Die Funktionen bei der Verarbeitung des Sätzchens *Betty gets up* können nach den Angaben Pulvermüllers (2002;218), aber dargestellt mit etwas direkterem Bezug auf die Abbildung des Netzes in Abbildung 5.1.3–2, tabellarisch wie folgt angegeben werden:

Zeit- schritt	Input	Betty	N(f)	V(p)	gets	V(f)	Vp(p)	up
0		0	0	0	0	0	0	0
1	Betty	I	0	0	0	0	0	0
2		R	P	0	0	0	0	0
3		R	P	P	0	0	0	0
4		R	P	P	P	0	0	0
5	gets	R	P	P	I	0	0	0
6		R	P	I	R	P	0	0
7		R	I	R	R	P	P	0
8		I	R	R	R	P	P	P
9		R	R	R	R	P	P	P
10	up	R	R	R	R	P	P	I
11		R	R	R	R	P	I	R
12		R	R	R	R	I	R	R
13		R	R	R	I	R	R	R
14		R	R	I	R	R	R	R
15		R	I	R	R	R	R	R
16		I	R	R	R	R	R	R
17		R	R	R	R	R	R	R
18	DEACTIVATE	0	0	0	0	0	0	0

Diese hier bewußt vollständig wiedergegebene Tabelle zeigt einige wesentliche prozessuale Eigenschaften des Vorgangs. Die Buchstaben symbolisieren die verschiedenen oben schon angesprochenen Zustände: I = Ignition, I[^] = Full Ignition, R = Reverberation, P = Priming, 0 = Ruhezustand. Die speziell für den Bereich der Syntax gültigen Eigenschaften und Verhaltensweisen für Zellensembles, die einen einfachen Zugang zur Interpretation ermöglichen, werden in Kurzfassung von Pulvermüller so formuliert (Pulvermüller, 2002: 219; Nummerierung hinzugefügt):

- (1) Words in the input activate word webs (ignition I if primed; full ignition I[^] if not).
- (2) After its ignition, a set reverberates.
- (3) Ignitions spread to adjacent sets that are already strongly primed.
- (4) Reverberating word webs prime their future sets, which in turn prime their adjacent sequence set and word web.
- (5) Full ignition of a set reduces the activity state of all other sets that are in the state of reverberation or priming.

Damit ergibt sich für die einzelnen Zeitschritte:

Schritt 1, ausgehend vom Ruhezustand aller Assemblies, entspricht Punkt 1: Full Ignition des Word Webs.

Schritt 2 entspricht den Punkten 2 und 4.

Schritt 3 und 4 entsprechen Punkt 4.

Schritt 5 entspricht Punkt 1: Primed Ignition.

Schritte 6 bis 8 entsprechen den Punkten 2, 3 und 4.

Schritt 9 entspricht den Punkten 2 und 4.

Schritt 10 entspricht Punkt 1: Primed Ignition.

Usw.

Wichtig ist es, zu beachten, dass die Zeitschritte von beliebig variabler Dauer sein können und auch der Zustand der Reverberation beliebig lang andauern kann:

„The time steps where input is given to the grammar network are chosen arbitrarily, and to avoid cross-talk of activity that depends on exact timing. The sentences should be accepted regardless of whether they are spoken quickly or slowly, with or without pauses between words, and regardless of whether additional constituents are being inserted between any two of the words. Therefore, the crucial dynamics in the network should

not depend on exact delays between word inputs. As a rule, several time steps in which activity is allowed to spread through the network lie between any two subsequent inputs. The circuits are always allowed enough time to settle into one of their stable states before a new input is computed.“ (Pulvermüller, 2002: 218 f.)

Das gegebene Sätzchen wird als korrekt akzeptiert, da es drei Kriterien entspricht, die als „satisfaction“, „visability“ und „synchrony“ bezeichnet werden: Alle Eingabeelemente des Satzes sind bearbeitet (satisfaction). Die zuständigen Eingabeeinheiten und damit verbundenen Sequenzelemente der Grammatik sind benutzt worden und sind am Ende im Zustand des Nachschwingens (visability). Alle Einheiten, die im Laufe des Prozesses im Zustand der Ignition waren, also gefeuert haben, bilden am Ende eine durch das Feuern ausgezeichnete kontinuierliche Kette (synchrony). Die Erfüllung der Kriterien löst die Deaktivierung aus (Schritt 18).

Der generell erforderliche Threshold-Control-Mechanismus, dessen Aufgabe es allgemein ist, den Erregungspegel von Assemblies zu normalisieren, spielt in diesem Beispiel keine explizite Rolle. Er sollte bei Full Ignition, unter der Annahme, dass er auf rasche Aktivitätsänderungen reagiert (siehe Pulvermüller, 2002: 79), alle Nachschwingzustände reduzieren. Da alle Assemblies hier zu Beginn im Ruhezustand sind, bleibt das wirkungslos. Für komplexere Sätze, für die angenommen wird, dass Zellensembles gleichzeitig mehrere Erregungszustände einnehmen können, verkompliziert sich auch die erforderliche Leistung des ohnehin ungeklärten Mechanismus zusätzlich.

Die von Pulvermüller (2002: 249) gegebene Liste von syntaktischen Phänomenen, die seine neuronale Syntax zu bewältigen versucht, ist beeindruckend:

- Lexical category and subcategory
- Valence
- Dependency between adjacent constituents
- Long-distance dependency
- Distributed word and discontinuous constituent
- Subject-verb agreement
- Adjunct relation

- Multiple word use in a sentence
- Resolution of lexical ambiguity
- Subordination
- Multiple center embedding

Was, ebenfalls in seinen eigenen Formulierungen, offen ist, ist allerdings auch bemerkenswert (Pulvermüller, 2002: 247 ff):

„The important question of how a neuronal grammar can be learned is addressed only in passing. [...] Closely connected to this issue is the question of how syntactic category representations could develop and how their mutual inhibition is established. [...] Another open question addresses the mechanisms on which the criteria for string acceptance are based. What kind of neuronal device could check whether the three criteria postulated are all met?“

Dazu kommt das Problem der Schnittstelle zur Semantik, zu dem einige skizzenhafte Hinweise gegeben werden (Pulvermüller, 2002: 248), die ungeklärten Probleme der lexikalischen Verarbeitung und das gesamte Gebiet der syntaktischen Produktion, das nicht behandelt ist.

Die genannten Lücken können dann als solche für zukünftige Arbeit akzeptiert werden, wenn man die Möglichkeit der Lösung einiger Grundprobleme der Zellassembly-Theorie akzeptiert (man vgl. dazu auch die Argumentation in Teil 2, „Grundlagen“ Abschnitte 2.2.4 und 2.2.5). Dazu gehören:

- Die Gewährleistung mehrerer verschiedener Aktivierungszustände (und ihrer spezifischen Folgewirkungen) durch biologisch realistische Neuronen, auch Bewältigung der damit verbundenen Zeitprobleme (vor allem den Auf- und Abbau der Zustände betreffend).
- Die Bewältigung des Abgrenzungsproblems und des Problems der Kommunikation von Zellassemblies untereinander, das heißt auch des grundsätzlichen Lernproblems.
- Die Möglichkeit einer neuronalen Lösung für den Threshold-Control-Mechanismus, der eine Überhitzung des Gesamtsystems und einzelner Teile aufgabenspezifisch(!) verhindert.
- Die Lösung des Problems der Auswertung von Verarbeitungsergebnissen oder auch nur von Konsequenzen vorangegangener Arbeitsschritte generell.

5.1.4 Konsequenzen

Die Diskussionen der vorangegangenen Abschnitte legen die Folgerung nahe, dass es problematisch ist, wenn die Abstraktionsebene bei Theorien und Modellen zu hoch angesetzt ist, weil man dadurch in Gefahr gerät, komplizierte Dachkonstruktionen für Gebäude zu errichten, für die die Fundamente fehlen. Das gilt auch für die angesprochenen Versuche der neuronalen Modellierung.

Es kann auch nicht darum gehen, zu zeigen, was prinzipiell, wenn man geeignete Annahmen macht, im syntaktischen Bereich möglich ist, sondern darum, was für die syntaktische Kompetenz im Gehirn eines Sprechers und Hörers tatsächlich gilt. Es ist sinnlos, zu zeigen, dass Syntax in neuronalen Strukturen tatsächlich stattfindet, denn jeder kompetente Sprecher ist ein Beleg dafür, es sei denn, man leugnet, dass Sätze natürlicher Sprachen überhaupt syntaktische Gebilde sind oder dass die Verarbeitung überhaupt neuronal ist.

Die Ausklammerung des prozeduralen Aspekts unter dem generativistischen Motto „es geht um Kompetenz, nicht Performanz“ ist, da Daten einerseits und Prozesse andererseits im Gehirn nicht verschiedenen Strukturen zuzuordnen sind, keine gute Strategie. Das bedeutet auch, dass die Phänomene, die bei tatsächlich gesprochener Sprache auftreten („Störungen“, Reparaturen), von vornherein mit zu beachten sind. Es ist auch nicht sinnvoll, den Sprecher bzw. Hörer als idealisiert (und also mit unbiologischen Fähigkeiten ausgestattet) zu modellieren. Gerade die Modellbildung hält Möglichkeiten bereit, die es erlauben, diesen Schritt zu vermeiden.

Es gibt eine Reihe von Detailproblemen, die in der Vergangenheit diskutiert worden sind, und die weiterer Klärung bedürfen. Obwohl das generativistische Grundprinzip der größtmöglichen Generalisierung angesichts der im Gehirn herrschenden Redundanz, der betroffenen Lernvorgänge und der Anforderungen der zeitlichen Parallelverarbeitung nicht buchstäblich haltbar ist, ist es doch gerade im Bereich der Syntax wichtig, sich klar zu machen, wie weit generalisierende Strategien bei der Entwicklung von Modellen der Sprachverarbeitung tragen. Es gibt hier einen Zusammenhang mit der Vorstellung der Construction Grammar von einem Kontinuum mehr oder weniger großer Lexikalisierung und ebenso mit der Frage nach der Möglichkeit syntaktischer Hierarchien (Rekursivität, Zentraleinbettung, Einbettungstiefe usw.).

Ein durch die Arbeiten von Friedemann Pulvermüller und anderen wieder sichtbar werdendes älteres Problem ist das Verhältnis von Dependenz und

Konstituenz, also die Frage, welches der beiden Prinzipien die Basis der Syntax abgibt und welches als dieser Basis aufgeprägt zu modellieren ist.

Schließlich entsteht ein sehr grundsätzliches und schwieriges Problem bei der Frage, welche Funktion die Ergebnisse einer syntaktischen Analyse im Verstehensprozess haben und wie ihre Weiterverarbeitung aussieht.

5.2 Grundlegende neuronale Strukturen der Syntax

5.2.1 Einleitende Bemerkungen

Syntax als unterscheidbare Strukturebene

Die Syntax bildet eine eigene Strukturebene innerhalb der sprachlichen Kompetenz (was nicht heißen soll, dass sie ein unabhängig beschreibbares Modul darstellt). Sie enthält Strukturen, die nicht als semantisch oder, allgemeiner, inhaltlich zu betrachten sind, obwohl sie solche Konsequenzen haben können.

Es ist durchaus möglich, sich ein Kommunikationsinstrument zu denken, in dem es nur Wörter gibt (die nicht aus mehreren Morphemen bestehen) und Wörter beliebig, oder jedenfalls mit der Freiheit von Sätzen in Texten, aneinandergereiht werden können. Ein Beispiel dafür ist die Sprache der Kinder in der Einwortphase. Wenn man nicht von Einwortsätzen sprechen möchte, gibt es hier nur Texte. Es ist nicht gesagt, dass es Inhalte gibt, die damit nicht ausdrückbar wären.

Für eine Sprache, in der man Sätze unterscheidet, gibt es dagegen zusätzliche Strukturanforderungen, die z. B. daran zu erkennen sind, dass sie, unabhängig von inhaltlichen Kriterien, festlegen, wann ein Satz als vollständig anzusehen ist. (Man wird wohl nicht behaupten wollen, dass es dergleichen auch für Texte gibt, abgesehen von Konventionen, die spezielle Textsorten betreffen.) Man beachte, dass es dabei nicht darum geht, von einem deutschen Satz in alter Schulmeistermanier Subjekt und Prädikat zu verlangen. Ausgehend von dem vollständigen Satz

Fachkundiges Personal beantwortet den Kunden alle einschlägigen Fragen.

(aus einem Reklametext) ist *beantwortet den alle* kein vollständiger Satz. Ein einzelnes Wort ist dagegen oft (z. B. bei Antworten auf Fragen, aber auch in vielen anderen Situationen) als kompletter Satz (das heißt im Sinne von Bloomfield, 1933:170, als „independent linguistic form, not included by virtue of any grammatical construction in any larger linguistic form“) akzeptierbar. Die Tatsache, dass unvollständige Sätze im Verstehensprozess durch „Reparaturen“ ergänzt werden können, ist davon unabhängig. Syntaktische Vollständigkeit heißt auch nicht inhaltliche Vollständigkeit.

Ein anderes interessantes Phänomen, das auf die Existenz einer syntaktischen Ebene hindeutet, ist die Verarbeitung von sog. „Holzwegsätzen“ (garden path sentences). Ein Beispiel:

Fachkundiges Personal erwartet der Kunde.

verglichen mit nicht betroffenen Sätzen wie

Fachkundiges Personal erwartet die Kunden.

Ein aus dem Zusammenhang gerissener Satz wird im Deutschen mit der Hypothese „Nominativ vorne“ analysiert. Bei Abweichungen muss diese Hypothese entsprechend revidiert werden. Allein durch den Hinweis auf das lexikalische Material kann die Schwierigkeit solcher Sätze (die in diesem Beispiel allerdings nicht besonders auffällig ist) nicht verstanden werden, und es handelt sich nicht um ein inhaltliches Problem.

Konstituenten

Sätze nutzen in besonderer Weise den zeitlich-linearen Charakter akustischer Signale, natürlich ohne dass damit eine zeitliche Folge auf inhaltlicher Ebene impliziert wäre. Sie bestehen nicht aus einer beliebig, bzw. nur inhaltlich motiviert gereihten Ansammlung von Wörtern, sondern aus einer mehr oder weniger festgelegten Abfolge von Funktionseinheiten, die üblicherweise als Konstituenten des Satzes bezeichnet werden. In dem oben gegebenen Satz ist *alle einschlägigen Fragen* eine solche Funktionseinheit. Sie dient dem Bezug auf einen (abstrakten) Gegenstand. Ähnliche referierende Funktionen haben *fachkundiges Personal* und *den Kunden*. Die Zuordnung solcher Funktionen muss eine wesentliche Leistung der Syntax im Prozess des Sprachverstehens sein.

Der Fortschritt der syntaktischen Analyse im Gehirn eines kompetenten Sprechers muss rasch sein und synchron zum zeitlichen Verlauf der wahrgenommenen Äußerung gedacht werden. Die Analyse wartet nicht das Ende

einer Äußerung ab. Vom Zeitbedarf abgesehen bedeutet „synchron“ auch, dass jedes Inputelement in der Größenordnung einzelner Sprachlaute sofort analysiert wird, und weder ein Abwarten in nennenswertem Rahmen noch dazu gehörende Sprünge anzunehmen sind. Das Entstehen des Holzweg-Phänomens ist ein Beleg dafür. Das ist auch eines der Argumente, die gegen die dependenzielle Strukturierung als den Ablauf bestimmende Basis der syntaktischen Analyse sprechen.

Ganz offenbar gilt auch, dass die Funktionseinheiten (Konstituenten) eines Satzes bei entsprechender Länge in Untereinheiten zerfallen, so die Einheit *alle einschlägigen Fragen* in *alle* und *einschlägigen Fragen*, und schließlich *einschlägigen Fragen* in *einschlägigen* und *Fragen*. Es mag hier offen bleiben, ob *beantwortet den Kunden alle einschlägigen Fragen* ebenfalls eine solche Funktionseinheit ist. Die Verwendung von Konstituentenhierarchien ist für die Syntax charakteristisch.

Soweit die Vollständigkeit eines Satzes die Abfolge bestimmter Konstituenten voraussetzt, muss diese Abfolge durch Erwartungen gewährleistet werden, die von den jeweils vorangehenden Konstituenten ausgehen und auf mögliche folgende Konstituenten gerichtet sind. Das entspricht ganz allgemein der Regelung von Abfolgebeziehungen in neuronalen Strukturen, die auch in anderen Zusammenhängen, einschließlich inhaltlich-sachlicher Bereiche, gelten. Man kann zum Vergleich das Beispiel des Restaurantbesuchs in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.4.7, heranziehen, wo auch eine bestimmte Sequenz von Handlungseinheiten, verknüpft durch Erwartungen, eine Einheit darstellt. Ein anderer Vergleichspunkt sind lexikalische Einheiten, die aus Abfolgen von Phonemen bestehen. Eine Besonderheit bei syntaktischen Konstituenten, die bei den angeführten Vergleichsbeispielen nicht so deutlich wird, ist, dass die Erwartung des Nachfolgers erst nach der korrekten Beendigung der aktuellen Konstituente aktiviert werden darf. Bei Lauten in lexikalischen Einheiten ist das auf neuronaler Ebene nicht in demselben Maß relevant. Laute, mit der Ausnahme von Längen, werden, wie in Teil 3 gezeigt wird, auf neuronaler Ebene nicht als zeitlich erstreckte Einheiten behandelt. Für das Restaurantbeispiel gilt, dass Komponenten eines Restaurantbesuchs variabler sind als die Konstituenten eines Satzes.

Eine ebenfalls die zeitliche Struktur betreffende Eigenschaft syntaktischer Konstituenten ist, dass sie scharf begrenzt sind, sie klingen nicht allmählich ab, jedenfalls nicht in zeitlichen Größenordnungen von mehr als 100 ms. Eine Konstituente als Einheit mit einer bestimmten Funktion signalisiert im Verstehensprozess diese Funktion nur in einem bestimmten durch das sprachliche Material gebildeten Zeitfenster.

Wörter transportieren Inhalte nur aufgrund von einzelwortspezifischen Lernprozessen. Sätze sind ohne einzelsatzspezifische Lernprozesse verständlich (mit Ausnahme idiomatischer Ausdrücke). Die Anzahl möglicher Sätze ist in entsprechend entwickelten Sprachen, selbst wenn man beliebige Rekursion und damit beliebig lange Sätze als neuronal unrealistisch ablehnt, praktisch unbegrenzt. Hierin liegt ein entscheidender evolutionärer Vorteil für die menschliche Spezies (vgl. Kochendörfer, 2007).

Kategorien

Es ist nicht so, dass die in einer Sprache möglichen Konstituenten, also z. B. *alle einschlägigen Fragen*, in einer Art lexikalischer Liste gespeichert wären. Für einige Konstituenten gilt das (vgl. das Kontinuum der Lexikalisierung in der Construction Grammar), es handelt sich aber nicht um ein global gültiges Grundprinzip. Vielmehr muss angenommen werden, dass Konstituenten nach ihrer Funktion Konstituentenklassen (= Kategorien) zugeordnet werden. Die syntaktischen Kategorien sind nicht eine Linguistenabstraktion ohne Äquivalent in einer der Syntax zugrundeliegenden neuronalen Architektur. Die Aufdeckung der Klassenzugehörigkeit für eine bestimmte Konstituente und schließlich für die gesamte Konstituentenhierarchie ist die eigentliche Grundfunktion der syntaktischen Analyse und Voraussetzung für die Ableitung des Satzinhalts.

Man beachte, dass Konstituentenklassen nach dieser Annahme funktional, nicht formal, also etwa distributionell definiert sind, obwohl diese Unterscheidung vielleicht manchmal verwischt erscheint. Die funktionale Definition ist eine natürliche Konsequenz, wenn man an die inhaltliche Weiterverarbeitung des Ergebnisses der syntaktischen Analyse im Sprachverstehen denkt. Es ist hier auch zu beachten, dass es einer neuronalen Einheit nicht anzumerken ist, ob sie eine syntaktische oder semantische Funktion hat. Obwohl es vielleicht sinnvoll ist, einen Übergang anzunehmen, der von eher syntaktischen zu eher inhaltlichen Strukturen führt, hat die Abgrenzung eine gewisse Willkürlichkeit. Etwas anderes ist, wenn man den Bereich des episodischen Gedächtnisses betritt, wo Zelleigenschaften gegenüber denjenigen im sprachlichen Kompetenzbereich geändert sind, um rasche synaptische Speicherprozesse zu ermöglichen.

Sprache kann nicht ohne syntaktische Kategorien auskommen. Wenn man auf syntaktische Kategorien verzichtet, verzichtet man gleichzeitig auf die oben schon angesprochene Möglichkeit, in Sätzen Inhalte zu vermitteln, die nicht zuvor über Lernprozesse verankert worden sind. Gültige Abfolgen von Elementen können dann nicht mehr in flexibler Form festgelegt werden, die Zahl möglicher Ausdrücke wird dramatisch beschränkt. Syntaktische Kate-

gorien, die direkt lexikalischen Ausdrucksseiten zugewiesen sind, also z. B. die Kategorie Nomen (N), sind in dieser Hinsicht besonders fruchtbar, da sie teilweise sehr viele Elemente als Alternativen bereithalten. Von der Syntax ausgehende Erwartungen von lexikalischen Folgeelementen beziehen sich auf Wortarten, nicht spezifische Wörter (ggf. mit Ausnahme idiomatischer Wendungen).

5.2.2 Syntaktische Sequenzen

Für die folgenden Überlegungen gilt generell, dass die Perspektive, unter der die syntaktischen Strukturen behandelt werden, die der Perzeption ist, da die Produktion auch im syntaktischen Bereich Perzeptionsvorgänge in Lernprozessen voraussetzt, also primär Perzeptionsvorgänge zunächst die Strukturen bestimmen. Die in der Argumentation verwendeten Modellkonstruktionen basieren auf bekannten Eigenschaften von Neuronen im Kontext und auf Ergebnissen, die im Zusammenhang mit der Erklärung anderer sprachverarbeitender Leistungen entstanden sind. Für die Bewertung der Modelle sind die in Teil 1, „Wissenschaftstheoretische Voraussetzungen“, dargestellten Grundlagen zur modellhaften Abstraktion ohne Gültigkeitsverlust von besonderer Bedeutung. Speziellere strukturelle Probleme werden für das Beispiel des Deutschen unten in Kapitel 5.3 behandelt.

Syntaktische Kategorien bestehen aus Sequenzen von Elementen, die ihrerseits wieder Sequenzen sein können und letztlich auf lexikalischen Sequenzen beruhen. Die Einheit einer syntaktischen Kategorie kann nicht einfach dadurch repräsentiert sein, dass eine über Sequenzverbindungen etablierte Kette vorhanden ist, sondern die Einheit muss auch ein Äquivalent in einer lokalistischen zusammenfassenden Struktur haben. Die Zusammenführung von Sequenzelementen zu einer solchen Einheit setzt ODER-Verbindungen mit einer entsprechenden Zelle (ODER-Zelle, vgl. Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.4.7) voraus. Prinzipiell könnte das durch eine Struktur geschehen, wie in Abbildung 5.2.2–1 skizziert. Das Problem dieser Konstruktion ist, dass sie nicht durch Lernprozesse entstehen kann. Die auf die Zelle *o1* führenden Verbindungen, die von den Sequenzbestandteilen ausgehen, können, soweit sie nicht als überschwellig angeboren sind, nur verstärkt und damit funktionsfähig gemacht werden, wenn diese Zelle durch eine Aktivierung ausgezeichnet ist, während die Sequenzbestandteile aktiviert sind. Für Zellen, die mehrere überschwellige Verbindungen haben können, muss die Auszeichnung durch ein Aktionspotenzial auf diesen Zellen geschehen, das in unmittelbarer zeitlicher Nachbarschaft zu der Aktivierung einer aufzu-

bauenden Verbindung auftritt. (Nebenbei: Direkte Verbindungen zwischen ODER-Zellen sind durch die neuronale Struktur prinzipiell ausgeschlossen, da Lernprozesse zu Schleifenbildung und damit zu Endlosaktivität führen würden. Vgl. dazu Kochendörfer 2002, Abschnitt 4.5.)

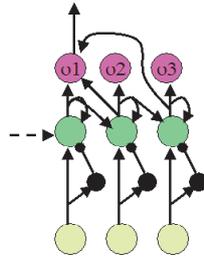


Abbildung 5.2.2-1: Einfache Möglichkeit einer Sequenz von Elementen, die als Einheit repräsentiert ist.

Das bedeutet, dass die zusammenfassende ODER-Zelle zu einer Struktur gehören muss, die der Sequenz als Ganzes zukommt und deren Aktivierung auch andauert, während die Gesamtsequenz andauert. Das kann nur durch eine Struktur gewährleistet werden, die zur Repräsentation der Bedeutung bzw. Funktion der Gesamtsequenz gehört. Damit ergibt sich die Konstruktion der Abbildung 5.2.2-2:

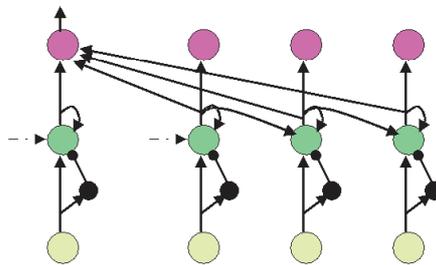


Abbildung 5.2.2-2: Sequenz von Elementen, die als Einheit repräsentiert ist, unter Berücksichtigung erforderlicher Lernprozesse.

Die ODER-Zelle wird regelmäßig Impulse abgeben, solange der Gesamtprozess andauert. Vorausgesetzt ist, dass die einzelnen Prozessbestandteile, die eine gewisse Länge haben, aufgrund des auf die neuronalen Strukturen geleiteten Inputs und der unterschwelligen Verbindungen der sequenzenbildenden Zellen (grüne Flächenfärbung) auf sich selbst zurück, ihrerseits Impulse

produzieren. Die Prozessbestandteile sind untereinander über Erwartungsverbindungen verknüpft, und ihre Aktivität kann innerhalb einer EPSP-Dauer beendet werden, wenn keine Auffrischung über einen Input erfolgt. Die Aktivität der ODER-Zelle erlischt, wenn eine Störung der Reihenfolge der Prozessbestandteile eintritt oder kein Input mehr auf die Repräsentation der Prozessbestandteile erfolgt. Da die ODER-Zelle durch ihre Aktivität den Gesamtprozess über eine längere zeitliche Distanz für weitere Verarbeitungsprozesse verfügbar hält, handelt es sich um eine Gedächtnisform, die nicht durch synaptische Veränderungen entsteht, aber durch Zusammenwirken mehrerer Zellen größere Zeitspannen überbrückt, als es allein durch EPSPs innerhalb einzelner Zellen möglich wäre. Diese Gedächtnisform ist in Kochendörfer (1999) als „komplexes zelluläres Gedächtnis“ bezeichnet worden.

Wenn auf einen sequenziellen Komplex, wie in Abbildung 5.2.2–2 angedeutet, ein zweiter folgen soll, sind Sequenzverbindungen erforderlich, die von Strukturen ausgehen, die Input von der zusammenfassenden Zelle erhalten, entsprechend Abbildung 5.2.2–3. Start- und Zielpunkt solcher Verbindungen müssen sequenzenbildende Zellen sein, mit den speziellen Lerneigenschaften, wie sie in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.4.6, und Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.3.3, diskutiert worden sind.

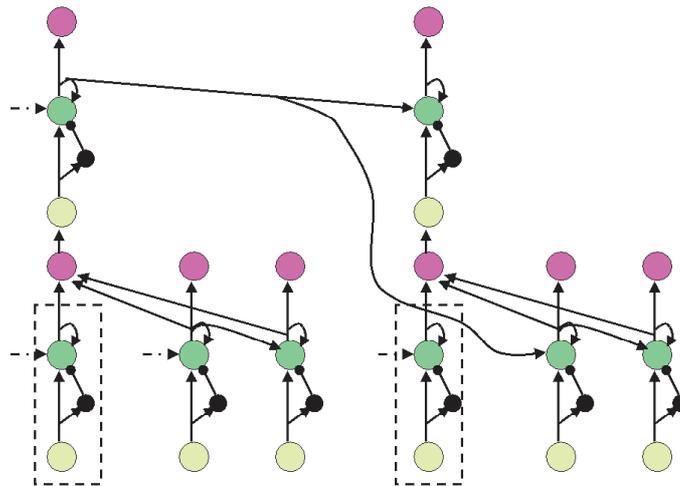


Abbildung 5.2.2–3: Erster Entwurf einer Struktur für Sequenzen von Sequenzen. Die gestrichelt umrahmten Teile brauchen bei einem Verstehensprozess nicht aktiviert zu werden, sondern dienen den oben angesprochenen Lernvorgängen.

In einem wesentlichen Punkt entspricht die Struktur allerdings nicht den in Abschnitt 5.2.1 formulierten Anforderungen an syntaktische Verarbeitungsprozesse: Die Erwartung des Sequenznachfolgers ist in diesem Entwurf nicht, wie es erforderlich wäre, erst von der korrekten Beendigung des Vorgängers abhängig. Das hätte z. B. zur Folge, dass auch die Verkürzung des Satzes

Das Personal beantwortet den Kunden alle einschlägigen Fragen.

auf die Lautfolge

dapebedekualef

als ein korrekter Satz des Deutschen analysiert würde, was natürlich nicht akzeptiert werden kann. Wenn man einfach das letzte Element einer kategorialen Sequenz als Ausgangspunkt der Erwartung eines Nachfolgers nehmen würde, dürfte dieses Element nicht selbst aus einer untergeordneten Sequenz bestehen, denn damit würde sich wieder auf der untergeordneten Ebene dasselbe Vollständigkeitsproblem stellen.

Die auch in früheren Publikationen, z. B. schon in Kochendörfer (1997), vorgeschlagene Lösung dieses Problems besteht in der Einführung von „Endelementen“ für syntaktische Kategorien. Die Struktur der Abbildung 5.2.2–3 ist damit so zu erweitern, wie in Abbildung 5.2.2–4 skizziert.

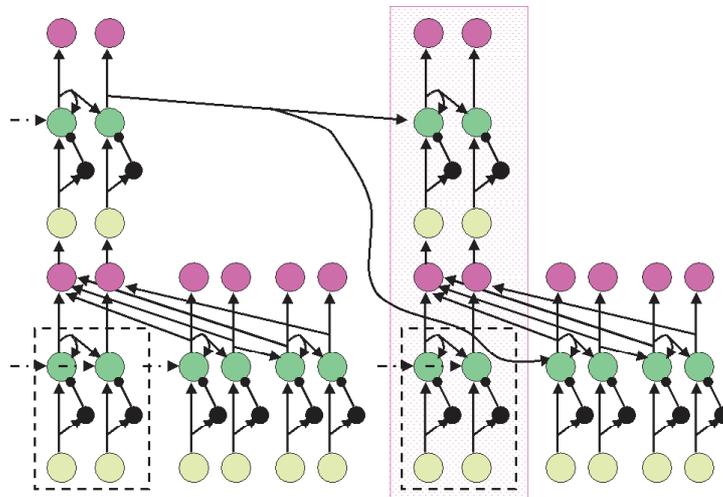


Abbildung 5.2.2–4: Syntaktische Struktur mit Endelementen, die jeweils die sequenziellen Nachfolger erwarten. Weitere Erläuterungen im Text.

Die Vollständigkeit der Konstituenten vor dem Übergang zu einem Nachfolger (vgl. schon oben Abschnitt 5.2.1) kann auf diese Weise auf allen Ebenen der Konstituentenhierarchie gesichert werden.

Die neuronale Repräsentation einer syntaktischen Kategorie, die in Abbildung 5.2.2–4 durch ein rot unterlegtes Rechteck hervorgehoben ist, ist in dem Sinne zweischichtig, als grundsätzliche Anordnungen von Zellkombinationen doppelt vorhanden sind (hier übereinandergestellt, es ist nicht die Aussage beabsichtigt, dass der Kortex im selben Sinne zweischichtig ist, siehe dazu Teil 2, Abschnitt 2.3.4).

Wie oben schon angedeutet, sind die lautlichen Einheiten der Lexikoneinträge atomar, sie müssen nicht durch Endelemente abgeschlossen werden, für Laute gilt ein zwar variables, aber doch in Grenzen festliegendes Zeitraster. Aber schon für lexikalisch als solche repräsentierte Morpheme muss das Ende ausdrücklich erkennbar gemacht werden. Das kann nur dadurch geschehen, dass eine neuronale Verbindung aktiviert wird, die das Ende repräsentiert. Zusätzlich gilt, dass diese Verbindung spezifisch für jede gerade analysierte Kategorie sein muss, da bei Mehrdeutigkeiten mit unterschiedlichen Kettenenden gerechnet werden muss. Dazu kommt, dass die Endemarkierung nicht nach, sondern gleichzeitig mit dem tatsächlichen lautlichen Kettenende aktiviert werden muss. Es genügt also insgesamt nicht, von lexikalischen Ketten ausgehend Verbindungen zu haben, die den Wortartkategorien entsprechen, wie in Abbildung 5.2.2–5 vereinfacht dargestellt.

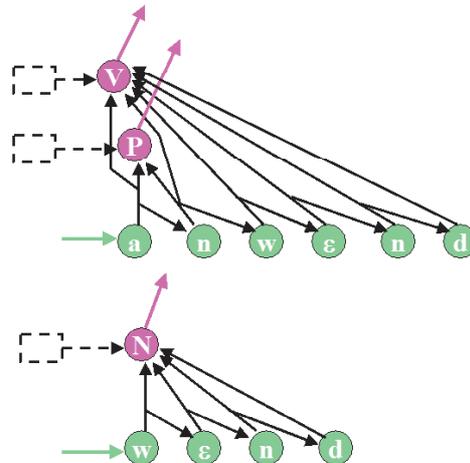


Abbildung 5.2.2–5: Vereinfachte Darstellung eines Lexikonausschnittes, der zur Verarbeitung des Inputs /anwenden/ dienen könnte. Der Input ist mehrdeutig und kann zu vorläufigen Analysen wie *anwenden* oder *an Wänden* führen . .

Man muss zwar wie in Abbildung 5.2.2–5 solche Verbindungen ausgehend von jedem Laut einer lexikalischen Kette annehmen, aber zusätzlich auch dafür sorgen, dass der letzte Laut die Information des kategorien-spezifischen Endes auslöst. Das ergibt für das Beispiel der Abbildung 5.2.2–5 die Struktur der Abbildung 5.2.2–6:

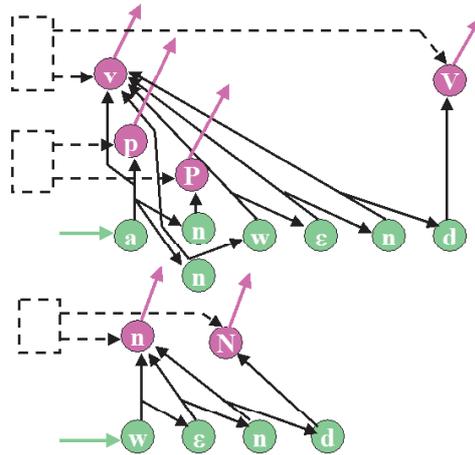


Abbildung 5.2.2–6: Lexikonausschnitt entsprechend Abbildung 5.2.2–5 mit Kennzeichnung von Kettenenden. Wortartkategorien ohne Endemerkung werden mit Kleinbuchstaben geschrieben, für dieselben Kategorien mit Endfunktion werden entsprechende Großbuchstaben verwendet.

Wortartkategorien sind, wie sofort einsichtig ist, nicht identisch mit Wortbedeutungen. Da Wortbedeutungen mindestens in einer vorläufigen Präzision vor der Etablierung der Ausdrucksformen erworben werden, können sie keine Endeinformation bezüglich der Ausdrucksform enthalten. Die Zuordnung einer Ausdrucksform zu einer Wortartkategorie ist ein eigener, vom Erwerb der Bedeutung unabhängiger Prozess. Die Endeinformation wird dabei an die letzte lautliche Einheit der Ausdrucksform gebunden. Details zu den erforderlichen Lernprozessen werden in Kochendörfer (2002) und in Teil 8, „Spracherwerb“, diskutiert.

Abschließend wird nun eine syntaktische Struktur in der Simulation gezeigt, die das reibungslose Funktionieren der beschriebenen Voraussetzungen zeigen soll. Die Struktur entspricht grob der von Abbildung 5.2.2–4 und ist in Abbildung 5.2.2–7 mit ergänzenden Erläuterungen dargestellt.

