

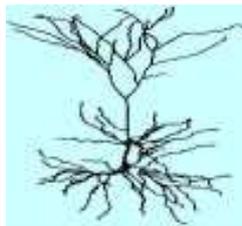
---

Günter Kochendörfer

# ***Kortikale Linguistik***

---

Teil 7: Denken und Formulieren



<http://www.cortical-linguistics.de>  
15. 1. 2011



# 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 7

### Denken und Formulieren

*Denken und Formulieren sind produktive Prozesse, deren kortikale Repräsentation und Funktion von besonderer Komplexität sind. Produktionsvorgänge werden auch schon in anderen Teilen des Gesamtprojekts „Kortikale Linguistik“ behandelt, es gibt aber doch Eigenschaften bei Denkvorgängen und beim sprachlichen Formulieren, die eine zusätzliche ausführliche Behandlung verdienen. Es ist auch nicht so, dass Psychologie und Linguistik fertige und brauchbare theoretische Abklärungen anbieten würden.*

*Einige der zu klärenden Phänomene sind in den beiden hier in einen Zusammenhang gebrachten Gebieten vergleichbar. Letztlich ergeben sich aber doch Unterschiede, die dadurch begründet sind, dass es sich beim Denken nicht um einen Vorgang handelt, der im wesentlichen sprachliche Mechanismen benutzt, und umgekehrt sind Formulierungsprozesse zwar auch an Denkprozesse gebunden, haben aber doch abweichende Voraussetzungen, die sich aus der Besonderheit der linguistischen Kompetenz ergeben.*

# Inhalt

## 7.1 Denken: Gegenstände

7.1.1 Abgrenzungsprobleme

7.1.2 Der Mythos von der Sprache des Denkens

7.1.3 Lernprobleme bei der Annahme einer Sprache des Denkens

7.1.4 Angeborene Konzepte

7.1.5 Denken als Problemlösen – problemlösendes Denken

7.1.6 Was als Gegenstand für eine Behandlung von Denkvorgängen  
im Gehirn bleibt

## 7.2 Neuronale Denkprozesse

7.2.1 Produktion von Vorstellungen

7.2.2 Bewertungsfunktion

7.2.3 Gedankenexperimente

7.2.4 Platons Menon-Dialog: ein Beispiel

7.2.5 Die Problematik systematischer Suchprozeduren  
zur Problemlösung

## 7.3 Formulieren: Gegenstände

7.3.1 Textproduktion

7.3.2 Monitoring

7.3.3 Formulierungsprozesse beim inneren Sprechen

7.3.4 Formulieren im Mittel der Schriftlichkeit

7.3.5 Reparaturen

7.3.6 Probleme mit dem Zeitverlauf

#### 7.4 Formulieren: Neuronale Prozesse

7.4.1 Syntaktische Probleme des Sprachverstehens

7.4.2 Verlaufskontrolle bei der Produktion und  
Reparatur von Versprechern: Grundlagen

7.4.3 Verlaufskontrolle bei der Produktion und  
Reparatur von Versprechern: Simulation

7.4.4 Formulierungsvorgänge

## 7.1 Denken: Gegenstände

### 7.1.1 Abgrenzungsprobleme

Wenn man Versuchspersonen darüber befragt, was sie unter Denken verstehen, bekommt man zwei Typen von Antworten: Teilweise wird Denken mit innerem Sprechen gleichgesetzt, teilweise mit einer Manipulation von (oft bildhaften) Vorstellungen.

Verschiedene Möglichkeiten der Definition von „Denken“ werden in der Einleitung zu Bösel (2001) diskutiert. Er selbst wählt eine weite Definition: „alle informationsverarbeitenden Prozesse [...], die Erleben begleiten und es vorbereiten“ (S. 10). Im Glossar S. 518 wird „Denken“ etwas spezieller als „Erwerb und Nutzung von Wissen“ erklärt. Bei dieser weiten Definition müssten letztlich fast alle im Projekt „Kortikale Linguistik“ behandelten Gegenstände als Denken eingestuft werden, was sicherlich unerwünscht ist.

Im Folgenden wird demgegenüber eine Einschränkung auf bestimmte Aspekte verwendet. Denken wird zunächst als *produktiver* Prozess verstanden, der nicht oder jedenfalls nicht vollständig durch Sinneswahrnehmungen direkt gesteuert wird. Wenn man sich für die Sprachproduktion auf Levelt (1989) bezieht, ist zusätzlich zu beachten, dass die grammatikalische Umformung der präverbalen Botschaft, so weit sie unproblematisch ist, ausgeklammert bleibt. In demselben Sinne unproblematische motorische Produktionsprozesse allgemein werden nicht als Denken verstanden.

Die folgenden Abschnitte dienen der Überprüfung weiterer Annahmen, die, soweit sie haltbar wären, die Komplexität des Gegenstands wesentlich erhöhen würden, die es also lohnt, möglichst im Vorfeld schon zu überprüfen. Dazu gehören die Existenz einer Sprache des Denkens, das Universalien-Problem und die psychologischen Theorien zum Denken als Problemlösen.

### 7.1.2 Der Mythos von der Sprache des Denkens

Mit zu den wesentlichsten Abgrenzungsproblemen für den Begriff des Denkens gehört die letztlich entscheidende Frage, ob man mit einer „Sprache des Denkens“ rechnen muss, also mit einer Sprache, in der Denkvorgänge realisiert und deren Ergebnisse gespeichert werden, die aber abweicht von der Repräsentationsform anderer kognitiver Leistungen.

Der heute (immer noch) hauptsächlichste Vertreter der These von der Existenz einer Sprache des Denkens ist J. A. Fodor. Eine ausführliche Begründung findet sich zuerst in Fodor (1976). Die Behauptungen Fodors haben eine umfangreiche Auseinandersetzung ausgelöst, auf die hier nicht genauer eingegangen werden soll. Was hier interessiert, ist, was sich unter der Voraussetzung der im Projekt „Kortikale Linguistik“ erarbeiteten Grundlagen neuronaler Repräsentationen und Funktionen für dieses Problem ergibt. (Fodor ist nicht der erste, der verwandte Positionen vertritt, man kann mindestens bis Platons Menon-Dialog zurückgehen, der in Abschnitt 7.2 noch ausführlicher behandelt wird.)

Es ist nicht uninteressant für das Verständnis des Gedankengangs von Fodor, sich mit den originalen Formulierungen zu beschäftigen, die die wesentlichen Stationen seiner Argumentation charakterisieren. Eine Auswahl ist hier zusammengestellt (die Seitenangaben beziehen sich auf Fodor, 1976):

- (1) „The only psychological models of cognitive processes that seem even remotely plausible represent such processes as computational. [...] Computation presupposes a medium of computation: a representational system.“ (S. 27)
- (2) „But representation presupposes a medium of representation, and there is no symbolization without symbols. In particular, there is no internal representation without an internal language.“ (S. 55)
- (3) „The obvious (and I should have thought, sufficient) refutation of the claim that natural languages are the medium of thought is that there are nonverbal organisms that think.“ (S. 56)
- (4) „My view is that you can't learn a language unless you already *know* one. [...] the language of thought is known (e. g., is the medium for the computations underlying cognitive processes) but not learned. That is, it is innate.“ (S. 65)
- (5) „It follows immediately that not all the languages one knows are languages one has learned, and that at least one of the languages which

one knows without learning is as powerful as any language that one can ever learn.“ (S. 82)

- (6) „If, in short, the sentence comprehension system functions, eventually, to map transducer outputs onto formulae in the internal code, so, too, does the visual system.“ (S. 118)
- (7) „The upshot of these remarks is a suggestion that I regard as entirely speculative but very interesting to speculate about: viz., that the language of thought may be very like a natural language. It may be that the resources of the inner code are rather directly represented in the resources of the codes we use for communication. The least that can be said in favor of this hypothesis is that, if it is true, it goes some way toward explaining why natural languages are so easy to learn and why sentences are so easy to understand: The languages we are able to learn are not so very different from the language we innately know, and the sentences we are able to understand are not so very different from the formulae which internally represent them.“ (S. 156)

Die Punkte (1) und (2) beziehen sich auf den Symbolbegriff, der ein Problem darstellt (man vgl. dazu die Diskussion in den Abschnitten 2.2.2 und 2.2.5 von Teil 2, „Grundlagen“). Wenn man den Begriff „Sprache“ für den Fall des Denkens entsprechend weit fasst, kann die Argumentation hier aber vorläufig akzeptiert werden.

Punkt (3) ist insofern interessant, als Denkvorgänge in Form des inneren Sprechens (Wygotsky, Piaget, Levelt und andere), wie schon im vorigen Abschnitt bemerkt, der subjektiven Wahrnehmung entsprechen. Es ist aber auch unstrittig, dass es Denken ohne inneres Sprechen (Sprechen in einer natürlichen Sprache) gibt.

Die Punkte (4) und (5) benennen das Zentrum der These: Die Sprache des Denkens muss angeboren und entsprechend leistungsfähig sein.

Punkt (6) ordnet die Sprache des Denkens in den Verlauf des Wahrnehmungsvorgangs ein. Die primäre Inputverarbeitung geht der Repräsentation in der Sprache des Denkens voraus. Diese Repräsentation ist modalitätenunabhängig.

Punkt (7) mindert die Kluft zwischen natürlicher Sprache und der Sprache des Denkens. Da die Details offen bleiben, sind verschiedene Interpretationen möglich.

In gewisser Weise liefern die Ausführungen in Fodor (1983) zum Thema „Modularität“ Präzisierungen auch zum Thema „Sprache des Denkens“.

Wenn man einige der in unserem Zusammenhang interessanten strukturbezogenen Positionen grafisch darzustellen versucht, ergibt sich so etwas wie das Schema der Abbildung 7.1.3-1:

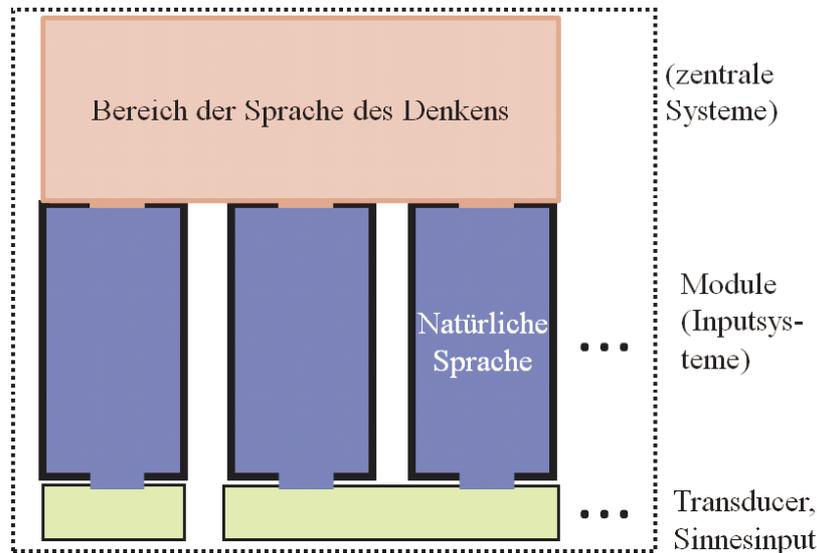


Abbildung 7.1.3-1: Schema zur Sprache des Denkens nach Fodor (1983). Es ist zusätzlich zu beachten, dass es nach Fodor (1976) einen Einfluss der Sprache des Denkens auf den Spracherwerb geben soll. Weitere Erläuterungen im Text.

Die Inputmodule werden als domänenspezifisch und nur beschränkt zugänglich charakterisiert. Sie sind in der Abbildung durch Rechtecke dargestellt, die bis auf Schnittstellen einerseits zu den Transducern, andererseits zu den zentralen Systemen abgeschlossen sind. Die Transducer leisten die Umwandlung äußerer physikalischer Einflüsse in die elektrochemische Repräsentation des Nervensystems. Die Schnittstellen zu den zentralen Systemen müssen eine Kodierung haben, die die entsprechende Kommunikation mit diesen Systemen gewährleistet.

Was die Position und Rolle der Sprache des Denkens betrifft, ergibt sich gegenüber der Darstellung in Fodor (1976) keine wesentliche Veränderung. Wichtig ist, dass die Sprache des Denkens gegenüber der Sinnesperipherie „innen“ ist, sie wird in Verarbeitungsvorgängen erst erreicht, nachdem die mehr peripheren Verarbeitungsschritte abgeschlossen sind. Dies ist eine

Grundannahme, die auch noch in Fodor (2008) beibehalten wird. Die Präzisionen dort betreffen die Eigenschaften von Ausdrücken in der Sprache des Denkens, z. B. die Gliederung in Konstituenten oder die Auffassung „that the semantics of Mentalese (and hence the content of concepts) is purely referential“.

### 7.1.3 Lernprobleme bei der Annahme einer Sprache des Denkens

Konzepte der Sprache des Denkens sind atomar und universell und werden nicht gelernt. Fodor gesteht zu, dass es einen Lernprozess gibt, der aufgrund von Sinneswahrnehmungen zur Bildung von Stereotypen führt, der Zusammenhang mit Konzepten muss aber durch einen zweiten Schritt geleistet werden, der als „locking“ bezeichnet wird. Formelhaft ausgedrückt und interpretiert (Fodor, 2008: 151):

„Initial state  $\rightarrow$  (P1)  $\rightarrow$  stereotype formation  $\rightarrow$  (P2)  $\rightarrow$  locking (= concept attainment).“

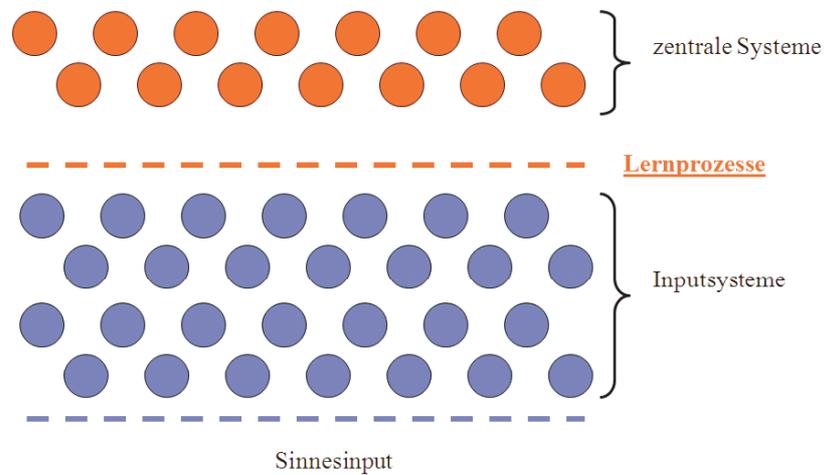
The thought might well be that P1 is a process of statistical inference and P2 is some reliable but not intentional (and hence, a fortiori, not inferential) neurological process.“

Es werden also zwei Schritte bei der Verankerung der Relation zwischen dem Konzeptbereich und der Sinnesperipherie angenommen. Die Frage, wie der Prozess P2 aussehen soll, bleibt dabei offen:

„The pressing research problem is now to understand, in some depth, the relation between concepts and their stereotypes. That, I suppose, is the minimum that’s needed if we’re eventually to understand why it is that learning the stereotype for C triggers the acquisition of C and not of some other concept (equivalently, why it triggers locking to the property that C expresses and not some other property). As of this writing (so it seems to me) practically nothing is known about the relation between stereotypes and the corresponding concepts except that they are different things.“ (Fodor, 2008: 168)

Wenn man sich, stark vereinfacht, eine Umsetzung auf neuronaler Ebene vorstellt, und vor allem auf die „innere“ Position der Sprache des Denkens abhebt, ergibt sich das Schema der Abbildung 7.1.3–1. Die Neuronen, die

die Sprache des Denkens repräsentieren, tragen (referenzielle) Bedeutungen, die nicht durch Lernprozesse zugeordnet werden, sondern angeboren sind. Wie man sich die Zuordnung von (referenzieller) Bedeutung genauer vorzustellen hat, mag offen bleiben, es muss aber mindestens angenommen werden, dass diese Neuronen bereits in ein System von Verbindungen einbezogen sind. Die zum Inputbereich gehörenden Neuronen bilden ebenfalls ein entsprechendes System. Mindestens die äußerste Peripherie muss dabei ebenfalls als angeboren gelten.