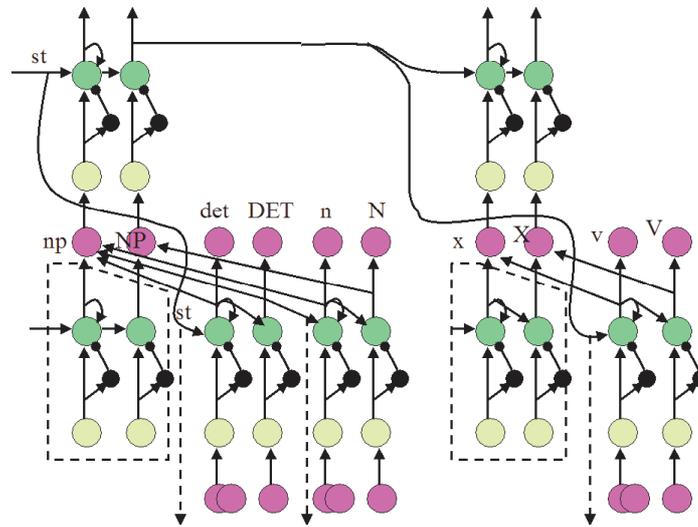


Abbildung 5.2.2–7: Syntaktische Struktur mit Endelementen zur Verwendung in der folgenden Simulation, analog Abbildung 5.2.2–4. Die Identifikation einzelner Strukturen ist angedeutet. Wie in der vorigen Abbildung erscheinen hier und in der Simulation Kategorien ohne Endemarkierung in Kleinbuchstaben, für dieselben Kategorien mit Endefunktion werden Großbuchstaben verwendet. Die gestrichelten Pfeile sollen den Lexikonstart andeuten.

Vorausgesetzt ist ein Satz wie *Das Personal antwortet*. Die lexikalischen Strukturen werden ersetzt durch einen entsprechenden externen Input der Aktivierung der Wortartenkategorien, also zwei Impulse für det, einen für DET, acht Impulse (*a* wird als Länge behandelt) für n, einen für N, acht Impulse für v und einen für V (unter der Annahme, dass ein Element der Kategorie Verb vorliegt). Die nicht näher spezifizierte syntaktische Kategorie, die auf NP folgt, wird mit x bezeichnet. Die Abstände zwischen den Impulsen variieren und entsprechen einer Zeitdauer von ca. 60 bis 80 Millisekunden. Die unterschiedlichen Zelltypen werden entsprechend den in den Teilen 2, 3 und 4 verwendeten Konventionen mit o bzw. O (ODER-Zellen), s bzw. S (sequenzenbildende Zellen), i bzw. I (instanzenbildende Zellen) und n bzw. N (hemmende Zellen) gekennzeichnet. Zur Symbolisierung insgesamt siehe Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.1.4.

Die Abbildung 5.2.2–8 gibt zur zusätzlichen Veranschaulichung den Zustand des Simulationsbildschirms im Zeittakt 793 (nach Eingabe des Endes der lexikalischen Einheit Nomen) wieder.

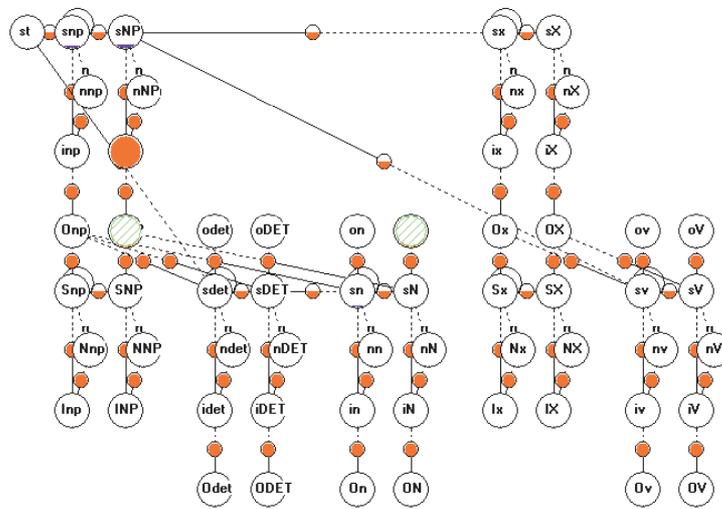


Abbildung 5.2.2–8: Zustand der Simulation im Zeittakt 793. Die vorangegangene Erregung der Zellen, die zum Ende der lexikalischen Einheit Nomen gehören, ist noch daran zu erkennen, dass die Zelle mit der Identifikation oN (oberhalb sN, die Identifikation ist durch grüne Schraffur verdeckt) in der Refraktärphase ist. Davon abhängig hat auch ONP ge feuert und ist refraktär, und iNP feuert gerade. Die sequenzenbildende Zelle sNP ist unterschwellig erregt, ihr Feuern wird anschließend die Sequenznachfolger mit Erwartungspotenzialen versehen.

Simulation:

Funktion lexikalischer Endelemente.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden.

In diesem Abschnitt ist das Problem der neuronalen Repräsentation von Konstituentenklassen behandelt worden. Überlegungen zu möglichen Prozessen haben zur Einführung des Konzepts der Endelemente geführt. Endelemente müssen keine Wiederholungsschleifen haben, wenn vom Lexikon aus nur die zweiten Hälften von Längen die Ende-Information tragen und diese keine Wiederholungsschleifen haben. Da prozessuale Verarbeitungseinheiten und Repräsentationen im Gehirn nicht unterschieden werden, ist damit gleichzeitig eine Struktur vorgeschlagen, die eine Analyse im Verstehensprozess leistet.

Das Lexikon taktet die Syntax. Gedächtnisleistungen im Bereich der Syntax sind davon abhängig. Das Andauern der Kategorie NP in dem verwendeten

Beispiel, das heißt die andauernde Gültigkeit der Information NP, wird über die regelmäßigen Impulse, die letztlich durch die phonologische Verarbeitung auf lexikalischer Ebene entstehen, gewährleistet. Der zeitliche Abstand der Impulse ist ausreichend kurz, so dass die Dauer durch die EPSPs in sequenzbildenden Zellen überbrückt werden kann.

5.2.3 Alternativen und lokale Mehrdeutigkeit

Zwei Vorgänge sind für die Syntax vor allem wesentlich: die erwartungsgeordnete Abfolge von Elementen und die Zugehörigkeit der Elemente zu Konstituentenklassen. Die Erwartungssteuerung geschieht, von der Notwendigkeit von Endelementen einmal abgesehen, in derselben Form, wie innerhalb der lexikalischen Strukturen. Ebenso wiederholt sich – mit einigen wesentlichen syntaxtypischen Veränderungen – die Struktur von „Verbänden“. Als Verbände sind in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ Verknüpfungen lexikalischer Ausdrucksseiten zu Komplexen bezeichnet worden, bei denen einzelne Zellen zu mehreren Ausdrucksseiten gehören.

Im lexikalischen Bereich haben Verbände von Phonemrepräsentationen optisch betrachtet, wenn Sequenzen waagrecht dargestellt werden, die Struktur waagrecht gelegter Bäume, wie in den Beispielen der Abbildung 5.2.3–1 (Übernahme der Abbildungen 4.3.2–2 und 4.3.2–3 aus Teil 4, „Lexikon, Morphologie“).

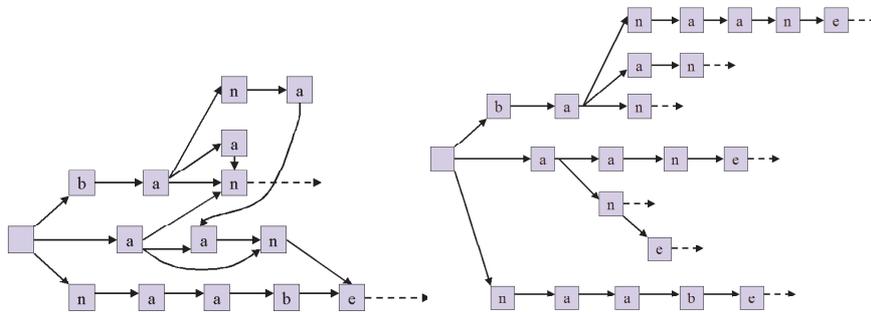


Abbildung 5.2.3–1: Lexikonstrukturen, vereinfachte Darstellung unter Verwendung von Rechtecken für Großmuttereinheiten. **A:** Lexikon mit Verklebungen von beliebigen ausdrucksseitigen Kettenbestandteilen. **B:** Lexikon nur mit Verklebungen der Kettenanfänge und mit eindeutigen Kettenenden.

In Teil 4 wird darauf hingewiesen, dass die Version **A** mit Verklebungen beliebiger ausdrucksseitiger Kettenbestandteile (Verbindungen, die mehrfaches Einbeziehen identischer Kettenteile in Sequenzen ermöglichen) nicht den neuronalen Realitäten entsprechen kann. Die Ablehnung dieser Version ist in Teil 4 über die Wortbedeutungen begründet worden, man kann aber auch darauf hinweisen, dass eine Bildung von Verklebungen über Sequenzverbindungen dem Verhalten sequenzenbildender Zellen im Lernvorgang widersprechen würde. Verklebungen im Stil der Version **A** sind also im Bereich sequenzieller Erwartungen nicht möglich und jedenfalls im lexikalischen Bereich auch nicht sinnvoll. Für die Syntax ergibt sich nach demselben Prinzip in einem vereinfachten Beispiel eine Nominalphrasenrepräsentation wie in Abbildung 5.2.3–2.

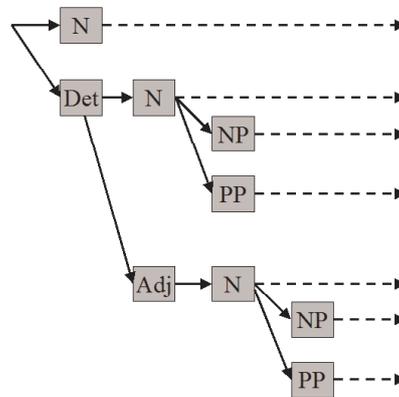


Abbildung 5.2.3–2: Baumstruktur syntaktischer Alternativen, schematisch. Weitere Erläuterungen im Text.

Gemeint ist: N allein kann eine Nominalphrase ausmachen, aber auch Det+N, gegebenenfalls Det+N+PP oder Det+N+NP usw.... Etwas genauer, unter Identifikation der an der Baumstruktur mit entsprechenden Verbindungen beteiligten Zellen und ohne Berücksichtigung der weiteren erforderlichen Zellstrukturen ergibt sich die Anordnung der Abbildung 5.2.3–3. Die in Abbildung 5.2.3–2 nicht gestrichelten Verbindungen sind rot, die dort gestrichelten schwarz ausgezeichnet. Die Funktion von Endelementen wird als wesentliches Moment mit dargestellt. Endelemente werden entsprechend der oben schon verwendeten Konvention mit Großbuchstaben bezeichnet.

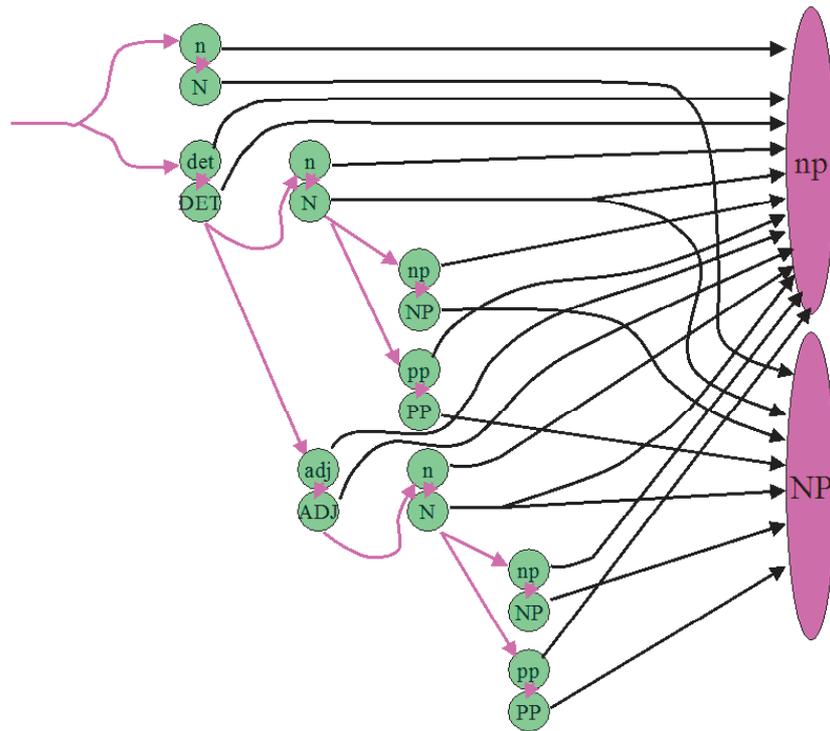


Abbildung 5.2.3–3: Baumstruktur syntaktischer Alternativen mit Endelementen, vereinfacht.

Anfänge syntaktischer Ketten, die unterschiedliche Fortsetzungen haben, so dass man insgesamt von einer Mehrdeutigkeit sprechen könnte, verursachen mindestens auf syntaktischer Ebene keine besonderen Schwierigkeiten, da ja nur eine gemeinsame Bahn des gleichen Anfangs vorhanden ist. Wenn, wie auch bei lexikalischen Ausdrucksseiten möglich, mehrere gleiche Kettenanfänge nicht zusammengelegt, sondern separat repräsentiert sind, werden Mehrdeutigkeiten durch Aktivierung aller gleichen Kettenanfänge bearbeitet. Das ist ein wichtiger und letztlich entscheidender Effekt der Parallelverarbeitung im Gehirn. Ergänzend gilt, dass die Auflösung von Mehrdeutigkeiten über den Erwartungskontext erfolgt, der auch hier, wie im lexikalischen Bereich, als Filter wirkt. Mehrdeutigkeiten, die zu Garden-Path-Effekten führen und Reparaturen verursachen, werden unten in Kapitel 5.4 behandelt.

5.2.4 Sequenzen von Kategorien und Rekursivität

Sequenzen von Kategorien

Die hierarchische Organisation der Syntax ist eine selbstverständliche Voraussetzung ihrer Leistungsfähigkeit. Leugnung der Hierarchie bedeutet Leugnung von syntaktischen Kategorien und damit der Syntax generell. Die Existenz syntaktischer Hierarchien ist in den vorangegangenen Abschnitten als selbstverständlich vorausgesetzt worden, die entsprechenden Mechanismen entstehen durch plausible Spracherwerbsprozesse, die in Teil 8, „Spracherwerb“ ausführlicher besprochen werden, man vgl. aber auch Kochendörfer (2002).

Im Zusammenhang mit der Funktion von Hierarchien im Verstehensprozess ergibt sich allerdings ein zusätzliches Problem, das hier behandelt werden soll, weil es einschneidende Konsequenzen für das Verständnis von Rekursivität hat. Dieses Problem betrifft den Zusammenhang von hierarchisch strukturierter Vorgängerkategorie und entsprechender Nachfolgekategorie.

Die Vorgängerkategorie ist auf allen Hierarchieebenen syntaktischer Kontext für mögliche Nachfolgekategorien. Die Gewährleistung des Kontexts setzt Sequenzverbindungen voraus und damit Eigenschaften der sequenzenbildenden Zellen, inklusive des Zeitverhaltens, wie sie in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ ausführlich diskutiert worden sind. Es ist nicht möglich, anzunehmen, dass ein und dieselbe Nachfolgekategorie von verschiedenen Vorgängerkategorien aus erreicht wird. Die dazu erforderlichen Lernvorgänge würden Zellen bei der Nachfolgekategorie voraussetzen, die bei jeder Aktivierung eine Bereitschaft zur Verstärkung von zuvor(!) in einem zeitlichen Abstand von z. B. 80 ms aktivierten Synapsen zeigen müssten, was chaotische Verschaltungen zur Folge hätte.

Für das Aussehen der Verschaltung ist zu beachten, dass nur Endelemente solche Verbindungen haben dürfen. Die sequenzenbildende Zelle des „Körpers“ einer Kategorie hat über die Wiederholungsschleife hinaus nur eine einzige Sequenzverbindung, die auf das zugehörige Endelement führt und die dann auch angeboren sein könnte, was zu der grundsätzlichen Paarstruktur der Kategorienrepräsentation führt. Da die Häufigkeit der Erregung einer Synapse ein wesentlicher Faktor für die Bildung einer funktionsfähigen Verbindung ist, gilt, dass immer die übergeordnete Kategorie des Vorgängers Ausgangspunkt der Kontextverbindungen für die Nachfolgekategorie ist; es sei denn, für die untergeordneten Endelemente des Vorgängers existieren keine Alternativen, so dass sie gleich häufig aktiviert sind, wie das Endelement der übergeordneten Kategorie. In diesem Fall können auch untergeordnete Elemente Ausgangspunkt von Kontextverbindungen sein, wodurch sich

keine Störungen des Analyseprozesses ergeben. Abbildung 5.2.4–1 gibt zum besseren Verständnis eine abstrahierende Darstellung der Verhältnisse.

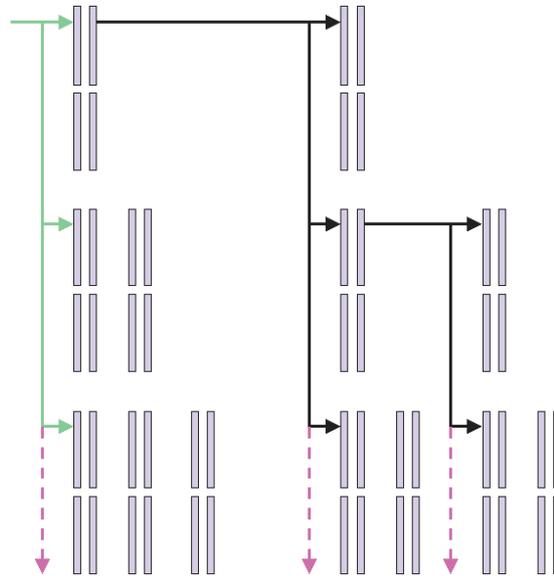


Abbildung 5.2.4–1: Schema zur Erwartung der Nachfolgerhierarchie. Rechtecke stehen für Zellkombinationen, die den z. B. in Abbildung 5.2.2–4 dargestellten Standardverschaltungen entsprechen. Es sind nur beispielhaft einige Verbindungen eingezeichnet, die jeweils von sequenzenbildenden Zellen relativ hierarchiehoher Endelemente ausgehen, und auf sequenzenbildende Zellen der Nachfolgerhierarchie führen. Gestrichelte Pfeile stehen für die Fortsetzung der Verbindungen in Richtung Lexikonstart. Kontextverbindungen für den Satzanfang sind grün eingetragen.

Nur Endelemente, die Nachfolger haben, lösen einen tatsächlich erfolgreichen Lexikonstart aus. Die Verbindungen in das ausdrucksseitige Lexikon sind unspezifisch und können prinzipiell auf einen und denselben Punkt führen. Es sind also keine durch Lernen aufzubauenden Sequenzverbindungen mit je spezifischen Zielen erforderlich, wie sonst bei der Erwartung eines Nachfolgers. Der Satzanfang ist ein Sonderfall, insofern kein satzinterner Kontext vorhanden ist. Verschiedene Quellen der erforderlichen Aktivierung sind anzunehmen, darunter auch die Aufmerksamkeitssteuerung. Die Herstellung der Verbindungen mit den sequenzenbildenden Zellen unterliegt aber denselben Bedingungen wie sonst bei Nachfolgerhierarchien.

Aufzählungen

Rekursivität wird gerne am Beispiel von Regeln erklärt, wie der folgenden $NP \rightarrow Det + N + (NP)$.

Regeln dieser Art führen zu Hierarchien, die in der Tiefe nicht begrenzt sind und endlos lange Strukturen von terminalen Elementen liefern können (Abbildung 5.2.4-2):

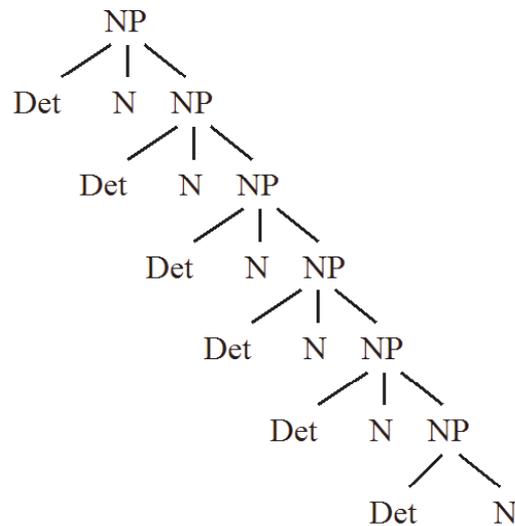


Abbildung 5.2.4-2: Beispiel einer rekursiven hierarchischen Struktur.

Für Aufzählungen ist die hierarchische Struktur nicht erwünscht, die Elemente einer Aufzählung gelten (intuitiv) als auf ein und derselben Hierarchieebene angeordnet.

Daher ist in kontextfreien Phrasenstrukturgrammatiken zur Darstellung von Aufzählungen der Kleene-Stern eingeführt worden.

$NP \rightarrow Det + Adj^* + N$

Der Kleene-Stern erlaubt eine beliebige Wiederholung der gekennzeichneten Kategorie, und schließt das Fehlen der Kategorie ein. Er liefert definitionsgemäß flache Strukturen (Abbildung 5.2.4-3).

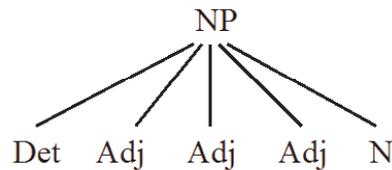


Abbildung 5.2.4–3: Syntaktische Struktur mit einer Aufzählung von Adjektiven.

Im Deutschen wird das letzte Element einer Aufzählung häufig, aber nicht immer, mit *und* bzw. *oder* angeschlossen.

Ein Regelsystem für diesen Fall (bei Verzicht auf die Schreibweise mit geschweiften Klammern) wäre z. B.:

$$\text{NP} \longrightarrow \text{Det} + \text{Adj}^+ + \text{und} + \text{Adj} + \text{N}$$

$$\text{NP} \longrightarrow \text{Det} + \text{Adj}^* + \text{N}.$$

Die Notation Adj^+ schließt den Fall des Fehlens von Adj aus.

Es ist offenbar nicht überindividuell festgelegt, wieviele Elemente in einer Aufzählung aneinandergereiht werden können, was nicht bedeutet, dass ein Sprecher tatsächlich sehr viele Elemente verwenden und verstehen wird. Das muss zur Frage führen, ob in einer neuronalen Struktur eine Entsprechung für eine nicht begrenzte Anzahl von Wiederholungen einer Kategorie überhaupt möglich ist. Die einfachste Idee dazu wäre, dass von dem Endelement der Kategorie ausgehend eine Schleife zurück zum Anfang existiert, entsprechend Abbildung 5.2.4–4. Diese Schleife würde den sequenziellen Kontext für eine Wiederholung liefern und zwar mit entsprechender Verlängerung auch für die tieferliegenden Elemente der Hierarchie.

Die an sich nahe liegende Konstruktion führt nun allerdings auf das grundsätzliche Problem, dass zwei zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten durch Lernprozesse zu verstärkende Synapsen auf den sequenzenbildenden Zellen erforderlich wären. Wie immer bezüglich der Sequenzenbildung ist zu beachten, dass nur eine einzige, durch Lernen aufzubauende Verbindung an sequenzenbildenden Zellen entstehen kann, wenn man nicht die Annahme chaotischer Strukturen riskieren möchte. Während man an der Spitze der Hierarchie vielleicht mit einer angeborenen Schleife rechnen könnte, ist das an den mit Ausrufezeichen versehenen Stellen nicht möglich.

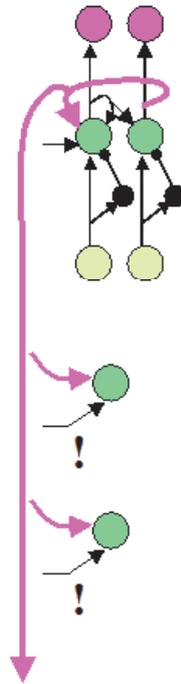


Abbildung 5.2.4-4: Neuronale Repräsentation einer Kategorie mit Wiederholungsschleife für Aufzählungen, die als Sequenzen dieser Kategorie erscheinen. Weitere Erläuterungen im Text.

Aufzählungen können also neuronal nicht durch Wiederholungsschleifen realisiert sein.

Selbsteinbettung

Im Unterschied zu Aufzählungen ist bei Rekursivität durch Selbsteinbettung die Entstehung hierarchischer Strukturen erwünscht. Die oben angegebene NP-Regel mit Selbsteinbettung von NP und die Abbildung 5.2.4-2 sind also typische (einfache) Beispiele.

Es lässt sich zeigen, dass auch für die Verarbeitung von Selbsteinbettung und verwandter Rekursionsformen biologisch unplausible Annahmen gemacht werden müssen. Die Problematik wird deutlicher, wenn man die Notation eines Übergangnetzwerks wie in Abbildung 5.2.4-5 heranzieht.

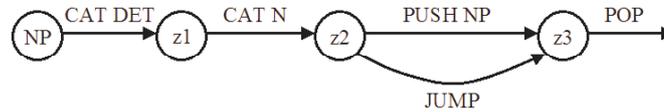


Abbildung 5.2.4–5: Übergangnetzwerk zur Selbsteinbettung von NP. Kreise stehen für Zustände, Kanten für Übergänge von einem Zustand zu einem nachfolgenden. CAT-Kanten erwarten oder produzieren lexikalische Elemente der angegebenen Kategorie. PUSH- und POP-Kanten dienen der Einbettung untergeordneter Strukturen, Erläuterungen dazu im Text.

Die hier interessierenden Funktionsdetails zur Rekursivität werden von Woods (1976: 99; deutsche Übersetzung von Woods, 1970) so beschrieben:

„Als Interpretation einer Kante, deren Etikett der Name eines Zustands ist [PUSH-Kante], gilt, daß der Zustand am Ende der Kante im Stapelspeicher [Speicher nach dem Prinzip last in – first out] aufbewahrt wird und daß zu dem Zustand übergegangen wird, mit dem die Kante etikettiert ist (ohne das Eingabeband vorwärts zu bewegen). Trifft man dabei auf einen Endzustand [Zustand mit POP-Kante], so kann aus dem Stapelspeicher ‘herausgesprungen’ werden, indem die Steuerung an den Zustand übergeben wird, der ganz oben auf dem Stapel aufgeführt ist und diese Eintragung von dem Stapel entfernt wird.“

Es ist neuronal nicht möglich, dass der Verlauf einer Struktur unterbrochen wird, und dann dieselbe Struktur vom Anfang bis zum Ende durchgeführt wird, um anschließend an der Unterbrechungsstelle wieder aufgenommen zu werden. Ein Speichern der Eigenschaften der Unterbrechungsstelle und eine spätere Wiederaufnahme (mit allen Kontexten), die erforderlich ist wenn man nicht eine neue Kopie der betroffenen syntaktischen Struktur annehmen möchte, ist an sich schon unrealistisch. Wenn mehrere Einbettungsvorgänge vorliegen, müssen entsprechend mehrere Unterbrechungsstellen festgehalten bzw. mehrere Kopien angelegt werden. Das setzt, wie in dem Zitat aus Woods (1976) angegeben, die Funktion eines Stapelspeichers voraus: Die Rückkehr auf die Unterbrechungsstellen muss so geschehen, dass die zuletzt abgespeicherte Information zuerst wieder aufgegriffen und dabei gelöscht wird. Alle diese Vorgänge setzen unbiologische Prozesse voraus:

- Transport von Information an adressierbare Speicherplätze.
- Adressenverwaltung.
- Rasche prozessabhängige(!) Löschung synaptischer Gedächtnisinhalte (nicht nur postsynaptischer Potenziale).

Man vergleiche zum Problem eines neuronalen Stapelspeichers auch die Ausführungen zur Möglichkeit von artikulatorischen Pufferspeichern in Kochendörfer (1999), Kapitel 8, und Teil 3, „Phonetik/Phonologie“, Abschnitt 3.1.3.

Damit ist ein Kernstück der generativen Sprachtheorie fragwürdig geworden, jedenfalls solange man neuronale Plausibilität verlangt. In der Auseinandersetzung mit den strukturalistischen Vorgängern hat die Rekursivität eine große Rolle gespielt. Sie ist wesentliche Argumentationsbasis für die Einführung der für den Generativismus typischen Regelnotation. Nachdem derivative Regelinventare, wie sie in der frühen generativen Sprachtheorie entwickelt worden sind, durch Systeme von Prinzipien und Parametern ersetzt worden sind, ist die Rekursivität als Thema zwar etwas in Vergessenheit geraten; obwohl die angenommenen syntaktischen Strukturen das Phänomen nach wie vor zeigen, enthält der 35 Seiten lange Index des „Handbook of contemporary syntactic theory“ (Baltin & Collins, 2001 eds.) kein Stichwort *recursion*. Aber noch in Fitch, Hauser & Chomsky (2005) wird die Rekursivität, wie schon in den frühesten Arbeiten von Chomsky, unter die spezifisch sprachlichen, auf angeborenen Strukturen beruhenden und dem Menschen vorbehaltenen Mechanismen gerechnet (FLN = „faculty of language in the narrow sense“):

„Our suggestion that recursion is part of FLN, as defined, is based on the following observations. (1) Recursion is agreed by most modern linguists to be an indispensable core computational ability underlying syntax, and thus language; (2) Despite decades of search, no animal communication system known shows evidence of such recursion, and nor do studies of trained apes, dolphins and parrots; (3) The perceptual data currently available indicate that monkeys cannot even process hierarchical phrase structure, much less recursion; and (4) There are no unambiguous demonstrations of recursion in other human cognitive domains, with the only clear exceptions (mathematical formulas, computer programming) being clearly dependent upon language. Thus, current data justify our placing syntactic recursion in FLN.“ (Fitch, Hauser & Chomsky, 2005: 203)

Man kann natürlich nicht durch eine demokratische Abstimmung unter den zeitgenössischen Linguisten entscheiden, ob natürliche Sprachen prinzipiell die Möglichkeit der Rekursivität haben (wenn sie auch möglicherweise nicht in allen Sprachen auftritt). Wenn man auf die Sprache als neuronale Realität sieht, gilt offenbar: Nicht nur das Gehirn eines Affen, sondern auch das eines Menschen ist nicht in der Lage, Rekursivität im syntaktischen Bereich zu gewährleisten. Es sind grundsätzliche Probleme, nicht einfache Annahmen, die zu dieser Schlussfolgerung führen.

Folgen für den syntaktischen Apparat

Wir greifen zunächst zurück auf die Darstellung des Zusammenhangs unterschiedlicher alternativer NP-Strukturen in Abbildung 5.2.3–2. Hier sind mehrere NP- und PP-Kategorien repräsentiert. Diese Kategorien sind jeweils durch neuronale Verbindungen mit ihrem Kontext verknüpft, wenn also das Kategoriensymbol NP mehrfach vorkommt, ist nicht gemeint, dass ein- und dieselbe Struktur mehrfach sozusagen „zitiert“ ist, sondern es handelt sich wirklich um mehrere (ggf. verschiedene) neuronale Verschaltungen. Wiederholungen dieser Art müssen also prinzipiell einschließlich aller untergeordneten Strukturen neuronal „ausbuchstabiert“ werden.

Dasselbe gilt analog auch für Elemente einer rekursiven Struktur. Es ist zwar nicht so, dass man beispielsweise bei einer Aufzählung so viele in allen Elementen verschiedene Ketten annehmen muss, wie es verschieden lange Aufzählungen gibt, sondern Elemente des Kettenanfangs können für verschieden lange Aufzählungen identisch sein. Die Kettenenden sind aber jeweils verschieden. Vielleicht ist das auch der Grund dafür, dass in vielen Sprachen das Ende von Aufzählungen eine besondere Struktur hat, im Deutschen, wie schon oben bemerkt, zum Beispiel durch *und* bzw. *oder* eingeleitet wird. Für den Fall der Selbsteinbettung gilt Ähnliches, allerdings in komplizierterer Form. Auch hier sind Teile verschieden tiefer Strukturen identisch.

Die Aufzählung, die der Notation

$$S \rightarrow a^+ + b$$

entspricht (wobei hier nicht impliziert sein soll, dass die Kleinbuchstaben terminale Elemente bezeichnen), ist, beschränkt auf drei Wiederholungen, durch die Struktur der Abbildung 5.2.4–6 repräsentierbar bzw. analysierbar:

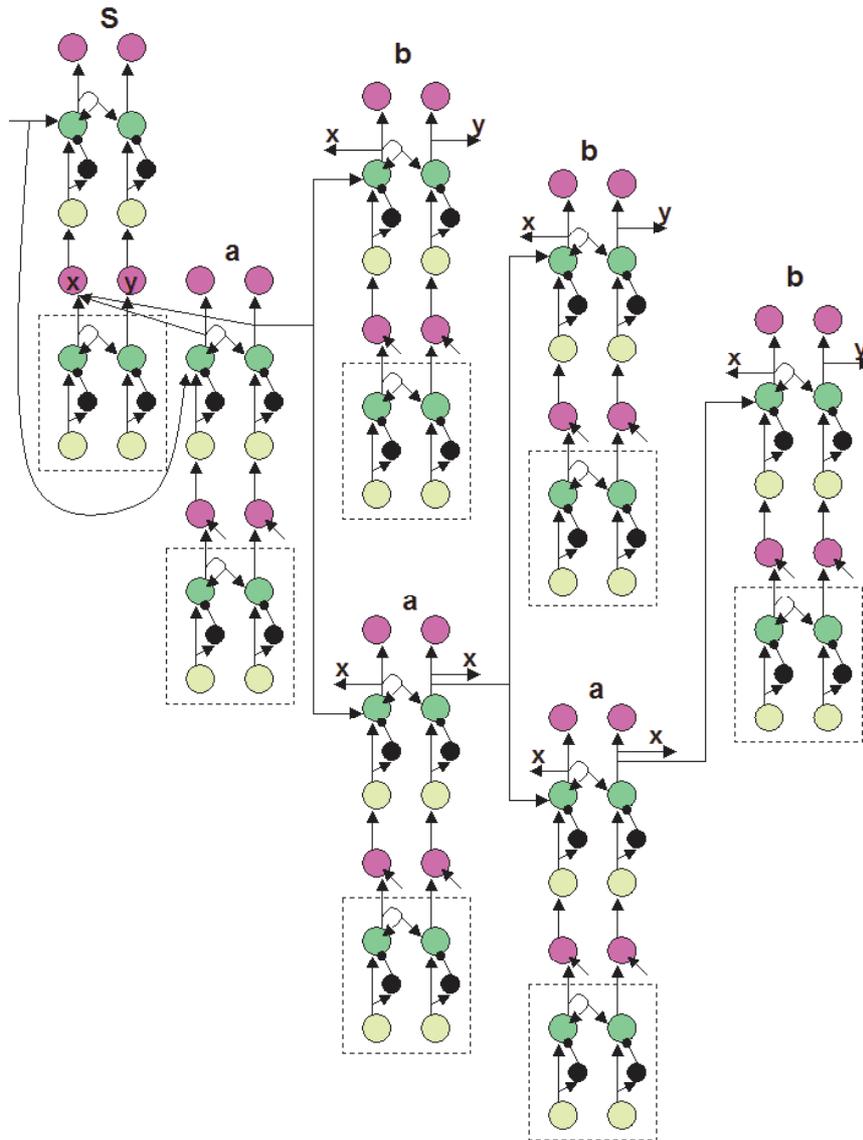


Abbildung 5.2.4–6: Struktur mit Aufzählung von a. Um die Übersichtlichkeit nicht zu gefährden, sind Verbindungen mit den Zellen x und y nur in einem Fall ausgeführt und sonst jeweils entsprechend gekennzeichnet.

Als Äquivalent für die rekursive Regel

$$S \rightarrow a(S)b,$$

beschränkt auf nur *eine* eingebettete Ebene, ergibt sich die Struktur der Abbildung 5.2.4-7:

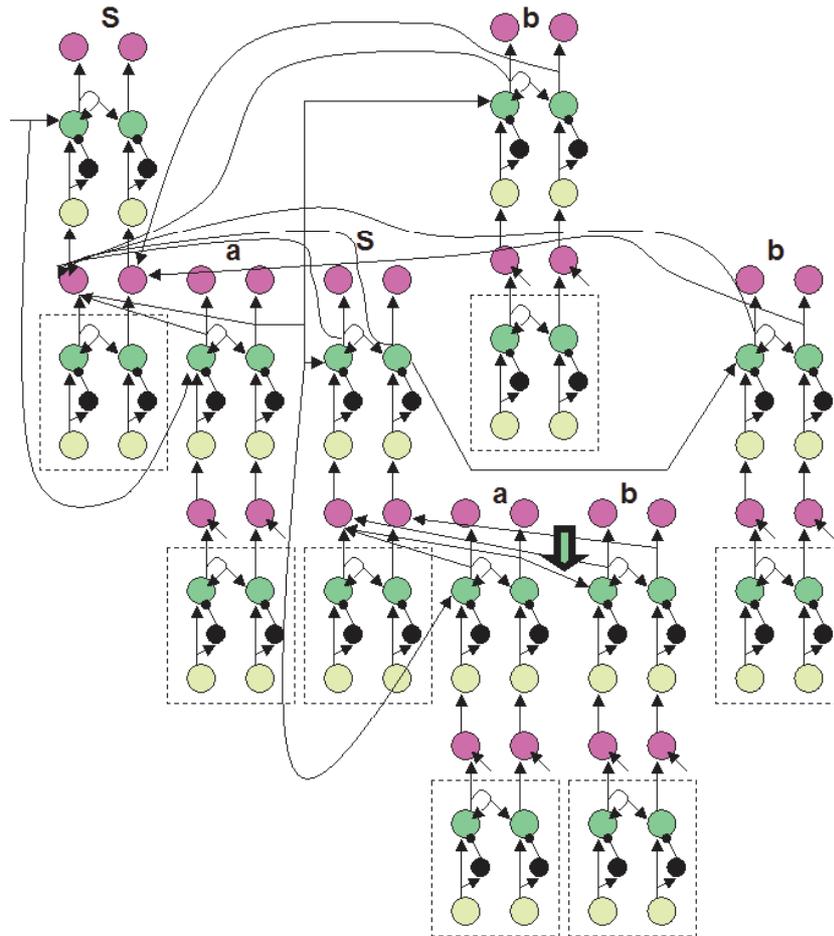


Abbildung 5.2.4-7: Struktur mit Selbsteinbettung von S. Der Blockpfeil markiert die Stelle, an der weitere Einbettungen erfolgen müssten.

Die Strukturen in den beiden Fällen sind deutlich verschieden und entsprechen den Erwartungen. Man beachte, dass es sich nicht um Repräsentationen von syntaktischen Strukturen handelt, die sich aus Analyseprozessen ergeben, sondern um den für die Analyse der unterschiedlichen Inputs erforderlichen verarbeitenden Apparat selbst. Auffällig ist der hohe Aufwand, und man wird vielleicht geneigt sein, nach Möglichkeiten der Vereinfachung zu suchen. Eine Vereinfachung könnte z. B. darin bestehen, dass eine den wiederholten Elementen entsprechende gemeinsame Struktur vorhanden ist, deren Analyseergebnis dann für den Fall der Selbsteinbettung an die entsprechenden Einbettungsstellen weitergeleitet wird, entsprechend der abstrakten Darstellung in Abbildung 5.2.4–8.

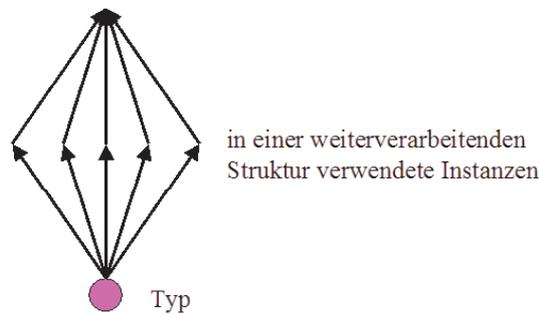


Abbildung 5.2.4–8: Abstrakte Darstellung eines Verbindungsmusters mit mehrfacher Verwendung des Verrechnungsprodukts einer und derselben Struktur (Typ) durch Ausbildung mehrerer Instanzen.

Gegen eine solche Lösung spricht wieder die Schwierigkeit, die erforderlichen Lernvorgänge im Spracherwerb zu erklären. Es ist zwar u. U. möglich, anzunehmen, dass eine Verarbeitungseinheit mehrere „Instanzen“ ausbildet, wie in Abbildung 5.2.4–9 dargestellt, es ist aber nicht möglich, die instanzbildende Einheit in die verschiedenen Kontexte einzubinden, die eine hierarchische syntaktische Struktur vorgeben würde (rot eingezeichnete Verbindungen). Es wiederholt sich das Problem der mehrfachen Kontextverbindungen an sequenzenbildenden Zellen.

Da Wortartenkategorien keinen *speziellen* Kontext haben, ist diese (lexikalische) Ebene nicht betroffen.

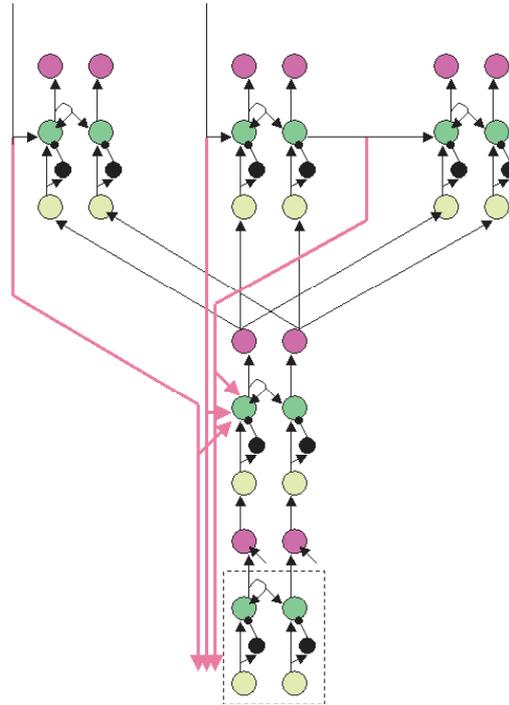


Abbildung 5.2.4–9: Das Problem der Ableitung mehrerer „Instanzen“ aus einem „Typ“ zur Vereinfachung von Strukturen in syntaktischen Hierarchien. Die erforderlichen Lernvorgänge an sequenzenbildenden Zellen sind für die rot eingezeichneten Verbindungen nicht zu gewährleisten.

Generell wirkt sich die Redundanz aller Repräsentationen im Gehirn (bei ausreichend häufig vorkommender Wahrnehmungsgrundlage, was für verschiedene Gehirnregionen verschieden sein muss) erleichternd aus, sodass redundante Strukturen, wie in den Abbildungen 5.2.4–6 und 5.2.4–7 angegeben, keine besondere Auffälligkeit haben müssen.

Schwierigkeiten beim Verstehen zu tief eingebetteter Strukturen oder zu langer Aufzählungen sind bisher hauptsächlich als Gedächtnisprobleme gesehen worden. Das heißt, sie sind als Erscheinungen der Performanz, nicht der syntaktischen Kompetenz behandelt worden. Eine Unterscheidung von Kompetenz und Performanz in diesem Sinne ist neuronal schon allein deshalb unplausibel, weil keine Trennung von Daten und prozessionalen Komponenten im Gehirn angenommen werden darf. Das Konzept eines Arbeitsspeichers mit kurzfristig gespeicherten Analyseprodukten, auf die langzeitgespeicher-

te Prinzipien einwirken würden, setzt neuronal unmögliche Adressierungsmechanismen voraus (siehe schon oben, 5.1.1). Wenn man annimmt, dass die Länge von Aufzählungen und die Einbettungstiefe durch Kompetenzstrukturen (die Performanzprozesse einschließen) begrenzt sind, wird das Scheitern der betreffenden Strukturen, d. h. das Scheitern des Verstehensprozesses, soweit er über die einzelnen Elemente hinausgeht, bei zu großer Länge bzw. Tiefe auf einfache Weise erklärt.

Es ist zu beachten, dass die Begrenzungen durch Lernprozesse entstehen, die bei verschiedenen Sprechern zu verschiedenen Ergebnissen führen können. Generell sind solche Prozesse von der Häufigkeit eines entsprechenden Inputs abhängig, also auch von den personenspezifischen Umständen des Spracherwerbsprozesses. Wenn man beobachtet, dass z. B. im Deutschen bei der Einbettung ein Wechsel von NP und PP in längeren Folgen möglich ist als eine reine Einbettung von NPs, dann kann das dadurch erklärt werden, dass Strukturen mit Wechsel von NP und PP relativ häufig im Input vorkommen, häufiger als Strukturen, die nur NPs enthalten.

Simulation

Das Funktionieren von Selbsteinbettung im Verstehensprozess soll abschließend in einer Simulation demonstriert werden.

Die verwendete Architektur entspricht der Abbildung 5.2.4–7. Da die dort wiedergegebenen Strukturen innerhalb der gestrichelten Rechtecke nur für Lernprozesse gebraucht werden und hier zur Funktion nicht beitragen, sind sie weggelassen. Es wird angenommen, dass *a* und *b* Wörter aus drei lautlichen Segmenten sind und der Input in den entsprechenden Wortartkategorien (mit Endelementen) *aaA bbB* besteht.

Drei Inputsequenzen werden verwendet:

aaAbbB,

aaAaaAbbbBbbbB

und *aaAbbBaaA*,

wobei die letztere als abweichend analysiert wird.

Zwischen den Inputsequenzen wird jeweils eine Pause von 200 ms (200 Zeittakten) eingehalten.

Simulation:

[Beispiel zur Selbsteinbettung.](#)

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

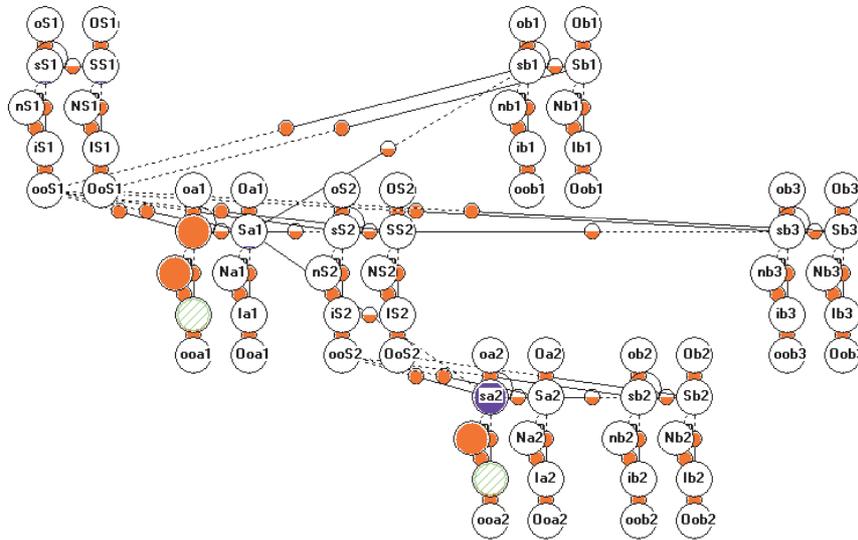


Abbildung 5.2.4–10: Simulation von selbsteinbettenden Strukturen. Bildschirm des Zustands im Zeittakt 670, nach Eingabe des zweiten *a* in der Sequenz *aaAaaAbbBbbB*. Man sieht, dass alle durch *a* auslösbaren Einheiten zeitparallel aktiviert werden, aber nur die sequenzenbildende Zelle der im Kontext erwarteten Einheit feuert. Zur Erklärung der Symbolisierung vgl. wieder Teil 2, Abschnitt 2.1.4.

Während der Simulation ergibt sich für jeden eingegebenen Laut ein „Hochperlen“ der Aktivierung bis zu den hierarchiehöchsten ODER-Zellen. Beim Scheitern der Analyse bleibt diese Aktivierung aus. Das Feuern des hierarchiehöchsten Endelements signalisiert die Vollständigkeit und Korrektheit der bis zu diesem Zeitpunkt analysierten Kette. In dem Fall des Inputs *aaAbbBaaA* wird das durch *B* ausgelöst, der Rest hat keine vollständige Aktivierung der Struktur mehr zur Folge.

5.3 Abhängigkeiten

5.3.1 Die Gegenstände

Unter der Überschrift „Abhängigkeiten“ werden hier, etwas allgemeiner als der Begriff normalerweise in der Linguistik verwendet wird, Phänomene zusammengefasst, von denen angenommen wird, dass sie über größere Distanzen in Sätzen wirksam sind, ohne identisch zu sein mit den sog. „long distance dependencies“ der generativen Sprachtheorie. Solche Phänomene treten in vielen Sprachen auf, im Deutschen sind sie häufiger als z. B. im Englischen. Beispiele sind die Kongruenz innerhalb von Nominalphrasen und zwischen Subjekt und Verb, Phänomene, die mit dem Ausdruck des Tempus zu tun haben oder die Verbalenz und verwandte dependenzielle Erscheinungen.

In erweiterten Übergangnetzwerken (ATNs = Augmented Transition Networks; z. B. Woods, 1976) werden zur Verarbeitung solcher Abhängigkeiten sog. „Register“ verwendet, die entsprechend gesetzt und abgefragt werden können. Ein Register, das die Information über den Satztyp enthält, kann z. B. festhalten, dass es sich bei dem analysierten Satz um einen Aussagesatz handelt, was für spätere Entscheidungen in der Analyse herangezogen werden kann. Oder es kann die Tempusinformation in einem dafür vorgesehenen Register festgehalten und später für die Analyse von Verbformen verwendet werden. Wenn rekursive Strukturen modelliert werden sollten, müssten die Register die Form von Stapelspeichern haben (vgl. oben, Abschnitt 5.2.4).

Diese für Computer bequeme Möglichkeit steht für das Gehirn wegen der erforderlichen Adressierungsprozesse und Informationstransporte nicht zur Verfügung. Generell gilt, wenn man die relative Einheitlichkeit neuronaler Strukturen im Kortex berücksichtigt, dass Eigenschaften der Verarbeitung angenommen werden sollten, die auch für andere Prozesse, mindestens im syntaktischen Bereich, gelten. Die in den folgenden Abschnitten entwickelten Konstruktionen folgen dieser Strategie.

Es versteht sich von selbst, dass unter diesen Voraussetzungen die Theorien des Generativismus, z. B. zu den Themen *Case* oder *Agr* (vgl. die Überblicke bei Ura, 2001, und Belletti, 2001) schon daran scheitern, dass die dort angenommenen Mechanismen weder neuronal darstellbar sind, noch durch Lernprozesse entstehen können. Ganz abgesehen davon, dass die Evolution das Entstehen universeller Strukturen der erforderlichen Komplexität nicht gewährleistet, also das Lernproblem nicht auf diese Weise zu umgehen ist.

5.3.2 Kongruenz

Hier sollen zunächst Kongruenzphänomene behandelt werden, die auf den Bereich einer einzelnen Nominalphrase beschränkt bleiben. Dabei werden durchweg deutsche Beispiele verwendet; die Übertragung auf andere Sprachen bedarf, abgesehen von den grundsätzlichen Mechanismen, einer entsprechenden Modifizierung. Die Person-Numerus-Kongruenz zwischen Subjekts-NP und Verb wird im Zusammenhang mit der Verbvalenz in Abschnitt 5.3.3 behandelt.

Für das Deutsche gilt im attributiven Bereich der Nominalphrase (nicht die dort eingebetteten Nominalphrasen einschließend) und für die Positionen von Artikel (ggf. Zahlwort, Possessivpronomen) und Nomen die Übereinstimmung von Kasus, Numerus und Genus (im Folgenden KNG abgekürzt) der Elemente. Wenn man an dem Beispiel

die schöne Müllerin

den Verstehensprozess bezüglich dieser Eigenschaft verfolgt, gilt für *die*, und damit für die begonnene Nominalphrase, zunächst eine Mehrdeutigkeit, die Nominativ-Singular-Femininum, Akkusativ-Singular-Femininum, Nominativ-Plural-Maskulinum, Nominativ-Plural-Femininum, Akkusativ-Plural-Maskulinum und Akkusativ-Plural-Femininum einschließt. Die Form *schöne* beschränkt diese Mehrdeutigkeit auf Nominativ-Singular-Femininum und Akkusativ-Singular-Femininum und *Müllerin* bringt keine weitere Einschränkung.

Bei Lötscher (1979) findet sich eine Darstellung solcher Kongruenzphänomene des Deutschen in einem erweiterten Übergangsnetzwerk, zwar unter Verwendung von Registern in der oben schon erwähnten neuronal nicht möglichen Funktion, aber mit interessanten strukturellen Details. Dabei werden die Werte von Kasus, Numerus und Genus getrennt behandelt, was für eine Umsetzung in eine neuronale Architektur zu zusätzlichen Schwierigkeiten führt: Der Artikel *die* kann nur als Femininum ein Singular sein, die Form

schöne ist, schwach dekliniert, nur im Singular für alle Genera als Nominativ oder Akkusativ interpretierbar usw.

Wenn aber die Kombination der KNG-Merkmale nicht beliebig ist, muss man davon ausgehen, dass die sich wiederholenden Kombinationen durch Lernprozesse als jeweils verschiedene neuronale Instanzen verankert werden. Das heißt, dass die in den syntaktischen Strukturen zu behandelnden elementaren (!) KNG-Einheiten Komplexe sind, also

Nominativ-Singular-Femininum,
Genitiv-Singular-Femininum,
Dativ-Singular-Femininum,
Akkusativ-Singular-Femininum,
usw.,

wie oben beim Verfolgen der Beispielanalyse schon verwendet. Es gibt dann insgesamt mindestens 24 solcher Komplexe.

Die Wortartinformation einer lexikalischen Form und die KNG-Eigenschaften werden in der Linguistik üblicherweise getrennt behandelt. Wenn man die Trennung schon ausgehend von den lexikalischen Einheiten als gegeben ansieht, bedeutet das, dass parallel zu den neuronalen Verbindungen mit den Neuronen, die die Wortarten repräsentieren, auch solche mit den Repräsentationen der KNG-Komplexe angenommen werden müssen.

Der nominale Teil der Abbildung 5.2.2–6 ist dann so zu ergänzen wie in Abbildung 5.3.2–1:

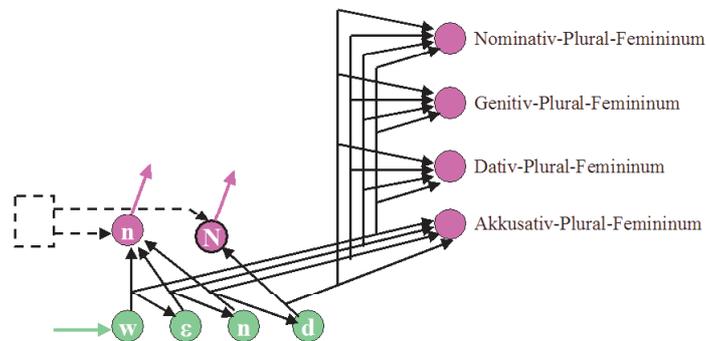


Abbildung 5.3.2–1: Schematische Darstellung eines Lexikonelements mit Zuordnung von KNG-Informationen.

In ATNs mit Registern wird nur *ein(!)* für die jeweilige Nominalphrase (und Einbettungsebene) spezifisches KNG-Register verwendet, mit dem die

KNG-Werte der einzelnen lexikalischen Formen verglichen werden. Einem solchen Register würden in einer lokalistischen neuronalen Struktur jeweils Neuronen für jede der möglichen Registereinheiten, also der erforderlichen KNG-Komplexe, entsprechen. Die aktivierten und gültigen Werte müssen ihre Aktivierung beibehalten, solange sie gebraucht werden. Aktivierungen, die nicht dem aktuellen Input entsprechen, müssen abhängig von diesem Inhalt gelöscht werden. Wenn das Register einer Nominalphrase keinen gültigen Wert mehr hat, gilt diese Phrase als gescheitert. Am Ende einer Nominalphrase muss ihr gesamtes KNG-Register gelöscht bzw. auf einen Anfangswert gesetzt werden.

Es muss also in unserem Zusammenhang geklärt werden, wie (und natürlich auch: ob überhaupt) die erforderlichen Vorgänge des Abgleichs und der Löschung bzw. Rücksetzung von Schaltungen, die den ATN-Registern funktional entsprechen, neuronal modelliert werden können.

Für die Gedächtnisleistung eines KNG-Registers, die ja einen wesentlichen Aspekt der Funktion darstellt, gibt es im Prinzip drei Möglichkeiten:

- Speicherung eines Zustands über kurzfristig verstärkte Synapsen,
- Inputgestützte Speicherung, wie z.B. bei syntaktischen Kategorien und
- Speicherung durch kreisende Erregung.

Die Möglichkeit, mit kurzfristig verstärkten Synapsen zu rechnen, ist schon wegen der Notwendigkeit einer *aktiven* raschen Löschung auszuschließen. Eine Stütze der laufenden Aktivität durch die elementaren lautlichen Bestandteile des Inputs kann ebenfalls nicht funktionieren, schon deshalb nicht, weil nicht alle lexikalischen Elemente, und damit deren lautliche Einheiten, der Kongruenz unterliegen und auch die Einbettung außerhalb der Kongruenzforderung liegender syntaktischer Strukturen in die betroffene Nominalphrase auf Schwierigkeiten führen würde. Die Gedächtnisleistung sollte also am ehesten durch autonome kreisende Erregung aufrechterhalten werden, in diesem Fall müsste die Löschung, und auch die Anpassung an den eindeutigen Fortgang der Analyse, über hemmende Verbindungen erfolgen. An dieser Voraussetzung muss aber auch diese Möglichkeit scheitern, da die hemmenden Verbindungen hier einzelsprachlich spezifisch sind und über Lernprozesse aufgebaut werden müssten, die unerklärt bleiben. Man beachte zusätzlich, dass kreisende Erregung als Gedächtnismechanismus auch deshalb wenig plausibel ist, weil jede Störung der betroffenen Vorgänge auch die systematische Löschung beeinträchtigen würde, man also eine Überflutung des Kortex mit unerwünschter Aktivität riskieren würde.

Eine Löschungsfunktion oder eine Rücksetzung der Werte am Ende einer NP würde aber auch noch ein weiteres Problem mit sich bringen. Wenn das NP-Ende mehrdeutig ist, also die NP entweder tatsächlich vollständig ist oder aber eine Verlängerung existiert, darf das erste mögliche Ende nicht die Kasus-Numerus-Genus-Information löschen.

Nachdem die elementaren Funktionen eines KNG-Registers offenbar neuronal nicht in plausibler Weise gewährleistet werden können, erübrigt sich eine weitere Diskussion von etwas komplexeren Schwierigkeiten, z. B. der Frage, wie das Scheitern einer NP-Analyse durch KNG-Unstimmigkeiten verstanden werden kann, bzw. wie die entsprechenden Lernprozesse für wünschenswerte Konsequenzen zu erklären sind, oder wie überschüssige inhibitorische Potenziale abgebaut werden sollen.

Auf der Suche nach einer möglichen Problemlösung kann man wieder von Eigenschaften und den zu erwartenden strukturbildenden Lernvorgängen einzelner Neuronen ausgehen. Da Wortartkategorie und KNG-Information (wenn eine KNG-Information vorhanden ist) immer ausreichend gleichzeitig erscheinen, ist die Bildung von Kategorien, die beide Informationen repräsentieren, durch Lernprozesse an instanzbildenden Zellen unvermeidlich. Das gilt unter der Voraussetzung, dass bei lexikalischen Einheiten die Verbindungen für beide Informationen noch getrennt erscheinen. Das mag auch in bestimmten Phasen des Spracherwerbs realistisch sein. Wenn aber Kategorien gebildet sind, die Wortart- und KNG-Information gleichermaßen repräsentieren, werden neue lexikalische Einheiten auch, oder vielleicht bevorzugt, Verbindungen mit solchen Kategorien eingehen. Das bedeutet für die Lexikoneinheit von Abbildung 5.3.2-1, dass dann nur noch Verbindungen zu neuronalen Strukturen vorhanden sind, die sowohl die Wortart, als auch die Kasus-Numerus-Genus Information repräsentieren (Abbildung 5.3.2-2).

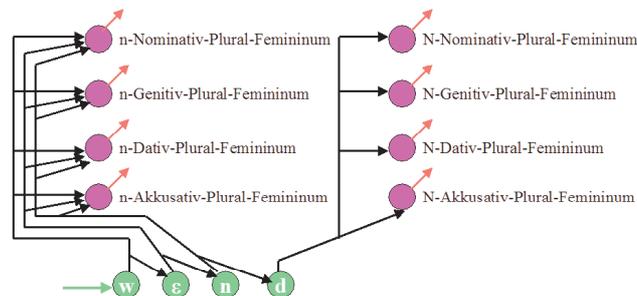


Abbildung 5.3.2-2: Schematische Darstellung eines Lexikonelements mit Verbindungen zu Zellen, die Kombinationen von Wortart und KNG-Information repräsentieren. Die Wortart des Endelements ist in Großbuchstaben notiert, der Rest in Kleinbuchstaben.

Eine Nominalphrasenstruktur unter Voraussetzung von Lexikoneinträgen wie in Abbildung 5.3.2–2 und mit perfekter Kontrolle der Kongruenz könnte so aussehen, wie in Abbildung 5.3.2–3 für eine Nominalphrase im Nominativ Singular schematisch skizziert:

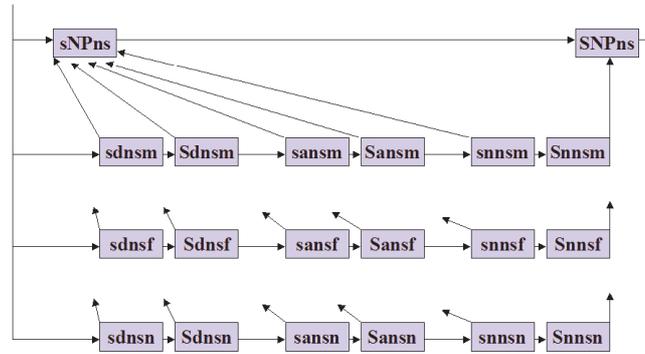


Abbildung 5.3.2–3: Schematische Darstellung eines Fragments einer Nominalphrasenkategorie. Die Rechtecke stehen für neuronale Verschaltungen, die jeweils einen Komplex von Wortart und KNG-Information repräsentieren. Die verwendeten Abkürzungen beginnen mit s bzw. S, um die besondere Bedeutung der sequenzenbildenden Zellen in der hier diskutierten Funktion anzudeuten. Die Buchstaben d, a oder n bezeichnen die Wortarten. Da das Fragment auf Nominativ Singular beschränkt ist, folgen n und s und schließlich m, f oder n für Maskulinum, Femininum und Neutrum. Die schräg nach oben weisenden Pfeile symbolisieren Verbindungen mit einer Kategorie Nominalphrase-Nominativ-Singular, die senkrecht nach oben weisenden Pfeile Verbindungen mit dem entsprechenden Endelement dieser Kategorie.

Dieses Prinzip kann aber nicht gelten für Wortformen, die nicht als Vollformen lexikalisiert sind, sondern aus separat gespeicherten Segmenten bestehen, also z. B. im Fall der Adjektivform *schöne* aus *schön* + *e* (womit nicht behauptet werden soll, dass gerade dieses Adjektiv typischerweise von dem Phänomen betroffen ist). Da die Segmentierung durch einen Lernvorgang entsteht, der voraussetzt, dass das einzelne Segment häufiger im Input erscheint als die Zusammensetzung, kann das Segment *schön* außer der Wortart nicht auch zusätzlich die KNG-Information tragen, die Verbindungen mit den KNG-Repräsentationen können nicht aufgebaut werden, es bleibt also die Wortartkategorisierung als Adjektiv (Adj) übrig. (Zur Segmentierung siehe Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Kapitel 4.5.) Die Konsequenz aus dieser lexikalischen Voraussetzung ist dann eine syntaktische Nominalphrasenstruktur, wie in dem Fragment der Abbildung 5.3.2–4 angedeutet.

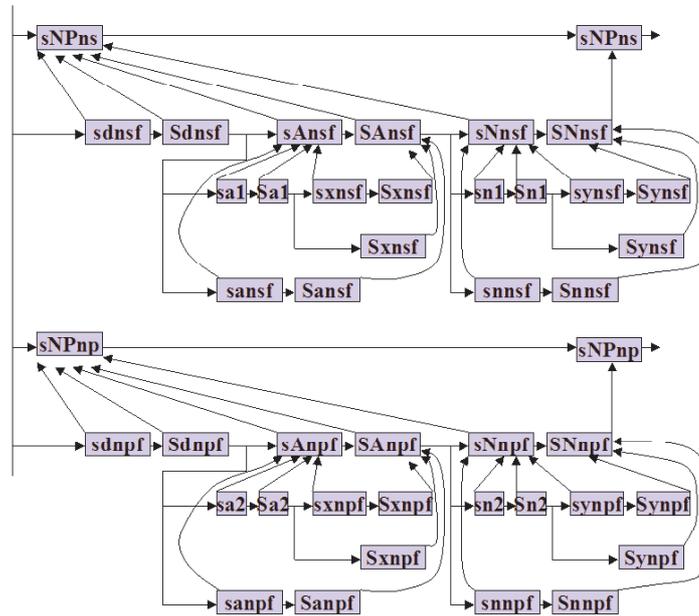
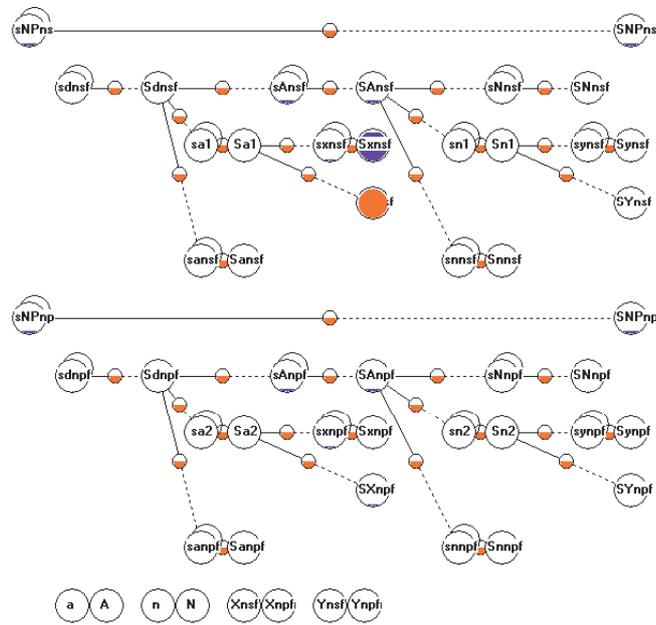


Abbildung 5.3.2–4: Schematische Darstellung einer Nominalphrasenstruktur, die zusätzlich segmentierte Lexikoneinträge zulässt, bei denen auf lexikalischer Ebene die Wortstämme nicht KNG-markiert sind.

Die Funktion kann in der folgenden Simulation nachvollzogen werden. Der Simulationsbildschirm zeigt die in Abbildung 5.3.2–4 aufgeführten neuronalen Einheiten, vertreten durch die sequenzenbildenden Zellen. Die anderen an der neuronalen Funktion beteiligten Zelltypen sind, obwohl sie nicht auf dem Bildschirm erscheinen, ebenfalls vorhanden. Das dargestellte Verbindungsmuster beschränkt sich auf die sichtbaren Zellen, auch hier gilt, dass es vollständig vorhanden ist. Die in der schematischen Darstellung verwendeten Identifikationen werden, so weit möglich, beibehalten, bei Doppelungen wird, da es um verschiedene Zellen (wenn auch mit gleicher Funktion) geht, die Identifikation in naheliegender Weise modifiziert. Für diese Fälle sind auch zusätzlich am unteren Rand des Bildschirms „Eingabeeinheiten“ angegeben, die die Doppelungen innervieren.

Die Eingabe besteht aus den Wortartenkategorien bzw. in den Kategorien, die Komplexe von Wortarten und KNG-Informationen repräsentieren, die den lexikalischen Einheiten Laut für Laut zugeordnet sind. Die Simulation verwendet als Input (für die Nominalphrase *die schöne Müllerin*) die Eingabesequenz *odnsf odnpf Odnsf Odnpf a a A Xnsf n n n n N oynsf oynpf Ynsf*.



367

Abbildung 5.3.2–5: Zustand des Simulationsbildschirms im Zeittakt 367, nach Eingabe der kategorialen Informationen des *e* von *schöne*. Die nach *schön* noch bestehende Mehrdeutigkeit Singular-Plural (erkennbar an den blau symbolisierten EPSP-Resten in den Zellen der Plural-NP) klingt nach dem durch *e* ausgelösten ausschließlichen Feuern der Zellen im Singular rasch ab.

Simulation:

Kongruenz.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Der Verlauf entspricht den Erwartungen. Insbesondere wird die Mehrdeutigkeit der Inputsequenz im Rahmen der Möglichkeiten des Fragments korrekt dargestellt und korrekt auf einen am Ende der Phrase gültigen Wert reduziert. Probleme, die charakteristisch für eine Verwendung von Registern sind, insbesondere die oben diskutierten Beispiele, treten nicht auf. Der KNG-Abgleich ist auf die Bearbeitung sequenzieller Kontexte zurückgeführt und entspricht damit einem Strukturprinzip, das im Kortex auch außerhalb

der Sprachverarbeitung gängig ist. Es sind keine speziellen Apparaturen erforderlich. Sofern keine Vollform eines Nomens oder Adjektivs lexikalisiert ist, werden tatsächlich die KNG-Informationen der dafür zuständigen morphologischen Segmente ausgewertet. Das bedeutet, wenn man darauf Wert legen möchte, dass tatsächlich auch die klassische Unterscheidung von Wort (Wortart) einerseits und Form (KNG) andererseits erhalten bleibt. Der Fall der doppelten Kennzeichnung durch einen ggf. mehrdeutigen KNG-spezifischen Stamm gefolgt von einer spezifischen Endung ist zugelassen (Beispiel: *(den) Müttern*).

Ein in der simulierten Struktur nicht behandeltes Phänomen ist die Zuordnung der Nomina zu Flexionsparadigmata. Eine Nominalphrase wie *die schönen Tische* muss als fehlerhaft erkannt werden, während *die schönen Autos* als korrekt zu akzeptieren ist. Nicht alle Kasus sind betroffen. Da es sich um eine lexikalische Festlegung handelt, ergibt sich (für den Fall segmentierter Wortformen) eine Differenzierung der Wortart Nomen. Syntaktisch kann diese Differenzierung durch eine Struktur von Alternativen bewältigt werden, so dass letztlich die Einheit der Kategorie Nomen mit einer einheitlichen Funktion (Voraussetzung für Lernprozesse an den entsprechenden ODER-Zellen) erhalten bleibt. Die Abbildung 5.3.2–6 gibt ein entsprechendes Fragment für den Nominativ Plural Maskulinum wieder. Die Regelung von starker und schwacher Flexion bei Adjektiven ergibt sich aus dem sequenziellen Kontext und ist also ohne besondere Probleme.

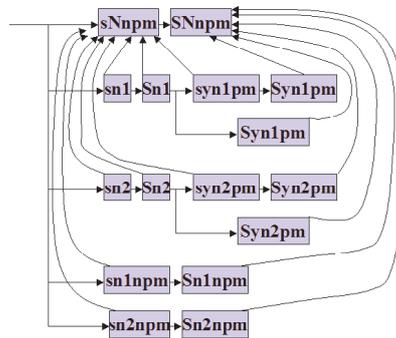


Abbildung 5.3.2–6: Schema zur Flexionsklassenzuordnung im Nominativ Plural Maskulinum. Es sind, um die Übersichtlichkeit zu wahren, nur zwei Alternativen dargestellt. Die Identifikationen sind analog zu den vorangegangenen Abbildungen zu verstehen.