*Abbildung 7.1.3-1: Prinzipdarstellung zur Position neuronaler Strukturen der Sprache des Denkens. Rote Kreise: Neuronen mit angeborener Bedeutung und Funktion, blaue Kreise: Bereich von Strukturen, die prinzipiell Lernprozessen unterliegen.*

Die Wahrnehmung, die schließlich zu Denkprozessen führt, setzt voraus, dass neuronale Verbindungen durch Lernprozesse aufgebaut werden, die das periphere System mit dem inneren System verbinden. Unter der Annahme lokalistischer Repräsentation gilt für eine einzelne Verbindung das Schema der Abbildung 7.1.3-2:

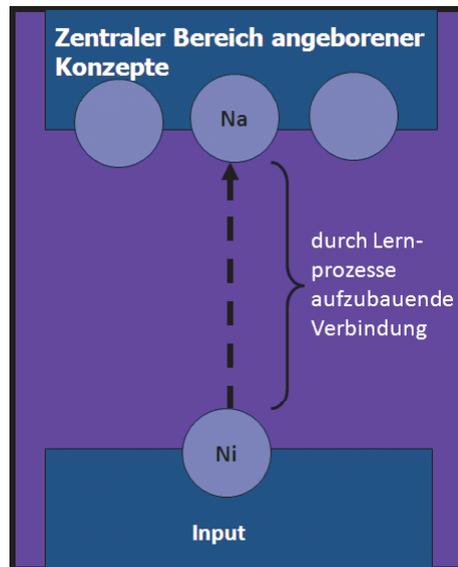


Abbildung 7.1.3–2: Prinzipdarstellung eines erforderlichen Lernprozesses, ergänzend zu Abbildung 7.1.3–1.

Man muss sich, wenn es um die Konsequenzen dieser Vorstellung geht, darum kümmern, unter welchen Bedingungen in einer neuronalen Struktur einzelne Verbindungen (Synapsen) verstärkt werden können (unter der Voraussetzung vorhandener Axone bzw. Axonkollateralen und schwacher Synapsen und unter der Voraussetzung, dass man nicht mit einem raschen Verbindungswachstum in ausreichendem Umfang rechnen kann).

Es gilt nach der Argumentation in Teil 2, „Grundlagen“:

a) Eine Synapse wird durch Aktivierung verstärkt, unter der Voraussetzung, dass die Zelle, auf der die Synapse liegt, noch keine Bedeutung hat (Begründung in Teil 2, Abschnitt 2.3.2). Die Aktivierung geschieht in der Form eines Aktionspotenzials, das immer in alle Axonkollateralen hineinläuft und alle dadurch erreichten Synapsen betrifft. Die Auswahl der Zielzellen ist chaotisch und entspricht der biologischen Ausstattung, sofern nicht die Vorgeschichte über eine Gedächtnisfunktion eine Auswahl begünstigt.

b) Eine Synapse auf einer bereits mit einer Funktion versehenen Zelle kann (bei bestimmten Zelltypen) verstärkt werden, wenn diese Zelle zuvor aktiviert worden ist (Begründung in Teil 2, Abschnitt 2.4.7).

Nur der Fall (b) entspricht den Anforderungen bei der Annahme einer Sprache des Denkens. (Ein analoges Beispiel im Bereich des Spracherwerbs ist die Zuordnung von lexikalischen Ausdrucksseiten zu bereits etablierten Inhalten.) Es wäre sinnlos, eine zufällige Auswahl wie in (a) anzunehmen. Die aufzubauenden Verbindungen müssen spezifisch sein und brauchbare Zuordnungen liefern. Das setzt allerdings voraus, dass die Zielzellen der Verbindungen entsprechend den Wahrnehmungsinhalten vor oder gleichzeitig mit diesen aktiviert werden können. Das ist natürlich nicht möglich. Was allenfalls angenommen werden könnte, ist ein Trial-and-error-Verfahren. Also: Eine Zielzelle wird zufällig bestimmt, die entstehende Verbindung erweist sich ggf. als ungeeignet, was durch irgendein Verfahren festzustellen wäre, und wird wieder zurückgenommen. Das Verfahren muss so lange fortgesetzt werden, bis eine brauchbare Verbindung entstanden ist. Niemand wird dieses Verfahren für realistisch halten. Dagegen spricht schon die große Zahl von Alternativen, die geprüft werden müssen, die Schwierigkeit der Feststellung des Error-Falls und die problematischen Mechanismen, die eine Korrektur leisten müssten.

Man muss also schlussfolgern: Eine Sprache des Denkens in der Art, wie sie den Vorstellungen Fodors entspricht, ist (unter der Voraussetzung der Grundlagen, die in Teil 2 entwickelt worden sind) neuronal unmöglich, da die erforderlichen neuronalen Verbindungen nicht in der Weise hergestellt werden können, dass der Vorgang alltäglichen Beobachtungen entspricht.

Wenn man die Existenz einer Sprache des Denkens ablehnen möchte, sollte allerdings auch noch gezeigt werden, dass sie tatsächlich überflüssig ist. Wenn man sich um ihre Leistung kümmert, ist es vor allem die Unabhängigkeit von spezifischen Modalitäten, die (jedenfalls in der Version von Fodor, 1976, siehe oben Abschnitt 7.1.2, Punkt 6) auffällt. Man vgl. auch das Schema zur Modularitätsthese oben in Abbildung 7.1.2–1. Bei näherer Analyse wird das höchst fragwürdig. Ein Dreieck ist ein visuelles Konzept. Wenn man sich ein Dreieck vorstellt, gibt es keine akustischen, taktilen oder olfaktorischen Komponenten. Ein Klavier ist visuell und akustisch, aber jedenfalls nicht olfaktorisch bestimmt. Mit welchen Konzepten man das Experiment auch anstellt, es sind typischerweise bestimmte Modalitäten einbezogen und andere ausgeklammert. Die Annahme von Repräsentationen, die nicht an Sinnesmodalitäten gebunden sind, ist offenbar nicht zu rechtfertigen.

#### 7.1.4 Angeborene Konzepte

Mit der Annahme einer Sprache des Denkens ist auch die Vorstellung verknüpft, dass es einen Bestand an angeborenen Konzepten gibt, die eine Vor-

aussetzung für den Umgang mit Wahrnehmungen und anderen Denkprozessen sind. Man muss dabei nicht auf das Argument zurückgreifen, dass man eine Sprache nicht lernen (repräsentieren) kann, ohne bereits eine Sprache zu besitzen.

Konzepte können als inhaltliche Repräsentationen verstanden werden, die Verarbeitungsprozessen zugrunde liegen. Dann sind auch Repräsentationen auf der Basis jeweils einer einzelnen oder mehrerer gleichwertiger Neuronen als materielle Grundlage von Konzepten zu akzeptieren. Wenn man den Begriff des Konzepts in dieser weiten Bedeutung verwendet, ist die Existenz angeborener Konzepte eine Selbstverständlichkeit. Es gibt sie überall an der Sinnesperipherie. Eine Zelle im Innenohr, um nur ein Beispiel zu geben, ist spezifisch für einen bestimmten Frequenzbereich, trägt also (in lokalistischer Kodierung) die entsprechende Bedeutung. Lernprozesse sind keine Voraussetzung für die Existenz dieser Repräsentationsform. Weite Bereiche des Kortex sind zwar inhaltlich nicht in dieser Weise festgelegt, das gilt aber nicht für primäre Areale, die angeborene Funktionen haben und über mehr oder weniger direkte angeborene Verbindungen mit Sinnesorganen verknüpft sind.

Innere Konzepte werden über Lernprozesse durch Kombination angeborener Konzepte gebildet. Das bedeutet, dass eine beschränkte Universalität von Konzepten auch bei Ablehnung der Konsequenzen aus der Annahme einer Sprache des Denkens erhalten bleibt, indem sie zu einem Bereich gehören, der durch die angeborenen Konzepte bestimmt wird.

Anstelle der Struktur in Abbildung 7.1.3–1 muss mit der in Abbildung 7.1.4–1 gerechnet werden: Das bedeutet: Der Bereich angeborener Konzepte liegt nicht „innen“, sondern „außen“. Angeborene Konzepte haben eine nicht zu vermeidende Filterfunktion. Es ist nicht damit zu rechnen, dass der angeborene Bereich nur eine äußerste Schicht von Neuronen bildet, die sozusagen unverbunden nebeneinander stehen. Je nach Modalität sind sicherlich verschieden tiefe komplexe Strukturen anzunehmen. Gut untersuchte Anhaltspunkte dafür gibt es für den Bereich der visuellen Wahrnehmung.

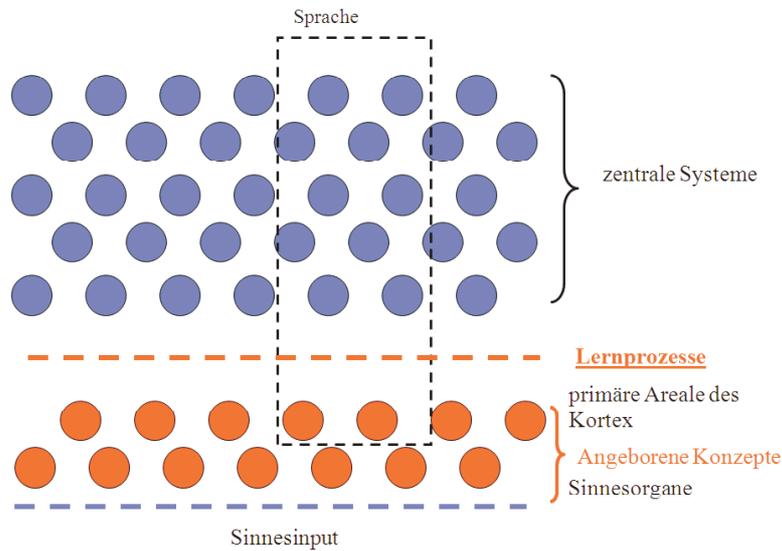


Abbildung 7.1.4–1: Schema zur Diskussion von angeborenem und lernbarem Bereich unter biologisch realistischen Bedingungen. Wie oben in Abbildung 7.1.3–1 stehen rote Kreise für angeborene Konzepte, blaue Kreise für den Bereich von Konzepten, die durch Lernvorgänge aufzubauen sind.

### 7.1.5 Denken als Problemlösen – problemlösendes Denken

Denken wird von einigen psychologischen Autoren weitgehend mit Problemlösen gleichgesetzt. Eine klassische Übersicht über Theorien des Problemlösens ist Mayer (1979), die englischsprachige Originalausgabe ist 1977 erschienen

Denken wird bei Mayer (1979:6), noch in Auseinandersetzung mit behavioristischer Psychologie, so definiert:

„Denken ist *kognitiv*, aber aus Verhalten kann auf Denken gefolgert werden. Denken findet innerlich, im kognitiven System statt, man kann nur indirekt darauf schließen.

Denken ist ein *Prozeß*, der eine gewisse Aktivierung von Wissen bzw. ein Repertoire von Operationen mit dem im kognitiven System verfügbaren Wissen einschließt.

Denken ist *zielgerichtet* und führt zu Verhalten, welches ein Problem „löst“ oder auf eine Lösung ausgerichtet ist.“

Die verschiedenen Denkformen, die aufgrund dieser Definition behandelt werden, sind (wiedergegeben nach Zitaten aus den Überschriften des Inhaltsverzeichnisses S. IX bis XI und mit Bemerkungen versehen):

(1) „Denken als Lernen durch Verstärkung“.

Problemlösen geschieht durch Anwendung bestehender „Reaktionstendenzen“ auf einen Reiz. Es gibt viele mögliche Reaktionen in einer bestimmten Situation, die nach einem Versuchs-Irrtums-Verfahren nacheinander überprüft werden. Die Problemlösung ist gefunden, wenn eine passende Stimulus-Respons-Verbindung gefunden ist. Bei Wiederholungen kann dann die erfolgreiche Kombination sofort oder jedenfalls früher eingesetzt werden (Lerneffekt). Als Beispiele dienen Tierversuche.

(2) „Denken als Testen von Hypothesen“.

Es werden hauptsächlich Formen des Konzeptlernens behandelt, bei denen es darum geht, gemeinsame Merkmale unterschiedlicher Objekte zu erkennen. Das kann durch Bildung von ggf. zu verwerfenden Hypothesen geschehen. Verwandt ist das Regellernen bei Reihenfortsetzungsaufgaben.

(3) „Denken als Problemumstrukturieren“.

Hier werden Problemlösungen nach den Vorstellungen der Gestaltpsychologie behandelt. Diese Problemlösungen geschehen nicht durch Ausprobieren möglicher Lösungen, sondern beruhen auf einer (plötzlichen) Einsicht in eine strukturelle Veränderung, aus der sich die Problemlösung ergibt. Ein klassisches Beispiel ist die Bildung von vier gleichschenkligen Dreiecken aus 6 Streichhölzern. Die Lösung setzt voraus, dass man nicht flächenhaft sondern räumlich denkt und eine Pyramide bildet.