Ergänzend noch ein Blick auf attributive Nominalphrasen, am Beispiel des Genitiv-Attributs:

Die Einbettung eines Genitiv-Attributs innerhalb einer Nominalphrase geschieht nach dem Schema der Abbildung 5.3.2–7. Das Attribut ist eine eigene Kategorie, die vom Nomen der übergeordneten Nominalphrase erwartet wird. Es tritt in mehreren Alternativen auf, die unterschiedliche Kombinationen von Genus und Numerus realisieren und in sich KNG-kongruent sind, mit dem Kasus auf Genitiv festgelegt. Die interne Struktur und die Behandlung der Kongruenz entspricht der für andere Nominalphrasen gültigen. Dass die KNG-Informationen der untergeordneten Nominalphrase andere sind als in der übergeordneten, hat keinen Einfluß auf die KNG-Eigenschaften des Gesamtkomplexes, der ja in der Kategorie der übergeordneten Nominalphrase repräsentiert ist. Die übergeordnete Kategorie wird während der Analyse des eingebetteten Attributs weiter regelmäßig aktiviert.

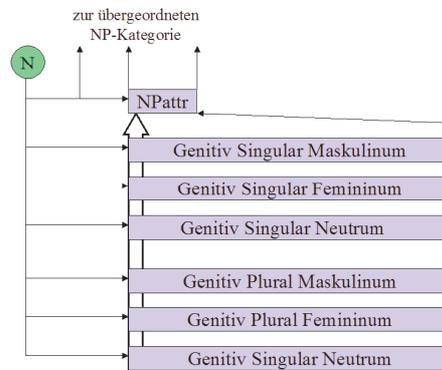


Abbildung 5.3.2–7: Einbettung eines Genitivattributs. Die interne Struktur einzelner Alternativen ist durch Rechtecke symbolisiert, die jeweils kongruente Sequenzen mit den angegebenen Eigenschaften bezeichnen.

5.3.3 Verbvalenz

Maßgebend für die Modellierung der Verbvalenz sind einige kaum bezweifelbare Beobachtungen bzw. Annahmen:

- Die syntaktische Valenz ist eine lexikalische Information, muss also von der lexikalischen Ebene aus in der syntaktischen Hierarchie nach oben weitergeleitet werden.
- Die Valenz muss nicht eigens für jede Form eines einzelnen Verbs gelernt werden, die verschiedenen Verbformen sind diesbezüglich funk-

tional gleich. (Gelegentlich werden Ausnahmen diskutiert, vgl. Choi, 1998: 77–84.)

- Die Person-Numerus-Information ist ebenfalls lexikalisch und für viele Verben nicht nur an die Flexionsendungen gebunden. Es gilt Kongruenz der Person-Numerus-Information bei Prädikat und Subjekts-NP.

Diese Voraussetzungen haben zunächst Konsequenzen für die Repräsentation der Kongruenz von Subjekts-NP und Verb und für die Behandlung der verschiedenen verbalen Flexionsformen. Die Abbildung 5.3.3–1 gibt eine Skizze der entsprechenden Strukturen.

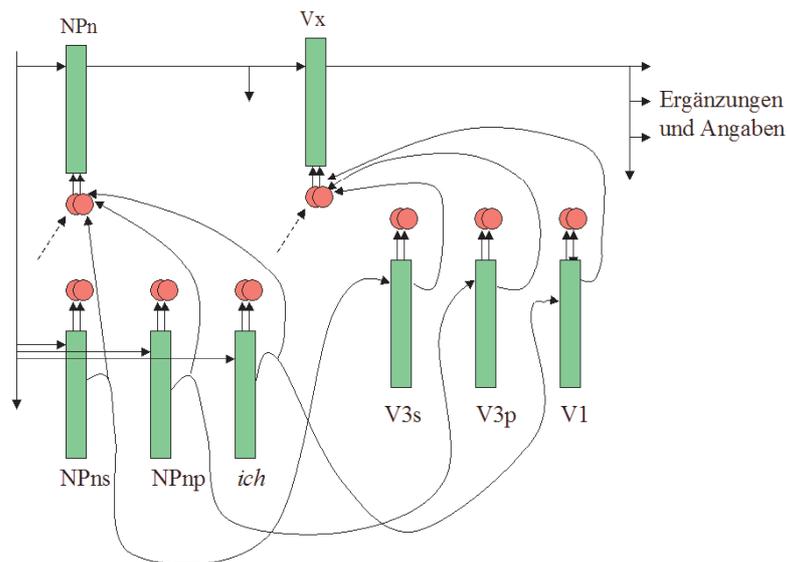


Abbildung 5.3.3–1: Ausschnittweise schematische Darstellung des strukturellen Zusammenhangs von Subjekt-Verb-Kongruenz und Valenz. Nur Sequenzverbindungen, die von Endelementen ausgehen, sind eingezeichnet. Die verbalen Strukturen für Person und Numerus müssen für jede Valenzkategorie vorhanden sein. Die Abbildung zeigt beispielhaft nur eine einzige Kategorie (Vx).

Es ist wichtig, zu beachten, dass diese Konstruktion nur funktionieren kann, wenn das finite Verb unmittelbar auf die Subjekts-NP folgt.

Die in der Abbildung angedeuteten Kategorien V3s, V3p, V1 (usw.) setzen Strukturen voraus, die analog der Kategorie Nomen gebildet sind. Das

heißt, dass sowohl mit segmentierten, als auch mit nicht-segmentierten Verbformen bzw. veränderbarem Verbstamm gerechnet werden muss. Wenn man zunächst von der Problematik der Formen im Perfekt und Plusquamperfekt absieht, ergibt sich die Anordnung der Abbildung 5.3.3-2 (analog zur Abbildung 5.3.2-6 für den nominalen Bereich).

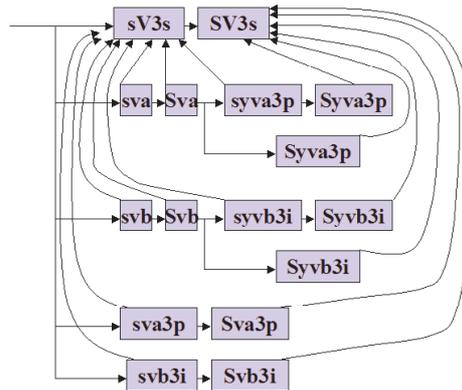


Abbildung 5.3.3-2: Struktur von Verbformen.

Es ist klar, dass das Verb, da es Relationen zwischen Elementen ausdrückt, eine sehr bestimmende Funktion für die Satzstruktur haben muss. Wenn man die Verbvalenz im Rahmen der Dependenzgrammatik behandelt, gilt zunächst die allgemeine Definition von Dependenz, die sich in der strukturalistischen Sprachtheorie auf die Vorkommensabhängigkeit bezieht (älterer Überblick z. B. bei Brinker, 1972, S. 124 f. und 172 ff.). Für den Fall der Verbvalenz: Bestimmte Strukturen sind nur dann möglich, wenn ein bestimmtes Verb im Satz vorhanden ist. Diese Definition schließt Reihenfolgeinformationen über die Abfolge der betroffenen Elemente aus. Wenn ein Strukturbaum für einen konkreten Satz angegeben werden soll, kann die Reihenfolge der Konstituenten auf verschiedene, als mehr oder weniger künstlich erscheinende Weise zusätzlich angegeben werden.

Wenn der Verstehensprozess im Gehirn an den Verlauf der Inputsequenz zeitlich gebunden sein soll und Abfolge durch die Leistung sequenzbildender Zellen zustande kommt, ändert sich das Bild grundsätzlich. Die Definition von Dependenz kann als Beschreibung auf einer Metaebene beibehalten werden. Eine Aussage wie die, dass ein Artikel an das Vorhandensein eines Nomens gebunden ist, bleibt gültig. Diese Abhängigkeit wird aber sequenziell hergestellt. Im Falle des Verhältnisses von Artikel und Nomen hat das keine weiteren einschneidenden Konsequenzen, wohl aber bei der Verbvalenz.

Bei der Verbvalenz (im Deutschen) können bei gleicher Valenz die vom Verb abhängigen Elemente in verschiedener Reihenfolge erscheinen. Da die Reihenfolge neuronal kontrolliert werden muss, kann die sequenzielle Repräsentation einer bestimmten Valenz verschiedene Reihenfolgen als Alternativen haben. Im Zuge dieser Überlegung wird dann auch klar, dass valenztheoretisch vom Verb bestimmte Elemente dem Verb vorausgehen können, wie das im Deutschen der Fall ist, so dass bei sequenzieller Repräsentation eines dieser Elemente die Kategorien möglicher Verben selektiert und nicht umgekehrt das Verb die Kategorie des (schon vorausgegangenen) „abhängigen“ Elements. Wenn man den Analyseverlauf betrachtet, erinnert das an die sukzessive Verarbeitung der KNG-Information innerhalb der Nominalphrase. Es ist interessant, dass es im Deutschen keine Verben gibt, deren Valenz sich nur in der Reihenfolge der abhängigen Elemente unterscheiden würde.

Es geht hier ausschließlich um die Modellierung der *syntaktischen* Valenz. Die Abgrenzung der syntaktischen Valenz von dem, was als „semantische Valenz“ bezeichnet worden ist, ergibt sich formal daraus, dass die syntaktischen Eigenschaften eines lexikalischen Elements anders repräsentiert sind, als die semantischen bzw. inhaltlichen (siehe oben Abschnitt 5.2.2; Überblick zur Abgrenzungsproblematik z. B. bei Coe, 2006: 89 ff.). Im Einzelfall, da man ja bei neuronalen Strukturen immer mit individuellen Abweichungen bei einzelnen Sprechern rechnen muss, kann die Grenzziehung unterschiedlich sein. Zu beachten ist aber, dass eine große Anzahl valenztheoretischer Beschränkungen dadurch bedingt ist, dass ein verbaler Inhalt nicht zu einer szenischen Umgebung passt, was außerhalb der Syntax, z. B. im Zusammenhang mit Gedächtnisphänomenen, kontrolliert wird. Das gilt sowohl für die üblicherweise als „Ergänzungen“ eingestuft Elemente, das heißt Elemente, deren Vorkommen von der Wahl eines bestimmten Verbs abhängig ist, als auch für Elemente, die als unabhängig gesehen werden, also „freie Angaben“.

Man vergleiche dazu die folgende Liste von Sätzen (auffällige Konstruktionen sind mit * gekennzeichnet).

Paula kämmt die Haare.
Paula kämmt die Wolle.
 **Paula kämmt das Gras.*
Paula kämmt die Wolle glatt.
Paula kämmt die Haare glatt.
 **Paula putzt die Haare.*
 **Paula putzt die Schuhe glatt.*
Paula putzt die Schuhe sauber.

- *Paula kämmt die Haare sauber.
 *Paula putzt den Teig.
 *Paula putzt das Gemüse sauber.
 Paula putzt die Blätter des Gummibaums sauber.

Verglichen mit üblichen Beschreibungen der Verbvalenz reduziert sich bei Beschränkung auf die Syntax die Menge der Valenztypen sehr deutlich.

Eine den möglichen Lernprozessen entsprechende und damit auf Sequenzbeziehungen zurückgeführte Repräsentation einer Verbvalenz (Typ *schenken*) ist in Abbildung 5.3.3–3 skizziert.

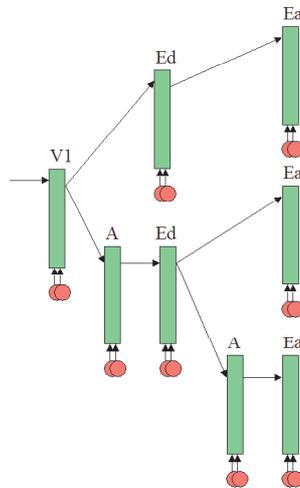


Abbildung 5.3.3–3: Beispiel für eine Valenzstruktur. Ea = Ergänzung im Akkusativ, Ed = Ergänzung im Dativ, A = nicht verbabhängige „freie Angabe“. Nicht alle möglichen Alternativen sind dargestellt.

Je nach den individuellen Eigenschaften des konkreten Spracherwerbsprozesses bei einer bestimmten Person sind für die strukturelle Repräsentation der Alternativen auch andere Möglichkeiten, die den biologischen Lernparametern entsprechen, denkbar.

Im Deutschen können Elemente, die nicht nominativisch sind, vor dem finiten Verb stehen, das gilt sowohl für verbabhängige Ergänzungen als auch für nicht verbabhängige Elemente. Es ist also möglich, Sätze zu haben wie

Seinem Freund schenkt Paul in der kommenden Woche ein Buch.

Die zur Valenz von *schenken* gehörende Ergänzung im Dativ steht in Spitzenstellung.

Das hat zusätzlich auch zur Konsequenz, dass die Kongruenz zwischen Subjekts-NP und Verb jetzt Sequenzverbindungen voraussetzt, die nicht mehr von der Subjekts-NP, sondern umgekehrt vom Verb ausgehen. Die Subjekts-NP muss dann unmittelbar auf das Verb folgen. Damit entsteht ein insgesamt verändertes Satzmuster, das, als Alternative zu den Möglichkeiten der Abbildungen 5.3.3-1 und 5.3.3-3, ebenfalls zur Kompetenz eines Sprechers des Deutschen gehört.

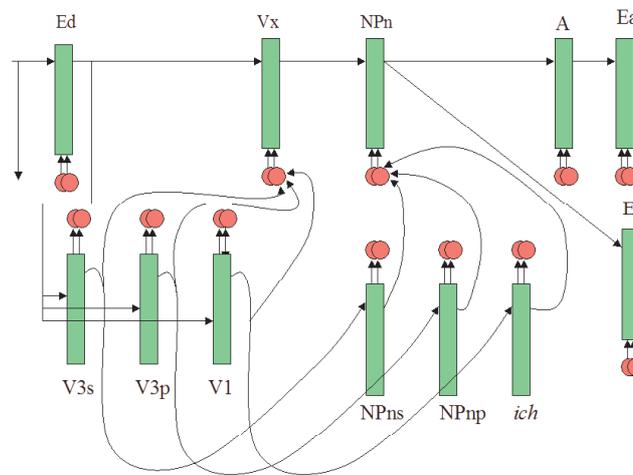


Abbildung 5.3.3-4: Beispiel für eine Valenzstruktur mit Dativ in Spitzenstellung. Abkürzungen wie in Abbildung 5.3.3-3. Es sind wie in Abbildung 5.3.3-1 nur von Endelementen ausgehende Sequenzverbindungen eingezeichnet.

5.3.4 Diskontinuierliche Konstituenten

Diskontinuierliche Konstituenten sind Konstituenten, in deren Verlauf andere Konstituenten eingeschoben sind.

Diskontinuierliche Konstituenten stellen in einer neuronalen Struktur kein grundsätzliches Problem dar. Letztlich ist die entsprechende „Technik“ identisch mit der bei Selbsteinbettung oben in Abschnitt 5.2.4 vorgeschlagenen. Die Abbildung 5.3.4-1 zeigt einen entsprechend modifizierten Ausschnitt aus der Abbildung 5.2.4-7.

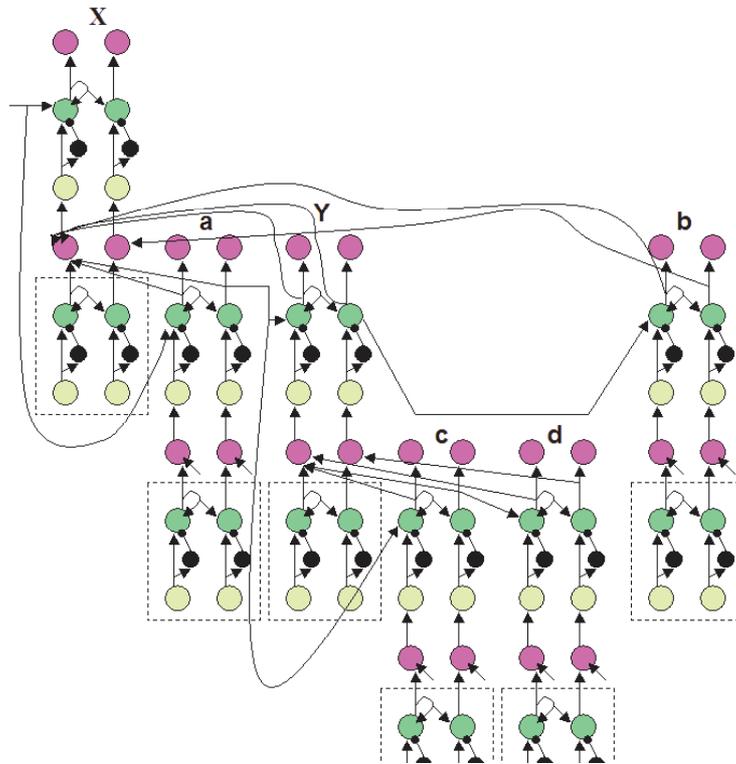


Abbildung 5.3.4-1: Schematische Darstellung zur Einbettung einer Konstituente in den Verlauf einer anderen.

Das eingebettete Material muss aus vollständigen Konstituenten bestehen, so dass eine Ende-Information enthalten ist, die den zweiten Teil der unterbrochenen Konstituente erwartet. Die übergeordnete Kategorie bleibt während der Einbettung aktiviert, was gut zum Konzept der Diskontinuität stimmt.

Das Vorhandensein diskontinuierlicher Konstituenten ist gerade für das Deutsche typisch. In dem Satz

Paul hat dem Freund ein Buch geschenkt

gilt *hat ... geschenkt* als diskontinuierliche Konstituente, im Generativismus wird zur Erklärung das Konzept der Bewegungstransformationen herangezogen, das aber die Möglichkeiten neuronaler Strukturen überfordert, also in unserem Zusammenhang nicht verwendet werden kann.

Die zweiten Elemente diskontinuierlicher Konstituenten können nicht an beliebiger Stelle stehen. Der Satz *Paul hat dem Freund geschenkt ein Buch* wäre ungrammatisch. Das bedeutet, dass *seinem Freund ein Buch*, auch einschließlich möglicher freier Angaben, eine einheitliche und nicht unterbrechbare Konstituente ist. Die Struktur der Abbildung 5.3.4–1 entspricht dieser Voraussetzung. Die eingebettete Kategorie ist Y, a steht für das Hilfsverb, b für das Partizip.

Die Abbildung 5.3.4–2 zeigt beispielhaft, wie innerhalb der Gesamtstruktur die Valenz des Partizips repräsentiert ist.

Wenn sichergestellt werden soll, dass die Struktur von Yx der Valenz des Partizips entspricht und auch HV richtig gewählt ist, ist das nur möglich, wenn der gesamte Komplex, also auch die Kategorie X in Abbildung 5.3.4–1 valenzklassenspezifisch ist.

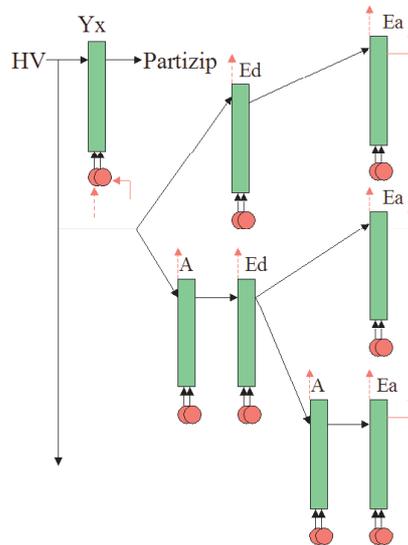


Abbildung 5.3.4–2: Verbale Klammer mit eingebetteter Valenzstruktur. Graphische Darstellung analog den Abbildungen des Abschnitts 5.3.3. Die senkrechten roten Pfeile führen an der ebenfalls durch einen senkrechten Pfeil bezeichneten Stelle auf die Kategorie Yx, die gewinkelten roten Pfeile, die von Endelementen ausgehen, an der durch einen gewinkelten roten Pfeil markierten Stelle auf das Endelement von Yx.

Relativsätze und bestimmte andere Konstituenten können ausgeklammert werden. Relativsätze müssen sich dann nicht notwendig auf die letzte NP be-

ziehen. Beispiel: *Paul hat dem Freund das Buch geschenkt, den er sonst immer verachtete*. Die nähere Bestimmung des Relativpronomens kann schon allein wegen des zeitlichen Abstands nicht durch eine Sequenzverbindung geleistet werden, und die verbale Klammer, die ja bis zum Ende des Partizips durchgehend aktiviert ist, ist nicht für Numerus und Genus markiert. Beispiele für andere Konstituenten, die bezüglich des Beispiels ausgeklammert werden können, sind: *... als wäre es keinen Pfifferling wert, ... obwohl er sehr geizig ist, ... obwohl es sehr teuer war*. Verbergänzungen (soweit sie eindeutig als solche interpretiert werden müssen) können nicht ausgeklammert werden. Der Satz *Paul hat dem Freund geschenkt das Buch* ist ungrammatisch. Man ist also berechtigt, anzunehmen, dass das ausgeklammerte Element von der Klammer insgesamt erwartet wird, nicht von einem der Elemente innerhalb der Klammer (Abbildung 5.3.4–3). Ein Zusammenhang wird auf inhaltlicher Ebene hergestellt.

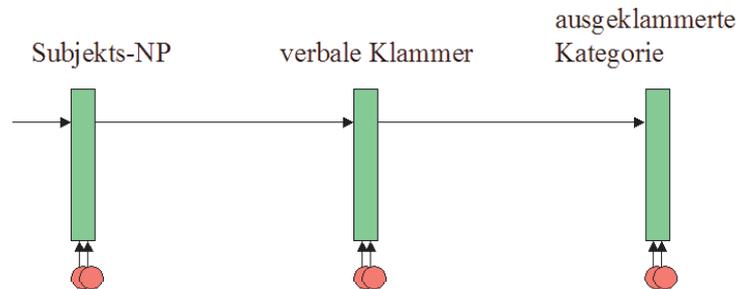


Abbildung 5.3.4–3: Strukturelle Position von ausgeklammerten Konstituenten. Sie werden vom Endelement der verbalen Klammer erwartet.

Innerhalb der Satzklammer ergibt sich im Verlauf des Verstehensprozesses ein Vereindeutigungsverfahren wie bei den Kongruenzphänomenen, der schließlich zu Beschränkungen für die Auswahl des Partizips führt.

Die Behandlung des Partizip Perfekt verdient eine zusätzliche Bemerkung. Im Bereich von Wörtern ist grundsätzlich mit Lexikalisierung zu rechnen. So gilt wohl für alle starken Verben, dass entweder die Partizipien als Ganzes oder die Verbstämme lexikalisiert sind. Partizipien schwacher Verben sind sicherlich sehr häufig nicht lexikalisiert und können aus lexikalischen Segmenten zusammengesetzt erscheinen. Dabei ist nicht mit einer diskontinuierlichen Konstituente *ge ... t* usw. zu rechnen. Sowohl *ge* als auch *t* können im Lexikon mehrdeutig sein und syntaktisch jeweils eine geeignete Kategoriezugehörigkeit haben.

Eine schematische Darstellung der entsprechenden Verarbeitungsstruktur für eine Valenzklasse x gibt Abbildung 5.3.4–4.

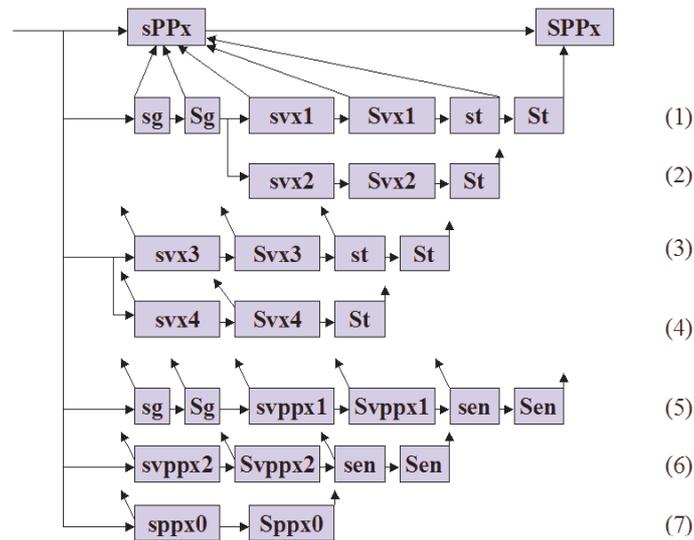


Abbildung 5.3.4–4: Beispiel einer Verarbeitungsstruktur für ein Partizip der Valenzklasse x (analoge Verarbeitungsstrukturen müssen für alle Valenzklassen angenommen werden). Die Symbolisierung entspricht der von Abbildung 5.3.2–3 bzw. 5.3.2–4. Die Randziffern geben Hinweise auf die unterschiedlichen strukturellen Möglichkeiten: (1) schwaches Verb mit Präfix *ge* und Suffix *et*; (2) schwaches Verb mit Präfix *ge* und Suffix *t*; (3) und (4) wie (1) und (2), jedoch ohne Präfix *ge*; (5) starkes Verb mit Präfix *ge*; (6) starkes Verb ohne Präfix *ge*; (7) Vollform eines Partizips.

Vorausgesetzte Lexikoneinträge und syntaktische Verbindungen (letztere müssen jeweils pro Phonem vorhanden sein) für die Beispiele *geben* und *schenken*:

/geb/ svppx1, Endelement Svppx1

/schenk/ svx2, Endelement Svx2

/ge/ sg, Endelement Sg

/t/ nur als Endelement St

/et/ st, Endelement St

/en/ sen, Endelement Sen

/gegeben/ sppx0, Endelement Sppx0

(Eine gleichzeitige Aktivierung der Vollform und der segmentierten Form ist für den Analyseprozess unschädlich.)

„Trennbare“ Verben (Partikelverben) liefern weitere Beispiele für Klammerstrukturen. Dazu gehören u. a. viele Verben, die mit der Partikel *vor* gebildet sind, und die bemerkenswerterweise unterschiedlichen Valenzklassen angehören.

Eine der Klassen umfasst Verben vom Typ *vortäuschen*, die eine fakultative Ergänzung im Dativ und eine obligatorische Ergänzung im Akkusativ haben:

vormachen
vorstellen
vorführen
vorsagen
vorbehalten
vorbeten
vorblasen
vorblättern
vorerzählen
vorexerzieren
voressen
vorgaukeln
vorgeben
vorhalten
vorheulen
vorjammern
vorlesen
vorlügen
vorrechnen
vorsingen
vorspiegeln
vorspielen
vorsprechen
vortäuschen
vortragen
vorturnen
vorzaubern

Eine andere Klasse steht nur mit Akkusativ (*vor* drückt hier ein zeitliches Verhältnis aus), ein prinzipiell möglicher Dativ hat nicht Ergänzungscharakter:

vordatieren
vorbohren
vorbestimmen
vorbestellen
vorbehandeln
vorwärmen
vorwählen
vorstreichen
vorprogrammieren
vorbereiten

Andere Verben sind beschränkt auf die Subjekts-NP, *vor* kann meistens räumlich verstanden werden:

vorpreschen
vorquellen
vortreten
 usw.

Alle trennbaren Verben haben Bestandteile, die auch allein vorkommen können. Verben, deren Bestandteile nicht trennbar sind, müssen als Ganzes lexikalisiert sein, bei trennbaren Verben stellt die Lexikalisierung als Ganzes ein Problem dar, da lexikalisch Diskontinuitäten neuronal nicht darstellbar sind (Lernprobleme!). Es bleibt nur die Möglichkeit, die abtrennbare Partikel als Bestandteil der Valenzstruktur zu betrachten. Das Verb *täuschen* hat dann Formen, die der Valenzstruktur der Sätze *Paul täuscht das Finanzamt* oder *der Eindruck täuscht* entsprechen, aber auch nach dem gleichen Prinzip als Valenzstruktur (mit stärker abweichender Bedeutung) die Möglichkeit *Paul täuscht dem Finanzamt bittere Armut vor* zulässt. Die Partikel *vor* ist separat lexikalisiert und mit einer syntaktischen Struktur verknüpft, die zur Valenzstruktur von *vortäuschen* passt. Ein syntaktischer Mechanismus, der sowohl Sätze der Form *... täuscht ... vor* und (zum Vergleich) *... täuscht ...*, als auch Sätze der Form *... hat ... vorgetäuscht* bzw. *hat ... getäuscht* im syntaktischen Verstehensprozess bearbeiten kann, ist in Abbildung 5.3.4–5 skizziert.

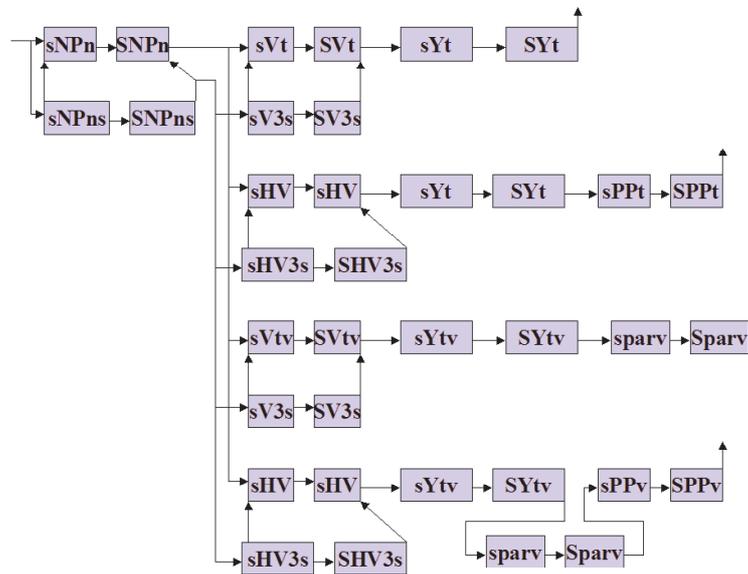


Abbildung 5.3.4–5: Schematische Struktur zu Sätzen mit Partikelverben (trennbaren Verben), Beispiel täuscht – vorgetäuscht. Die einzelnen Strukturbestandteile sind hauptsächlich auf die sequenzenbildenden Zellen und deren Verbindungen bezogen, daher ist den Identifikationen wie in einigen der vorangegangenen Abbildungen jeweils s bzw. S vorangestellt. Abkürzungen: NPn = Nominalphrase im Nominativ; NPns = Nominalphrase im Nominativ Singular (mögliche Struktur dazu in Abbildung 5.3.2–4); Vt = finites Verb mit der Valenz von *täuschen*; Vtv = finites Verb mit der Valenz von *vortäuschen*; V3s = Verbform der dritten Person Singular; Yt bzw. Ytv Valenzstrukturen (vgl. Abbildung 5.3.4–2), Yt hat im Unterschied zu Ytv keine Dativergänzung; HV bzw. HV3s = Hilfsverb *haben* bzw. die dritte Person Singular davon; PpT bzw. PpTv = Partizip Perfekt von Verben mit der Valenz von *täuschen* bzw. *vortäuschen* (vgl. Abbildung 5.3.4–4); parv = Partikel *vor*.

Bei Nebensätzen muss ggf. die gesamte Struktur nach der Konjunktion als singularisch oder pluralisch unterschieden werden, um Kongruenz zu gewährleisten. Die Reihenfolge der Konstituenten hat größere Freiheiten, z. B.

- dass die Freunde dem Besitzer das Buch geschenkt haben.
- dass dem Besitzer die Freunde das Buch geschenkt haben.
- dass dem Besitzer das Buch die Freunde geschenkt haben.

An dieser Stelle kann nun der Versuch einer größeren Simulation unternommen werden, die an einem Beispiel zeigen soll, wie der Gesamtkomplex, beschränkt auf Person-Numerus-Kongruenz von Subjekt und Verb, Valenz und Diskontinuität funktioniert. Die Vorgänge innerhalb der einzelnen Nominalphrasen werden nicht modelliert, sie sind in der in den Abbildungen 5.3.2–4 und 5.3.2–5 beschriebenen Simulation bereits behandelt. Hier werden also nur die Verarbeitungsergebnisse (die entsprechenden Impulsfolgen) der Nominalphrasen mit Hilfe eines externen Inputs einbezogen.

Das Schema der Abbildung 5.3.4–6 zeigt die verwendete Anordnung mit Hinweisen auf die Funktion der einzelnen Teilstrukturen. Der in der Simulation verwendete Beispielsatz ist *Die Fahrerin hat dem Gericht den Unfall vorgetäuscht*.

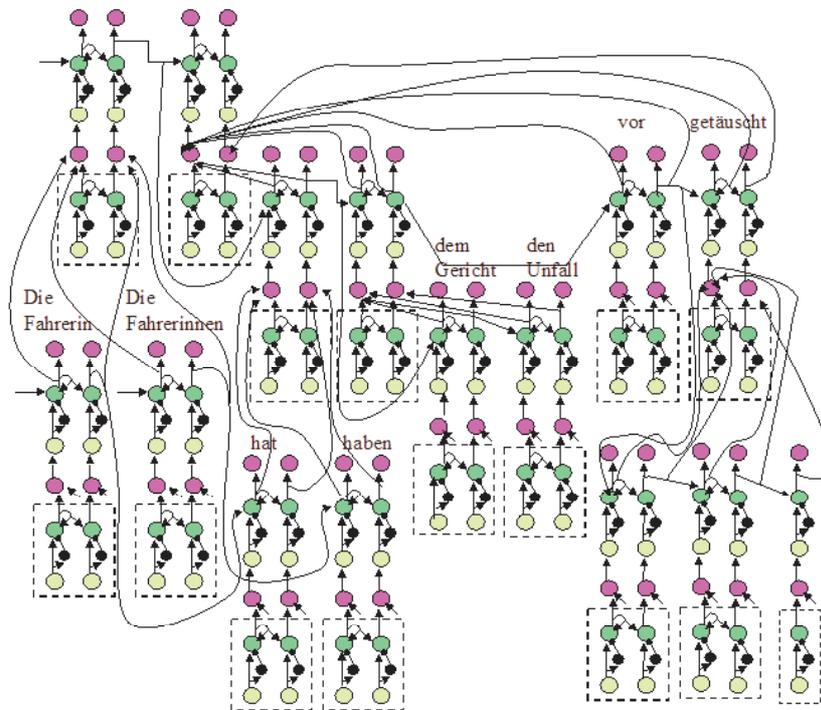
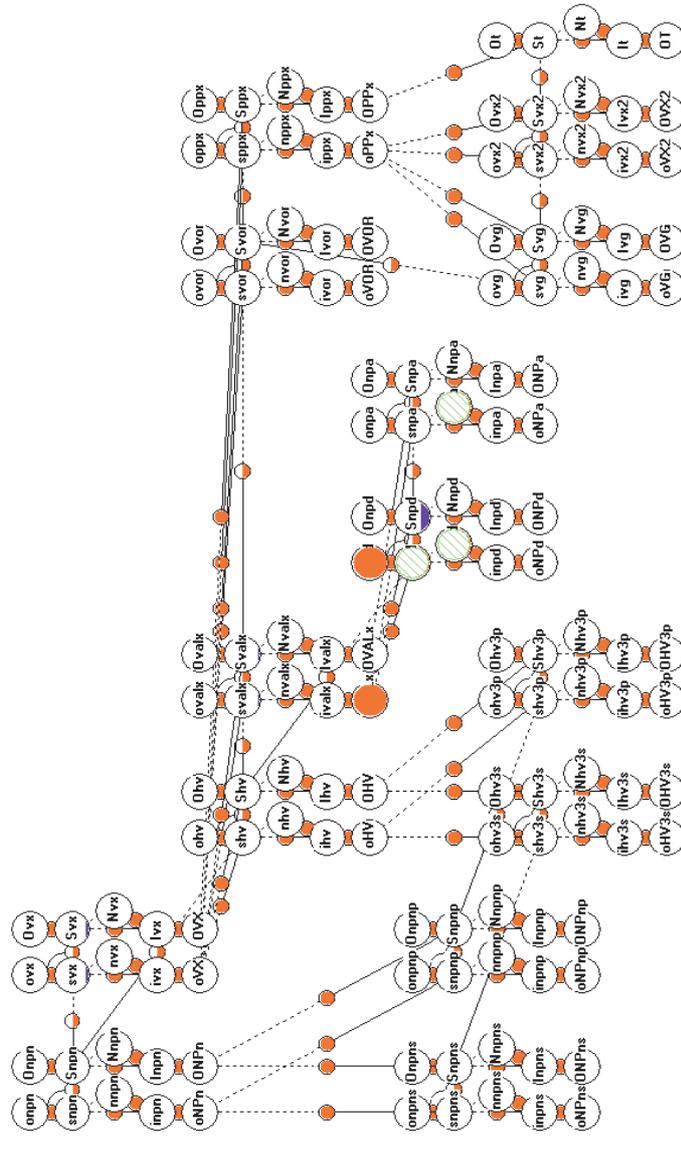


Abbildung 5.3.4–6: Schema zur Simulation der Kongruenz von Subjekt und Verb und der Verarbeitung von Verbvalenz mit einer diskontinuierlichen Konstituente.