(4) „Denken als Assimilation an Schemata“.

Eines der Beispiele liefert die Turm-von-Hanoi-Aufgabe: Bei einer Anordnung von drei Stäben sind auf dem ersten Stab

Lochscheiben so gestapelt, dass immer eine kleinere auf einer größeren Scheibe liegt. Dieselbe Anordnung soll mit Hilfe des zweiten Stabs durch Umlegen der Scheiben auf dem dritten Stab erzielt werden, ohne dass dabei größere auf kleinere Scheiben gelegt werden. Ein Lösungsschema kann mit weniger Scheiben entwickelt und dann analog angewandt werden auf Aufgaben mit mehr Scheiben.

- (5) „Denken als Such- und Abrufprozeß“.

Wie werden Gedächtnisinhalte zur Beantwortung von Fragen abgerufen? Es wird hauptsächlich psycholinguistisch argumentiert.

- (6) „Denken als Informationsverarbeitung“.

Das zentrale Beispiel ist der „General Problem Solver (GPS)“ von Ernst & Newell (1969) als klassische Computersimulation des Problemlösens. Wichtig dabei ist die Analyse eines Problems in einen Anfangszustand und einen Zielzustand und das Konzept eines Problemraums. Der Problemraum besteht aus allen möglichen Problemzuständen, die durch Anwendung zulässiger Operatoren entstehen und zum Erreichen von Teilzielen und letztlich des Zielzustands führen. Problemlösen kann dann als Suche des richtigen Pfads durch den Problemraum verstanden werden.

GPS wird, obwohl es sich um ein Computersystem handelt, aufgefasst als Mittel, zu präziseren Theorien über menschliches Denken zu kommen. Es wird zugegeben, dass Schwierigkeiten durch die Hardwaredifferenzen zwischen Computer und Gehirn entstehen.

- (7) „Denken als kognitive Verarbeitung von Aussagen“.

Als Aussagen gelten logiksprachliche Repräsentationen. Es wird vor allem über Fehler beim Schlussfolgern berichtet, die in psychologischen Experimenten untersucht worden sind.

- (8) „Denken unter dem Aspekt kognitiver Entwicklung“.

Hier geht es vor allem um die Frage, welche Aufgaben Kinder eines bestimmten Alters (das heißt einer bestimmten Entwicklungsstufe) korrekt lösen können, welche nicht.

Einige der behandelten Denkvorgänge sind als Wahrnehmungsvorgänge oder als normale Vorgänge der Sprachverarbeitung, insbesondere im semantischen Bereich, zu verstehen. Das gilt für das Konzeptlernen oder für den Zugriff auf Gedächtnisinhalte zur Beantwortung von Fragen (Punkte 2 und 5). Wenn man diese Vorgänge unter Denken einordnen möchte, dann ist das nur bei einer sehr allgemeinen Definition sinnvoll, wie z. B. der von Bösel, siehe oben Abschnitt 7.1.1. Die unter Punkt 8 behandelte kognitive Entwicklung trägt nur am Rande zu einer allgemeinen Theorie des problemlösenden Denkens bei. Einige der besprochenen Problemlösungstypen setzen symbolverarbeitende Prozesse voraus (Punkte 1 und 6). Beim Umgang mit logiksprachlichen Formeln interferieren natürlichsprachliche Konzepte, was zu Fehlern führt. Letztlich geht es dabei nicht um eine allgemeine Theorie des Problemlösens (Punkt 7). Dem zeitparallelen Verarbeitungsprinzip des Kortex entspricht, trotz der Unschärfe der erklärenden Konzepte, am ehesten die gestalttheoretische Auffassung (Punkt 3) und das verwandte Problemlösen durch Analogie (Punkt 4).

Mit Ausnahme des stärkeren Einflusses der Künstlichen-Intelligenz-Forschung sind Veränderungen der grundlegenden Unterscheidungen auch nach einem Vierteljahrhundert psychologischer Entwicklung nicht gravierend. Als Beispiel möge die Übersicht über problemlösendes Denken bei Funke (2003) dienen. Problemlösendes Denken wird bei Funke (2003: 25) so definiert:

„Problemlösendes Denken erfolgt, um Lücken in einem Handlungsplan zu füllen, der nicht routinemäßig eingesetzt werden kann. Dazu wird eine gedankliche Repräsentation erstellt, die den Weg vom Ausgangs- zum Zielzustand überbrückt.“

Wichtig und von der Definition von Mayer verschieden ist der Hinweis auf die *nicht routinemäßig verfügbare* Überwindung einer Barriere.

Funke unterscheidet bei den Theorien des problemlösenden Denkens Assoziationismus/Lerntheorie (entspricht oben Item 1), Gestalttheorie (entspricht oben Item 3) und Denken als Informationsverarbeitung (entspricht oben Item 6). Zusätzlich werden behandelt, nach der Zusammenfassung bei Funke (2003: 105) zitiert:

„*Psychoanalyse*: Problemlösendes Denken bedeutet Bewusstmachung unbewusster Inhalte, Denken wird als Probehandeln betrachtet.“

„*Handlungstheorie*: Problemlösendes Denken ist Teil einer umfassenderen Handlungsregulation, die darauf bedacht ist, bestimmte Intentionen einer Person möglichst erfolgreich zu rea-

lisieren. Probleme stellen Hindernisse in phasenhaft modelliertem Handlungsablauf dar, die durch Denken überwunden werden können.“

„*Evolutionpsychologie*: Problemlösendes Denken erfolgt unter Einsatz von Heuristiken, die sich in der Evolution bewährt haben und in vielen Fällen (aber eben nicht immer) zum Erfolg führen.“

Diese zusätzlich beigebrachten Ansätze (vielleicht mit Ausnahme der Handlungstheorie) beziehen sich auf Eigenschaften besonderer Fälle, während Assoziationismus, Gestalttheorie und Informationsverarbeitung einen umfassenderen Anspruch haben.

Die die Problemlösungsbarriere überbrückende gedankliche Repräsentation kann mehrere Schritte mit Lösungen zu Unterzielen enthalten. In den assoziationalistischen und gestalttheoretischen Versionen wird sie nicht genauer zerlegt, in informationstheoretischen Modellen geht es in erster Linie um eine genauere Analyse des Überbrückungsvorgangs. Es ist auffällig, dass dabei im wesentlichen symbolverarbeitende Vorstellungen eine Rolle spielen, die keine neuronale Basis haben können. Dasselbe gilt für den Versuch, (standard-)konnektionistische Strukturen zu verwenden. Diese Möglichkeiten werden durch prinzipielle Überlegungen in Teil 2, „Grundlagen“, ausgeschlossen. (Man beachte dabei, dass konnektionistische Modelle nicht einfach als Verfeinerungen symbolverarbeitender Modelle und auch nicht als „neural“ im biologischen Sinn gelten können.)

Der Typ von Problemlösung, wie er auch schon bei Mayer Gegenstand ist, betrifft „einfache“ Probleme. Die bei Funke (2003) ausführlich behandelten moderneren „komplexen Probleme“ können mit ihren Bedingungen und Voraussetzungen in Verhaltensexperimenten untersucht werden, die an Computerspiele erinnern. Typischerweise bestehen die zu lösenden Probleme in Szenarien, die aus Netzen von Variablen aufgebaut sind. Versuchspersonen können eine Auswahl von Variablen verändern und damit die Entwicklung des Szenarios in der Zeit beeinflussen. Was psychologisch interessiert, ist das Verhalten der Versuchspersonen unter verschiedenen Bedingungen und die daraus resultierende Qualität der Entwicklung des Szenarios. Man beachte, dass nicht, wie in den Simulationen zur Theorie des „Problemlösens als Informationsverarbeitung“, der Computer „denkt“, sondern dass das zu lösende Problem durch die Informationsverarbeitung bereitgestellt wird und nur das Verhalten der Versuchspersonen zur Entwicklung einer Theorie des Denkens ausgewertet werden kann.

Problemlösen erscheint, jedenfalls in den „einfachen“ Fällen und vor allem bei den gestalttheoretischen Ansätzen, als kreativer Prozess. Ein frühes

Phasen-Modell zu kreativen Prozessen stammt von Wallas (1926). Es ist in leicht unterschiedlichen Varianten in der Psychologie diskutiert worden. Wiedergegeben ist hier die Version von Funke (2003: 48):

- Phase 1: Vorbereitung, intensive Beschäftigung mit dem Problemgebiet.
- Phase 2: Inkubation. Unbewusste problembezogene Prozesse während einer Phase der Nichtbeschäftigung mit dem zu lösenden Problem.
- Phase 3: Einsicht. Die (potenziell) problemlösende Idee wird bewusst.
- Phase 4: Bewertung. Überprüfung der Tauglichkeit der Idee.
- Phase 5: Ausarbeitung.

Einen interessanten Bericht über einen solchen kreativen Prozess im naturwissenschaftlichen Bereich gibt J. D. Watson im Zusammenhang mit der Aufdeckung der Struktur der DNA. Einen entscheidenden Punkt in der Entwicklung beleuchtet das folgende Zitat (Watson, 1981: 114), das schon in Kochendörfer (1989: 189 f.) zur Demonstration der Leistungen von Modellen verwendet worden ist:

„ ...The metal purine and pyrimidine models, needed for systematically checking all the conceivable hydrogen-bonding possibilities, had not been finished on time. At least two more days were needed before they would be in our hands. This was much too long even for me to remain in limbo, so I spent the rest of the afternoon cutting accurate representations of the bases out of stiff cardboard... When I got to our still empty office the following morning, I quickly cleared away the papers from my desk top so that I would have a large, flat surface on which to form pairs of bases held together by hydrogen bonds. Though I initially went back to my like-with-like prejudices, I saw all too well that they led nowhere. When Jerry came in I looked up, saw that it was not Francis, and began shifting the bases in and out of various other pairing possibilities. Suddenly I became aware that an adenine-thymine pair held together by two hydrogen bonds was identical in shape to a guanine-cytosine pair held together by at least two hydrogen bonds. All the hydrogen bonds seemed to form naturally; no fudging was required to make the two types of base pairs identical in shape. Quickly I called Jerry over to ask him whether this time he had any objection to my new base pairs....“

Die Anwendung des Phasen-Schemas von Wallas auf diesen Bericht ergibt die folgende Analyse:

Phase 1: Die intensive Beschäftigung mit dem Problemgebiet liefert modellhafte Vorstellungen über die chemischen Bestandteile der DNA. Für gestalttheoretische Vorstellungen ist charakteristisch, dass man mit gedanklichen Fixierungen (prejudices) rechnet, die den kreativen Vorgang behindern.

Phase 2: Die Anwendung der Vorannahmen wird unterbrochen. Man kann nicht davon ausgehen, dass die von Funke beschriebene verborgene Aktivität des Gehirns tatsächlich stattfindet. Eine andere Interpretation der Funktion dieser Phase besagt, dass sie dazu dient, von den störenden Ideen loszukommen (so auch bei Mayer (1979:65)).

Phase 3: Ein Zufall führt zur Einsicht, dass eine bestimmte Struktur die Lösung des Problems bringen könnte.

Phase 4: Die Bewertung (zusätzlich mit Hilfe eines Kollegen) ist positiv.

Phase 5: Die weitere Auswertung liegt außerhalb des Zitats, hat aber in der Realität stattgefunden.

Der Bericht von Watson kann also als Bestätigung gestalttheoretischer Prozesse angesehen werden. Es gibt viele Beispiele, die in ähnlicher Weise interpretiert werden können, auch dann, wenn sie nicht in der Abteilung „Gestalttheorie“ behandelt werden. Wenn man die in Meyer (1979) behandelten Problemlösungen, mit Ausnahme der oben schon ausgeklammerten Fälle der Kapitel 2, 5, 7 und 8 und einschließlich des Kapitels über Informationsverarbeitung (!) genauer ansieht, fällt auf, dass sie mit dem Kreativitätsmodell von Wallas in vielen, manchmal auch wechselnden Punkten übereinstimmen. Das gilt für die Beispiele in der folgenden Liste:

- Zwei kompliziert verknüpfte Drahtgebilde trennen (nach Ruger, 1910), Mayer S. 28;
- Dreidimensionale Streichholzaufgabe, Mayer S. 66;
- Parallelogrammaufgabe von Wertheimer (1945), Mayer S. 69;
- Entdecken von Gesetzmäßigkeiten, Mayer S. 70 ff.;
- Pyramiden-Aufgabe (nach Polya, 1965) Mayer S. 79;
- Bestrahlungsaufgabe (nach Duncker, 1935) Mayer S. 80 f.;
- Abfüllaufgabe (nach Luchins, 1942, für die Wirksamkeit von Vorerfahrungen) Mayer S. 88 f.;
- Schachtelaufgabe (nach Duncker) Mayer S. 91 f.;
- Zwei-Seile-Aufgabe (nach Birch & Rabinowitz, 1951) Mayer S. 93;
- Aufhängeaufgabe (nach Maier, 1945) Mayer S. 96;
- Hutständeraufgabe (nach Maier, 1945) Mayer S. 96;

Kugelumfüllaufgabe (nach Saugstad & Raaheim, 1960) Mayer S. 97;  
Turm-von-Hanoi-Aufgabe (nach Ewert & Lambert, 1932 bzw. Ernst & Newell, 1969) Mayer S. 113 f. und S. 165;  
Fliegender Vogel zwischen fahrenden Zügen (nach Posner, 1973) Mayer S. 118.

Andere in psychologischen Darstellungen gängige aber nicht bei Mayer aufgeführte Beispiele sind:

das Neun-Punkte-Problem (nach Scheerer, 1963) Funke (2003: 46 f);  
das unvollständige Schachbrett (nach Newell, 1965) Bösel (2001: 499);  
die Streichholzarithmetik (nach Knobloch et al., 1999) Funke (2003: 112 f.).

Alle diese Aufgaben können einfach gelöst werden, wenn man den „Dreh“ gefunden hat. Es gibt aber auch „einfache“ Probleme, für deren Lösung dieses Schema nicht zu gelten scheint, das sind insbesondere Probleme, deren Lösung durch Abarbeiten von Suchräumen bzw. ein so beschreibbares Vorgehen erreicht wird, also im Wesentlichen durch ein fortgesetztes Probieren und Revidieren bis zum Erreichen eines Zielzustands. Ein Beispiel ist das Käferproblem nach Klauer (1993), das in Funke (2003: 79 ff.) behandelt wird. Das Turm-von-Hanoi-Problem, das auch durch Regelentdecken und Analogieverfahren zu lösen ist (vgl. Mayer, 1979: 113 f.), kann, wie die entsprechenden Computersimulationen zeigen, ebenfalls als Suchprozess modelliert werden. Prinzipiell können alle Probleme, für die ein geschlossener Suchraum angegeben werden kann, durch eine Suchstrategie mit Sicherheit erfolgreich bearbeitet werden; auch Schach könnte man prinzipiell durch Durchprobieren aller Zugmöglichkeiten erfolgreich spielen. Der Umfang des Problemraums verbietet das in diesem Fall und der menschliche Schachmeister verwendet andere Strategien.

Interessant ist es in diesem Zusammenhang, noch einmal den Bericht von Watson heranzuziehen. Watson beginnt mit einer Phase des Probierens und Revidierens. Es wäre durchaus möglich gewesen, allein mit dieser Methode zu einem positiven Ergebnis zu gelangen; der Problemraum ist abgeschlossen und in seiner Größe überschaubar. Wenn man diesen Hintergrund beachtet, hat das „Aha-Erlebnis“ nur die Funktion der Abkürzung des Versuchs-Irrtums-Verfahrens. Bei einer solchen Interpretation verschwindet der *prinzipielle* Unterschied zwischen der Gestalttheorie und den Theorien des Problemlösens als Informationsverarbeitung, eine Spur, der im folgenden Kapitel 7.2 noch nachgegangen werden soll.

### 7.1.6 Was als Gegenstand für eine Behandlung von Denkvorgängen im Gehirn bleibt

Es ist zunächst festzustellen, dass es keine Sprache des Denkens gibt. Das bedeutet nicht, dass Denken allgemein in einer natürlichen Sprache geschieht. Linguistische Strukturen (wie z. B. Konstituenten) sind nicht für das Denken typisch. Die Behandlung von Denkvorgängen im Gehirn kann sich auf der Basis beliebiger wahrnehmungsspezifischer Repräsentationen bewegen.

Aus der Unmöglichkeit der Sprache des Denkens folgt nicht die Unmöglichkeit angeborener Konzepte; weder das Denken noch andere lebenswichtige Funktionen sind möglich ohne angeborene Konzepte an der Sinnesperipherie. Konzepte der Sinnesperipherie sind Basis des Weltverständnisses und des daraus resultierenden Wissens und Verhaltens. Angeborene Konzepte können atomar sein, sind es aber nicht immer. Auch Kombinationen angeborener Konzepte können angeboren sein!

Denken beruht, wenn man von angeborenen Wahrnehmungsprimitiven und von Folgen der verfügbaren neuronalen Architektur absieht, nicht auf universellen Konzepten. Was sich allgemein aus der neuronalen Architektur ergibt, ist die Darstellung von Dauer, Abfolge (Folge), Hierarchie (Teil-Ganzes) usw., es sind also eher grundlegende logische Verhältnisse.

Die neuronale Architektur verbietet symbolverarbeitende Vorstellungen. Dazu gehört vor allem auch die Idee des Datentransports, mit der Konsequenz, dass Denken insgesamt nicht an bestimmte Bereiche des Kortex gebunden sein kann. Es muss nach Theorien des Denkens gesucht werden, die massive Parallelverarbeitung voraussetzen.

Leistungssteigernde und leistungshemmende Einflüsse müssen von Eigenschaften des neuronalen Prozesses aus erklärt werden. Es genügt nicht, Beispiele aufzuzählen bzw. bestimmte Einflussfaktoren durch psychologische Tests zu ermitteln.

Wichtige Konsequenzen ergeben sich aus der Auffassung, dass Denken als konstruktiver, kreativer Prozess zu verstehen ist:

- Es muss geklärt werden, wie Vorstellungen (beliebiger Art, nicht nur visuelle) gebildet und verändert werden können.
- Es muss ein Bewertungsmechanismus gefunden werden.

Mit Blick auf die Problemlösetheorien muss zusätzlich beachtet werden, dass konstruktives Denken keine Problemdefinition als präzise Zielvorgabe voraussetzt. Man sollte nicht vergessen, dass es Denken als Nachdenken über

einen inhaltlichen Bereich gibt. Denken als Nachdenken ist nicht identisch mit Tagträumen.

Denken als kreativer konstruktiver Prozess ist also nicht nur einfach eine Produktion, also etwa, wenn man Wahrnehmung als bottom-up orientiert ansieht, ein Top-down-Prozess, sondern ein komplexerer Vorgang, der das Zusammenwirken von top-down und bottom-up orientierten Bestandteilen voraussetzt. Gegenstand des Kapitels 7.2 ist die Klärung von Details dieses komplexen Vorgangs.



## 7.2 Neuronale Denkprozesse

### 7.2.1 Produktion von Vorstellungen

#### *Grundlegende Vorstellungsfunktionen*

Denkprozesse, soweit sie nicht an motorische Effekte gebunden sind, setzen die Produktion von Vorstellungen voraus.

Die prinzipielle Funktion der Vorstellungsproduktion ist schon in Teil 2, „Grundlagen“, Kapitel 2.5 behandelt. Unter der Voraussetzung, dass ein entsprechender Kontext zur Steuerung des Top-down-Prozesses existiert, besteht die Vorstellungsproduktion in der Aktivierung von Zellen, die eine Rückspiegelung in das Wahrnehmungssystem bewirken, so dass eine Art „Ersatzwahrnehmung“ entsteht. Obwohl die Rückspiegelungsverbindungen im Zuge einer „echten“ Wahrnehmung aufgebaut (verstärkt) werden, ist aufgrund der Reduzierung durch Vergessensprozesse (Kurzzeitgedächtnis!) die Ersatzwahrnehmung prinzipiell informationsärmer als eine Wahrnehmung über die Sinnesperipherie.

Eine vereinfachte Beispielstruktur, die das Funktionieren der Vorstellungsproduktion und den vorangehenden Lernprozess demonstriert, zeigt Abbildung 7.2.1–1.

Es wird in diesem Beispiel eine Wahrnehmung vorausgesetzt, die zwei Merkmale, *OI1* und *OI2* aktiviert. Diese Wahrnehmung kann visuell, aber auch akustisch, olfaktorisch usw. sein. Sie löst einen Lernprozess aus, der zur Verankerung von Verbindungen führt. Durch Aktivierung des Produktionstaktsystems kann dann eine Ersatzwahrnehmung ausgelöst werden. Man kann annehmen, dass die Zellen für die Rückspiegelung nahe der entsprechenden primären Sinnesareale situiert sind und die Ersatzwahrnehmung dadurch ihre Qualität erhält.

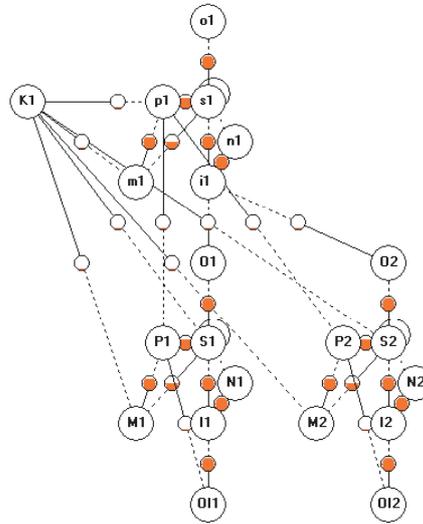


Abbildung 7.2.1–1: Architekturausschnitt (Bildschirmdarstellung) zur Demonstration von Vorstellungsprozessen. Die verwendete Symbolik wird in Teil 2, Abschnitt 2.1.4, erklärt. Weitere Erläuterungen im Text.

Die Simulation besteht in zwei getrennten Vorgängen. Die Simulation der Lernphase, die die erforderlichen Verbindungen entsprechend dem angenommenen Sinnesinput aufbaut, und die Simulation einer drei mal wiederholten Vorstellungsproduktion auf der Grundlage des Lernergebnisses.

Simulation:  
 Lernvorgang.  
 Produktion.  
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.  
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden.

#### *Konstruktion komplexer Vorstellungen*

Wenn ein komplexes Konzept aus vorhandenen Bestandteilen gebildet werden soll, müssen diese Bestandteile in den von den Eigenschaften der instanzbildenden Zellen bestimmten Toleranzen gleichzeitig aktiviert werden. Bei einer Konzeptbildung aufgrund von Sinnesreizen ist das der Fall. Bei einer Konzeptbildung durch Vorstellungen entstehen daraus Schwierigkeiten. Es ist nicht möglich, zwei verschiedene Vorstellungen gleichzeitig, also innerhalb des durch Eigenschaften instanzbildender Zellen festgelegten Zeitfensters, (willentlich!) zu bilden. Es muss andererseits möglich

sein, mehrere gestartete Vorstellungen gleichzeitig länger andauern zu lassen. Die Kombination von (z. B. visuellen) Vorstellungen kann Fragen unterworfen werden, die sich nicht direkt aus den gespeicherten Einzeleigenschaften ergeben. Es muss also nur das Bild stehen bleiben, das betrachtet und mit gesuchten Merkmalen konfrontiert werden kann. Eine geschlossene Fläche, um ein Beispiel zu geben, kann nicht mit zwei Kreisen, aber mit zwei Mondsicheln oder einer Mondsichel und einem Kreis hergestellt werden. Das Merkmal „geschlossene Fläche“ kann nicht aus einer Summe der einzelnen Vorstellungen abgeleitet werden.

Ein einfacher Vorgang, der diesen Anforderungen Rechnung trägt, soll an dieser Stelle etwas genauer betrachtet und in einer Simulation vorgestellt werden. Es wird vorausgesetzt, dass zwei elementare Konzepte gespeichert sind, die zu einem Komplex verknüpft werden sollen. Diese elementaren Konzepte sind in unterschiedlichen Zusammenhängen erworben worden, und müssen deshalb über einen Cueing-Prozess aktiviert werden, wie er in Teil 6, Abschnitt 6.4.4 beschrieben ist (man vgl. zu Adressierungsproblemen allgemein auch Teil 2, Kapitel 2.6). Die Produktion der elementaren Konzepte muss zu Instanzen führen, die dann zu einer Einheit verknüpft werden können. Man beachte, dass die schon vorhandenen, ursprünglich gebildeten Repräsentationen wegen ihrer Kontextabhängigkeit dafür nicht verwendet werden können. In der Simulation wird aus Gründen der Übersichtlichkeit der Adressierungsprozess vereinfacht, indem passende Kontexte (K1a und K2a) für die elementaren Konzepte aktiviert werden. Die Instanzenbildung setzt natürlich voraus, dass passende Zellstrukturen vorhanden sind, also die chaotische Vielfalt neuronaler Verbindungen. In der Simulation werden vereinfachend nur die für die Konzeptbildung erforderlichen Architekturbestandteile zugrunde gelegt. Die vereinfachenden Annahmen liefern die Struktur der Abbildung 7.2.1–2.

Die früher gespeicherten Elemente bilden Instanzen, die zu dem neuen Kontext passen müssen. Die gebildeten Instanzen sind über den gleichen aktuellen Kontext adressierbar und sind beliebig oft durch einen standardmäßigen Produktionsprozess wiederholbar (andauernde Vorstellung).

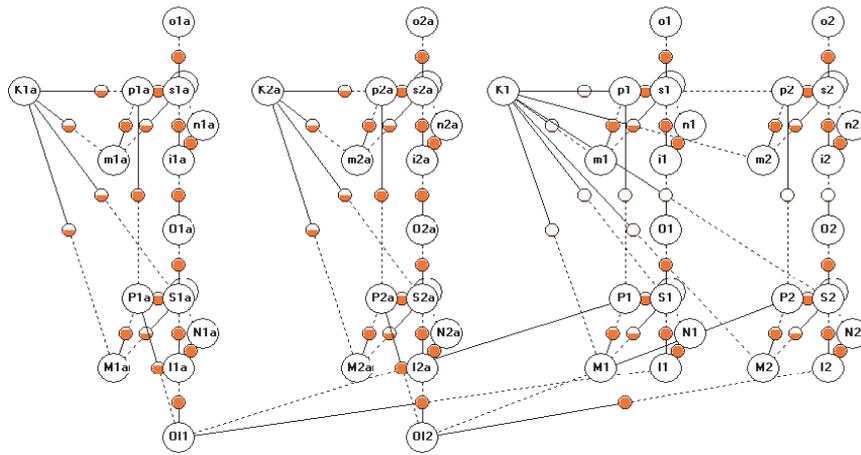


Abbildung 7.2.1–2: Struktur zur Erzeugung von komplexen Vorstellungen. Links zwei über Cueing-Prozesse adressierte ältere bereits gespeicherte Vorstellungen, rechts über einen gemeinsamen (gleichen) Kontext (K1) adressierte potenzielle Instanzen. Man kann an der geringen Füllung der kleinen Kreise erkennen, dass die notwendigen neuronalen Verbindungen in der Struktur der rechten Seite noch nicht verstärkt sind.

Simulation:

Lernvorgang für die Elemente, die später das komplexe Konzept bilden.

Lernvorgang für das komplexe Konzept und drei Produktionen.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

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

Wenn die einzelnen „elementaren“ Konzepte nicht wie hier durch ein einzelnes, sondern durch mehrere Merkmale definiert sind, wird auch der Lernprozess, der zu dem komplexen Konzept führt, Instanzen bilden, die jeweils mehrere Merkmale enthalten. Die mehrfache Aktivierung eines Konzepts in der gebildeten Form kann zu Repräsentationen führen, die der gewöhnlichen, in Abbildung 7.2.2–1 zugrundegelegten Architektur entsprechen.

## 7.2.2 Bewertungsfunktion

Vorstellungen, die durch einen mentalen Produktionsvorgang gebildet werden, benutzen (mit Ausnahme der äußersten Peripherie) Strukturen, die

auch durch eine Sinneswahrnehmung aktiviert werden. Sie können damit Operationen unterworfen werden, die auch für Sinneswahrnehmungen zur Verfügung stehen. Solche Ersatzwahrnehmungen können Probleme aufwerfen, die darin bestehen, dass aktuelle Kontextvoraussetzungen die Verarbeitung blockieren und eine Revision eingeleitet werden muss. Die Blockade führt zum Ausbleiben von erwarteter neuronaler Aktivität innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums. In den bisher diskutierten Prozessen, die Sinneswahrnehmungen behandeln, ist in den Teilen 2, 5 und 6 eine als „Watchdog“ bezeichnete Struktur verwendet worden, deren Kern in einer Zelle besteht, die durch ein Aktionspotenzial als Input in einen andauernden Aktivitätszustand (kreisende Erregung) versetzt wird, also andauernd feuert. Diese andauernde Aktivität kann dann benutzt werden, um bei fehlender Bottom-up-Erregung die entsprechenden Top-down-Impulse für eine Revision abzuleiten. Als eine andauernde „Spontanaktivität“ innerhalb des Watchdogs kann das eigentlich nicht bezeichnet werden, weil eine größere Regelmäßigkeit vorausgesetzt wird, als es einer solchen Charakterisierung entsprechen würde. Der Begriff wird aber im Folgenden als bequemes Kürzel für die damit gemeinte Funktion beibehalten.