Die Abbildung 5.3.4–7 gibt den Zustand des Simulationsbildschirms im Zeittakt 1057 wieder. Wie in den vorangegangenen Simulationen sind die defini-

renden Strukturen für die hierarchiebildenden ODER-Zellen (in Abbildung 5.3.4–6 gestrichelt umrahmt) weggelassen.



1057

Abbildung 5.3.4–7: Simulationsbildschirm. Erläuterungen im Text.

Simulation:
Subjekt-Verb-Kongruenz und Diskontinuität.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.
 Es ist auch möglich, in einem schnellen Durchgang, der mit Start – Simulation bis Stop ausgelöst werden kann, rasch bis zum Zeittakt 1057 zu gelangen, und von dort aus mit Leertaste weiter zu simulieren.

Erläuterungen zum Verlauf der Simulation:

- 1 ff. Es werden zunächst Kontexte etabliert, die der Erwartung einer Nominalphrase im Nominativ entsprechen.
- 20 ff. Während des Inputs von *die FahrerIn* sind bis zum Endelement von *FahrerIn* exklusive Singular-NP und Plural-NP parallel aktiviert. Außerdem erzeugt die nicht numerusspezifische NP-Nominativ-Struktur regelmäßig Impulse. Das Endelement von *FahrerIn* bewirkt: (1) den Abschluss der Nominativ-NP und damit die Erwartung der folgenden Verbstruktur, (2) die Erwartung des folgenden Singulars von *haben*.
- 705 ff. Obwohl der Input *ha...* zunächst mehrdeutig ist, wird die Pluralversion durch die entsprechende sequenzenbildende Zelle, die kein Erwartungspotenzial hat, blockiert. Die nicht numerusspezifische Repräsentation des Hilfsverbs und die Repräsentation des gesamten Verbalkomplexes werden aktiviert, so dass sich eine auf dem Bildschirm von unten nach oben fortpflanzende Impulsfolge ergibt. Das Endelement von *hat* führt zur Erwartung der Gruppe der Ergänzungen und der Ergänzung im Dativ.
- 905 ff. Die Fortsetzung mit *dem* ist zunächst mehrdeutig, die Aktivierung kann aber nur bei der erwarteten Dativ-NP den Kontextfilter überwinden. Ab dem *m* von *dem* ist aufgrund des Kongruenzmechanismus innerhalb der (nicht wiedergegebenen) NP-Struktur nur noch die Dativ-NP aktiviert. Anschließend wird die Akkusativ-NP erwartet.
- Die Bildschirmwiedergabe in Abbildung 5.3.4–7 zeigt den Zustand unmittelbar nach dem Input des zweiten Bestandteils der Länge des /e:/ in *dem*. Es sind aktiviert: die Dativ-NP (die Struktur der Akkusativ-NP zeigt eine hemmende Zelle im refraktären Zustand und keine weitere Erregung), die zusammenfassende Kategorie der Ergänzungen und die Kategorie des Verbkomplexes (kenntlich an den blauen Pegeln der Zellen *svs* und *Svs*).

- 1590 ff. Eingabe von *den Unfall*. Der Anfang ist wieder mehrdeutig, jetzt wird aber die Dativ-Ergänzung blockiert und der Input korrekt der erwarteten Akkusativ-Ergänzung zugeordnet. Durch das Endelement dieser Ergänzung wird auch die Kategorie der Ergänzungen beendet und die Kategorie der Partikel *vor* erwartet.
- 2200 ff. Eingabe von *vor*.
- 2390 ff. Verarbeitung des Partizips aufgrund der Eingabe der Sequenz *ge - täusch - t*. Das Endelement des Partizips beendet auch die Kategorie des Verbkomplexes, die bis zu diesem Zeitpunkt als diskontinuierliche Konstituente aktiv geblieben ist.

5.3.5 Einheitlichkeit syntaktischer und lexikalischer Strukturprinzipien für Perzeptionsvorgänge

Obwohl die in den vorangegangenen Abschnitten begründeten syntaktischen Strukturen eigenständige Funktionen haben, bestehen sie doch letztlich in Wiederholungen von Elementen, die schon für lexikalische Strukturen gelten. Selbst das Charakteristikum der Hierarchiebildung ist insofern kein wesentliches Unterscheidungskriterium, als man die lexikalischen Einheiten als unterste Ebene der sprachlichen Hierarchie betrachten kann und nur die lautliche Ebene, vor allem mit den subkortikalen Anteilen, eine Sonderrolle hat.

Die Strukturen basieren für alle Hierarchieebenen auf Lernvorgängen, die durch allgemein kortextypische Zelleigenschaften definiert werden. Dazu gehört vor allem die Eigenschaft sequenzenbildender Zellen, nach dem Feuern die Bereitschaft zur weiteren Ausbildung von Sequenzverbindungen zu reduzieren. Das gleiche Prinzip gilt für instanzbildende Zellen, die nur dann zu einer stabilen Konzeptbildung beitragen können, wenn sie nach dem Feuern, als einem bestimmten Konzept zugeordnet, nicht mehr in weitere Lernprozesse eingebunden werden. Hierarchien können aber nur dann zustandekommen, wenn ein weiterer Zelltyp vorhanden ist, der ODER-Funktion hat und für den das Herunterregulieren der Lernbereitschaft nicht gilt. Zellen dieses Typs müssen durch eine überschwellige Erregung ausgezeichnet werden, um dann gezielt die Verstärkung bestimmter Verbindungen zu ermöglichen.

Die Möglichkeit angeborener Strukturen, von Eigenschaften isolierter Zellen abgesehen, zum Start des Spracherwerbsvorgangs auf syntaktischer Ebene wird in Teil 8, „Spracherwerb“ diskutiert. Der Aufbau einer Grammatik

im Detail ist aber nicht durch entsprechend ausführliche angeborene Vorgaben bestimmt, sondern eher ein Nebeneffekt von Eigenschaften einzelner kortikaler Zelltypen.

Prinzipiell führen Lernprozesse im Kortex zur Redundanz entstehender Strukturen. Das gilt also sowohl für das Lexikon als auch für die Syntax in allen Bereichen. Das bedeutet, dass der Zwang zur Generalisierung bei der Konstruktion von Grammatiken aufgegeben werden muss. Wenn man, z. B. verglichen mit Regelgrammatiken, ein Anschwellen der Zahl der Kategorien und Muster beobachtet, ist das kein Kriterium, das zur Ablehnung einer Konstruktion berechtigt.

Dieses Anschwellen ist hauptsächlich auf die schon oben erwähnten Lerneigenschaften sequenzenbildender Zellen zurückzuführen. Sie entsprechen der Forderung, dass Fortsetzungen der Analyse ab einem bestimmten Zeitpunkt verlässlich abhängig sein sollten von den vorangegangenen Vorgängen. Für Lexikonrepräsentationen ist diese Forderung von vornherein einsichtig. Man beachte aber, dass die in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Kongruenz- und Valenzphänomene auf dieselbe Eigenschaft angewiesen sind. Es würde tatsächlich zu chaotischen Verläufen führen, wenn man mit anderen Lernbedingungen an sequenzenbildenden Zellen rechnen würde.

Bearbeitung von Alternativen, Mehrdeutigkeit und sukzessive Vereindeutigung sind Vorgänge, die ebenfalls für Syntax und Lexikon nach gleichartigen Prinzipien funktionieren.

Idiomatische Ausdrücke haben Bedeutungen, die sich nicht aus den Bedeutungen einzelner in ihnen enthaltener Wörter ergeben. Das Besondere und Schwierige ist aber, dass sie nicht feststehende Wendungen im strengen Sinne sind. Sie haben durchaus variable syntaktische Möglichkeiten, man vergleiche die Lexikonangabe „den Löffel abgeben“ mit Realisierungen wie *Paul hat den Löffel abgegeben* oder *Wenn Paul so weiter trinkt, gibt er bald den Löffel ab*. Es ist daher unwahrscheinlich, dass sie wortwörtlich lexikalisiert sind. Wenn wirklich ein Verb mit bestimmten Ergänzungen vorliegt, kann man offenbar auf Mechanismen zur Darstellung der Verbvalenz zurückgreifen, was allerdings zunächst nur das syntaktische Problem löst. Jedenfalls verwischt die Behandlung der idiomatischen Ausdrücke – auch in neuronaler Sicht – die Grenzziehung zwischen Lexikon und Syntax.

Natürliche Sprachen sind offenbar auf die entsprechenden, allgemein auch für andere kognitive Leistungen gültigen kortikalen Eigenschaften eingestellt. Es ist nicht so, dass die Struktur natürlicher Sprachen von vornherein auf eine umfangreiche sprachspezifische Spezialentwicklung des Gehirns im Lauf der Evolution angewiesen wäre. Plakativ formuliert: Das Gehirn hat

sich nicht an den Bedürfnissen der Sprachstruktur orientiert, sondern umgekehrt: die Sprachstruktur an den Möglichkeiten des Gehirns.

5.4 Inkohärenz, Reparaturen

5.4.1 Monitoring

Die Diskussion

Monitoring ist in der Linguistik in erster Linie für Sprachproduktionsprozesse behandelt worden. Besondere Beachtung hat dabei die „perceptual loop theory“ des Monitoring gefunden, die von Levelt (1983) vorgeschlagen und in Levelt (1989) noch einmal mit konkurrierenden Modellen verglichen worden ist. Die wesentlichen Strukturen sind in der folgenden Abbildung 5.4.1–1 (Wiederholung von Abbildung 2.5.2–2 aus Teil 2, „Grundlagen“) skizziert.

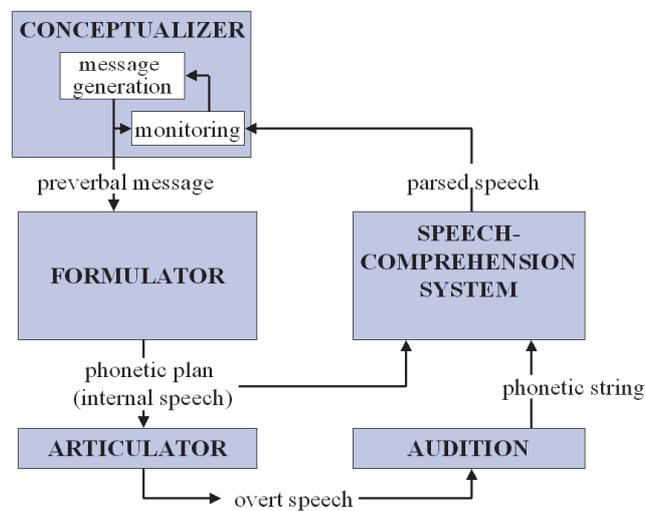


Abbildung 5.4.1–1: Monitoring in Levelts Sprachproduktionsmodell, Wiederholung der Abbildung 2.5.2–2.

Die Funktion der Monitoring-Komponente wird in Levelt (1983:49f.) so beschrieben:

„The monitor, finally, performs two functions. The first one is a matching function: it compares parsed aspects of inner and outer speech with (i) the intentions, and the message sent to the formulator, and (ii) criteria or standards of production. The former comparison (i) entails checking whether what was said to what was intended [...].

The other comparison (ii) done by the monitor is with standards of production; it has to do with the detection of speech errors, syntactic flaws, etc, but also with maintaining standards of rate, loudness, and other prosodic aspects of speech [...].

In conclusion, then, we prefer to assume that repairing speech involves a perceptual loop: the self-produced inner or overt speech is perceived, parsed and checked with respect to intentional and contextual appropriateness, agreement of intended and delivered message, and linguistic correctness.“

Aus der angegebenen Funktion des Monitors wird klar, dass er der Conceptualizer-Komponente zuzuordnen ist, wie in Abbildung 5.4.1 angedeutet, und Input aus dem Konzeptualisierungsvorgang und der Rückmeldung über den Parser erhält. Obwohl die Wahrnehmung von innerem Sprechen und gehörtem sprachlichem Input durch denselben Apparat erfolgt, ist doch die Funktion des Monitors nach Levelt (1983:97) für den Sprecher verschieden von der für den Hörer:

„The first function of monitoring, *matching* [...] can for the large majority of cases in our corpus be performed by comparing the result of parsing one’s own (inner) speech, i.e., the derived message to one’s original intentions. It was argued in Section 2 that the speaker has access to both the intended and the derived message; the process of comparison can thus take place ‘in’ working memory. It should be stressed that a perceptual theory of monitoring is perceptual only in that the same parser is involved in understanding an interlocutor’s speech and in deriving the message from one’s (inner) speech. What is *done* with the derived message is quite different in the two cases. In listening to somebody else, one normally matches it to the current discourse model, in order to modify or extend the latter. In liste-

ning to oneself the matching is with the intended message, and the criterion is identity of intention.“

Viele Details dieser Konstruktion bleiben unklar. Es ist zu fragen, wie bei der Konstruktion der Abbildung 5.4.1–1 eine Kontrolle der phonetischen (Levelt, 1989) oder phonologischen (Wheeldon & Levelt, 1995; Levelt, Roelofs & Meyer, 1999) Gestalt einer Äußerung bei der Sprachproduktion möglich ist, wenn eine im Conceptualizer angesiedelte Monitorkomponente für diesen Zweck als Information ausschließlich den Output des Perzeptionsmoduls erhält. Es ist auch ungeklärt, wie ein Hörer(!) mit Hilfe eines Monitoring-Prozesses Sätze mit Reparaturen analysieren soll, die ein Sprecher äußert. Es genügt dazu nicht, einen Vergleich des Ergebnisses des Parsing-Prozesses mit dem (inhaltlichen) Kontext heranzuziehen. Die Vorschläge zur Lösung des „continuation problems“ (siehe unten Abschnitt 5.4.2) für den Hörer setzen das Monitoring schon voraus.

Gegenüber den in Levelt (1989:467 ff.) diskutierten Alternativen ist sein eigener Vorschlag allerdings, wie man dem Überblick bei Postma (2000) und den dort beigebrachten zusätzlichen Argumenten entnehmen kann, tatsächlich im Vorteil. Eine in allen Punkten befriedigende Lösung stellt er aber nicht dar.

Für Vorgänge im Gehirn ist gelegentlich aufgrund von psycholinguistischen Experimenten (vgl. Hochmann & Eviator, 2004) behauptet worden, dass die beiden Hemisphären sich gegenseitig überwachen, indem immer diejenige Hemisphäre diese Funktion übernimmt, die an der gerade ausgeführten Aufgabe nicht primär beteiligt ist.

Wenn man sich aber vorstellt, dass, bei der Hypothese der gegenseitigen Überwachung der Hemisphären, Zellen der arbeitenden Hemisphäre mit bestimmten Zellen der überwachenden Hemisphäre über den Balken (das Corpus callosum) erregend verknüpft sind, wird das Überwachungsproblem nur vertagt, denn es muss ja nach wie vor eine Möglichkeit vorgesehen werden, festzustellen, dass die „richtigen“ Zellen der überwachenden Hemisphäre aktiviert sind. Die Idee der gegenseitigen Überwachung der Hemisphären löst das Problem also nicht.

Man würde vielleicht erwarten, dass moderne bildgebende Verfahren und die EKP-Technik hier weiterhelfen könnten. Es ist klar, dass syntaktische und semantische Unstimmigkeiten im Verstehensprozess zu messbaren Reaktionen führen, was vielfach beobachtet worden ist (einige Beispiele wieder bei Postma, 2000). Eine Erklärung der apparativen Grundlagen der Monitoring-Funktion hat sich auch daraus bisher (2007) nicht entwickeln lassen.

Monitoring-Funktion im neuronalen Modell

Monitoring kann nicht behandelt werden, solange man nicht ausreichende Klarheit hat über die Funktionen (und deren zugrundeliegende Strukturen), die überwacht werden sollen. Es genügt nicht, wenn aus psycholinguistischen Experimenten abgeleitet wird, dass Abweichungen in Repräsentationen der inneren Sprache erkannt werden können, denn damit ist nicht gesagt, wo und wie das geschieht. Man wird allerdings auf jeden Fall akzeptieren, dass es sich um eine Leistung des Perzeptionsapparats handelt.

Das impliziert, dass auch der Wahrnehmungsvorgang durch einen Hörer davon betroffen ist. Es kann, wie oben schon angedeutet, nicht so sein, dass die Analyse eines sprachlichen Inputs durch den Hörer ein Monitoring nur auf inhaltlicher Ebene erfordert. Das wäre nur möglich, wenn alle wahrzunehmenden Äußerungen vollständig (auch im syntaktischen Bereich) den im Spracherwerb verankerten Strukturen entsprechen würden, oder Abweichungen keine Konsequenzen haben müssten, was selbstverständlich nicht der Fall ist. Monitoring ist also in vollem Umfang auch für die Sprachwahrnehmung des Hörers und nicht nur für den Sprecher erforderlich. Wenn das Monitoring auch bei der Sprachproduktion die Perzeption voraussetzt, ist deshalb der am besten geeignete Zugang zur Lösung des Problems die Behandlung der Überwachung des Verstehensprozesses.

Die Möglichkeiten der biologischen Strukturen des Kortex lassen nicht die Annahme zu, dass Repräsentationen von Zwischenergebnissen in einem Arbeitsspeicher durch einen Vergleich (womit?) auf ihre Korrektheit überprüft werden können. Man könnte einen solchen Vorgang allenfalls in einem symbolverarbeitenden Modell vorsehen. In einem biologisch fundierten neuronalen Modell kann ein einzelner Zustand des Verarbeitungsapparats in einem ausreichend kleinen Zeitfenster oder ein zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichtes Zwischenergebnis nicht als korrekt oder inkorrekt bewertet werden. Alle *Zustände*, die eintreten können, sind für ein verarbeitendes Gehirn korrekt. Das bedeutet aber noch nicht, dass alle *Abläufe* zu einem erfolgreichen Sprachverstehensprozess führen. Ein Ablauf, solange er für das Sprachverstehen erfolgreich ist, ist mit allen seinen Teilschritten als korrekt zu bewerten. Das entspricht bis zu einem gewissen Grad der Auffassung von Kohärenz als Prozesseigenschaft, wie in Schade, Langer, Rutz & Sichelschmidt (1991) definiert, allerdings ohne die Folgerungen aus dem dort verwendeten systemtheoretischen Apparat. Der Begriff Kohärenz ist besser geeignet als der der Korrektheit, um diese Verhältnisse zu bezeichnen. Monitoring meint also dann die Kontrolle der Kohärenz des Ablaufs eines Prozesses. Monitoring ist damit nicht mehr an einen bestimmten Zustand bzw. ein bestimmtes (Teil-)Ergebnis eines Prozesses gebunden.

Die Tatsache der Aktivierung bestimmter Zellpopulationen, die an einem syntaktischen Prozess beteiligt sind (also nicht der Bereich der Monitoring-Instanz selbst) erlaubt allerdings keine verlässliche Aussage über die Kohärenz des Prozesses, was aus der Annahme der massiven Parallelverarbeitung im Kortex folgt. Es genügt also nicht, festzustellen, dass irgendein syntaktischer Prozess in ausreichendem Umfang im Gange ist, es kommt darauf an, dass es ein erfolgreicher ist.

Ein Vorschlag zur Lösung des Problems der Kohärenzkontrolle ist in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.5.4, für den Fall kreativer Vorstellungen kurz skizziert worden. Für den Bereich der Syntax ist die Argumentation noch wesentlich einfacher: Die Kohärenz einer syntaktischen Konstituente, das heißt, die Stimmigkeit des sie betreffenden Verarbeitungsablaufs zu jedem Zeitpunkt, kann daran abgelesen werden, dass die sie repräsentierende Großmuttereinheit aktiviert ist. Das ist eine selbstverständliche Konsequenz der lokalistischen Repräsentation im Kortex und gilt auf allen Ebenen der syntaktischen Hierarchie, also auch für die Kategorie *Satz*. Das vordefinierte Ziel einer syntaktischen Analyse ist, dass ein Verlauf gefunden wird, der zu einer formalen Struktur der Kategorie „Satz“ gehört (Definition von „Syntax“). Also sind nur Erregungsabfolgen, die in einen solchen Verlauf eingebunden sind, als insgesamt „kohärent“ zu bewerten. Kohärenzkontrolle bedeutet dann die laufende Überprüfung dieser Tatsache. Die Aktivierung der Kategorie *Satz* muss andauern, solange der Input ein Satz ist.

Wenn man sich das Feuern der Zellen, die jeweils eine Kategorie repräsentieren, einschließlich der erforderlichen Aktivitäten hierarchieniedrigerer Zellen, graphisch veranschaulicht, wird das besonders deutlich. Hier wird zu diesem Zweck die Simulation des Abschnitts 5.3.4 wieder aufgegriffen, ergänzt durch die Repräsentation der Kategorie Satz. Die Struktur entspricht also der Abbildung 5.4.1–2.

Simulation:

[Simulation einer hierarchischen Satzstruktur.](#)

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Es ist auch möglich, in einem schnellen Durchgang, der mit Start – Simulation bis Stop ausgelöst werden kann, rasch bis zum Zeittakt 1057 zu gelangen, und von dort aus mit der Leertaste weiter zu simulieren.

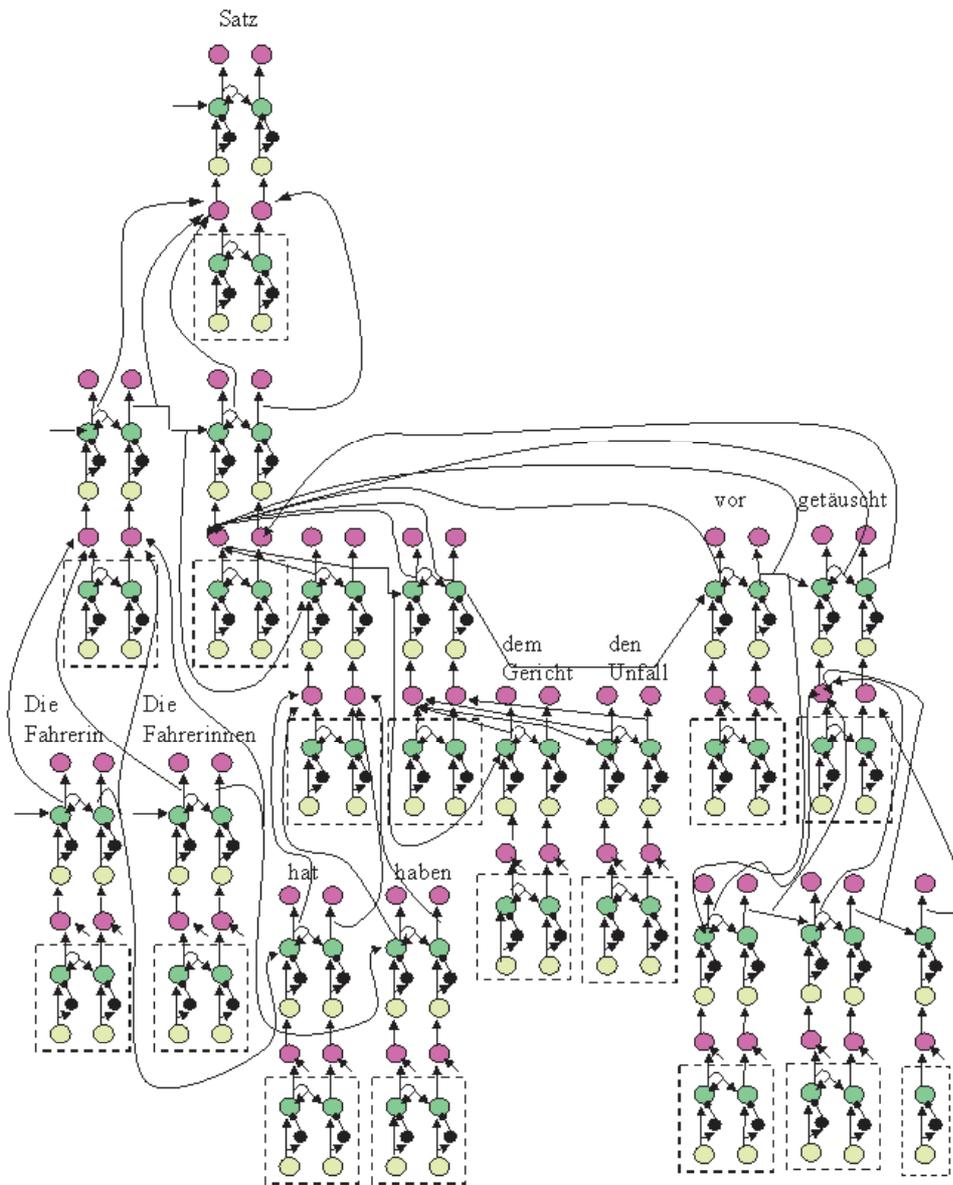


Abbildung 5.4.1-2: Hierarchische Satzstruktur mit Kategorie *Satz* als Spitze.

Auf die Wiedergabe eines Simulationsbildschirms soll, wegen der weitgehenden Übereinstimmung mit Abbildung 5.3.4–7 und der Wiederaufnahme unten in Abbildung 5.4.1–6, verzichtet werden.

Die Abbildung 5.4.1–3 bringt nun die Darstellung des Feuerns aller beteiligten (und tatsächlich ein Aktionspotenzial abgebenden) sequenzenbildenden Zellen. Zum besseren Verständnis sind in der folgenden Tabelle die Zellidentifikationen mit ihrer Funktion zusammengestellt.

Identifikation der Zelle	Syntaktische Kategorie
<i>ssatz</i>	Satz
<i>snpn</i>	Nominalphrase im Nominativ
<i>snpns</i>	Nominalphrase Nominativ Singular
<i>snnpn</i>	Nominalphrase Nominativ Plural
<i>svx</i>	Verbalphrase mit den Eigenschaften der Valenzkategorie x
<i>shv</i>	Hilfsverb <i>haben</i>
<i>shv3s</i>	Dritte Person Singular des Hilfsverbs <i>haben</i>
<i>svalx</i>	Vom Verb der Valenzkategorie x abhängige Kategorien
<i>snpd</i>	Nominalphrase im Dativ
<i>snpa</i>	Nominalphrase im Akkusativ
<i>svor</i>	Partikel <i>vor</i>
<i>sppx</i>	Partizip Präteritum eines Verbs der Valenzkategorie x
<i>svg</i>	Präfix des Partizips
<i>svx2</i>	Verbform der Valenzkategorie x im Partizip Präteritum
<i>st</i>	Endung des Partizips

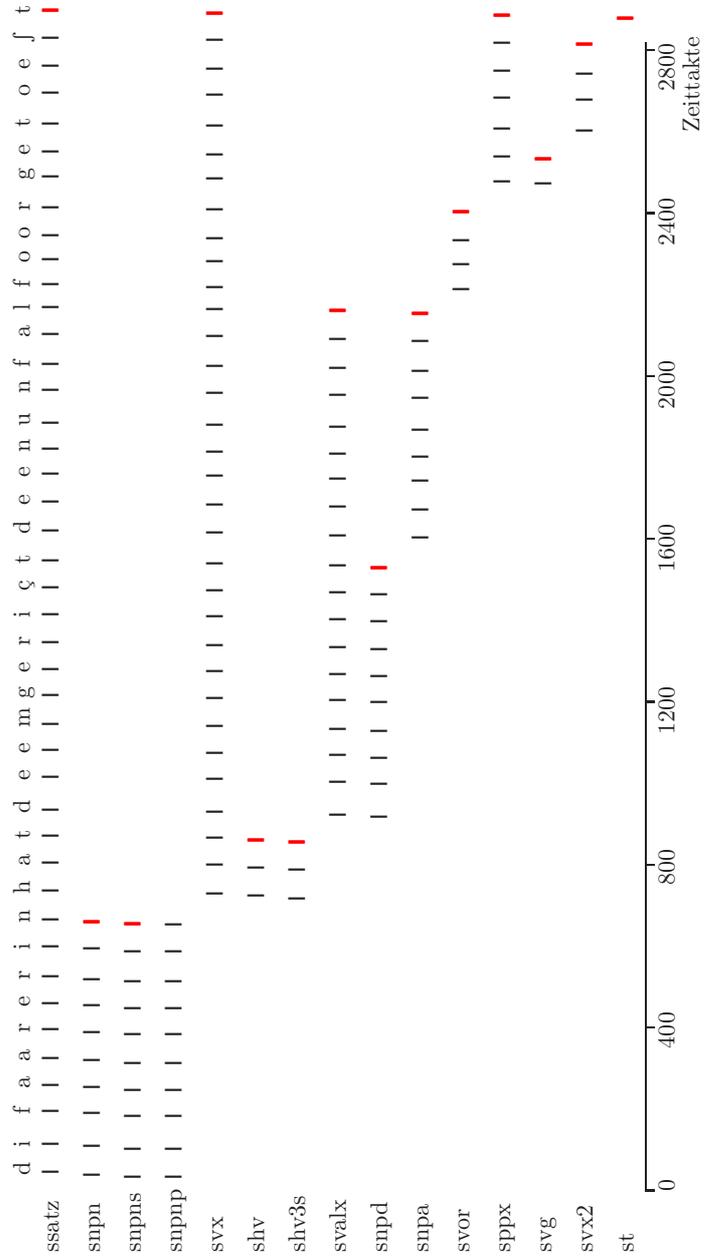


Abbildung 5.4.1–3: Feuern sequenzenbildender Zellen in der Simulation der Struktur von Abbildung 5.4.1–2. Endelemente sind rot hervorgehoben. Weitere Erläuterungen im Text.

Die syntaktische Kohärenz eines Satzes kann also daran erkannt werden, dass die Großmuttereinheit für *Satz* entsprechend andauernd aktiviert ist. Sie feuert grundsätzlich mit einer Frequenz, die von der Abfolge der phonologischen Einheiten abhängt, also im Abstand von ca. 50 bis 90 Millisekunden. Inkohärenzen, die auf irgendeiner Ebene im Verlauf der Analyse entstehen, wirken sich immer dahingehend aus, dass das regelmäßige Feuern der Satzeinheit abbricht. Es muss also nur das Feuern der Hierarchiespitze überwacht werden, um Inkohärenzen festzustellen.

Die Überwachung der Satzeinheit muss dabei folgende Eigenschaften gewährleisten:

- Es muss das Ausbleiben eines Aktionspotenzials innerhalb eines bestimmten Zeitfensters festgestellt werden, und
- aus dem Ausbleiben eines Aktionspotenzials muss eine Reaktion abgeleitet werden, die in der Lage ist, weitere Maßnahmen auszulösen, also es muss ein Aktionspotenzial ausgelöst werden.

Im technischen Umfeld werden entsprechende Schaltungen verwendet, um in sicherheitsrelevanten Bereichen ein System, das nicht mehr korrekt funktioniert, auf einen definierten Zustand zurückzusetzen. Sie werden als „Watchdog“ bezeichnet.

Eine biologische Realisierung muss sich an den Möglichkeiten der neuronalen Architektur orientieren. Eine Zelle kann nicht dann und nur dann ein Aktionspotenzial auslösen, wenn sie *nicht* erregt wird. Die Überwachungsfunktion, die ja zur Auslösung einer Reaktion führen soll, kann also nicht auf der Basis einer einzelnen Zelle realisiert sein. Man kann aber mit Zellen rechnen, die unter bestimmten Umständen andauernd eine Spontanaktivität zeigen. Man beachte, dass es sich um eine „echte“ Spontanaktivität handeln muss, nicht um eine Aktivität, deren auslösende Ursachen (in Form von Aktivität anderer Zellen) man nicht erkennen kann. Spontanaktivität (oder etwas, was dem Effekt entspricht) kann dadurch entstehen, dass eine Zelle sich selbst überschwellig erregt, was die Möglichkeit eröffnet, die Spontanaktivität zu starten und zu beenden. Eine Spontanaktivität kann auf eine Zelle einwirken, die ihrerseits einem hemmenden Einfluss unterliegt, der von der zu überwachenden Zelle ausgeht. Also bekommt man auf diesem Umweg tatsächlich eine Einrichtung, die reagiert, wenn kein Input erfolgt. Die einfachste, diesen Anforderungen entsprechende Struktur ist in Abbildung 5.4.1–4 dargestellt:

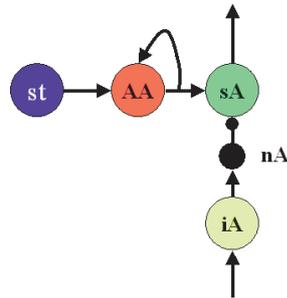


Abbildung 5.4.1–4: Watchdogstruktur.

Die Funktion der einzelnen Zellen:

- st* Zelle, die (in der Simulation) über einen externen Input erregt wird, und die andauernde Aktivität der Zelle *AA* startet.
- AA* „Spontanaktive“ Zelle mit überschwelliger Verbindung auf sich selbst zurück. Die Frequenz des Feuerns der Zelle wird über die Laufzeit der Signale auf dieser Verbindung eingestellt. Sie muss deutlich höher sein als die Frequenz des Inputs in der Zelle *iA*. Die Verbindung mit der Zelle *sA* ist unterschwellig und hier so eingestellt, dass bei Ausbleiben der Hemmung nach ca. 100 Zeittakten ein Aktionspotenzial in *sA* ausgelöst wird.
- iA* Zelle, die den zu überwachenden Input übernimmt und an die hemmende Zelle *nA* weitergibt.
- nA* hemmende Zelle, in einer Position, die Ähnlichkeit hat mit der Position hemmender Zellen bei anderen Funktionen.
- sA* Zelle, die aufgrund des ggf. ausbleibenden hemmenden Inputs eine Reaktion zeigt, die Folgemaßnahmen auslösen kann.

Die Funktion dieser Anordnung ist in dem Simulationsoutput der Abbildung 5.4.1–5 nachzuvollziehen. Der Input ist so gewählt, dass die Impulse auf *iA* zunächst relativ rasch (Abstand 50 Zeittakte), dann relativ langsam (Abstand 90 Zeittakte) aufeinanderfolgen. Die Reaktion des Watchdogs beginnt 100 Zeittakte nach dem letzten Input. Wenn man die Simulation selbst durchführt, ist es interessant, zu beobachten dass die Reaktion, also das Feuern der Zelle *sA* beim Ausbleiben eines Inputs in *iA* beliebig lange andauert.

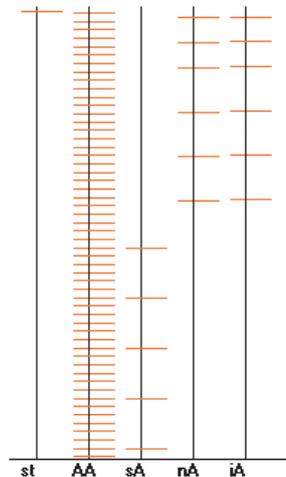


Abbildung 5.4.1–5: Watchdogfunktion. Es sind die Aktionspotenziale der einzelnen Zellen jeweils durch eine waagrechte Linie dargestellt, die Zeitachse verläuft von oben nach unten.

Simulation:

Watchdogfunktion.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Da nicht alle Bedingungen, die bei der Konstruktion einer solchen Überwachungsinstanz zu beachten sind, sich aus der syntaktischen Funktion ergeben, wird die Diskussion in den Teilen 6, „Gedächtnisformen, Textverstehen“ und 7, „Denken und Formulieren“, noch einmal aufgegriffen.

Die Funktion für den syntaktischen Bereich kann für den Prozess des Satzverstehens am Beispiel einer Simulation gezeigt werden, die die Struktur der Abbildung 5.4.1–2 verwendet, ergänzt durch einen Watchdog, der der Abbildung 5.4.1–4 entspricht. Der Watchdog überwacht, wie für die Monitoring-Funktion erforderlich, die Aktivität der obersten Zelle der syntaktischen Hierarchie, also die ODER-Zelle, die einen überschwelligen Input von der sequenzenbildenden Zelle *ssatz* erhält. Der Input in die syntaktische Struktur ist so verändert, dass er zwei Dativ-Nominalphrasen und damit einen Verstoß gegen die Valenz des Verbs enthält. Ein entsprechender Beispielsatz wäre:

Die Fahrerin hat dem Gericht dem(!) Unfall vorgetäuscht.