Die bisher verwendete (vorläufige) Watchdogstruktur ist in Abbildung 7.2.2–1 skizziert.

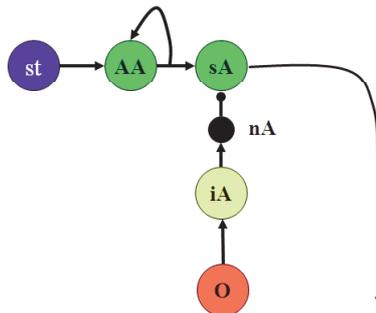


Abbildung 7.2.2–1: Architektur einer Watchdogschaltung, wie bisher verwendet.

Die Grundidee ist, dass das erregende Potenzial der Zelle *sA*, die als Zeitmesser wirkt, durch die Spontanaktivität von Zelle *AA* schrittweise erhöht und nach einer Aktivität der überwachten Struktur durch Hemmung um einen gleichbleibenden Betrag zurückgesetzt wird. Bei Ausbleiben dieser Aktivität wird die Schwelle in *sA* erreicht und die Zelle feuert und kann damit Folgeaktionen auslösen. Die folgende Simulation zeigt das Verhalten dieser Struktur.

Simulation:  
 Watchdogfunktion A.  
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die entstehenden Potenzialverläufe zeigt Abbildung 7.2.2–2:

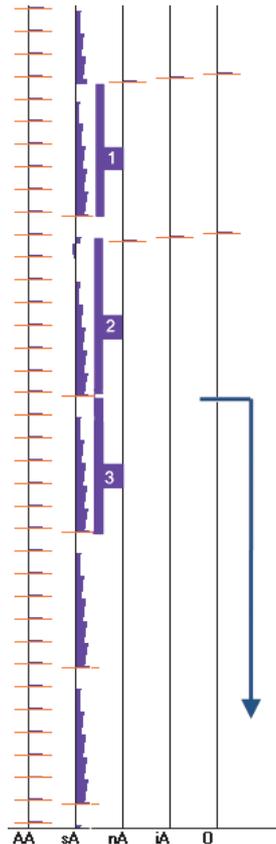


Abbildung 7.2.2–2: Potenzialverläufe an den Watchdogzellen der Abbildung 7.2.2–1. Die Zeitachse verläuft von oben nach unten. Unterschwellige Potenziale sind blau, Aktionspotenziale rot dargestellt. Zusätzlich sind blau die Zeitspannen eingetragen, die in diesem Beispiel zwischen einer Rücksetzung und der Reaktion auf fehlende Aktivität der überwachten Hierarchie liegen. Der Pfeil deutet auf den Beginn einer andauernd gleichen Reaktion des Watchdogs auf fehlenden Input.

Diese Watchdogarchitektur funktioniert in den verwendeten sprachlichen Beispielen problemlos. Es ist allerdings auffällig, dass die Variabilität der

zeitlichen Abstände relativ hoch ist, wie die in Abbildung 7.2.2–2 eingetragenen Beispiele zeigen.

Abstand (1) ist 107 Zeittakte lang,  
 Abstand (2) ist 123 Zeittakte lang,  
 Abstand (3) ist 102 Zeittakte lang.

Die Variabilität hat folgende Ursache: Der zeitliche Abstand wird bestimmt durch den Pegel des EPSPs in der Zelle *sA*. Zu einem bestimmten Zeitpunkt ist dieser Pegel abhängig von einer zurückliegenden Erregung durch die Zelle *AA* und einer zurückliegenden Hemmung bei einem erfolgreichen Verarbeitungsprozess in der überwachten Zellhierarchie. Der zeitliche Abstand ist dann groß, wenn die Erregung relativ weit und die Hemmung relativ wenig zurückliegt. Beide Werte können sich ändern, je nach dem zeitlichen Verlauf des Verarbeitungsprozesses z. B. aufgrund eines Sinnesinputs. Ein sinnvoller Zusammenhang entsteht dabei nicht, die Variabilität ist „zufällig“.

Es ist unwahrscheinlich, dass man zur Verbesserung mit einer variablen(!) Veränderung der von Zelle *AA* ausgehenden Erregung rechnen sollte. Dagegen kann die Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Hemmung dadurch beseitigt werden, dass anstelle der Hemmung die Rücksetzung der Zelle *sA* auf das Ruhepotenzial angenommen wird, was durch ein Feuern dieser Zelle erreicht werden kann. (Das Feuern-zur-Rücksetzung darf dann allerdings nicht als Output des Watchdogs erscheinen.) Als Quelle der Variabilität bleibt dann nur noch das zeitliche Verhältnis gegenüber der Aktivierung von *AA*. Letzteres kann durch Erhöhung der Frequenz dieser Zelle positiv beeinflusst werden. Die Variabilität wird dadurch deutlich verringert, eine vollständige Elimination ist nicht möglich.

Die dem entsprechende Watchdogstruktur sieht dann so aus, wie in Abbildung 7.2.2–3:

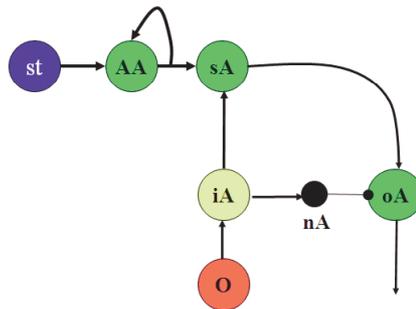


Abbildung 7.2.2–3: Revidierte Watchdogstruktur.

Simulation:  
 Watchdogfunktion B.  
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Frequenzen sehen dann so aus wie in Abbildung 7.2.2–4

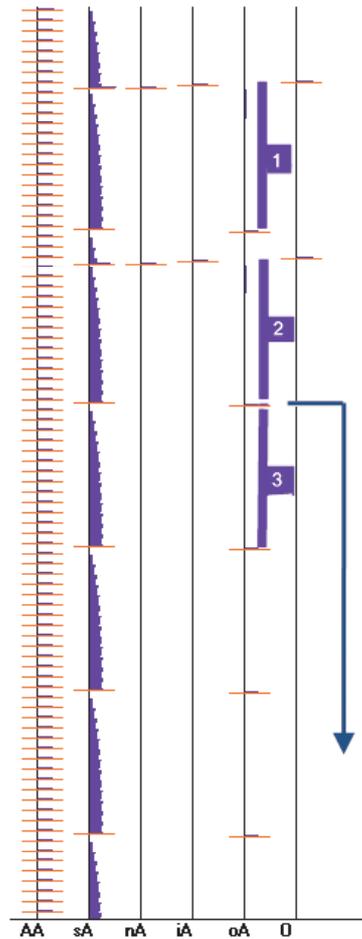


Abbildung 7.2.2–4: Potenzialverläufe an den Watchdogzellen der Abbildung 7.2.2–3. Wie in Abbildung 7.2.2–2 sind zusätzlich die Zeitspannen zwischen Rücksetzung und Reaktion auf fehlende Aktivität der überwachten Hierarchie eingetragen. Der Pfeil deutet wieder auf den Beginn einer andauernd gleichen Reaktion des Watchdogs auf fehlenden Input.

Die Variabilität der Abstände ist, wie man in Abbildung 7.2.2–4 sieht, tatsächlich wesentlich reduziert:

- (1) ist 102 Zeittakte lang,
- (2) ist 101 Zeittakte lang,
- (3) ist 98 Zeittakte lang.

Ein, von der Variabilität abgesehen, zusätzliches Problem könnte dadurch entstehen, dass für die Watchdogaktivität in unterschiedlichen neuronalen Bereichen unterschiedliche Geschwindigkeiten gelten. Einen wichtigen Anhaltspunkt für das zeitliche Verhalten liefert die Phonetik bzw. Phonologie. Aus der Beobachtung möglichst schneller, aber noch problemlos wahrnehmbarer Sprachproduktion ergibt sich als kürzester noch möglicher Abstand zwischen Kurzvokalen (bzw. den durch sie ausgelösten Aktionspotenzialen) ein Wert von ca. 50 Millisekunden. Langvokale müssen, um von Kurzvokalen unterscheidbar zu sein, mindestens zwei Salven von Aktionspotenzialen auslösen, so dass ihre Dauer mindestens ca. 100 Millisekunden beträgt. Daraus ergibt sich, dass die längste Kurzvokaldauer mit weniger als 100 Millisekunden anzunehmen ist. Der Watchdog, wenn er das Ausbleiben eines Kurzvokals registrieren soll, muss also ungefähr 100 Millisekunden abwarten. Bei Einhaltung von Toleranzen sind ein kleinerer Wert von 98 und größerer Wert von 102, wie das der revidierten Watchdogkonstruktion entspricht, relativ gut vertretbar. Als Pause (Störung) hinter einer Vokaleinheit gilt nur ein Ausbleiben eines Signals größer als 98 Takte.

Die Watchdogfunktion, wie beschrieben, liefert also für den Bereich der Sprachverarbeitung die dort erforderlichen Bewertungs- und Korrekturmöglichkeiten. Die Frage ist jetzt aber, ob man mit einer Möglichkeit der Übertragung der Zeitverläufe auf andere Verarbeitungsbereiche, also z. B. auf den gesamten Bereich des Denkens-als-Problemlösen, rechnen darf. Man würde vielleicht annehmen, dass Denkvorgänge, die visuelle Vorstellungen verwenden, mit Elementarereignissen rechnen können, die kürzer als 50 Millisekunden dauern. Das folgende Experiment zeigt, dass das nicht angenommen werden kann. Wenn man den visuellen Wahrnehmungsprozess zugrunde legt, ergeben sich bei Darbietungsdauern, die kürzer als 50 Millisekunden sind, Artefakte, die darauf hindeuten, dass einzelne Elemente nicht mehr problemlos isoliert(!) wahrgenommen werden können, sondern dass sich Verschmelzungsprozesse einstellen, die sozusagen auf diesem Weg wieder Einheiten von ca. 50 Millisekunden liefern. Man denke auch daran, dass Bilder, die in Abständen von weniger als 50 Millisekunden aufeinanderfolgen, zur Darstellung von Bewegung in Filmen dienen.

Das Wahrnehmungsexperiment, das hier als EXE-Datei beigegeben ist, bietet einen Bildschirm, auf dem eine Reihe von zehn kleinen Rechtecken dargestellt ist, die in einer Folge mit entsprechendem zeitlichem Abstand erscheinen. Die Darbietung wird ohne Pause zehn mal wiederholt. Die Abbildung 7.2.2–5 zeigt einen typischen Zustand.



Abbildung 7.2.2–5 Bildschirm für das Testen von Zeiteffekten.

Für den zeitlichen Abstand können drei Varianten gewählt werden: Ein schon grenzwertiger Abstand von 50 Millisekunden, ein Abstand von 60 Millisekunden und ein Abstand von deutlich weniger als 50 Millisekunden. Wenn man zuerst die letztere Variante wählt, kann man versuchen, die Zahl der Durchgänge zu zählen. Die meisten Versuchspersonen sind unsicher und zählen 8 oder 9 Durchgänge. Man beachte, dass das Programm in jedem Fall 10 Durchgänge bietet. Bei einem Abstand von 60 Millisekunden ist das Zählen der Durchgänge kein Problem, die kleinen Rechtecke erscheinen getrennt und in ungestörter Folge. Bei Wahl der Variante mit 50 Millisekunden-Abständen ist zwar das Zählen der Durchgänge kein Problem, man hat aber den Eindruck, dass die Rechtecke teilweise (wechselnd) so erscheinen, dass das vorangegangene noch nicht ganz verschwunden ist, wenn das neue erscheint.

Test  
**Wahrnehmungstest.**  
 Es wird empfohlen, die im Programm vorgesehenen Alternativen mehrfach im Wechsel zu beobachten.

Die Untergrenze des zeitlichen Abstands für eine problemlose Wahrnehmung scheint im visuellen Bereich identisch zu sein mit der im sprachlichen Bereich. Das kann als erster Hinweis dafür betrachtet werden, dass die zeitliche Struktur der Verarbeitung in den beiden Bereichen vergleichbar ist. Ein zweiter Hinweis ergibt sich aus der Beobachtung des Watchdogverhaltens, zunächst im sprachlichen Bereich: Die in Abbildung 7.2.2–2 und Abbildung 7.2.2–4 gezeigten Impulsfolgen stellen auch das Watchdogverhalten nach Beendigung einer Verarbeitungsaktivität dar. Da die Watchdogschaltung auf das Ausbleiben von Input reagiert, wird sie dauerhaft Impulse abgeben, wenn nichts im überwachten Bereich passiert. Dieses andauernde Feuern

hat eine Frequenz von ca. 10/sec. Dass hier eine Verwandtschaft mit dem Phänomen des Alpha-Grundrhythmus im EEG gesehen werden kann, ist zuerst in Kochendörfer (1998) festgestellt worden. Der Alpha-Grundrhythmus erscheint als relativ regelmäßige Kurve mit einer Frequenz von 8 bis 12 Hertz bei einer gesunden Person, die wach und entspannt ist und die Augen geschlossen hat. Bei Augenöffnung verschwindet dieser Rhythmus sofort. Für unseren Zusammenhang wichtig ist, dass der Alpha-Grundrhythmus zwar für den visuellen Bereich wegen der deutlichen Blockade durch Augenschluss am einfachsten nachweisbar ist, was aber nicht heißt, dass er für andere Bereiche nicht gilt.

Es ist offenkundig, dass die Watchdogfunktion nicht eine für verschiedene Verarbeitungsbereiche unterschiedliche Zeitstruktur hat. Man darf also annehmen, dass generell auch für die Verarbeitung von Vorstellungen, auch wenn ihre Repräsentationen in unterschiedlichen neuronalen Bereichen angesiedelt sind, dieselbe Zeitstruktur gilt.

### 7.2.3 Gedankenexperimente

Denken im Bereich des Problemlösens setzt den Aufbau, die Bewertung und die Revision von Vorstellungen voraus. Der Aufbau von Vorstellungen ist in Abschnitt 7.2.1 behandelt worden. Die in Abschnitt 7.2.2 behandelte Watchdog-Architektur ist eine der Grundlagen für die Bewertung. Bewertung meint hier nicht Bewertung der Wünschbarkeit auf einer Skala gut-schlecht, sondern der Stimmigkeit eines mentalen Prozesses. Eine Vorstellung kann als Ersatzwahrnehmung eine bestimmte Eigenschaft haben, was bedeutet, dass eine diese Eigenschaft repräsentierende neuronale Struktur durch die Ersatzwahrnehmung erfolgreich aktiviert wird. Die Tatsache der Aktivierung bzw. ihr Ausbleiben sind Effekte, die durch die Watchdogfunktion ausgewertet werden können.

Der damit grob skizzierte Vorgang ist im Detail auch mit dem oben in Abschnitt 7.1.5 zitierten Bericht von Watson vergleichbar. Das Verfahren beginnt mit der Konstruktion einer Ersatzwahrnehmung. Bei Watson ist diese Phase dadurch vereinfacht, dass mit Hilfe der Modellbildung eine reale Wahrnehmung anstelle der Ersatzwahrnehmung ermöglicht wird. Die neuronale Repräsentation, die der Ersatzwahrnehmung entspricht, wird durch einen Produktionsprozess als Input für eine Struktur bereitgestellt, die die Zieleigenschaft repräsentiert. Man beachte, dass damit nicht ein Informationstransport impliziert ist. Im Beispiel bei Watson kann die visuelle Wahrnehmung direkt den Input für die Repräsentation der Zieleigenschaft bilden,

gleichzeitig kann aber auch eine Gedächtnisspur des wahrgenommenen Objekts aufgebaut werden.

Im negativen Fall, also beim Blockieren der Zielrepräsentation, kann der Problemlösungsvorgang mit Variation fortgesetzt oder auch abgebrochen werden. Letzteres kann einfach in einem Abklingen von Aktivität bestehen. Eine Fortsetzung ebenso wie ein „willentlicher“ Abbruch setzt dagegen eine neuronale Top-down-Aktivität voraus, die nicht von der Zielstruktur ausgehen kann (die ja nicht vollständig aktiviert ist) sondern von der Watchdog-Instanz, die das Ausbleiben einer Aktivität der Zielstruktur innerhalb einer bestimmten Zeitspanne erkennt und daraus eine Reaktion ableitet.

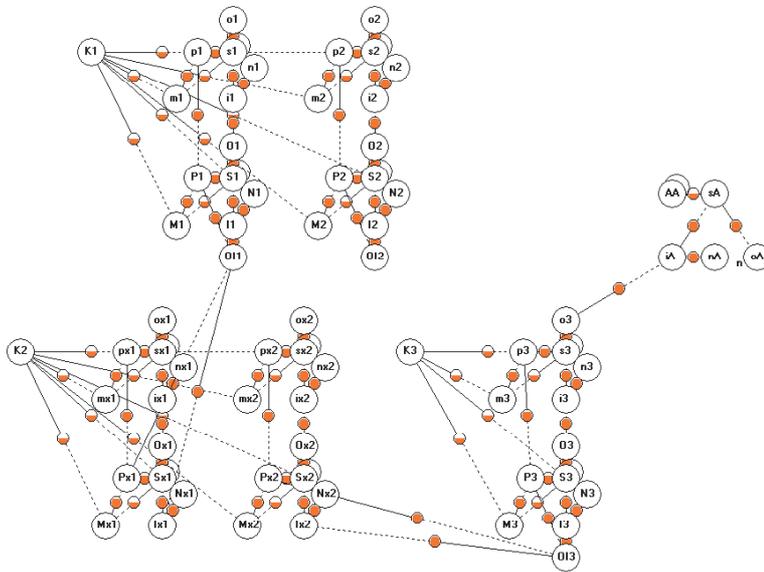
Die Ableitung einer Reaktion ist der eigentlich kritische Vorgang im Gesamtprozess. Die der Bewertung zu unterwerfende Wahrnehmung bzw. Ersatzwahrnehmung muss verändert werden. Dabei können Elemente, die in eine komplexe Vorstellung eingehen, unverändert bleiben, in jedem Fall muss die komplexe Vorstellung als Ganzes unter einem neuen Kontext, der zur Adressierung dient, ersetzt werden. Die Repräsentation des bisherigen Konzepts kann, wenn nicht durch Vergessensprozesse gelöscht, erhalten bleiben.

Weitgehend offen und von großer Beliebigkeit sind die Prozesse im Detail, die die Veränderung steuern. Bei Watson ist eine zufällig zustandekommende Wahrnehmung ausschlaggebend. Der Zufall in Form von gerade einwirkenden äußeren Einflüssen und des gerade aktuellen Zustands der mit dem zu lösenden Problem verwandten Gedächtnisspuren wird ein wesentlicher Faktor sein (Veränderung der Cues zur Adressierung von Elementen, die in eine komplexe Vorstellung eingefügt werden).

Der Gesamtprozess endet mit einer Wahrnehmung bzw. Ersatzwahrnehmung, die zur Ruhigstellung des Watchdogs führt.

Zur Absicherung einiger Details soll hier wenigstens eine bruchstückhafte Simulation des Gesamtvorgangs versucht werden, die zwei nach dem in 7.2.1 beschriebenen Verfahren gebildete komplexe Konzepte repräsentiert, sie produziert und die produzierten Merkmale als Input für die Repräsentation des ebenfalls zuvor gespeicherten Ziels verwendet.

Die in der Simulation eingesetzte Architektur ist in Abbildung 7.2.3–1 wiedergegeben.



*Abbildung 7.2.3–1:* Bildschirmdarstellung einer Struktur für das Testen von Vorstellungen. Die zu überprüfenden Konzepte sind links untereinander gestellt (Adressierung über K1 und K2). Die Zieleigenschaft und die zur Bewertung erforderliche Watchdogstruktur sind rechts abgebildet. Überlegungen zu einzelnen Details folgen im Text.

Einige Besonderheiten dieser Architektur sind bemerkenswert:

Die drei inhaltlichen Repräsentationen werden jeweils über Kontexte adressiert, deren Bildung offengelassen ist. Es ist angenommen, dass der Simulationsvorgang unmittelbar an die Vorstellungsbildung anschließt, die Repräsentationsform entspricht dem in Abschnitt 7.2.1 beschriebenen Vorgang. Der Kontext für den erwarteten Eigenschaftskomplex der Zielvorstellung ist nicht abhängig von der Aktivierung der Teststruktur. Es kann kaum angenommen werden, dass mit jeder Teststruktur eine neue (gleiche!) Erwartung gebildet wird, was aufgrund der Lerneigenschaften der sequenzenbildenden Zellen erforderlich wäre. Es ist also der bei der Konzeptbildung verwendete Kontext anzunehmen oder, wegen der Mehrfachverwendung des Konzepts, der Kontext einer Instanz des Konzepts.

Die Rückspiegelungszellen  $OI1$ ,  $OI2$  und  $OI3$  sind teilweise mehreren Konzepten zugeordnet. Man beachte, dass Rückspiegelungszellen unmittelbar Eigenschaften der Sinneswahrnehmung repräsentieren, die naturgemäß mehreren Konzepten zugeordnet sein können.

Es fällt außerdem auf, dass die Watchdogstruktur nur von der erwarteten Architektur aus erreicht wird. Tatsächlich ist die Vorstellungskonstruktion von der Watchdogfunktion unabhängig, wie das Beispiel oben in Abschnitt 7.2.1 zeigt. Es ist außerdem nicht gut vorstellbar, dass es Lernvorgänge gibt, die die ODER-Zellen der Hierarchiespitzen mit einem Watchdogeingang verknüpfen, der nicht von anderer Seite her aktiviert ist. Besser ist es, mit angeborenen Verbindungen zu rechnen. Dann gilt: Je mehr die Chance größerer Hierarchiebildung besteht (siehe Syntax), je mehr besteht auch die Möglichkeit, dass Zellen betroffen sind, für die eine Watchdogverbindung existiert. Es ist unwahrscheinlich, dass alle in Lernprozesse einzubeziehenden Repräsentationen mit Watchdogstrukturen verbunden sind. Also werden weniger häufig aktivierte Inhalte, wie die aufgebauten Vorstellungselemente, eher nicht zu den von dem Watchdogsystem überwachten Bereichen gehören.

Das Feuern des Watchdogs muss zur Veränderung der überprüften Konzepte führen, Prozesse, die auf die Ruhigstellung des Watchdogs folgen, müssen von der Aktivität der hierarchiehöchsten ODER-Zelle der Zielrepräsentation ausgehen. Diese Folgeprozesse, deren Verlauf eine große Beliebigkeit hat, werden in der Simulation nicht mit dargestellt, entsprechende Strukturen sind hier nicht vorhanden.

Simulation:

[Überprüfung von Vorstellungen.](#)

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation sollte durch Betätigung der Leertaste gesteuert werden

Bemerkungen zum Verlauf der Simulation:

Zeittakt	Kommentar
1	Watchdog wird aktiviert. Um die Funktion der Watchdogschaltung zu zeigen, wird die Produktion der Vorstellungen verzögert.
98	Watchdog feuert.
100	Beginn der Produktion der ersten Vorstellung durch Adressierung über den Kontext <i>K1</i> . Gleichzeitig wird auch der Kontext <i>K3</i> der Zielstruktur aktiviert.
123	Die definierenden Rückspiegelungszellen <i>O11</i> und <i>O12</i> feuern und leiten die Ersatzwahrnehmung ein. Da das Merkmal <i>O11</i> auch zu dem über <i>K2</i> adressierten Konzept gehört, ist auch dort ein Effekt sichtbar, der aber durch den Kontextfilter blockiert wird.

- 196 Watchdog feuert und zeigt damit das Scheitern des Vergleichs mit dem Zielkonzept an. Das Scheitern dient in der Folge als Anlass, einen neuen Versuch zu starten.
- 294 Watchdog feuert aufgrund von fehlender Aktivität im Netz.
- 300 Start der Produktion der zweiten Vorstellung über den Kontext *K2*. Wieder wird gleichzeitig der Kontext der Zielstruktur aktiviert.
- 323 Start der Ersatzwahrnehmung über die Rückspiegelungszellen. Da zu den Merkmalen auch das Zielmerkmal *OIβ* gehört, wird auch eine Ersatzwahrnehmung auf der Zielstruktur gebildet.
- 341 Die hierarchiehöchste Zelle *oβ* der Zielstruktur wird erreicht. Ihr Feuern führt zur Ruhigstellung des Watchdogs. Es ist kein Anlass, einen neuen Versuch zu starten.

#### 7.2.4 Platons Menon-Dialog: ein Beispiel

Die im Folgenden verwendeten Zitate aus dem Platon-Text entsprechen der Übersetzung von Friedrich D. E. Schleiermacher in der Version der Internetpublikation [www.opera-platonis.de](http://www.opera-platonis.de).

Sokrates versucht in diesem Dialog Platons unter anderem zu zeigen, dass es angeborene Vorstellungen gibt, die zunächst unbewusst sind, aber durch Fragen ins Bewusstsein gehoben werden können. Die Versuchsperson, die befragt wird, ist ein junger Diener (Sklave) des Menon, in der Übersetzung von Schleiermacher als „Knabe“ bezeichnet. Der Gegenstand ist ein geometrisches Problem der Flächenberechnung.

Die Befragung des Knaben beginnt mit dem Aufruf bekannter Vorstellungen durch visuelle Demonstration (Zeichnung) eines Vierecks und dessen Veränderung (in der Vorstellung) durch die Bedingung gleicher Seiten.

„SOKRATES: Sage mir also, Knabe, weißt du wohl, daß ein Viereck eine solche Figur ist?

KNABE: Das weiß ich.

SOKRATES: Gibt es also ein Viereck, in welchem alle diese Seiten, deren viere sind, gleich sind?

KNABE: Allerdings.

SOKRATES: Sind nicht auch diese beiden Linien, welche parallel durch die Mitte hindurchgehen, gleich?

KNABE: Ja.“

Dann folgt die Flächenberechnung für ein vierfüßiges Quadrat dadurch, dass Elementarquadrate von jeweils einem Quadratfuß in das Quadrat hineingelegt werden. Dabei werden dem Knaben bekannte und bewusste Rechenoperationen wie einfaches Zählen und Multiplizieren verwendet. Es ist nicht ganz klar, ob dabei auch eine Zeichnung verwendet wird.

„SOKRATES: Eine solche Fläche nun kann doch größer und kleiner sein.

KNABE: Freilich.

SOKRATES: Wenn nun diese Seite zwei Fuß hätte und diese auch zwei, wieviel Fuß enthielte das Ganze? Überlege es dir so. Wenn es hier zwei Fuß hätte, hier aber nur einen, enthielte dann nicht die ganze Fläche einmal zwei Fuß?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Da er nun aber auch hier zwei Fuß hat, wird er nicht von zweimal zwei Fuß?

KNABE: Das wird er.

SOKRATES: Zweimal zwei Fuß ist er also?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Wieviel nun zweimal zwei Fuß sind, das rechne aus und sage es.

KNABE: Viere, o Sokrates.“

Auf dieser Basis wird nun das eigentlich zu lösende Problem eingeführt: Bestimmung der Seitenlänge eines Quadrats mit doppelter Fläche:

„SOKRATES: Kann es nun nicht eine andere Fläche geben, die das doppelte von dieser wäre, sonst aber eine eben solche, in der alle Seiten gleich sind wie in dieser?

KNABE: O ja.

SOKRATES: Wieviel Fuß muß diese haben?

KNABE: Acht Fuß.

SOKRATES: Gut! Nun versuche auch mir zu sagen, wie groß jede Seite in diesem Viereck sein wird. Nämlich die des ersten ist von zwei Fuß; die aber jenes doppelten?“

Es folgt eine falsche Lösung des Knaben durch Verdoppelung der Seitenlängen, von Sokrates durch die Formulierung der Frage verursacht und unter Zuhilfenahme einer Zeichnung zurückgewiesen.