Simulation:
Monitoring einer fehlerhaften Äußerung.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.
 Es ist auch möglich, in einem schnellen Durchgang, der mit Start – Simulation bis Stop ausgelöst werden kann, rasch bis zum Zeittakt 1795 zu gelangen, und von dort aus mit der Leertaste weiter zu simulieren.

Die störende Lauteinheit bzw. ihre kategoriale Entsprechung wird kurz vor dem in der Abbildung dargestellten Zeittakt eingegeben. Die Analyse scheitert an der sequenzenbildenden Zelle *snpd*, die kein Erwartungspotenzial hatte.

Man beachte, dass für die Funktion des Monitoring-Prozesses die hierarchische Struktur des syntaktischen Apparats eine besondere Bedeutung hat. Bei Produktionsprozessen setzt das Monitoring den auf der phonologischen Ebene angesiedelten Rückspiegelungsmechanismus voraus. Er ist bei allen sprachlichen Produktionsprozessen, auch beim inneren Sprechen, beteiligt; man vergleiche dazu Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitte 2.5.2 und 2.5.3, Teil 3, „Phonetik/Phonologie“, Abschnitt 3.3.5, und Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.4.4. Die Perzeptionshierarchie ermöglicht dann auch bei der Sprachproduktion ein syntaktisches Monitoring, das, mindestens soweit hier zunächst behandelt, mit dem Monitoring bei der reinen Perzeption identisch ist.

5.4.2 Reparaturen

Phänomene

Als Reparaturen werden verschiedene Phänomene bezeichnet, die im Vorgang des Sprechens auftreten und vom Hörer im Verstehensprozess verarbeitet werden müssen. Reparaturen können durch Reaktionen von Gesprächspartnern ausgelöst werden (Fremdreparaturen) oder sie folgen auf die Feststellung einer Inkohärenz auf einer beliebigen Verarbeitungsebene durch den Sprecher selbst (Selbstreparaturen). Die im Folgenden zu besprechenden Phänomene betreffen Selbstreparaturen. Konstruktionen, die durch (Selbst-)Reparaturen verursacht werden, sind nicht in einer Grammatik repräsentiert, sondern entstehen durch Vorgänge, die mit dem Ablauf von Produktionsprozessen zu tun haben. Sie sind also in diesem Sinne ungrammatisch, also nicht durch Spracherwerbsprozesse vorgegeben. Es wäre auch sinnlos, sie als eine Art Constructions festzuhalten.

Offensichtlich ist aber auch, dass die durch Reparaturprozesse zustandekommenen Strukturen nicht regellos sind. Das ist eine der wesentlichen Thesen in der Behandlung des Problems durch Levelt und ist in einer Regel formuliert, die hier in der Version von Levelt (1983:78) wiedergegeben ist:

„*Well-formedness rule*

A repair $\langle \alpha\gamma \rangle$ is well-formed if and only if there is a string β such that the string $\langle \alpha\beta \text{ and}^* \gamma \rangle$ is well-formed, where β is a completion of the constituent directly dominating the last element of α . (**and* to be deleted if γ 's first element is itself a sentence connective).“

Hier eines der Beispiele, die das Gemeinte erläutern, bei Levelt (1983:79):

Die Reparatur

$$\overbrace{\text{to the right is a green,}}^{\alpha} \quad \overbrace{\text{a blue node}}^{\gamma}$$

ist nach der Wohlgeformtheitsregel zurückzuführen auf

$$\overbrace{\text{to the right is a green}}^{\alpha} \quad \overbrace{\text{node}}^{\beta} \quad \text{and} \quad \overbrace{\text{a blue node}}^{\gamma}$$

Es wird also eine Art transformationeller Beziehung gesehen. Ein Linguist kann durch Überprüfen dieser Beziehung die Wohlgeformtheit von Reparaturen bewerten, unklar ist aber, wie ein Sprecher diese Wohlgeformtheitsregel einsetzen soll. Man beachte, dass die Paraphrasen keineswegs sinnvolle Sätze bilden! In Levelt (1989) ist die Wohlgeformtheitsregel nicht wörtlich, aber sinngemäß wieder aufgenommen.

Die Anwendung der Regel würde symbolverarbeitende Prozesse voraussetzen. Dasselbe gilt von den Vorschlägen zur Lösung des „continuation problems“ durch den Hörer. Levelt beobachtet, dass der Hörer in den meisten Fällen schon aufgrund der Eigenschaften des ersten Worts der Reparatur ausreichende Hinweise darauf hat, wo in einer syntaktischen Struktur die Reparatur einzusetzen ist (Levelt, 1983:89 ff. und Levelt, 1989:492–495). Dazu werden Regeln aufgestellt.

Wenn man an die biologische Realität des Gehirns denkt, ist von vornherein klar, dass eine andere Erklärung gesucht werden muss. Ein erster Anhaltspunkt ergibt sich, wenn man von einer Beobachtung ausgeht, die sich

ebenfalls bei Levelt (1983) findet. Levelt stellt ein „Backtracking“ bei der Produktion von Reparaturen fest, das mehr oder weniger weit zurückreicht, und verschiedene Alternativen liefert, die allesamt als korrekt zu bewerten sind (Levelt, 1983: 84):

The ball rolls to the left side, uh corner
left corner
the left corner
to the left corner
rolls to the left corner
The ball rolls to the left corner

Aber nicht nur die Reparaturen sind korrekt, sondern man kann auch angeben, warum sie es sind: Alle Sätze, die entstehen, wenn man eine Reparatur direkt an die Stelle kopiert, an der sie den ursprünglichen Satz wieder aufnimmt, sind grammatikalisch, das heißt für dieses Beispiel, dass immer der Satz *The ball rolls to the left corner* entsteht. Es ist mit Händen zu greifen, dass die Regel Levelts ersetzt werden kann durch die Forderung, dass das der Fall sein muss. (Der die Reparatur auslösende Fehler ist selbstverständlich nicht notwendig dort entstanden, wo der Reparaturtext einsetzt.)

Es ist aber auch bei dieser Erklärung zu fragen, wie sie neuronal realisiert sein kann. Korrektheit wird über sequenziellen Kontext gesteuert bzw. gewährleistet. Eine korrekte Fortsetzung entsteht, wenn der Kontext benutzt wird, der durch eine erfolgreiche zurückliegende Analyse gesetzt ist. Eine falsche Reparatur entsteht, wenn Kontextbedingungen verletzt werden, wie in dem folgenden Satz:

Dem Nachbarn hat äh Pauls Katze geschlagen.

Wenn man davon ausgeht, dass die Kohärenzkontrolle immer, also auch bei der Sprachproduktion, auf der Seite der Perzeption geschieht, kann man auch annehmen, dass es Vorgänge im Laufe der Perzeption sind, die mögliche Reparaturen vorbereiten.

Die im Deutschen in der Regel als „äh“ wiedergegebene Äußerung bzw. andere Signale, die als gefüllte Pausen interpretiert werden können, und auch Pausen selbst, lösen in der Perzeption Inkohärenzsignale aus. Das Verarbeitungsprinzip beim Verstehensprozess durch einen Hörer, der der Einfachheit halber hier zunächst betrachtet wird, muss dann, um das korrekte Verständnis von Reparaturen zu ermöglichen, so sein, dass alle schon einmal erzeugten Kontexte, die sich aus einem erfolgreichen Verlauf ergeben haben, für eine alternative Fortsetzung bereitgestellt werden. Sie müssen also bei

ihrer Verarbeitung Spuren hinterlassen. Diese Kontexte beschränken dann die Möglichkeiten der Fortsetzung ab einem bestimmten Punkt. Die Spurenbildung muss unabhängig von der Tatsache erfolgen, ob eine Reparatur erforderlich ist bzw. erfolgt, oder nicht.

Kontext wird durch EPSPs in sequenzenbildenden Zellen gesetzt, darf aber dort nicht andauern (Gewährleistung der zeitlichen Reihenfolge!), sondern muss dort bei Bedarf für eine Reparatur erst wieder hergestellt werden. Die Spuren müssen also in zusätzlich erforderlichen Zellen gebildet werden. Sie müssen dort länger andauern, als es durch die Gedächtnisleistung einfacher EPSPs möglich ist, ggf. solange ein Satz dauert. Außerdem ist eine rasche Löschung erforderlich. Diese Bedingungen können nur durch eine gestützte kreisende Erregung erfüllt werden, wie sie sonst bei den sequenzenbildenden Zellen gebraucht wird, also durch eine Gabelkonstruktion wie in Abbildung 5.4.2-1:

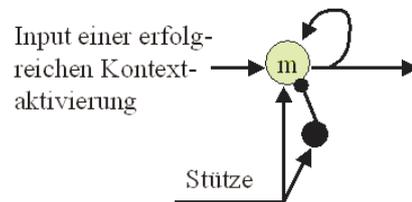


Abbildung 5.4.2-1: Gestützte kreisende Erregung für die Speicherung erfolgreicher Kontexte.

Da die Aktionspotenziale der kreisend erregten Zellen (die ja Aktionspotenziale abgeben müssen) nicht direkt auf die sequenzenbildenden Zellen einwirken dürfen, die im Verstehensprozess die Kontextkontrolle bewirken (die Kontextkontrolle würde dadurch wertlos), sind weitere Zellen erforderlich, die die Kontextwiederherstellung zum richtigen Zeitpunkt tatsächlich auslösen. Diese Zellen dürfen nur dann eine Erregung abgeben, wenn (a) die kreisend erregten Zellen aktiviert sind, (b) ein Watchdogsignal den Bedarf einer Reparatur anzeigt, und schließlich (c) der gespeicherte Kontext zu einer erfolgreich aktivierten hierarchischen Satzstruktur gehört. Diese Bedingungen können nur erfüllt werden durch Zellen, die zu einem Top-down-System gehören, das hierarchisch die Bottom-up-Struktur des Verstehensapparats parallelisiert. Das in diesem Sinne geeignete Top-down-System kann durch die in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.5.3 eingeführten p-Zellen gebildet werden, die auch bei den in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ beschriebenen lexikalischen Produktionsprozessen eine Rolle spielen und für die geeignete Lernvorgänge vorgeschlagen worden sind. Die Spitze der p-

Zellen-Hierarchie kann vom Watchdog aktiviert werden und die Erregung kann dann top-down weitergegeben werden. Die Voraussetzung für diese Top-down-Aktivität ist eine Voraktivierung der p-Zellen durch aktivierte kreisend erregte Zellen, und unter dieser Voraussetzung können über Verbindungen mit den sequenzbildenden Zellen genau die erwünschten Kontexte wieder hergestellt werden.

Das Prinzip einer Architektur, die entsprechende Funktionen gewährleistet, ist in Abbildung 5.4.2-2 dargestellt.

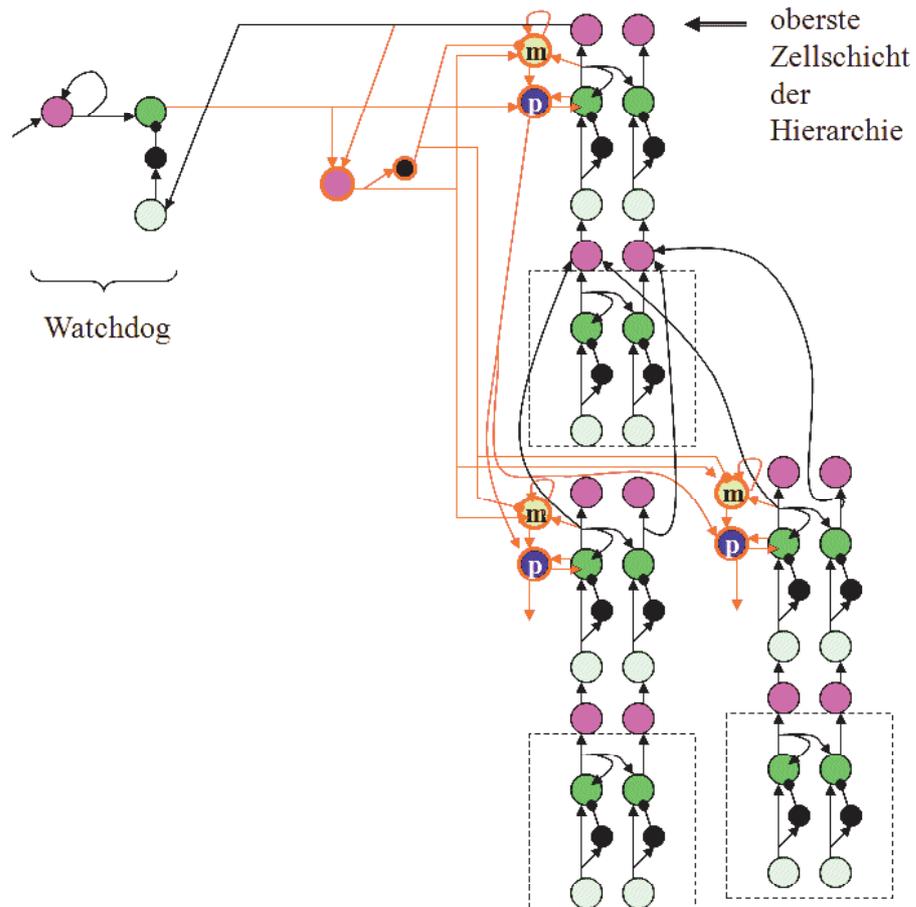


Abbildung 5.4.2-2: Prinzip einer Architektur zur Vorbereitung von Reparaturen.

Das Reparatursystem besteht in den rot umrandeten Zellen und den rot eingetragenen Verbindungen.

Die „Merkzellen“ für die Kontextinformationen sind mit m identifiziert, die für den Stützmechanismus erforderliche Hemmung wird hier nur durch eine einzige Zelle bewirkt, es können auch mehrere Zellen dafür vorgesehen werden. Das Top-Down-System wird durch die mit p bezeichneten Zellen gebildet.

Die unspezifische Auffrischung kann von der Aktivität der Satzkategorie abgeleitet werden, sodass bei Erreichen des Endelements eine Pause entsteht, durch die die Reparaturinformationen aufgrund der fehlenden Stützung gelöscht werden. Dieser Effekt ist von der Frequenz des Watchdogs abhängig.

Auffällig, aber nicht besonders überraschend, ist, dass man Strukturen verwenden muss, die fast vollständig identisch sind mit den Strukturen, die sonst für Produktionsprozesse erforderlich sind. Die Abbildung 5.4.2–3 bringt einen Vergleich (die Strukturen sind zur Vereinfachung einander grafisch angepasst).

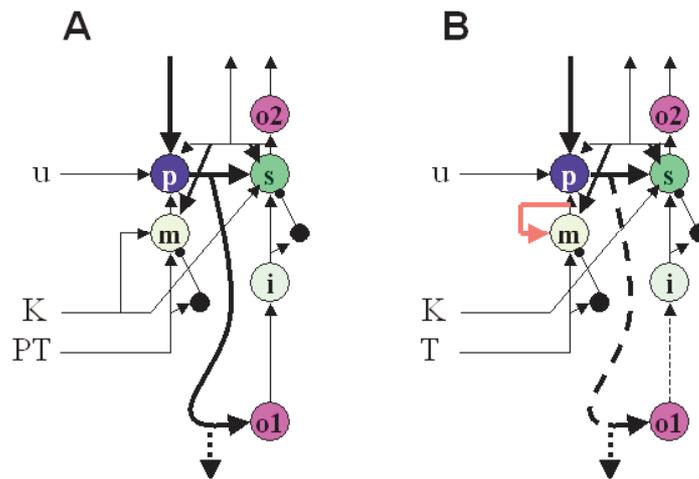


Abbildung 5.4.2–3: Vergleich der für die Reparatur erforderlichen Strukturen für einzelne Großmuttereinheiten (Kategorien) mit Produktionsstrukturen (übernommen aus Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abbildung 4.4.4–1). **A:** Struktur zur lexikalischen Produktion. **B:** Struktur für Reparaturen.

Der wesentlichste Unterschied betrifft die in **B** rot eingetragenen Verbindungen der m -Zellen auf sich selbst zurück. Sie ersetzen die für die Produktion

erforderlichen Sequenzverbindungen. Die Verbindung zur Rückspiegelung ist, wenn überhaupt vorhanden, viel indirekter, daher in **B** gestrichelt eingetragen. Jedenfalls kann Rückspiegelung nicht stattfinden bei Auslösung der Kontexte durch die p-Zellen.

Die folgende Simulation zeigt die Funktion des perzeptionsseitigen Reparaturmechanismus in der Architektur, die auch bisher schon verwendet worden ist, ergänzt durch die zur Speicherung und Auslösung der Kontexte erforderlichen Zellen. Die Bildschirmdarstellung ist insofern vereinfacht, als, um die Übersichtlichkeit zu wahren, nur p-Zellen sichtbar sind, nicht die jeweils parallel zu den p-Zellen vorhandenen m-Zellen und deren Verbindungen mit der Umgebung. Die Wirksamkeit der m-Zellen kann an den EPSP-Pegeln der p-Zellen abgelesen werden. Falls diese Zellen am Geschehen überhaupt beteiligt sind, zeigen sie während des kohärenten Ablaufs, abhängig von der Aktivität der zugeordneten sequenzenbildenden Zelle, die Bildung eines EPSP-Pegels und zusätzlich, ausgelöst durch das System der m-Zellen und deren Stütze, die von der Hierarchiespitze der Struktur abgeleitet ist, etwas später eine Erhöhung. Wenn die zugehörige sequenzenbildende Zelle nicht (mehr) aktiv ist, wird nur das noch verbliebene Rest-EPSP der p-Zelle erhöht, so dass es bis zur nächsten Eingabe erhalten bleibt. Die Inkohärenzreaktion verwendet sowohl die Auffrischungsaktivität der m-Zellen als auch eine Top-down-Aktivierung der p-Zellen-Hierarchie zur Erzeugung der für die Reparatur erforderlichen Kontextalternativen.

Die Eingabe entspricht formal dem oben schon ohne Reparatur verwendeten Sätzchen, also jetzt mit Reparatur:

Die Fahrerin hat dem Gericht dem äh den Unfall vorgetäuscht.

Simulation:

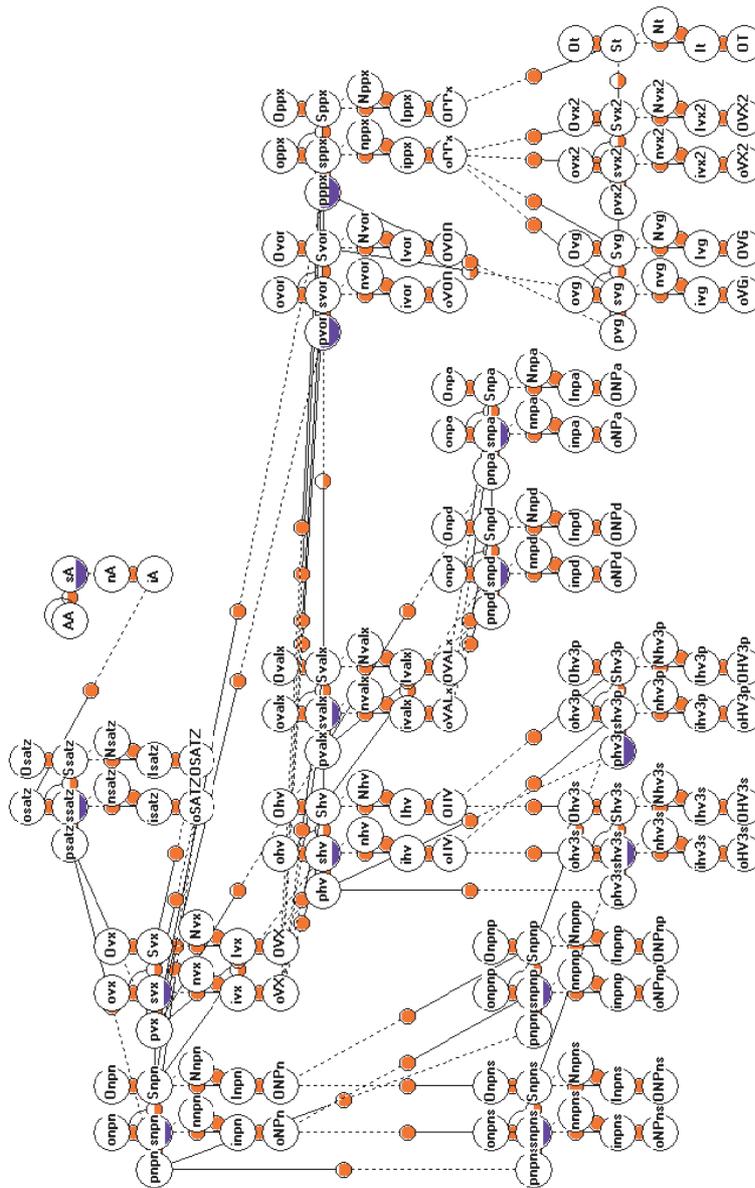
Verarbeitung einer Reparatur.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Ein Schnelldurchgang mit Start – Simulation bis Stop führt unmittelbar zum Input des Fehlers, der die Reparatursequenz einleitet.

Die Abbildung 5.4.2–4 zeigt einen für das Verständnis entscheidenden Zustand und demonstriert die korrekte Funktion.



1879

Abbildung 5.4.2-4: Simulation zur Verarbeitung einer Reparatur im Sprachverstehen. Zustand mit gesetzten möglichen Kontexten, die für den Start einer Reparatur gewählt werden können.

Bemerkungen zum Verlauf der Simulation:

Zeittakt	Bemerkungen
1ff.	Setzen des Startkontexts und Eingabe einer Nominalphrase im Nominativ Singular, die zunächst mehrdeutig ist. Am Ende wird ein Hilfsverb im Singular erwartet. Eine Reparatur, die mit dem Hilfsverb beginnt, ist nur im Singular korrekt.
705ff.	Beginn der Verbalphrase, korrekter Verlauf. P-Zellen, die später einen Kontext wiederherstellen sollen sind aktiviert, ihr EPSP wird jeweils durch zugeordnete m-Zellen aufgefrischt.
1590ff	Eingabe einer fehlerhaften, das heißt nicht erwarteten Dativ-Nominalphrase, die zunächst mehrdeutig bleibt, mit dem Input des Zeittakts 1790 dann eindeutig als Dativ erkennbar ist. Die Verarbeitung scheitert in Zeittakt 1794 am fehlenden Kontext.
1859	Der Watchdog feuert. Die EPSPs der p-Zellen werden aufgefrischt, außerdem feuert jetzt, durch das Watchdog-Signal ausgelöst, die Hierarchie der p-Zellen von oben nach unten. Es wird der Zustand der Abbildung 5.4.2-4 erreicht. Man beachte, dass nur der Kontext für das Hilfsverb im Singular wieder hergestellt ist.
1955	Die Reparatur setzt mit Eingabe der erwarteten Akkusativ-Nominalphrase ein und läuft störungsfrei bis zum Satzende in Zeittakt 3250 (Feuern der obersten Zelle des Endelements) durch.

Der Verstehensprozess bei Holzwegsätzen ist auf syntaktischer Ebene mit Hilfe des Reparaturverfahrens einfach zu modellieren:

- Das Scheitern des Verstehensprozesses löst eine Inkohärenzreaktion aus, die zurückliegende Anknüpfungspunkte für eine Reparatur aktiviert.
- Das Äußerungsmaterial für die Reparatur selbst muss aus episodischen Gedächtnisspuren bezogen, oder bei einem Lesevorgang durch Wiederlesen bereitgestellt werden. Es ist, je nach dem vorliegenden Problem, möglich, dass Produktionsprozesse einbezogen werden müssen. Das Verstehen von Holzwegsätzen kann dadurch zu einem relativ komplexen Unternehmen werden.

Das vorgestellte Reparaturverfahren hat allerdings zwei Probleme.

- (1) Das Verfahren funktioniert nicht für (gefüllte) Pausen, die der Sprecher aufgrund von Formulierungsproblemen verwendet und bei denen der Hörer die Fortsetzung nach der Pause korrekt verarbeiten muss.
- (2) Es können fehlerhafte Fortsetzungen entstehen, wenn mehrere Reparaturen im Satz notwendig sind.

Punkt (1) kann dadurch behoben werden, dass die sequenzenbildenden Zellen der zuletzt aktivierten Endelemente bei der Herstellung der Kontexte für Reparaturen zum Feuern gebracht werden und damit den Kontext für eine mögliche Fortsetzung erzeugen.

Punkt (2) setzt voraus, dass mit jedem Start einer Reparatur die bisher gesetzten Ansatzpunkte für Reparaturen gelöscht werden.

Beide Probleme können auf unterschiedliche Weise gelöst werden. Hier sind bezüglich Punkt (1) alle sequenzenbildenden Zellen von Endelementen mit Wiederholungsschleifen versehen worden und es ist ein gabelförmiger Apparat nach dem Muster der Abbildungen 5.4.2-1 und 5.4.2-2 hinzugefügt, der bei einem Inkohärenzsignal genau diejenigen dieser Zellen zum Feuern bringt, die noch Reste eines erregenden EPSP haben. Das Feuern von Endelementen auf der Ebene der Wortarten löst zusätzlich einen korrekten Lexikonstart aus, der für die Fortsetzung erforderlich ist.

Punkt (2) wird durch eine Ergänzung der Watchdogschaltung gelöst, die bewirkt, dass bei einem neuen Input, erkennbar an der Hemmung des Inkohärenzsignals nach einer Inkohärenzsequenz, die Zellen der Merkstrukturen (in Abbildung 5.4.2-2 mit m bezeichnet) durch ein inhibitorisches Potenzial normalisiert werden. Dadurch ist auch der Beginn eines neuen Satzes mit entsprechenden Voraussetzungen versehen, die oben angesprochene Löschung der Merkpegel durch eine Pause am Satzende entfällt, und der Fall mehrfacher Reparaturen innerhalb eines einzigen Satzes wird korrekt behandelt.

Die Simulation zeigt das Funktionieren. In Abbildung 5.4.2-5 ist ein Simulationsbildschirm wiedergegeben, der dem Bildschirm der Abbildung 5.4.2-4 inhaltlich entspricht, der Fehler ist jetzt aber durch eine gefüllte Pause ersetzt, die in Zeittakt 1590 beginnt und bis Zeittakt 1954 dauert.

Man kann die hinzugefügten Wiederholungsschleifen bei den sequenzenbildenden Zellen der Endelemente erkennen. Wieder sind der Übersichtlichkeit halber die weiteren hinzugefügten Zellen bzw. Verbindungen nicht visualisiert, aber an der Verarbeitung beteiligt. Im Unterschied zu der vorangegangenen Simulation ist jetzt auch ein Kontext für eine Fortsetzung nach einer gefüllten Pause vorgesehen und an einem unter-schweligen Pegel auf der hier einzig betroffenen sequenzenbildenden Zelle erkennbar (Pfeil!).

Simulation:

Verarbeitung einer Reparatur, revidierte Fassung.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Ein Schnelldurchgang mit Start – Simulation bis Stop führt unmittelbar zum Beginn der gefüllten Pause, die die Reparatursequenz einleitet.

Bei dieser Konstruktion werden Sätze wie

Die Fahrerin hat dem Gericht dem äh den Unfall vorgetäuscht.

Die Fahrerin hat dem Gericht äh die Fahrerinnen haben dem Gericht den Unfall vorgetäuscht.

Die Fahrerin hat dem Gericht äh die Fahrerinnen haben äh dem Gericht äh den Unfall vorgetäuscht.

akzeptiert, und Sätze wie

Die Fahrerin hat dem Gericht äh haben dem Gericht den Unfall vorgetäuscht.

Die Fahrerin hat dem Gericht äh die Fahrerinnen äh dem Gericht den Unfall vorgetäuscht.

als inkohärent zurückgewiesen.

Das simulierte Reparaturverfahren funktioniert nur bei einer Grammatik ohne Rekursivität. Die Verarbeitung von Reparaturen würde sonst eine vollständige Kopie des Verlaufs der syntaktischen Analyse voraussetzen, also auch einschließlich entsprechender Wiederholungen. Entsprechende Kodierungs- und Adressierungsvorgänge sind in einer neuronalen Struktur nicht vorstellbar.

Die Simulation betrifft zunächst nur das Sprachverstehen. Bei Produktionsprozessen setzt das Monitoring in jedem Fall den auf der phonologischen Ebene angesiedelten Rückspiegelungsmechanismus voraus. Er ist bei allen

sprachlichen Produktionsprozessen, auch beim inneren Sprechen, beteiligt; man vergleiche dazu Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitte 2.5.2 und 2.5.3, Teil 3, „Phonetik/Phonologie“, Abschnitt 3.3.5, und Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.4.4. Die Perzeptionshierarchie ermöglicht dann ein syntaktisches Monitoring, das, mindestens soweit hier zunächst behandelt, mit dem Monitoring bei der reinen Perzeption identisch ist. Ein Problem besteht darin, dass der Produktionsprozess nicht die Top-down-Strukturen verwenden darf, die für den Reparaturprozess gebraucht werden. Entsprechende Details der syntaktischen Produktion müssen eigens geklärt werden und werden unten in Kapitel 5.5 und später in Teil 7 „Denken und Formulieren“ ausführlicher diskutiert.

5.4.3 Gesprochene Sprache

Gesprochene Sprache, also mündlich produzierte und akustisch wahrgenommene Sprache, hat, vor allem in informellen Situationen, Eigenschaften, die Anlass gegeben haben, ihre syntaktischen Mechanismen (es geht nicht um den syntaktischen Gebrauch im Detail, wie er z. B. bei Fiehler, 2006, beschrieben wird) von der der geschriebenen Sprache zu unterscheiden.

Wenn man die Grammatikvorstellungen des Generativismus als spezifisch für geschriebene und wenig geeignet für gesprochene Sprache ansieht, sollte beachtet werden, dass Generativisten zu ihrer Verteidigung auf die Unterscheidung von Kompetenz und Performanz hinweisen können, und dass Schwierigkeiten mit der Universalgrammatik Mündlichkeit und Schriftlichkeit gleichermaßen betreffen. Die in der vorliegenden Darstellung vollzogene Abkehr von der Notwendigkeit einer universalgrammatischen Basis und ihr Ersatz durch angeborene Eigenschaften des Lernens unter der Voraussetzung von neuronalen, im wesentlichen wahrscheinlich nicht sprachspezifischen Architekturcharakteristika, lässt Strukturen zu, die generativistisch als Ausnahmen betrachtet werden müssen, aber durchaus zum allgemein erklärbaren und damit auch unauffälligen individuellen Sprachbesitz eines natürlichen Sprechers gehören können und im schriftlichen wie mündlichen Bereich gleichermaßen gelten.

Auch Generalisierungen *außerhalb* des generativistischen Paradigmas sind, wenn die in den vorangegangenen Kapiteln entwickelten syntaktischen Vorstellungen akzeptiert werden, nicht so einzuschätzen, dass sie für die Schriftlichkeit gelten, aber bei der Behandlung gesprochener Sprache versagen. Es ist eher wahrscheinlich, dass viele Generalisierungen, obwohl sie als linguistische Thesen Bestand haben, nicht neuronal realistisch in einer funktionierenden Syntax anzunehmen sind. Unterschiede zwischen gesprochener und

geschriebener Sprache sind hier eher in der Häufigkeit bestimmter Konstruktionen zu sehen. Es ist hier kein Grund, „constructions“ als charakteristisch für eine gesprochensprachliche Syntax anzusehen. Satzdefinitionen wie von Deppermann (2006) den schriftsprachlichen Grammatiken zugeordnet, sind so nicht mehr der Stand der Dinge. Das wird in der Kritik von Kindt (2007) deutlich herausgearbeitet. Auch Strukturen, die bisher als Satzglieder betrachtet worden sind (Nominalphrasen, Präpositionalphrasen, einzelne Substantive usw.), können isoliert, mündlich und schriftlich als Sätze auftreten. Oft werden in der Diskussion dieser Frage bestimmte Erscheinungen der Schriftlichkeit, z. B. Überschriften in Zeitungen, vergessen. Schließlich sind auch Satzabbrüche selbstverständlich kein Anlass, für die gesprochene Sprache eigene syntaktische Möglichkeiten vorzusehen.

Fremdreparaturen, also durch Hörerreaktionen ausgelöste Reparaturen (Systematisierung und Diskussion z. B. bei Selting, 1987, und Weber, 2002) sind in Dialogen häufig. Die dabei entstehenden Strukturen sind aber auch schriftlich möglich und rechtfertigen nicht die Annahme einer speziellen Syntax gesprochener Sprache.

Das Auftreten von Selbstreparaturen ist insofern kein Kriterium zur Unterscheidung von Mündlichkeit und Schriftlichkeit, als sie zwar im Allgemeinen am schriftlichen Produkt nicht erkennbar sind, aber beim formulierenden Schreiben exzessiv auftreten. Hier wird „Schriftlichkeit“ oft falsch eingeschätzt, auch geschriebene Sprache muss in neuronaler Interpretation mindestens vergleichbar sein mit (interner) Mündlichkeit. Auch eine neuronale „Grammatik“, die der Behandlung von schriftsprachlichem Material dient, muss von vornherein Reparaturmöglichkeiten berücksichtigen. Sie ist insofern von der gesprochenen Sprache her definiert.

Für Dialoge möglich, aber schriftlich aufgrund der Eigenschaften des Mediums nicht gut vorstellbar (es sei denn bei der Verschriftlichung von Dialogen), sind Phänomene, die als „kollaborative Satzproduktionen“ bezeichnet werden: Ein Gesprächspartner übernimmt die Sprecherrolle und setzt einen vom Vorgänger begonnenen Satz fort, unter Umständen auch in Form einer Reparatur, vergleichbar mit den oben besprochenen Selbstreparaturen. Hinweise und relativ komplizierte Beispiele dazu bei Auer (2005: 12 ff.). Gesprächssequenzen wie die folgende, bei der eine erwartete Fortsetzung von einem zweiten Gesprächsteilnehmer geäußert wird, sind nicht selten:

A: *er hat heute morgen seine prüfung (.)*

B: *hat die Prüfung gut bestanden*

Dergleichen setzt voraus, dass der Hörer tatsächlich, wie der Sprecher, Spuren für erfolgreiche Kontexte bildet und dann auch problemlos die Rolle des

Sprechers an einem Ansatzpunkt für Reparaturen übernehmen kann. Die „technischen“ Voraussetzungen auch für diesen Fall sind nicht von denen für schriftliches Formulieren verschieden. Es gibt keinen Anlass, Schriftlichkeit und Mündlichkeit auf der Ebene neuronaler syntaktischer Verarbeitung prinzipiell zu unterscheiden.

5.5 Ergänzende Überlegungen zu den Prozessen der Satzproduktion und des Satzverstehens

5.5.1 Allgemeine Bemerkungen

Da prinzipiell für das Gehirn die Nichttrennung von Speicherung und Verarbeitung gilt, ist naturgemäß ein Teil des Prozessthemas schon in den vorangegangenen Kapiteln behandelt. Das gilt insbesondere für Prozesse der Sprachperzeption. Der Schwerpunkt war aber auch dabei die Klärung der syntaktischen Strukturen, weniger der Prozesse des Satzverstehens. Während der Beitrag isolierter lexikalischer Elemente zur Satzbedeutung in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ behandelt ist, bleibt noch zu klären, wie sich die Syntax für den Verstehensprozess auswirkt.

Im Unterschied zu Perzeptionsprozessen sind Produktionsprozesse bisher nur sporadisch angesprochen worden und müssen hier von Grund auf diskutiert werden.

Der Bezug auf mögliche Lernprozesse bleibt sowohl für die Perzeption als auch für die Produktion auf Prinzipielles beschränkt. Spracherwerbsprozesse sind gerade im syntaktischen Bereich offenbar besonders komplex, wie die lange Erwerbsdauer, das spezifische Ablaufmuster und vielleicht auch die Bindung an ein bestimmtes Lebensalter zeigen. Details werden in Teil 8, „Spracherwerb“, behandelt.