„KNABE: Offenbar, o Sokrates, zweimal so groß.  
 [...]
 SOKRATES: [...] Ich meine aber ein solches, nicht etwa was hier lang ist, dort aber kurz, sondern es soll nach allen Seiten gleich sein, wie dieses hier, aber das zwiefache von diesem, also achtfüßig. Sieh nun zu, ob du noch meinst, dies werde aus der zwiefachen Seite entstehen?  
 KNABE: So meine ich.  
 SOKRATES: Wohl! Dies wird doch die zwiefache von dieser, wenn wir hier noch eine eben so große hinzusetzen?  
 KNABE: Allerdings.  
 SOKRATES: Und aus dieser, glaubst du, werde das achtfüßige Viereck entstehen, wenn wir vier Fuß lange Seiten nehmen?  
 KNABE: Ja.  
 SOKRATES: So laß uns eines von vier gleichen Seiten zeichnen. Nicht wahr also, dies wäre, was du für das Achtfüßige hältst?  
 KNABE: Allerdings.  
 SOKRATES: Sind nun nicht in ihm diese Viere, deren jedes diesem vierfüßigen gleich ist?  
 KNABE: Ja.  
 SOKRATES: Wie groß ist es also? Nicht viermal so groß?  
 KNABE: Nicht anders.  
 SOKRATES: Ist nun das viermal so große das zwiefache?  
 KNABE: Nein, beim Zeus.  
 SOKRATES: Sondern das wievielfache?  
 KNABE: Das vierfache.  
 SOKRATES: Aus der zwiefachen Seite also entsteht uns nicht das zwiefache, sondern das vierfache Viereck.  
 KNABE: Du hast Recht.  
 SOKRATES: Denn von vier ist das vierfache Sechszehn. Nicht?  
 KNABE: Ja.“

Ein falscher Zwischenschritt führt zur Konstruktion eines Quadrats mit einer Fläche von neun Quadratfuß:

„SOKRATES: Das Achtfüßige aber, von welcher Seite entsteht das? Nicht wahr, aus dieser entsteht das vierfache?  
 KNABE: Das sage ich auch.  
 SOKRATES: Und das vierfüßige entsteht aus dieser halben?  
 KNABE: Ja.  
 SOKRATES: Wohl. Das Achtfüßige aber, ist es nicht von diesem hier das zwiefache, von diesem aber die Hälfte?  
 KNABE: Allerdings.“

SOKRATES: Muß es also nicht aus einer größeren Seite entstehn als diese, und aus einer kleineren als diese? Oder nicht?

KNABE: Ich wenigstens denke so.

SOKRATES: Schön, denn immer nur was du denkst mußt du antworten. Und sage mir, hatte nicht diese zwei Fuß, diese aber vier?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Also muß des achtfüßigen Vierecks Seite größer sein als diese zweifüßige, und kleiner als die vierfüßige?

KNABE: Das muß sie.

SOKRATES: So versuche denn zu sagen, wie groß du meinst daß sie sei.

KNABE: Dreifüßig.

SOKRATES: Gut. Wenn sie dreifüßig sein soll, so wollen wir an dieser noch die Hälfte dazunehmen, so wird sie dreifüßig, denn dies ist zwei Fuß, und dies ist ein Fuß, und auf dieser Seite eben so, sind dies zweie, dies einer. Und dies wird nun das Viereck, welches du meinst.

KNABE: Ja.

SOKRATES: Wenn es nun hier drei Fuß hat, und hier auch drei Fuß: so wird das ganze Viereck von dreimal drei Fuß.

KNABE: Offenbar.

SOKRATES: Dreimal drei aber, wieviel Fuß sind das?

KNABE: Neun.

SOKRATES: Wieviel Fuß aber sollte das zwiefache haben?

KNABE: Acht.

SOKRATES: Auch nicht aus der dreifüßigen Seite also wird uns das achtfüßige Viereck.

KNABE: Freilich nicht.

SOKRATES: Von welcher also, das versuche doch uns genau zu bestimmen; [84 St.] und wenn du es nicht durch Zählen willst, so zeige uns nur von welcher.

KNABE: Aber beim Zeus, Sokrates, ich weiß es nicht.“

Nach einem längeren Dialogteil mit Menon wird als Hinweis die Zeichnung eines vierfachen Quadrats verwendet:

„SOKRATES: [...] Sage mir du, ist dies nicht unser vierfüßiges Viereck? Verstehst du?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Können wir nun nicht hier noch ein gleiches daran setzen?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Und auch dies dritte jeden von den beiden gleich?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Können wir nun nicht auch das noch hier in der Ecke ausfüllen?

KNABE: Allerdings.

SOKRATES: Sind dies nun nicht vier gleiche Vierecke?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Wie nun? Das wievielfache ist wohl dies Ganze von diesen?

KNABE: Das vierfache.

SOKRATES: Wir sollten aber ein zweifaches bekommen, oder erinnerst du dich nicht?

KNABE: Allerdings.“

Es folgt die Einfügung von Diagonalen und schließlich die gültige Problemlösung:

„SOKRATES: Schneiden nun nicht diese Linien, welche aus einem Winkel in den gegenüberliegenden gehen, jedes von diesen Vierecken in zwei gleiche Teile?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Und sind nicht dieses auch vier gleiche Seiten, welche ein Viereck einschließen?

KNABE: Allerdings.

SOKRATES: So betrachte nun wie groß wohl dieses Viereck ist?

KNABE: Das verstehe ich nicht.

SOKRATES: Hat nicht von diesen viere Linien von je einer Fläche die Hälfte nach innen zu abgeschnitten? Oder nicht?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Wieviel solche sind nun in diesem?

KNABE: Vier.

SOKRATES: Wieviel aber in diesem?

KNABE: Zwei.

SOKRATES: Vier aber ist von Zwei was doch?

KNABE: Das zweifache.

SOKRATES: Wievielfüßig ist also dieses?

KNABE: Achtfüßig.

SOKRATES: Von welcher Seitenlinie?

KNABE: Von dieser.

SOKRATES: Von der welche aus einem Winkel in den gegenüber liegenden das vierfüßige schneidet?

KNABE: Ja.

SOKRATES: Dies nun nennen die Gelehrten die Diagonale und es folgt daraus, daß aus dieser Seite, wie du behauptest, das zwiefache Viereck entsteht.

KNABE: Allerdings, Sokrates.“

Den Abschluss bildet die Auswertung im Sinne der Idee, dass angeborene Vorstellungen durch Fragen zugänglich geworden sind:

„SOKRATES: Was dünkt dich nun, Menon? Hat dieser irgend nur Vorstellung, die nicht sein war, zur Antwort gegeben?

MENON: Nein, nur seine eignen.

SOKRATES: Und doch wußte er es vor kurzem noch nicht, wie wir gestanden?

MENON: Ganz recht.

SOKRATES: Es waren aber doch diese Vorstellungen in ihm. Oder nicht?

MENON: Ja.

SOKRATES: In dem Nichtwissenden also sind von dem was er nicht weiß dennoch richtige Vorstellungen.

MENON: Das zeigt sich.

SOKRATES: Und jetzt sind ihm nur noch eben wie im Traume diese Vorstellungen aufgeregt. Wenn ihn aber Jemand oftmals um dies nämliche befragt und auf vielfache Art, so wisse nur, daß er am Ende nicht minder genau als irgend ein Anderer um diese Dinge wissen wird.

MENON: Das scheint wohl.

SOKRATES: Ohne daß ihn also Jemand lehrt sondern nur ausfragt, wird er wissen, und wird die Erkenntnis nur aus sich selbst hervorgeholt haben.

MENON: Ja.

SOKRATES: Dieses nun, selbst aus sich eine Erkenntnis hervorholen, heißt das nicht sich erinnern?

MENON: Allerdings.“

Die gestellten sokratischen Fragen implizieren, sprechakttheoretisch betrachtet, Aufforderungen zur Konstruktion von Vorstellungen auf der Basis gelernter mathematischer Verfahren (Zählen, Multiplikation), geometrischer Kenntnisse (Begriff des Quadrats) und angeborener Elemente visueller Wahrnehmung (Linie, Fläche).

Falsche Lösungen werden teilweise durch die Art der Fragestellung und die Verwendung von Vorwissen hervorgerufen.

Wenn man den Vorgang der richtigen Schlussfolge als sukzessive Vorstellungskonstruktion betrachtet und die zwischenzeitlich verwendeten einfachen Rechenoperationen übergeht, kann man drei Konstruktionsphasen unterscheiden:

- Aufruf bekannter Konzepte: Rechteck, Quadrat, Quadratfuß
- Zeichnerische Konstruktion eines Quadrats mit der Fläche von vier Quadratfuß.

- Zeichnerischer Nachvollzug von Vorstellungen, die zur Konstruktion einer vierfachen Fläche führen und Einfügen von Diagonalen mit der Aufforderung, sie als Quadrat zu interpretieren. Bestimmung der Fläche und Benennung der Seiten.

Eine graphische Darstellung dieser Schrittfolge gibt Abbildung 7.2.4–1:

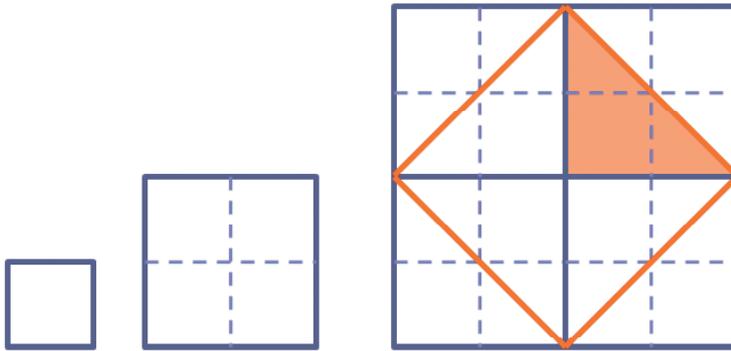


Abbildung 7.2.4–1: Folge von Vorstellungen im Menon-Dialog

Die Funktion der Zeichnungen, die im Dialog verwendet werden, entspricht den visuell wahrnehmbaren Hilfsmitteln in dem Beispiel von Watson. Die Fragen von Sokrates dienen als Hinweise zur Steuerung der Vorstellungskonstruktion.

Der Gesamtprozess muss nicht verstanden werden als schrittweise Annäherung an ein vorhandenes komplexes Konzept sondern als Konstruktion dieses Konzepts. Die Tatsache, dass das Ergebnis „aus der Versuchsperson kommt“, kann (heute) nicht (mehr) so interpretiert werden, dass es in der Versuchsperson immer schon vorhanden war und dass es sich um ein Erinnern handelt. Ein Denkvorgang kann prinzipiell zur Produktion einer Gedächtnisspur führen, die dann wiedergegeben werden kann.

In ähnlicher Weise wie bei der Auseinandersetzung mit den angeborenen Sprachelementen des Denkens bei Fodor gilt, dass zwar die Sinnesperipherie als angeboren gesehen werden muss, nicht aber tiefer liegende, zunächst verborgene Konzepte, für die eine Verbindung mit der Sinnesperipherie erst hergestellt werden müsste.

### 7.2.5 Die Problematik systematischer Suchprozeduren zur Problemlösung

Platons Menon-Dialog impliziert in den zitierten Passagen Anregungen, die die Vorstellungsbildung steuern und damit erleichtern. Die zu kombinierenden Elemente werden nicht gesucht, sondern über visuelle Anregungen adressiert. Wenn die Anregung nicht ausreicht, gibt der Knabe/Sklave die Antwort „ich weiß nicht“.

Auch das Watson-Beispiel arbeitet mit einer äußeren Anregung, die zufällig entsteht und den Aha-Effekt auslöst.

Bei systematischen Suchprozeduren wird mit geschlossenen Problemräumen gearbeitet. Solche Problemräume sind als hierarchische Strukturen darstellbar, die Alternativen enthalten und für die gilt, dass, wenn eine Alternative gewählt ist, als Folge nur bestimmte weitere gewählt werden können. Ein geschlossener Problemraum ist im Unterschied zu den genannten Beispielen also dadurch charakterisiert, dass bei jedem Schritt bekannt ist, womit es weiter geht. Das bedeutet auch, dass die möglichen Zustände beim Problemlösen vollständig in einer endlichen Liste protokolliert werden können.

Verglichen mit Verfahren in offenen Problemräumen bleibt die Notwendigkeit der Prüfung auf das Vorliegen des Zielzustands bei jedem Schritt. Das bedeutet, dass die in Abschnitt 7.2.3 behandelten Architekturdetails erforderlich bleiben. Der Unterschied im Verfahren kann sich nur auf die Bildung von (komplexen) Vorstellungen beziehen. Man könnte also fragen, wie man diesen Vorgang zu denken hat. Dabei sind aber zwei Dinge zu beachten. Zunächst gilt, dass die Vorstellungsbildung in jedem Fall offen ist, das heißt, es ist irrelevant, ob sie systematisch oder beliebig erfolgt. Das Verfahren kann innerhalb eines Problemlösungsprozesses wechseln, ohne dass sich eine grundsätzlich neue Strategie dadurch ergibt. Der zweite, letztlich wichtigste Punkt ist aber, dass man zwar überlegen kann, wie ein Computer durch fortgesetzte systematische Konzeptbildung zu einer Problemlösung kommen kann, menschliche Versuchspersonen aber ein entsprechendes Verhalten nicht zeigen oder aber mit gedächtnisstützenden Mechanismen (Bleistift und Papier) arbeiten.

Die beobachtbaren Gedächtnisprobleme sind nun ein Hinweis darauf, dass in einer neuronalen Struktur auch bei geschlossenen Problemräumen eher nicht systematisch vorgegangen werden kann. Das gilt offenbar auch für so einfache Fälle wie das oben in Abschnitt 7.1.5 kurz skizzierte Scheibenproblem („Turm von Hanoi“), selbst bei Begrenzung auf drei Scheiben.

Man kann also schlussfolgern dass die Relevanz systematischen Vorgehens beim Problemlösen, solange keine technischen Hilfsmittel eingesetzt werden, gering ist und dass dadurch kein prinzipieller Unterschied im Verfahren gegenüber gestalttheoretischen Positionen entsteht.

Die große Rolle von Zufällen beim Problemlösen im Bereich der Forschung ist so verständlich.



## 7.3 Formulieren: Gegenstände

### 7.3.1 Textproduktion

Die Produktion von Texten ist ein Vorgang, bei dem Prozesse des Formulierens eine wesentliche Rolle spielen. Als Text kann zwar das Ergebnis jeder sprachlichen Produktion aufgefasst werden, charakteristisch bei der Produktion komplexerer Texte ist aber das wiederholte sprachliche Produzieren von Alternativen, teilweise in Form des inneren Sprechens, aber auch als laut werdendes Sprechen oder in schriftlicher Form. Das Verfahren ist also offenbar verwandt mit dem nichtsprachlichen Problemlösevorgang. Es wird Monitoring vorausgesetzt und die Möglichkeit entsprechender Revisionen. Nur der dadurch bestimmte Vorgang wird hier als Formulieren bezeichnet und behandelt. Im Unterschied zu nichtsprachlichen Problemlösevorgängen ist beim sprachlichen Formulieren eine enge Bindung an ein komplexes Regelsystem, nämlich die im Spracherwerbsprozess aufgebaute sprachliche Kompetenz zu beachten. Dazu kommen Konventionen, die Textstrukturen festlegen, wozu Eigenschaften von Textsorten, aber auch allgemein Prinzipien der Referenz (z. B. der Gebrauch von Pronomina) gehören.