5.5.2 Satzproduktion in dem Modell von Levelt (1989)

Das Grundprinzip der syntaktischen Produktion bei Levelt ist die Steuerung des syntaktischen Ablaufs durch Informationen, die mit den lexikalischen Einheiten verbunden sind. Levelt (1989: 181):

„A main thesis of this and the following chapters will be that formulation processes are lexically driven. This means that grammatical and phonological encoding are mediated by lexical entries. The preverbal message triggers lexical items into activity. The syntactic, morphological, and phonological properties of an activated lexical item trigger, in turn, the grammatical, morphological, and phonological encoding procedures underlying the generation of an utterance. The assumption that the lexicon is an essential mediator between conceptualization and grammatical and phonological encoding will be called the *lexical hypothesis*. The lexical hypothesis entails, in particular, that nothing in the speaker’s message will *by itself* trigger a particular syntactic form, such as a passive or a dative construction. There must always be mediating lexical items, triggered by the message, which by their grammatical properties and their order of activation cause the Grammatical Encoder to generate a particular syntactic structure.“

Für die lexikalische Hypothese spricht zunächst, dass Wörter bzw. Morpheme die informationsreichsten Elemente in Sätzen sind und einschneidende Beschränkungen der syntaktischen Abfolge bewirken. Das gilt nicht nur für Verben sondern auch für andere Wortarten. (Bei der Behauptung der Ausschließlichkeit der lexikalischen Steuerung wird man skeptisch sein, siehe unten, Abschnitt 5.5.5.)

Schwieriger wird es bei der Natur der syntaktischen Operationen, die durch die lexikalischen Elemente ausgelöst werden. Sie werden als „categorical procedures“ bezeichnet und haben Eigenschaften, die dem Prozeduren-Konzept der Informatik bzw. Künstlichen Intelligenz entsprechen. Das wird deutlich in Formulierungen wie den folgenden (Levelt, 1989: 238 f.):

„The categorial procedure inspects the message for conceptual material that can fill its obligatory or optional complements and specifiers and can provide values for diacritic parameters. Categorical procedures can also inspect the message for relevant head-of-phrase information.“

„The categorial procedure transfers control to subroutines — functional procedures for handling all the complements, specifiers, and parameter values it has found. These subroutines work in parallel.“

„The categorial procedure determines the order of the materials it receives back from the functional procedures it called. Each

categorial procedure has a “holder” with a number of slots, and there are certain restrictions on the order in which the slots can be filled by the procedure.“

Solche Prozeduren sind in einer neuronalen Architektur, wie auch hier wieder betont werden muss, nicht möglich. Das gilt auch dann, wenn man den Kommunikationskanal zwischen den Prozeduren auf einen Stapelspeicher beschränkt. Kempen & Hoenkamp (1987:201):

„The basic design feature of IPG [...] is the “Procedures + Stack” concept. Sentences are built not by a central constructing agency which overlooks the whole process but by a team of syntactic procedures (modules) which work in parallel on small parts of the sentence, have only a limited overview, and whose sole communication channel is a stack.“

Eine weitere Eigenschaft ist, dass syntaktische Strukturen teilweise „von unten nach oben“, teilweise „von oben nach unten“ durch die „categorial procedures“ aufgebaut werden. Die jeweils notwendige Verknüpfung der Teilstrukturen ist ein kritischer Punkt.

Offen ist, wie Lernprozesse aussehen könnten, die die von Levelt vorausgesetzten syntaktischen Prozeduren erzeugen müssten, und offen ist auch der Zusammenhang zwischen den Prozessdetails der Perzeption und denen der Produktion (von dem Monitoring-Konzept einmal abgesehen).

Spätere Arbeiten von Levelt und Mitarbeitern beschäftigen sich mehr mit der Ansteuerung und Produktion der lexikalischen Ausdrucksseiten als mit dem syntaktischen Problem.

5.5.3 Satzproduktion in einer neuronalen Struktur: lexikalische Voraussetzungen

Wenn man, unter Übernahme der lexikalischen Hypothese von Levelt, mit der Steuerung der syntaktischen Produktion durch die lexikalischen Einheiten rechnet, muss die lexikalische Produktion als wesentlicher Bestandteil in den Gesamtprozess einbezogen werden. Voraussetzung dafür muss sein, dass die lexikalische Produktion selbst geklärt ist. Ein plausibler Vorgang wird in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Kapitel 4, aus Perzeptionsstrukturen abgeleitet und mit einem Vorschlag zu entsprechenden Lernprozessen versehen. Die Grundprinzipien sind dort in Abbildung 4.4.4–2 skizziert, diese Abbildung ist hier als Abbildung 5.5.3–1 (unter Ergänzung des rot gestrichelten Rechtecks) wiederholt.

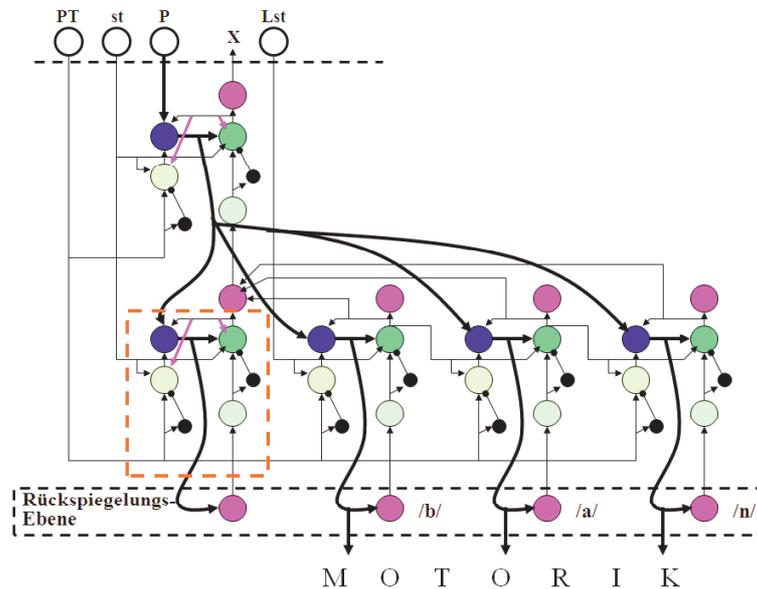


Abbildung 5.5.3-1: Lexikalische Produktionsarchitektur für die Kette /ban/.

Produziert wird das Wort *Bann*. Der Produktionsvorgang besteht in der Aktivierung einer zugehörigen inhaltlichen Struktur (in der Simulation über die externe Erregung der am oberen Rand angedeuteten Zellen bzw. Strukturen *st* und *P*), und der anschließenden, nach dem Lexikonstart (über *lst*) durch einen „Produktionstakt“ (*PT*) Laut für Laut bewirkten Produktion der entsprechenden Ausdrucksseite. Eine wesentliche Funktion haben dabei die in der Abbildung fett hervorgehobenen Top-down-Strukturen. Die Rückspiegelungsebene stellt eine Verbindung dieser Strukturen mit dem Perzeptionssystem her, das auch innerhalb der Sprachproduktion der Sequenzierung dient.

Die strukturelle Ähnlichkeit des Apparats mit den Top-down-Strukturen für syntaktische Reparaturen ist schon oben in Abschnitt 5.4 festgestellt worden. Zu weiteren Details vgl. das Kapitel 4.4.4 von Teil 4. In der folgenden Simulation kann die Funktion nachvollzogen werden.

Simulation:

Lexikalische Produktion.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden.

Der Produktionstakt in dieser Simulation wird durch die Eingabedatei extern definiert. Die Eingabedatei lautet (mit der Angabe der betreffenden Zellen und des Zeittakts, in dem die Eingabe erfolgen soll, die dann das Feuern dieser Zellen jeweils auslöst):

```
st 10 PT 20 P 30
1st 70 PT 90 PT 160 PT 230 PT 300
```

In Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, werden in den Abschnitten 4.4.4 und 4.4.5 verschiedene Möglichkeiten diskutiert, den Produktionstakt innerhalb der neuronalen Architektur zu erzeugen. Da die Diskussion nicht als abgeschlossen zu betrachten ist, wird hier und in den folgenden Simulationen ersatzweise der externe Input beibehalten.

Die in Abbildung 5.5.3–2 dargestellte Struktur enthält nur die rein lexikalischen Elemente. Wenn man die in Abschnitt 5.2.2 eingeführten Verbindungen für die Wortartinformation, die für die syntaktische Verarbeitung in der Perzeption erforderlich sind, hinzufügt, ergibt sich die Struktur von Abbildung 5.5.3–2. (Wenn eine große Zahl solcher Verbindungen erforderlich ist, muss möglicherweise mit Zwischenstrukturen gerechnet werden.)

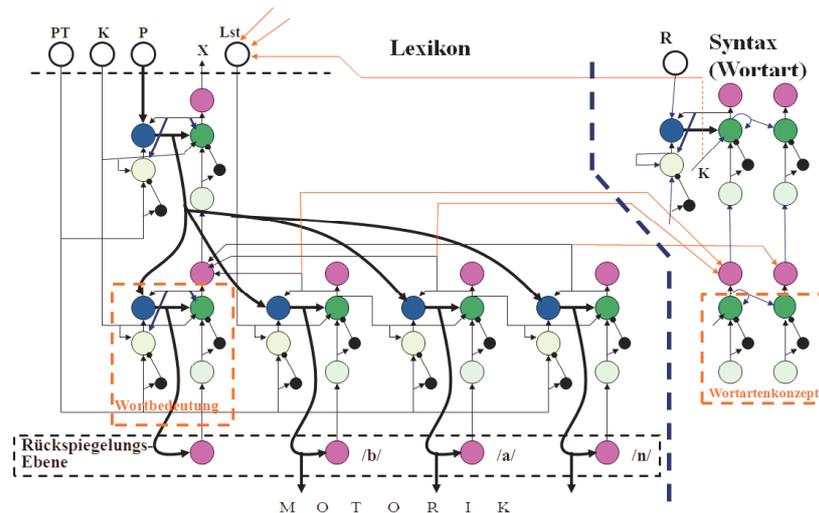


Abbildung 5.5.3–2: Produktionsarchitektur für die Kette /ban/ in einer bestimmten syntaktischen Position. Zusätzliche Verbindungen für die Wortartinformation und den Lexikonstart sind rot eingetragene. Die mit *R* bezeichnete Struktur stellt einen Ausschnitt der Reparaturarchitektur dar. *K* bezeichnet eine Kontextverbindung, von der aus das ausdrucksseitige Lexikon gestartet wird (gestrichelte Linie).

Die lexikalischen Grundlagen für die syntaktische Produktion, ohne die im Folgenden zu diskutierenden zusätzlichen Bedingungen, die sich aus den anzunehmenden tatsächlichen Abläufen ergeben, sind damit vollständig skizziert.

5.5.4 Satzproduktion in einer neuronalen Struktur: syntaktische Prozesse

Wichtig ist, dass man nicht einen Konzeptualisierungsvorgang annehmen darf, der größere Strecken einer Nachricht inhaltlich entwirft, ehe die weitere syntaktische Verarbeitung erfolgt. Vielmehr muss mit unmittelbarer syntaktischer und ausdrucksseitiger Realisierung gerechnet werden, sobald die Aktivierung einer Großmuttereinheit, die ein lexikalisches Konzept repräsentiert, erfolgt ist. Das ermöglicht prinzipiell eine frühe Revision inhaltlicher Festlegungen aufgrund syntaktischer Inkohärenzen.

Ein lexikalisch gesteuerter Produktionsprozess müsste dann die folgenden Schritte enthalten:

- (1) Auswahl einer lexikalischen Ausdrucksseite über die Wortbedeutung und zusätzlich bestimmt durch die zurückliegende syntaktische Produktion.
- (2) Rückspiegelung der Wortartinformation Laut für Laut in die Perzeptionssyntax (u.a. für das Monitoring).
- (3) Aktivierung passender syntaktischer Alternativen durch das Endelement der Wortartenkategorie (wie in Perzeptionsprozessen), und damit Vorgabe für die syntaktisch passende Auswahl einer folgenden lexikalischen Ausdrucksseite.
- (4) Fortsetzung mit Schritt (1).

Schritt (3) ist identisch mit der Sequenzierungsfunktion der Perzeptionssyntax. Die Steuerung des Lexikonstarts kann sowohl für die Perzeption als auch für die Produktion über dieselben Verzweigungen von Sequenzverbindungen geleistet werden. Solche Verzweigungen sind in Abbildung 5.2.2–7, 5.2.4–1 und 5.5.3–2 als gestrichelte Linien angedeutet worden.

Die lexikalische Auswahl durch Schritt (1) muss dem Ergebnis von Schritt (3) entsprechen, das heißt, sie muss ein lexikalisches Element aktivieren, dessen Wortart zu mindestens einer der syntaktischen Alternativen von Schritt (3) passt. Konflikte führen zu Inkohärenzreaktionen. Man könnte sich nun

vorstellen, dass die Erfüllung dieser Bedingung ausschließlich über die Wahl der zu realisierenden Inhalte, also ein im Formulierungsprozess vorgegebenes Konzept geschieht. Das würde aber voraussetzen, dass immer alle zu einem bestimmten Zeitpunkt „anstehenden“ Konzepte prinzipiell eine korrekte syntaktische Realisierung erlauben, was sicherlich nicht der Fall ist. Das bedeutet, dass so lange lexikalische Ausdrucksseiten ausgewählt werden müssten, bis eine passende gefunden ist, die zu einem syntaktisch kohärenten Ablauf führt. Weil dabei Rückspiegelungsprozesse eine Rolle spielen, ist mindestens die versuchsweise Produktion eines jeweiligen Lexikonelements z. B. durch inneres Sprechen erforderlich, wobei nicht mehrere Elemente gleichzeitig geprüft werden können. Jede Wortfolge müsste also durch eine Art Formulierungsprozess mit mehr oder weniger vielen zeitlich aufeinander folgenden Inkohärenzreaktionen produziert werden. Das ist angesichts der Sprechgeschwindigkeit, die auch dann zu beobachten ist, wenn es nicht um die Produktion von „Fertigware“ geht, nicht akzeptierbar.

Eine alternative Möglichkeit ist es, mit der zusätzlichen direkten Steuerung des Schritts (1) durch die Vorgaben der Syntax zu rechnen. Diese Vorgaben müssen dann als Kontexte für die Auswahl geeigneter Lexikonelemente herangezogen werden. Es liegt nahe, als Träger dieser von der Syntax ausgehenden Vorgaben wieder die Verzweigungen der Sequenzverbindungen anzusehen, die von Endelementen der syntaktischen Kategorien in der Perzeptionssyntax ausgehen. Diese Verzweigungen bewirken dann nicht nur einen neutralen Lexikonstart, sondern haben zusätzlich selektierende Funktion.

Eine erste Idee wäre dann, das Lexikon in Teillexika zerlegt zu denken, die jeweils Wörter einer einzelnen Wortartkategorie enthalten müssten. Der Start eines passenden Teillexikons würde dann zur Konsequenz haben, dass nur solche lexikalischen Elemente aktivierbar würden, die in den syntaktischen Rahmen passen. Da die Verbindungen mit diesen Teillexika über Lernprozesse hergestellt werden müssten und mehrere solcher Verbindungen jeweils auf den Start dieser Lexikonstrukturen führen, würden aber Lernprobleme entstehen, die wahrscheinlich nicht gelöst werden können. Außerdem gilt natürlich, dass die Aktivierung eines lexikalischen Elements in der Produktion auch nach wie vor über die Aktivierung einer Bedeutung geschieht. Wenn man nicht annehmen möchte, dass eine in den syntaktischen Rahmen passende Bedeutung (in einer möglicherweise durchaus mehrere Kandidaten enthaltenden Auswahl) mit einiger Sicherheit getroffen wird, stößt man wieder auf das Problem eines Versuchs-Irrtums-Prozesses mit der Konsequenz eventuell zu langer Produktionszeiten.

Bei dieser letzteren Überlegung wird nun auch erkennbar, dass eine möglichst frühe Festlegung einer zu produzierenden lexikalischen Einheit auf eine pas-

sende Wortart voraussetzen ist. Also sollte die Wortartinformation, wenn möglich, direkt mit in die Auswahl der in der Produktion zu realisierenden Wortbedeutung einfließen. Eine solche Konstruktion führt zur Annahme von Wortbedeutungen, das heißt tatsächlich mit lexikalischen Ausdrucksseiten versehenen Konzepten, die von vornherein eine Bedeutungskomponente haben, die der syntaktischen Wortartkategorie entspricht oder jedenfalls mit ihr in Verbindung gebracht werden kann.

Bedeutungskomponenten werden durch instanzbildende Zellen verknüpft; die den Komponenten entsprechenden Verbindungen gehen von ODER-Zellen aus (man vgl. dazu Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.4.7). Damit können für die zur Diskussion stehende syntaktische Leistung Architekturprinzipien angenommen werden, die auch in anderen Bereichen kortikaler Verarbeitung Verwendung finden. Die Abbildung 5.5.4–1 skizziert eine entsprechende Struktur:

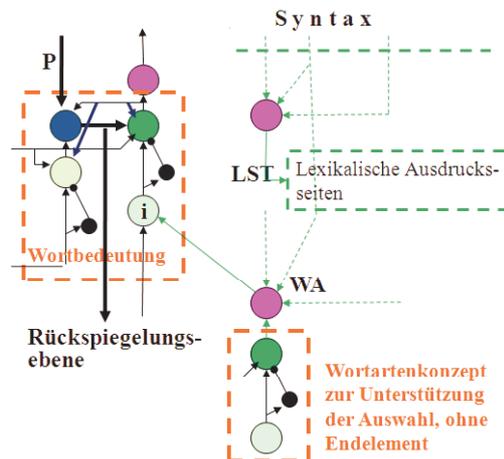


Abbildung 5.5.4–1: Schema zur Steuerung der Auswahl von Wortbedeutungen durch Wortartinformationen. Weitere Erläuterungen im Text.

Gezeigt ist links die Verknüpfung der Wortbedeutung mit der zusätzlichen Wortartinformation. Die Wortartinformation braucht eigene Strukturen für Lernvorgänge, die eine sequenzenbildende Anordnung einschließlich einer instanzbildenden Zelle voraussetzen. Rechts sind gestrichelt Verzweigungen syntaktischer Sequenzverbindungen dargestellt, die sowohl die ODER-Zelle des Lexikonstarts, als auch die ODER-Zelle der Wortartenstruktur aktivieren.

Weitere Überlegungen betreffen nun den Satzanfang. Die Voraussetzungen für die Perzeption sind in den vergangenen Simulationen durch ein Startsignal gewährleistet worden, das über Sequenzverbindungen nur die möglichen Anfangskategorien eines Satzes und den Lexikonstart mit einem Erwartungspotenzial versehen sollte. Für den Perzeptionsvorgang ist das ausreichend, für die Produktion müssen aber (unter Beibehaltung der strukturellen Prinzipien, die auch im Satzinnern gelten) diese Sequenzverbindungen mit Verzweigungen ausgestattet sein, die auch die Wortartenauswahl beschränken.

Da Verzweigungen von Sequenzverbindungen, die einen Lexikonstart und damit auch die Wortartauswahl bewirken, immer von Endelementen ausgehen, liegt es nahe, anzunehmen, dass der Satzstart generell durch Aktivierung des Endelements für den Satz, entweder durch eine außerhalb der Syntax gebildete Aktivität bei völligem Neustart oder durch die vorangegangene syntaktische Analyse geschieht. Das Endelement bleibt auch über eine Pause hinweg durch den Inkohärenzmechanismus aktiviert. Die Abbildung 5.5.4-2 zeigt die dadurch entstehende Struktur:

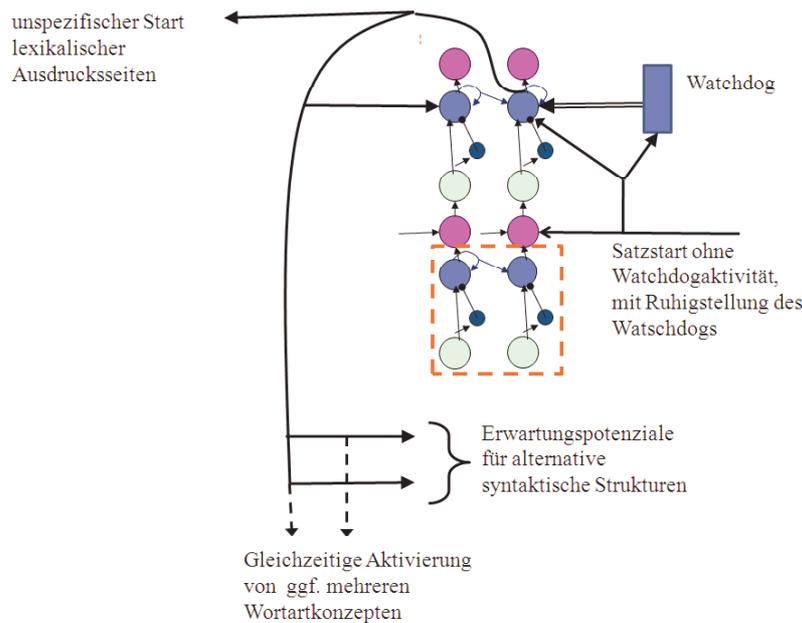


Abbildung 5.5.4-2: Strukturskizze für den Satzstart und die Erwartungen des Satzanfangs. Erläuterungen im Text.

In dieser Struktur wird die rekursive Wiederholung der Satzkategorie ausschließlich durch Verbindungen geleistet, die keine einzelsprachspezifischen Lernprozesse voraussetzen.

Sowohl die lexikalischen Strukturen nach dem Muster von Abbildung 5.5.3–1 bzw. 5.5.3–2 als auch die syntaktischen Strukturen, wie in dem vorangegangenen Kapitel 5.4 entwickelt, enthalten Hierarchien von P-Zellen. Sie dienen im syntaktischen Bereich der Möglichkeit von Reparaturen, im lexikalischen Bereich der inhaltsseitigen und ausdrucksseitigen Produktion. Die Strukturen der Hierarchien sind zwar vergleichbar, aber doch in Details verschieden (siehe Abbildung 5.4.2–3). Man könnte also annehmen, dass im lexikalischen Bereich eine P-Zellen-Hierarchie hinzugefügt werden müsste, die Reparaturen ermöglicht. Das würde es dann erlauben, ein Wort in der Mitte abubrechen und an einer früheren Stelle innerhalb(!) des Worts fortzusetzen. Dergleichen ist aber offenbar nicht möglich, *telefon äh legraf* ist keine zulässige Reparatur. Reparaturen werden auch bei einem Abbruch mitten in einem Wort offenbar syntaktisch gesteuert.

Umgekehrt gilt für die Syntax, wenn man die lexikalische Hypothese akzeptiert, dass ein dem ausdrucksseitigen Lexikon entsprechender Produktionsapparat keine Funktion hätte. Die lexikalische Hypothese setzt ja gerade voraus, dass die steuernden Entscheidungen nicht entlang der syntaktischen Hierarchie abwärts spezifiziert werden, sondern eher von den hierarchieniedrigsten Elementen ausgehen. Wollte man eine P-Zellen-Hierarchie annehmen, müsste man in großem Umfang mit Versuchs-Irrtums-Prozessen rechnen, was mit der beobachtbaren Verarbeitungszeit im syntaktischen Bereich nicht zu vereinbaren wäre. Man beachte, dass alternative Erwartungen nicht den Eigenschaften von P-Zellen entsprechen, sondern sequenzbildende Zellen voraussetzen.

Die beiden P-Systeme sind als Varianten einer Grundfigur aufzufassen, die in den unterschiedlichen Bereichen der Sprachverarbeitung unterschiedliche (wenn auch funktional verwandte) Aufgaben übernehmen.

5.5.5 Simulationen

Eine Reihe von Simulationen soll beispielhaft typische Eigenschaften und Leistungen einer den dargestellten Prinzipien entsprechenden syntaktischen Verarbeitung veranschaulichen. Alle Simulationen verwenden unverändert die gleiche Architektur. Diese Architektur ist hauptsächlich aus Bestandteilen gebildet, die auch schon in vergangenen Simulationen verwendet worden sind. Einige Erweiterungen ergeben sich aus der beabsichtigten Funktion.

Da es um die Modellierung syntaktischer Prozesse und deren lexikalische Steuerung geht, genügt es nicht, eine einzige Lexikoneinheit zu verwenden, wie in der Simulation oben in Abschnitt 5.5.3. Es ist außerdem sinnvoll, Lexikoneinträge zu verwenden, die interessante syntaktische Steuerungsvorgänge ergeben. Es werden deshalb zwei lexikalische Einheiten einbezogen, also zusätzlich zu /ban/, wie oben, auch noch /der/. Da die Ausdrucksseiten vollständig verschieden sind, ergibt sich keine Überlagerung der Kettenanfänge. Es sind deshalb 6 phonologische Einheiten und 6 diesen Einheiten zugeordnete Zellen mit der Funktion der Rückspiegelung (Rückspiegelungsebene) vorhanden. Der Doppelung der Ausdrucksseiten entsprechen Inhaltsseiten und lexikalische Produktionsmechanismen der in Abbildung 5.5.3–1 beschriebenen Art. Ergänzt sind die nach Abbildung 5.5.3–2 eingefügten Wortartkomponenten.

Auch der syntaktische Teil entspricht grundsätzlich Strukturen, die schon in Kapitel 5.4 verwendet worden sind. Das bedeutet, dass die Voraussetzungen für Monitoring und Reparaturen vorhanden sind. Da in den früheren Versuchen zur syntaktischen Modellierung die Verbindung zu den lexikalischen Informationen „künstlich“ über eine externe Eingabe hergestellt worden ist, hier aber ein Lexikonfragment vorhanden ist, muss eine prälexikalische Ebene ergänzt werden. Sie enthält die Definition von Wortartkategorien und die in das Lexikon führenden Verzweigungen der Sequenzverbindungen (Lexikonstart, Erwartung passender Wortarten).

Um den Aufwand und vor allem die Darstellung während der Simulation überschaubar zu halten, ist nur ein einziger Typ einer Nominalphrase zugrundegelegt, der die Ketten

der ban
der äh ban
der äh der ban usw.

zulässt. Es werden Experimente sowohl zur Produktion als auch zur Perception dieser Ausdrücke vorgestellt.

Die Abbildung 5.5.5–1 zeigt die Darstellung des Simulationsbildschirms zu Beginn einer Simulation.

Auf dem Simulationsbildschirm sind die lexikalischen Ausdrucksseiten übereinandergestellt. Die zugehörigen Inhaltsseiten sind links nebeneinander angeordnet. Die im lexikalischen Teil auf der linken Seite oben dargestellten Zellen entsprechen in ihrer Funktion den Abbildungen 5.5.3-1 und 5.5.3-2, sie sind aber jeweils, soweit zur Charakterisierung der Bedeutungen erforderlich, verdoppelt, an Stelle von *st* stehen *st1* und *st2* an Stelle von *P* stehen *P1* und *P2*. Eine weitere Maßnahme, die sich aus den Erfahrungen mit den Simulationen ergeben hat, ist die Aufspaltung des Produktionstakts in einen Zweig, der nur die lexikalischen Inhalte betrifft und bei der Festlegung der zu produzierenden Inhalte verwendet wird (*PTS*) und einen Zweig *PT*, der auch die ausdrucksseitigen Teile betrifft. Die Verschaltungen innerhalb des Lexikons, von den Verdoppelungen abgesehen, sind aus den schon verwendeten Modellen übernommen.

In der Abbildung ist die Rückspiegelungsebene durch farbig hinterlegte Rechtecke gekennzeichnet. Die Bereiche für den inhaltlichen (grün) und den ausdrucksseitigen Bereich (rot) sind jeweils neuronal verschieden lokalisiert zu denken. Letzterer ist in der Phonologie angesiedelt. Der inhaltliche Bereich liegt außerhalb der Phonologie.

Die in ein gestricheltes Rechteck gestellte Struktur entspricht der Pluralnominalphrase der zur Demonstration von Reparaturphänomenen oben in Abbildung 5.4.2-5 verwendeten Anordnung und erleichtert den Vergleich. Wie bei einigen der vorangegangenen Simulationen sind von den Zellen, die Hilfsfunktionen für Reparaturen haben, nur die P-Zellen auf dem Bildschirm sichtbar, die vollständige Ausstattung wird aber in der Simulation benutzt und ihre Aktivierung kann an der Reaktion der P-Zellen und der sequenzenbildenden Zellen erkannt werden.

In den Simulationen wird gezeigt, wie sich diese Architektur bei unterschiedlichen Aufgabenstellungen bewährt. Das bedeutet, dass jeweils ein verschiedener Input verwendet wird.

Zunächst Produktion einer ununterbrochenen Phonemkette /derban/

Simulation:
 Produktion von *der Bann*.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Die verwendete Eingabedatei (mit Kommentaren) ist:

```
Start des Watchdogmechanismus:
AA 1
```

Aktivierung der Bedeutung von /der/:
 st2 10 P2 15 PTS 20
 Lexikonstart und Produktion von /der/:
 stxx 30 PT 70 PT 140 PT 210
 Aktivierung der Bedeutung von /ban/:
 st1 220 P1 225 PTS 230
 Produktion von /ban/:
 PT 290 PT 360 PT 410
 .

Beim Vergleich mit der oben zur Simulation der einfachen lexikalischen Produktion angegebenen Eingabedatei sieht man, dass hier PTS (anstelle von PT) nicht vor P (P1 bzw. P2) aktiviert wird, sondern danach. Dies ist Voraussetzung für das Wirksamwerden der Wortartinformation für die Auswahl der zu produzierenden lexikalischen Einheit. Das Ergebnis des Produktionsversuchs besteht in einer ununterbrochenen Lautsequenz, der Phonemabstand ist 70 Zeittakte (Millisekunden), der Phonemabstand zwischen den Wörtern ist mit 80 Zeittakten nicht so groß, dass er ein Inkohärenzsignal auslösen würde und damit als Pause wahrnehmbar wäre.

Bei dieser Simulation erfolgt die Eingabe zum Start von /ban/ erst nach der weitgehenden Produktion von /der/. Das heißt, die Reihenfolge der Bereitstellung der Konzepte entspricht der Reihenfolge der gewünschten Produktionssequenz. Das mag, gerade bei Sequenzen aus Artikel und Nomen, nicht unbedingt realistisch sein. Den Fall der gleichzeitigen Aktivierung der Inhaltsseiten von Artikel und Nomen zeigt die folgende Simulation.

Simulation:
Produktion bei gleichzeitig aktivierten Konzepten DER und BANN.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Die Eingabedatei ist hier:

Start des Watchdogmechanismus:
 AA 1
 Gleichzeitige Aktivierung der Bedeutungen von /der/ und /ban/:
 st2 10 st1 10 P2 15 P1 15 PTS 20
 Lexikonstart, führt zur Produktion von /der/:
 stxx 30
 PT 70 PT 140 PT 210
 Erneute Aktivierung der Bedeutung von /ban/ :

st1 220 P1 225 PTS 230
 Produktion von /ban/:
 PT 290 PT 360 PT 410
 .

Die erfolgreiche Verarbeitung gleichzeitig aktivierter Inhalte setzt voraus, dass die beteiligten Konzepte nicht unvereinbar sind. Wenn im Deutschen mit einem maskulinen Artikel begonnen wird, kann kein Nomen folgen, das ein Femininum fordert. Man kann auch nicht annehmen, dass das gleichzeitige Angebot mehrere alternative Konzepte enthalten darf, die dann in Parallelverarbeitung entsprechend (mit Unterdrückung nicht passender Möglichkeiten) zugeordnet würden. Eine gleichzeitige Aktivierung der Konzepte DIE DER DAS BAN führt, da mehrere verschiedene Laute weder gleichzeitig (außer unter speziellen künstlichen Bedingungen, vgl. Teil 3, „Phonetik/Phonologie“, Abschnitt 3.3.4) gehört noch gleichzeitig produziert werden können (das gilt auch für inneres Sprechen), nicht durch Parallelverarbeitung zur korrekten Produktion von /derban/. Das bedeutet, dass korrekte Fertigware, die Formulierungsprozesse ausschließen soll, immer schon auf inhaltlicher Ebene definiert sein muss, also eine entsprechende komplexe Gedächtnisspur voraussetzt.

Die folgenden Simulationen betreffen die Bewältigung von Formulierungsproblemen und Reparaturen im Produktionsprozess.

Zunächst der Fall der gefüllten Pause. Die mit *äh* wiedergegebene Lautäußerung wird nicht als lexikalisches (dem Spracherwerb unterliegendes) Element betrachtet und einfach als Pause realisiert.

Simulation:
Produktion von *der äh Bann*.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.
 Ein Schnelldurchgang mit Start – Simulation bis Stop führt unmittelbar vor die Produktion von /ban/.

Die Eingabedatei ist:

Start des Watchdogmechanismus:
 AA 1
 Aktivierung der Bedeutung von /der/:
 st2 10 P2 15 PTS 20
 Lexikonstart und Produktion von /der/:
 stxx 30 PT 70 PT 140 PT

Pause
 Aktivierung der Bedeutung von /ban/:
 st1 600 P1 605 PTS 610
 Haltepunkt für Simulation bis Stop:
 *** 640
 Produktion von /ban/:
 PT 650 PT 720 PT 790
 .

Das Inkohärenzsignal, das zu Beginn der Pause erzeugt wird, wiederholt sich unter Aufrechterhaltung der für die Fortsetzung des Satzes (in dieser Simulation dargestellt) oder ggf. einer Reparatursequenz erforderlichen Kontexte. Die Pause ist hier 510 Zeittakte lang, das entspricht der Dauer von ca. 4 (nicht zusätzlich gelangten) Langvorkalen. Gefüllte Pausen sind in der Länge syntaktisch nicht begrenzt, können aber durch Gedächtnisprobleme, die inhaltliche Informationen betreffen, zu Verarbeitungsschwierigkeiten führen.

Reparaturen werden im Wesentlichen in gleicher Weise bewältigt, nur dass ein zurückliegender Anknüpfungspunkt für eine Fortsetzung gewählt wird. In diesem Beispiel kommt nur der Satzanfang dafür in Frage. Eine korrekte Reparatur entsteht also wegen des geringen lexikalischen Angebots nur durch Wiederholung von /der/.

Simulation:
 Produktion von *der äh der Bann*.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.
 Ein Schnelldurchgang mit Start – Simulation bis Stop führt unmittelbar vor die Produktion von /derban/.

Die Eingabedatei ist:

Start des Watchdogmechanismus:
 AA 1
 Aktivierung der Bedeutung von /der/:
 st2 10 P2 15 PTS 20
 Lexikonstart und Produktion von /der/:
 stxx 30 PT 70 PT 140 PT 210
 Pause
 Aktivierung der Bedeutung von /der/:
 st2 440 P2 445 PTS 450

```

Produktion von /der/:
PT 480 PT 550 PT 620
Aktivierung der Bedeutung von /ban/:
st1 690 P1 695 PTS 700
Haltepunkt für Simulation bis Stop:
*** 714
Produktion von /ban/:
PT 724 PT 794 PT 864
.

```

Die Grammatiken für Produktion und Perzeption können schon aufgrund der erforderlichen Lernprozesse nicht verschieden sein. Unterschiedliche Eigenschaften ergeben sich aber für die Abläufe: Die Produktion ist stets eindeutig, die Top-down-Strukturen eines bestimmten Konzepts wählen auch bei baumförmig strukturiertem Lexikon der Ausdrucksseiten genau die dazu passenden ausdrucksseitigen Elemente (Phoneme). Bei der Perzeption kann ein ausdrucksseitiges Element mehrere bis viele Bedeutungsstrukturen aktivieren. Da die Ausdrucksseiten in der verwendeten Simulationsarchitektur Laut für Laut verschieden sind, wird dieser Unterschied im Folgenden nicht sichtbar. Es geht also im Wesentlichen nur um die Funktion des Verstehensprozesses in den für die Produktion verwendeten Spezialfällen.

Die Verarbeitung der einfachen Eingabe von /derban/ ist, wie zu erwarten, unauffällig.

Simulation:
 Perzeption von *der Bann*.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation soll durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Die Eingabedatei ist:

```

Start des Watchdogmechanismus:
AA 1
Satzanfang und Setzen inhaltlicher Kontexte
stxx 130 st1 130 st2 130
Eingabe der Phonemketten mit Kontextauffrischung:
oid 200 oie 270 oir 340 st1 400 oib 410 oia 480 oin 550
.

```

Die Auswahl syntaktischer Anfangskategorien (hier also nur die Wortart von *der*) geschieht durch die Watchdogfunktion, also nach einer angenommenen

Pause und durch die Erwartung eines Satzanfangs. Kontexte müssen nicht sehr spezifisch sein und könnten während des gesamten Verstehensprozesses aktiviert sein. Hier wird, etwas vereinfachend, ein erforderlicher Kontext zu einem geeigneten Zeitpunkt aufgefrischt. Die Phonemkette wird durch Aktivierung von Zellen der Rückspiegelungsebene eingegeben.

Da Monitoringprozesse und Reparaturen in der Perzeption bisher ohne die explizite Verwendung von lexikalischen Strukturen modelliert worden sind, ist es sinnvoll, hier auch noch entsprechende Beispiele einzufügen. Zunächst das Beispiel der gefüllten Pause, die hier nicht durch inneres Sprechen, sondern durch nicht dargestellte höhere Konzeptualisierungsprozesse bedingt ist:

Simulation:
Perzeption von der äh Bann.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.
 Ein Schnelldurchgang mit Start – Simulation bis Stop führt unmittelbar zum Input von /ban/.

Die Eingabedatei ist:

```

Start des Watchdogmechanismus:
AA 1
Satzanfang und Setzen eines inhaltlichen Kontexts:
stxx 130 st2 140
Eingabe von /der/:
o1d 180 o1e 250 o1r 350
Pause
Haltepunkt für Simulation bis Stop
*** 520
Kontextauffrischung und Eingabe von /ban/:
st1 520 o1b 550 o1a 620 o1n 690
.

```

Schließlich hier noch das Beispiel der Reparatur:

Simulation:
Perzeption von der äh der Bann.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.
 Ein Schnelldurchgang mit Start – Simulation bis Stop führt unmittelbar zum Input von *der ban.*

Die Eingabedatei ist:

```

Start des Watchdogmechanismus:
AA 1
  Satzanfang und Setzen eines inhaltlichen Kontexts:
stxx 130 st2 160
  Eingabe von /der/
oid 180 o1e 250 o1r 320
  Haltepunkt für Simulation bis Stop:
*** 520
  Eingabe von /derban/ mit Kontextauffrischung
st2 520 oid 550 o1e 620 o1r 690 st1 740 o1b 760 o1a 830 o1n 900
.

```

An dieser Stelle ist nun noch einmal auf das Problem des Satzanfangs in der Satzproduktion einzugehen. Man wählt in der Satzproduktion nicht einen bestimmten Satztyp, indem man ein erstes Wort wählt, sondern indem man eine Frage stellen, einen Befehl erteilen oder eine Aussage machen möchte. Die Entscheidung dieser Alternativen ist offenbar nicht lexikalisch gesteuert (jedenfalls nicht im Deutschen). Wenn man die Eingabedateien für die Simulation der Produktionsprozesse genauer ansieht, findet man dort regelmäßig die Aktivierung einer Zelle *stxx*. Die Aktivierung dieser Zelle hat zur Konsequenz, dass die Funktionsdefinition (bzw. die betreffende ODER-Zelle) des Endelements des in den Simulationen dargestellten Satztyps und damit das Endelement selbst zum Feuern gebracht wird. Eine bestimmte syntaktische Funktion löst also den Satzstart für einen bestimmten Satz aus, und erst anschließend kann dann die Wahl des ersten Wortes im Satz folgen. (Man vgl. dazu auch Abschnitt 5.5.4 und die Abbildung 5.5.4–2.

Es mag hier offen bleiben, ob die Entscheidung von Alternativen auch in anderen Zusammenhängen nicht ausschließlich über die Wahl lexikalischer Elemente, sondern auch über die Wahl bestimmter syntaktischer Funktionen geschieht. Mindestens das Beispiel des Satzanfangs zeigt wohl, dass die lexikalische Hypothese zur syntaktischen Steuerung zwar gilt, aber wahrscheinlich mit Einschränkungen.

5.5.6 Satzverstehen

Grundgedanke des Satzverstehens, soweit es hier behandelt werden soll, ist, dass zusätzlich zu den lexikalischen Bedeutungen auch Spuren der syntaktischen Funktion als Ergebnis eines Verstehensprozesses im Gedächtnis festgehalten werden können.

Die Verankerung von Inhalten durch Gedächtnisprozesse kann auf lexikalischer Ebene beim Satzverstehen erst bei Aktivierung des lexikalischen Endelements erfolgen. Der Grund liegt in der baumförmigen Struktur des Systems der Ausdrucksseiten mit Verklebungen oder parallelem Verlauf der Kettenanfänge, die eine inhaltliche Mehrdeutigkeit zur Folge haben. Wenn Komplexe, die mehrere lexikalische Einheiten enthalten, auf Gedächtnisebene mit einer Funktionsinformation versehen werden sollen, kann eine Verankerung wegen der auch hier gültigen baumförmigen Struktur ebenfalls erst dann erfolgen, wenn das Endelement der interessierenden syntaktischen Einheit erreicht ist. Die Simulation oben in Abschnitt 5.4.2 enthält als Beispiel dafür eine Nominalphrase im Nominativ, die über weite Strecken zunächst als Singular und parallel als Plural verarbeitet wird. Die inhaltliche Entscheidung ist erst mit dem Endelement erreicht. Wie bei lexikalischen Phänomenen gibt es auch bei der Verarbeitung syntaktischer Konstituenten u. U. einen früheren Zeitpunkt, bei dem nur noch eine einzige Bahn der Verarbeitung übrigbleibt. Dieser Zeitpunkt ist zwar von einem imaginären linguistischen Beobachter, nicht aber durch eine neuronale Struktur mit vertretbarer Komplexität feststellbar. Allerdings kann in speziellen Fällen, z. B. bei Satzabbrüchen, auch vor Erreichen der Endelemente eine kontextabhängige Bedeutungszuordnung und eine entsprechende Reaktion erfolgen. Das gesamte Funktionieren der Bedeutungszuordnung entspricht grob den Beobachtungen der Kohortentheorie, vgl. Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitte 4.1.2 und 4.6.4.

Die syntaktischen Funktionen sind grundsätzlich als eigene Konzepte definiert und die Definitionen sind in den Strukturdarstellungen, z. B. Abbildung 5.4.1–2, in gestrichelte Rechtecke gestellt. Die Aktivierung solcher Konzepte im Verstehensprozess beim Erreichen von syntaktischen Endelementen kann prinzipiell zur Verankerung im Gedächtnis führen. Details dazu werden in Teil 6, „Gedächtnisformen, Textverstehen“ diskutiert.

Wenn man die lexikalisch gesteuerte syntaktische Produktion in der in den vorangegangenen Abschnitten entwickelten Form annimmt, ergibt sich interessanterweise aber eine zusätzliche Möglichkeit: Die lexikalischen Konzepte haben hier Komponenten, die der syntaktischen Funktion entsprechen. Wenn auf Grund eines sprachlichen(!) Verstehensprozesses eine Konzeptbildung erfolgt, dann ist dieses Konzept schon mit einer syntaktischen Rolle durch Einbinden des Wortartenkonzepts verbunden. Wortartenkonzepte im lexikalischen Bereich können Instanzen der Konzepte innerhalb der eigentlichen Syntax sein. Sie entstehen durch Spracherwerbsprozesse, die die Syntax voraussetzen.

Wenn man annehmen möchte, dass das komplexe, mit einer Rolle versehene Konzept auch im Erinnerungsprozess aktiviert werden kann, muss eine Rückspiegelung möglich sein, die das Wortartenkonzept einschließt. Also muss das Top-down-System der P-Zellen entsprechend ergänzt werden, wie in Abbildung 5.6.1–1 angedeutet:

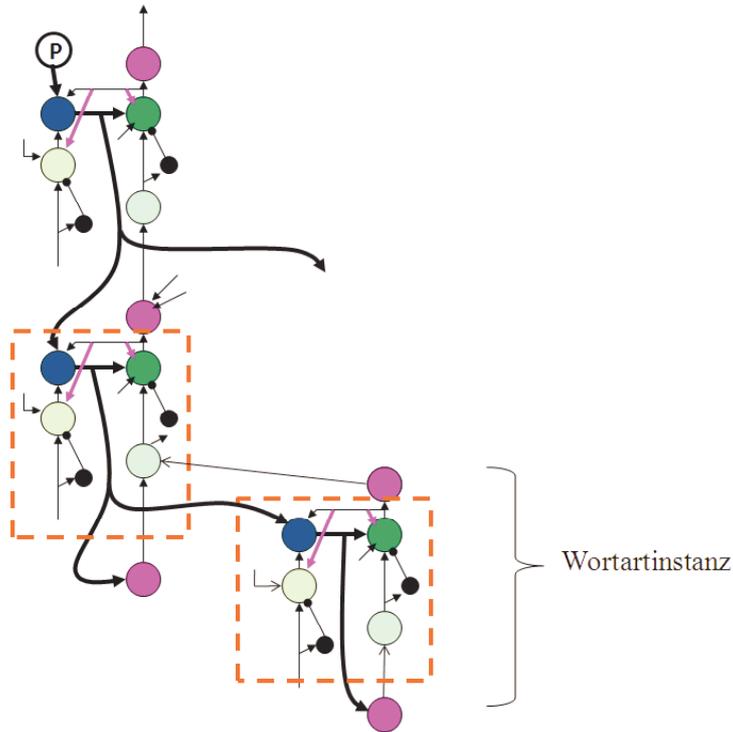


Abbildung 5.5.6–1: Erweiterung des Top-down-Systems für Wortarten

Die Rückmeldung ist zur Ausfüllung des Konzepts (siehe Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.5.2) erforderlich und muss die Wortartenkategorien beim Abrufen des Inhalts einbeziehen. Das darf aber nicht bei der Auswahl für die Produktion geschehen, denn die gesteuerte Produktion würde dadurch gestört. Also muss eine Blockade in diesem Fall vorgesehen werden, z. B. dadurch, dass dabei die Sequenzverbindung im Wortartkonzept nicht aktiviert ist.

Aus den im Verlauf des Verstehensprozesses aktivierten mit syntaktischen Eigenschaften versehenen lexikalischen Inhalten lassen sich Propositionen

aufbauen, deren Argumente von vornherein mit Rolleninformationen versehen sind. Es ist aber auch zusätzlich zu beachten, dass die Rollenzuordnung dann nicht geschieht, wenn z. B. Objekte aufgrund visueller Wahrnehmungen benannt werden sollen. Das Wortartenmerkmal soll erst zusammen mit einer zusätzlichen syntaktischen Einwirkung eingebunden werden. Es ist in der verwendeten Simulationsarchitektur tatsächlich möglich, auch Bedeutungen zu verarbeiten, die ausschließlich über Sinnesdaten definiert sind. Man kann einen Inhalt von der Rückspiegelungsebene aus (ohne die Rückspiegelung des Wortartenkonzepts) „starten“. Es werden also nicht Konzepte top-down, sondern bottom-up verwendet. Die folgende Simulation zeigt einen solchen Vorgang:

Simulation:
Produktion von *der* *Bann* aufgrund einer Objektwahrnehmung.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten!) gesteuert werden.

Eingabedatei:

```

Start des Watchdogmechanismus:
AA 1
  Aktivierung der Bedeutung von /der/:
st2 10 P2 15 PTS 20
  Lexikonstart und Produktion von /der/:
stxx 30 PT 70 PT 140 PT 210
  Aktivierung der Bedeutung von /ban/
  über die Rückspiegelungsebene (ohne Wortartenkonzepte):
st1 220 xBAN 225
  Produktion von /ban/:
PT 290 PT 360 PT 410
.

```

Auf die Produktion von *der*, die einen syntaktischen Kontext erzeugt, folgt die Eingabe eines Merkmalsbündels, der Einfachheit halber über die ODER-Zelle, die zu der entsprechenden Rückspiegelungsfunktion gehört. Anschließend wird *ban* produziert.

Sprachlich zu realisierende Konzepte können also sowohl propositional als auch in Form von Komplexen aus Sinnesdaten (z. B. Szenen) repräsentiert sein. (Zu der diesbezüglichen Diskussion bei Kosslyn vgl. Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.5.1.)

Satzverstehen schließt Aktionen ein, die etwas mit komplexen Gedächtnisaktivierungen zu tun haben. Solche Phänomene sind Gegenstand des Teils 6, „Gedächtnisformen, Textverstehen“.

5.6 Schlussbemerkungen

5.6.1 Bemerkungen zur Methode der Modellbildung

Grundsätzlich gelten für die vorgeschlagenen syntaktischen Strukturen die in Teil 1 entwickelten Grundlagen der Modellbildung. Wenn man diese Grundlagen nicht berücksichtigt, kann es sein, dass man, vom biologischen Standpunkt aus, die „Einsträngigkeit“ der Netze beanstandet, die so nicht gut zum „chaotischen“ Aussehen von z.B. senkrecht zur Kortexoberfläche hergestellten mikroskopischen Schnitten passt. Dazu ist zu beachten, dass in einem Modell Strukturen mit einer gewissen Abstraktion dargestellt sind, ohne dass die Korrektheit des Modells darunter leidet. Es gilt die Präzisionsforderung. Im Falle der syntaktischen Modelle werden vor allem Strukturbestandteile, die aktuell keine Funktion haben, aber durch die Biologie der Lernvorgänge notwendig vorhanden sind (siehe unten, 5.6.2), nicht mit dargestellt, sind aber mitgemeint. Wenn eine Synapse dargestellt ist, gilt das u.U. für ein Bündel von Synapsen, die zusammen eine gemeinsame Funktionalität haben.

Der Vorgang der Modellbildung basiert wesentlich auf Simulationsexperimenten, das heißt, die behaupteten Strukturen beruhen auf mehr oder weniger langwierigen Versuchs-Irrtums-Prozessen. In gewisser Weise ersetzt dieses Verfahren die üblichen psycholinguistischen Experimente (die meist Reaktionszeitexperimente sind), die ebenfalls als Versuchs-Irrtums-Prozesse reinterpreted werden können, vor allem dann, wenn man sich mit den eingesetzten Hypothesen in größerer Distanz zu den biologischen Grundlagen bewegt und den Irrtum bezüglich dieser Grundlagen riskiert. Der Vorteil von Simulationsexperimenten gegenüber dem üblichen Verfahren des Hypothesentestens besteht darin, dass die Menge der Informationen, die einbezogen und in Beziehung zueinander gesetzt werden können, wesentlich größer ist und die Ergebnisse dementsprechend an Stabilität gewinnen.

Selbstverständlich gilt, dass verlässliche Ergebnisse psycholinguistischer Experimente zur Kontrolle der Modelle herangezogen werden. Zur Verlässlichkeit gehört aber auch, dass nicht Prozesse angenommen werden, die biologisch unplausibel oder überhaupt unmöglich sind. Es ist problematisch, wenn Reaktionszeitexperimente durchgeführt und deren Ergebnisse interpretiert werden, ohne dass man im Vorfeld wenigstens andeutungsweise klärt, mit welchen Prozessen auf biologischer Grundlage überhaupt gerechnet werden kann. Die Psycholinguistik liefert leider viele in dieser Hinsicht zu kritisierende Beispiele.

5.6.2 Biologische Grundlagen

Die Beachtung der biologischen Grundlagen hat gerade im Syntaxbereich dramatische Konsequenzen. Daher hier noch einmal eine Zusammenstellung der in diesem Zusammenhang wichtigsten Gesichtspunkte, man vergleiche insgesamt Teil 2, „Grundlagen“.

Von besonderer Bedeutung ist die Beachtung möglicher Lernprozesse, die zum Aufbau von Konzepten für beliebige Kortexrepräsentationen führen. Da „unüberwachte“ Lernprozesse (das heißt Lernprozesse ohne Zielvorgaben und deren Monitoring) einerseits bei „verteilten“ Systemen nicht in plausibler Form möglich sind und andererseits alle einigermaßen stabilen biologischen Beobachtungen dafür sprechen, dass solche Lernprozesse im Kortex tatsächlich stattfinden, muss prinzipiell die „lokalistische“ Repräsentationsform angenommen werden. Aus demselben Grund gilt das Prinzip der Einzelimpulskodierung, das heißt, eine aktivierte Information besteht darin, dass eine einzelne Zelle (oder eine mehr oder weniger große Menge von Zellen gleicher Funktionalität gleichzeitig, also in einem engen Zeitfenster) einen Impuls abgibt. Es ist nicht so, dass eine elementare(!) Information durch ein Muster von Erregungen dargestellt wird, wie es den technischen Realisierungen von inhaltlichen Repräsentationen im Computerbereich entsprechen würde.

Die vorauszusetzende Grundlage aller Lernvorgänge ist ein zwar architektonisch geordnetes, aber innerhalb dieses Rahmens chaotisches Netzwerk unspezifischer, nicht mit einer Repräsentationsfunktion versehener Verbindungen. Der Lernprozess besteht in der Verstärkung solcher Verbindungen. Wenn komplexe Konzepte aus spezifischen Kombinationen elementarerer Konzepte gebildet werden sollen, ist die Annahme eines „Lernstops“ erforderlich, das heißt eines Abschlusses der Verstärkung von Verbindungen, sobald eine gültige Funktion erreicht ist (vgl. Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.3.2). Diese Eigenschaft sorgt dafür, dass Repräsentationen nicht

prinzipiell in beliebigem Umfang mehrdeutig werden können. Eine wichtige „Nebenwirkung“ im syntaktischen Bereich ist, dass Strukturen, die Rekursivität gewährleisten würden, ausgeschlossen sind.

Konzepte entstehen immer auf der Basis angeborener Elemente, z. B. von Elementen der visuellen und auditiven Wahrnehmung, der Körperwahrnehmung usw., die ihrerseits nicht aus konstruktiven Lernvorgängen hervorgehen. Die Konzeptrepräsentation besteht deshalb immer in einem zellulären Netz, dessen Basis periphere Strukturen sind. Eine einzelne Zelle ist bedeutungslos. Das hat zur Folge, dass Informationstransporte im Kortex prinzipiell undenkbar sind. Informationen können allerdings dadurch mehrfach verwendet (also in einem gewissen Sinne kopiert) werden, dass die sie repräsentierende Großmuttereinheit (nicht das gesamte definierende zelluläre Netz) „Instanzen“ bildet, die ggf. auch inhaltlich modifiziert sind.

Für das Verständnis syntaktischer Prozesse und den Vergleich mit Computerrealisierungen ist es besonders wichtig, zu beachten, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit im Kortex vergleichsweise langsam ist. Wenn man mit handelsüblichen Computern vergleicht, ist die Dauer des Elementarprozesses im Gehirn mit 1 ms oder in manchen Bereichen vielleicht 0,1 ms mindestens um den Faktor 10 000 bzw. 1000 größer als im technischen Gegenstück. Auf der anderen Seite lässt in der biologischen Realität das lokalistische Verarbeitungsprinzip in Verbindung mit der Eigenschaft der Identität von Daten und Prozeduren ein Ausmaß an Parallelverarbeitung zu, das diese Differenz in sprachlichen Prozessen ohne Probleme mehr als ausgleicht.

5.6.3 Phonologische und lexikalische Umgebung

In Teil 3, „Phonetik/Phonologie“ wird gezeigt, dass die neuronale Entsprechung eines lautlichen Segments, das ja immer eine bestimmte zeitliche Erstreckung hat, im Kortex nicht grundsätzlich in einem Impulsburst mit einer entsprechenden Dauer bestehen kann. Stattdessen wird die Kodierung einer lautlichen Kürze durch einen einzelnen, auf einer entsprechenden Einheit ausgelösten Impuls realisiert. Das gilt unbeschadet der Tatsache, dass im Unterschied dazu auf der Hörbahn und für die dort stattfindenden Analyseprozesse Impulsbursts von wesentlicher Bedeutung sind. Die Argumente für die Annahme der Einzelimpulskodierung lautlicher Segmente im Kortex beziehen sich nicht nur auf die lexikalische Weiterverarbeitung des akustischen Signals, es wird aber in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ gezeigt, dass das mentale Lexikon nur unter Annahme von Einzelimpulskodierung für die lautlichen Einheiten funktionieren und durch Lernprozesse aufgebaut werden kann.

Wenn ein Laut, wie z. B. ein Langvokal, in größerer zeitlicher Dehnung erscheint, muss, ebenfalls aufgrund von Argumenten, die der Phonetik bzw. Phonologie zuzuordnen sind, aber auch für die lexikalische Verarbeitung Bedeutung haben, angenommen werden, dass ein Impulsburst entsteht. Verglichen mit einem Impulsburst, der einen Kurzvokal darstellen würde, ist die Frequenz dieses Bursts wesentlich geringer und mit grob zwischen 10 und 20 Impulsen pro Sekunde anzunehmen; sie liegt damit in einem für den Kortex realistischen Bereich. Die Abstände zwischen den Impulsen entsprechen den Abständen der Impulse, die eine Sequenz von z. B. Kurzvokalen abgeben würde.

Für lexikalische Ausdrucksseiten sind diese Verhältnisse eine wesentliche Funktionsvoraussetzung. Die Repräsentation lexikalischer Sequenzen setzt voraus, dass die Erwartung eines Sequenznachfolgers im Verstehensprozess andauert, bis dieser Nachfolger tatsächlich erkannt ist. Für diese Erwartungsfunktion muss das EPSP des Sequenznachfolgers herangezogen werden, das heißt, die sequenzenbildende Zelle des Sequenznachfolgers muss entsprechend lange einen Pegel oberhalb des Ruhepotenzials der betroffenen Zelle haben. Andere Lösungen scheiden aus verschiedenen Gründen aus. Die Dauer des EPSP ist aber eine zelltypische Konstante, sie kann nicht beliebige Werte annehmen, z. B. nicht an die Dauer eines gerade zu repräsentierenden Langvokals angepasst werden, der, aus welchem Grund auch immer, gedehnt erscheint. Wenn längere Zeitdauern erforderlich sind, muss das EPSP durch Wiederholung eines Inputs aufgefrischt werden. Der Vorgang der Auffrischung setzt aber voraus, dass die Zelle, die den Sequenzvorgänger repräsentiert, ein Aktionspotenzial produziert.

Während des Ablaufs einer Sequenz entsteht damit ein durch den phonetischen Input erzeugter fortdauernder „Takt“, der eine Frequenz zwischen 10 und 20 Impulsen pro Sekunde aufweist und Auswirkungen auf die anschließende Verarbeitung oberhalb der lexikalischen Ebene hat. Diese Taktung wird nicht durch ein zusätzliches, informationsneutrales Taktsystem gewährleistet, sondern ist Eigenschaft des Verarbeitungsprozesses, das heißt, sie wird getragen durch die jeweils zur Repräsentation der Inhalte aktivierten Zellen.

Erwartungen und damit die entsprechende Taktung sind auch für syntaktische Konstituenten erforderlich, die in noch größerem Ausmaß unterschiedliche Längen haben, als die Phoneme, die einen Lexikoneintrag ausmachen. Eine entsprechende Gedächtnisfunktion setzt eine Stützung von EPSPs in ähnlicher Weise voraus, wie bei lexikalischen Elementen. Die Quelle für die Taktung (jedenfalls im Verstehensprozess) kann wieder nur im phonetischen Input liegen, der sich, vermittelt durch die lexikalische Ebene, auf syntak-

tischer Ebene entsprechend auswirkt. Ein parallelverarbeitendes System, das auf die Verarbeitung von Sequenzen angewiesen ist, kann bei nicht zu kurzer Dauer der Sequenzelemente ohne eine durchgängige Taktung nicht funktionieren.

Eine wichtige Folge für die Syntax ist, dass die syntaktische Verarbeitung im Verstehensprozess streng synchron zur lautlichen Verarbeitung auf phonologischer und lexikalischer Ebene erfolgen muss. Für die Verarbeitung natürlicher gesprochener Sprache und der dabei beobachtbaren Phänomene ist die strenge Synchronisierung mit dem akustischen Input schon deshalb notwendig, weil sie offenbar die Voraussetzung für die Kohärenzkontrolle und den Reparaturmechanismus ist. Funktionierende apparative Alternativen in dieser Hinsicht sind nicht erkennbar und in der linguistischen Literatur bisher nicht vorgeschlagen worden. Man kann aber nicht ernsthaft Linguistik betreiben und dabei von vornherein bestimmte sprachliche Erscheinungen, also z. B. die Voraussetzungen für das Funktionieren natürlicher Dialoge, ausklammern.

5.6.4 Die Struktur syntaktischer Kategorien

Es gibt einige Besonderheiten der Verwendungen von Kategorien in der generativistischen Literatur, die keine neuronale Basis haben können.

Syntaktische Kategorien können nicht Container für Merkmale sein, die dann im einzelnen überprüft werden, oder gar ausschließlich Landeplätze für wünschenswerte Movement-Operationen. Die Begründung für die Einführung bestimmter Kategorien kann auch nicht in einem Hinweis auf übereinzelsprachliche Generalisierungsmöglichkeiten bestehen, die z. B. zur Wahrung der globalen Geltung des X-Bar-Prinzips erforderlich sind. Dergleichen ist nur sinnvoll in Theorien über Satzmengen, wie oben in Abschnitt 5.1.1 genauer ausgeführt.

Es ist üblich, von Kategorien wie NP oder DP zu sprechen, andererseits ist aber auch eine Tendenz zu erkennen, solche Kategorien aufzusplitten. Ein jüngeres Beispiel ist die Aufsplittung der Kategorie AGR (vgl. Belletti, 2001). In älteren generativistischen „Modellen“ sind solche Phänomene häufig. Wenn man mit den neuronalen Strukturen, die in den vorangegangenen Kapiteln vorgeschlagen worden sind, vergleicht, ist hier allerdings, vor allem aufgrund der Ablehnung von satzinterner Rekursivität, eine wesentliche Vermehrung dieser Form von „Subkategorisierung“ festzustellen.

Man könnte annehmen, dass es unter diesen Voraussetzungen schwierig wird, von Kategorien wie „Nominalphrase“, „Verb“ usw. überhaupt zu spre-

chen, ohne damit unzulässige Generalisierungen vorauszusetzen. Das ist aber, wenn man etwas genauer die Lernprozesse beachtet, die zu Kategoriendefinitionen führen, nicht der Fall. Die allgemeine, kortextypische Redundanz von Repräsentationen läßt von vornherein nicht erwarten, dass eine bestimmte Kategorie aufgrund der sie erzeugenden Lernprozesse nur einfach (in einer einzigen Großmuttereinheit) repräsentiert ist. Syntaktische Lernprozesse, die Kategorien einbeziehen, sind also nicht notwendig darauf beschränkt, zur Realisierung einer bestimmten Funktion immer auf dieselbe Großmuttereinheit zurückzugreifen. Ein zweiter, vielleicht noch interessanterer Aspekt ist, dass in Großmuttereinheiten repräsentierte Konzepte, wie oben in Abschnitt 5.6.2 schon angesprochen, immer auch Instanzen, das heißt eine Art Kopien von sich erzeugen können, sofern entsprechende nicht-zugeordnete neuronale Strukturen verfügbar sind. Diese Kopien können zusätzlich spezifiziert sein (eine Nominalphrase kann in verschiedenen Funktionen auftreten). Grundsätzlich gilt dabei, dass die Kontexte für Kategoriendefinitionen nicht in die syntaktische Kontexthierarchie eingebunden sein dürfen, um nicht die in Abschnitt 5.2.4 diskutierten Schwierigkeiten zu verursachen. Die Abbildung 5.6.4–1 zeigt das Prinzip.

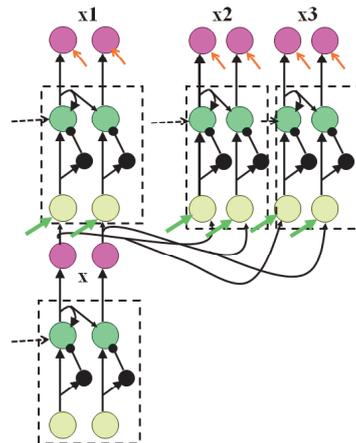


Abbildung 5.6.4–1: Bildung mehrerer Instanzen (x_1 , x_2 und x_3) für eine Kategoriendefinition (x).

↗ Verbindungen, die im Perzeptionsprozess benutzt werden und der Hierarchiebildung dienen.

↗ Verbindungen, die zur Spezifizierung der Instanzen benutzt werden können.

---> Kontextverbindungen, die während der syntaktischen Analyse nicht aktiviert werden.

Mehrfach verwendete Kategorien z. B. in Aufzählungen oder in selbsteinbettenden Strukturen können auf diese Weise aus einem gemeinsamen Typ abgeleitet werden, wie in Abbildung 5.6.4–2 angedeutet.

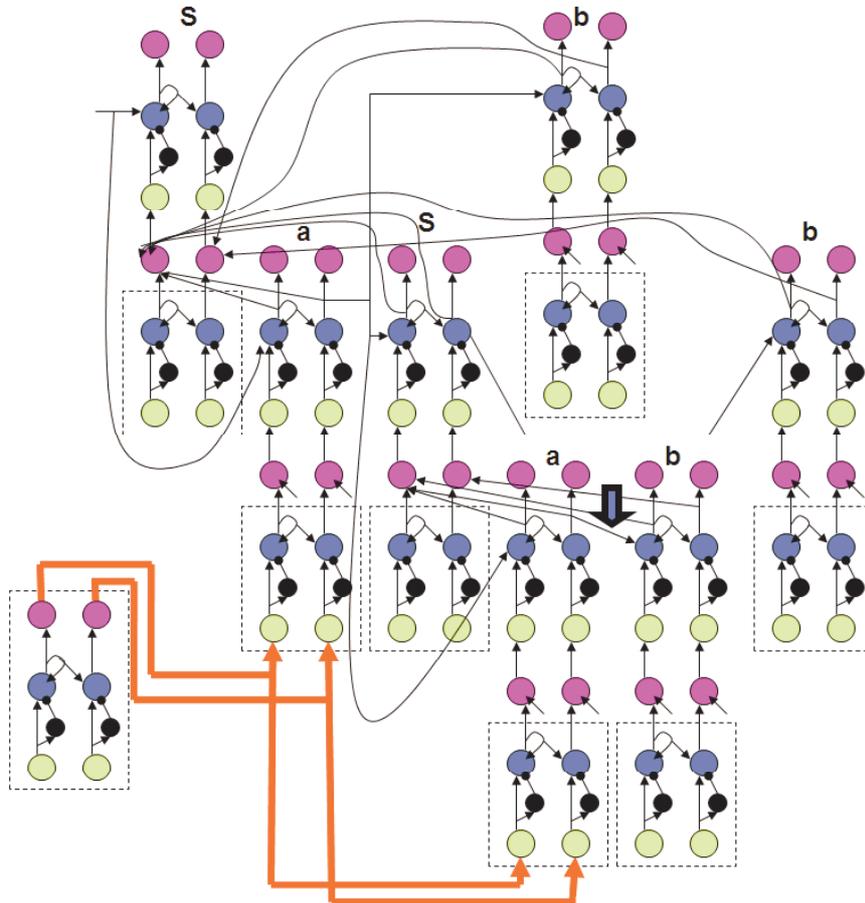


Abbildung 5.6.4–2: Schema zur Einbindung von Instanzen einer Kategorie in eine selbsteinbettende Struktur. Übernahme der Struktur von Abbildung 5.2.4–7 in Abschnitt 5.2.4 und entsprechende Ergänzung. Instanzenbildende Verbindungen sind rot eingetragen. Alle gestrichelt umrahmten Teile einschließlich dieser Verbindungen werden bei der syntaktischen Analyse in der Sprachperzeption nicht aktiviert.

Es ist möglich, sich vorzustellen, dass im Zuge des Spracherwerbs zunächst relativ unspezifizierte Typen von Kategorien definiert werden, die dann bei

Weiterentwicklung der syntaktischen Möglichkeiten durch spezifischere Instanzen ergänzt werden.

Der Umgang mit Kategorienbezeichnungen in der Linguistik muss sich im Zusammenhang mit neuronalen Strukturen nicht notwendig ändern.

5.6.5 Parsingprobleme: das technische Gegenstück

Ein Vergleich mit Parsern für computergestützte syntaktische Analyse an dieser Stelle liefert interessante zusätzliche Aspekte und demonstriert die besondere Effektivität der natürlichen Sprachverarbeitung. Es wird insbesondere deutlich, dass die Sprache nicht eine apparative Architektur voraussetzt, wie sie bei Computern (vom Von-Neumann-Typ) gegeben ist. Damit werden z. B. auch viele Ideen, die sich im Rahmen der Künstlichen-Intelligenz-Forschung ergeben haben und die oft allzu bereitwillig als Muster natürlicher Verarbeitungsprozesse dienen, fragwürdig.

In dem kurzen, allgemeinverständlichen Überblick bei Langer (2004) wird darauf hingewiesen, dass das Hauptproblem technischer Parsingsysteme in der lokalen Mehrdeutigkeit syntaktischer Strukturen liegt.

Bei der natürlichen Sprachverarbeitung wird zur Bewältigung des Problems (das in diesem Fall eben kein Problem ist) Parallelverarbeitung verwendet, in einer Form, die in einem Von-Neumann-Rechner auf der Ebene der Maschinensprache nicht vorgesehen ist. Das gilt für alle natürlichen Sprachen. Es sind zwar künstliche Sprachen konstruierbar, deren Verarbeitung nicht auf parallele Prozesse angewiesen ist und die dann entsprechende Verarbeitungsprobleme nicht verursachen. Natürliche Sprachen erben hier aber offenbar eine Eigenschaft, die für kortikale Verarbeitung grundsätzlich, auch außerhalb des Sprachbereichs, charakteristisch und darüber hinaus evolutions-theoretisch zu erwarten ist.

Man kann sich Letzteres leicht an einem einfachen Beispiel klar machen: Unter den Bedingungen der Evolution ist es günstig, auf Gefahren schon dann zu reagieren, wenn die verfügbare Information noch unscharf ist. Unschärfe heißt Mehrdeutigkeit. Zu einem Zeitpunkt, zu dem entschieden werden kann, dass eine sich nähernde Großkatze ein Tiger und nicht ein Löwe ist, kann es für eine angemessene Reaktion zu spät sein. Selbstverständlich gilt Entsprechendes nicht nur für die Evolution des Menschen.

Das Mehrdeutigkeitsproblem hat zur Folge, dass es nicht gelingt, Computeralgorithmen anzugeben, die gewährleisten, dass die Verarbeitungszeit für Grammatiken, die natürliche Sprachen beschreiben könnten, linear mit der Satzlänge wächst. Wenn man erwartet, dass ein Parser nicht-analyisierbare

Sätze zurückweist, kann eine solche Entscheidung oft erst eine gewisse Zeitspanne nach Eingabeende getroffen werden. Eine Analyse unmittelbar aufeinanderfolgender Sätze in realer Zeit kann dann nicht erwartet werden.

Im natürlichen Vorbild ist es dagegen so, dass nach Ende eines Satzes unmittelbar der nächste folgen darf. Es sind keine Pausen erforderlich. Wenn also die Wahrnehmung der akustischen Form eines Satzes abgeschlossen ist, ist gleichzeitig auch der Verstehensprozess abgeschlossen: Der Satz ist verstanden – oder er ist es nicht.

Für die natürliche sprachliche Kommunikation, sofern sie dialogisch ist, muss nicht, wie typischerweise für eine computergestützte Analyse, gefordert werden, dass Sätze, die prinzipiell zu der gelernten Grammatik eines Sprechers stimmen, tatsächlich unter allen Umständen erfolgreich analysiert werden können. Wenn Probleme auftreten, können die Klärungsmöglichkeiten im Dialog genutzt werden. Dabei kann durch Schaffung eines geeigneten Kontexts auch die Komplexität des ursprünglichen Analyseproblems reduziert werden.

Das Ziel eines natürlichen syntaktischen Verstehensprozesses ist nicht der Aufbau einer syntaktischen Struktur, die z. B. in irgendeiner Baumrepräsentation oder einer beliebig komplexen anderen symbolischen Darstellung bestehen würde. Es ist auch keine universelle Verarbeitungsroutine möglich, die sprachunabhängig gültig und separat repräsentiert wäre. Beides würde Informationstransporte voraussetzen.

Wenn man die genannten Beispiele überblickt, kann man insgesamt beim Vergleich des künstlichen mit dem natürlichen Prozess wenig Analogien finden. Das bedeutet nicht, dass man sich bei der Konstruktion von Parsing-Algorithmen mehr an der Biologie orientieren sollte, man sollte sich nur klar darüber sein, dass man es mit unterschiedlichen Architekturen und deshalb unterschiedlichen Anforderungen zu tun hat.