Die hier verwendete Auslegung des Gegenstands ergibt eine Distanz zu dem bei Levelt (1989) verwendeten Begriff des „Formulating“. Levelt bezeichnet damit allgemein die Versprachlichung einer inhaltlich vorgeformten vor-sprachlichen Repräsentation („preverbal message“). In der in diesem Zusammenhang interessanten Darstellung von Antos (1982) wird im Unterschied dazu betont,

„daß „Formulieren“ nicht nur etwas mit der „sprachlichen Form“ oder mit der „sprachlichen Mittelwahl“ zu tun hat, sondern insbesondere die allmähliche Klärung und „Generierung“ von Formulierungszielen mit einschließt.“ (Antos, 1982:IX)

Eine entscheidende Aussage steckt in dem Attribut „allmählich“. Damit wird der prozesshafte Charakter betont. Wenn man an eine schrittweise

Annäherung denkt, gilt auch, dass vorübergehende Zustände einer Bewertung und ggf. Revision unterzogen werden, wie das für Problemlösungsvorgänge typisch ist.

Aus der Auffassung des problemlösenden Formulierens als Umformulieren ergibt sich bei Antos S. 139 die Möglichkeit des direkten Vergleichs mit Dörner (1976).

Wenn Probleme nach Dörner so definiert werden dass ein unerwünschter Anfangszustand besteht, der in einen erwünschten Endzustand übergeführt werden kann, was durch zwischenliegende Barrieren erschwert wird (man vgl. zur Problemdefinition auch oben Abschnitt 7.1.5), kann bei einem Formulierungsprozess, verstanden als Problemlösungsprozess, ebenfalls dreierlei unterschieden werden:

- „1. Ausgangstext („Leitidee“, Vorlage etc.)
2. Zieltext
3. Überführung von 1 zu 2 (Transformation)“ (Antos, 1982: 139)

Unter Berücksichtigung der Möglichkeit mehrerer (bzw. beliebig vieler) Wiederholungen kann dann ein formelhaftes Modell des Formulierungsvorgangs aufgestellt werden (Antos, 1982: 148):

$$T_1 \text{ ---}(B_1)\text{---} \rightarrow T_2 (= ZL_1) \text{ ---}(B_2)\text{---} \rightarrow T_3 (= ZL_2) \text{ ---}(B_3)\text{---} \dots$$

T = Text

B = Barriere

ZL = Zwischenlösung

Diese Formel ist, dem Stand der linguistischen Forschung der 80er Jahre entsprechend, als „Modell“ des Formulierens nicht so informativ, wie man es heute (2010) erwarten würde. Insgesamt gesehen ist die Arbeit von Antos mehr an den Eigenschaften der Formulierungsprodukte (untersucht anhand von „formulierungskommentierenden Ausdrücken“) interessiert, als an den zugrunde liegenden mentalen Prozessen.

Es ist zusätzlich zu beachten, dass auch in argumentierenden Texten Problemlösungsvorgänge dargestellt werden und im Vorgang der Textproduktion stattfinden, ein Unterschied besteht darin, dass die Zwischenziele soweit sie für die Argumentation relevant sind, nicht getilgt werden, sondern als sprachlich realisierte Abfolge ggf. einschließlich der Kommentierung von Barrieren erhalten bleiben. Bei der Formulierung *einzelner* Argumentationsschritte kann allerdings die Tilgung von Zwischenzielen eine Rolle spielen.

Wenn die Satzebene verlassen wird, ist Formulieren identisch mit Problemlösen im Sinne von sukzessivem Generieren und Revidieren von Vorstellungen. Besondere Bedingungen entstehen nur *innerhalb* des Bereichs der Satzproduktion.

### 7.3.2 Monitoring

Ein wesentlicher Bestandteil des Formulierungsprozesses ist, wie beim Denken als Problemlösen auch, das Monitoring. Wie im nichtsprachlichen Bereich setzt das Monitoring innerhalb des Formulierungsprozesses Strukturen voraus, die der Wahrnehmung zuzuordnen sind. Das ist auch die Position von Levelts „perceptual loop theory of monitoring“ (Levelt, 1989: Kapitel 12).

Wenn man von Levelts grafischer Darstellung in seinem „Blueprint“ des Sprechers (Levelt, 1989:9) bzw. der verkürzten Darstellung im Kapitel 12 (Levelt, 1989:470) ausgeht, ist das Monitoring auf die Überprüfung des Outputs des Verstehensprozesses beschränkt, der die Produktion notwendig begleitet. Da dieser Verstehensprozess Strukturen der Sprachperzeption verwendet, die auch dann erforderlich sind, wenn keine Produktion stattfindet, müssen für das Monitoring keine eigenen sprachlichen Kompetenzstrukturen angenommen werden.

Da es als Input für die Sprachperzeption nur die Produktion von innerem oder über das Gehör wahrnehmbarem Sprechen geben kann, entfällt auch die Möglichkeit von speziellen Monitor-Komponenten („editors“) für einzelne Phasen der Produktion:

„There are no special-purpose editors to check the outputs of lemma access, of grammatical encoding, of segmental spellout, and so forth. Only the final (prearticulatory) phonetic plan or internal speech and the overt speech produced can be attended to by the language-understanding system.“ (Levelt, 1989:470)

Der bei Levelt innerhalb des „Conceptualizers“ angesiedelte Monitor muss, um den verschiedenen Aspekten des Monitoringprozesses zu genügen, einen inhaltlichen Vergleich des Outputs der Perzeptionskomponente mit den ursprünglichen Intentionen des Produktionsprozesses durchführen. Der Output der Perzeptionskomponente muss in einer entsprechenden Kodierung vorliegen.

Wie in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.6.5 ausführlicher behandelt wird, adaptiert Levelt für sein Sprachproduktionsmodell die Idee der

inkrementellen Produktion von Kempen & Hoenkamp (1987). Sie besagt, wie es Levelt (1989: 26) formuliert:

*„Each processing component will be triggered into activity by a minimal amount of its characteristic input. In the following chapters we will, time and again, have to consider how small that minimal amount can be.“*

Das impliziert, dass Folgen von Datenfragmenten zwischen den einzelnen modularen Komponenten des Produktionsprozesses übermittelt werden, und dass als Konsequenz auch das Monitoring sich auf solche Folgen und damit jeweils auf einzelne gerade aktuelle Fragmente bezieht.

Wichtig ist als entscheidende negative Konsequenz, dass so lange die Fragmente nicht atomar sind, eine Pufferung und ein Datentransport sowohl für die Produktion als auch für die Perzeption erforderlich ist. Das sind Voraussetzungen, die in einer neuronalen Struktur nicht zu gewährleisten sind.

(Ergänzend sei an dieser Stelle bemerkt, dass auch die von Levelt ebenfalls diskutierte konnektionistische Variante des Monitoring nicht den möglichen Strukturen und Prozessen des Gehirns entspricht. Man vgl. dazu Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.2.3 und Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.1.3.)

Andererseits gibt es für inkrementelle Verarbeitung im sprachlichen Bereich viele Anhaltspunkte, die im Projekt „Kortikale Linguistik“ verwendeten Modelle arbeiten grundsätzlich inkrementell, allerdings mit Inkrementen, die keine Pufferung und keinen Datentransport erfordern. Alle Daten bleiben lokal und Monitoring wird generell über eine Watchdogfunktion realisiert.

### 7.3.3 Formulierungsprozesse beim inneren Sprechen

Inneres, also nicht laut werdendes Sprechen ist bei Levelt in den Monitoringprozess über eine innere Schleife einbezogen. Damit ist die Basis für Reparaturen und Reformulierungen auch für inneres Sprechen gegeben. Wenn sprachliche Problemlösungsprozesse als Folgen von Reformulierungen verstanden werden, kann Denken tatsächlich, wie in 7.1.1 erwähnt, als inneres Sprechen erscheinen.

Das entspricht der klassischen Position von L. S. Wygotski in der Auseinandersetzung mit Piagets Verständnis der Entwicklung des egozentrischen Sprechens bei Kindern. Wygotski beobachtet bei Vorschulkindern sprach-

liche Problemlösungsvorgänge wie in dem folgenden Satz (hier zitiert nach Wygotski (1972: 37):

*„Wo ist der Bleistift, ich brauche jetzt einen blauen Bleistift; macht nichts, ich male statt dessen mit einem roten und mache ihn naß, das wird dunkler und wird dann blau.“*

Bei älteren Kindern beobachtet Wygotski, dass anstelle einer laut werden- den Äußerung eine Denkpause entsteht und die Problemlösung in dieser Pause gefunden wird.

„Auf die Frage, worüber es [das Kind] nachgedacht habe, gab es immer Antworten, die dem lauten Denken des Vorschulkindes sehr nahekamen.“ (Wygotski, 1972: 38)

Die Funktion des inneren Sprechens besteht hier in der Überwindung von Barrieren durch Entwicklung von Alternativen. Die Frage ist, ob man das als Reformulieren (siehe oben zu Antos) betrachten kann. Besser ist es, das innere Sprechen hier als Hilfe beim Bewusstmachen von Lösungsmöglichkeiten zu sehen.

Die beim inneren Sprechen verwendete innere Sprache wird damit nicht zu einer Sprache des Denkens im Sinne Fodors. Für die Auseinandersetzung mit Fodor gilt, was oben in Kapitel 7.1 ausgeführt ist. Die innere Sprache ist identisch mit der äußeren, sie bleibt gebunden an die Ergebnisse des Spracherwerbs und der dabei entwickelten Begrifflichkeit. (Man vgl. dazu auch Fodor, 1972.)

### 7.3.4 Formulieren im Mittel der Schriftlichkeit

Formulieren im aktuellen Vorgang des Sprechens wird von Antos als „freies Formulieren“ bezeichnet, im Unterschied zum „reflektierten Formulieren“ in der Schriftlichkeit. Antos (1982: 187) stellt fest:

„Für GS [gesprochene Sprache] ist charakteristisch, daß die durch die Sukzessivität definierten Zwischenziele sehr eng – sozusagen überschaubar – beieinander liegen, so daß eben der schrittweise Charakter des „Zug um Zug“ entsteht. Dieses schrittweise Vorgehen resultiert nicht nur aus Kapazitätsgründen des Gedächtnisses, es erlaubt vielmehr auch ein flexibles Erweitern, Einschränken, Präzisieren etc.; verschafft dem Sprecher die Möglichkeit zur besseren Kontrolle und erlaubt schließlich durch Ab-

bruch oder Umformulierung eine leichte (und oft kaum bemerkbare) Korrektur.“

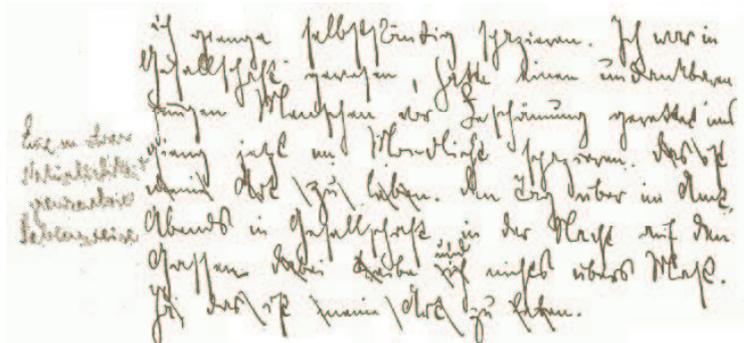
Die aufgezählten Charakteristika mit Ausnahme des Gedächtnisproblems sind etwas fragwürdig. Wenn man den Schreibprozess von dem erzeugten Produkt unterscheidet, ist nicht einzusehen, dass flexibles Erweitern, Einschränken und Präzisieren nicht möglich sein sollen und Korrekturen durch Abbruch und Umformulierung (!) sind auch schriftlich gängig. In dieser Hinsicht hat die Computerverwendung wesentliche Veränderungen im Vergleich mit den klassischen Möglichkeiten des Schreibens gebracht. Das bequeme spurlose Löschen einer zu ersetzenden Formulierung verringert die Distanz des Verfahrens gegenüber dem der gesprochenen Sprache. Das kann allerdings zur Folge haben, dass unbemerkte Satzbrüche und andere vergleichbare Fehler entstehen.

Was positiv für den Fall der klassischen schriftlichen Formulierung im Unterschied zur Computerverwendung bleibt, ist die bessere Gedächtnisstütze (solange Durchgestrichenes noch lesbar ist), die das präzise kontextbewusste Formulieren erleichtert. Negativ kann sich auswirken, dass für schriftliche Formulierungen, soweit sie nicht innerhalb perfekt gestalteten Mensch-Maschine-Dialogs angesiedelt sind, der oft hilfreiche Einfluss einer Dialogsituation fehlt.

Selbstverständlich gilt, dass inneres Sprechen auch für schriftliches Formulieren von großer Bedeutung ist.

Ein Beispiel für schriftliche Formulierungsvorgänge liefert der folgende Textausschnitt von Kafkas „Beschreibung eines Kampfes“. Von diesem Text existieren zwei Fassungen. Wiedergegeben ist eine kurze Passage sowohl handschriftlich als auch in Transkription (nach Dietz, 1969: 140 ff.)

#### Fassung A



Transkription:

ich gienge selbständig spazieren. Ich war in Gesellschaft gewesen, hatte einen undankbaren jungen Menschen vor Beschämung gerettet und gieng jetzt im Mondlicht spazieren. [Das ist meine Art zu leben.] ·Eine in ihrer Natürlichkeit grenzenlose Lebensweise· Den Tag über im Amt, Abends in Gesellschaft, in der Nacht auf den Gassen [. Dabei treibe ich] ·und· nichts übers Maß. [Ja, das ist meine Art zu leben.]

Zeichenerklärung:

Tilgungen werden in der Transkription von Dietz mit eckigen Klammern markiert. Es werden zwei Schichten von Zusätzen unterschieden, ältere Zusätze stehen zwischen einzelnen Punkten auf der Zeilenmitte, spätere Zusätze werden mit zwei Punkten abgegrenzt.

### Fassung B

ich auch selbständig spazieren gehn. Ich war eben in Gesellschaft gewesen, hatte einen undankbaren jungen Menschen vor Beschämung gerettet und spazierte nun im Mondlicht herum. Auch das gieng. Den Tag über im Amt, abends in Gesellschaft, in der Nacht auf den Gassen und nichts übers Mass. Eine in ihrer Natürlichkeit schon grenzenlose Lebensweise!

Transkription:

ich auch selbstständig spazieren gehn. Ich war **eben** in Gesellschaft gewesen, hatte einen undankbaren jungen Menschen ·vor Beschämung· gerettet und **spazierte nun im Mondlicht herum. Auch das gieng.** Den Tag über im Amt, abends in Gesellschaft, in der Nacht auf den Gassen und nichts übers Mass. Eine in ihrer Natürlichkeit schon grenzenlose Lebensweise!

Die Produktion des Textes von Fassung B erstreckt sich über einen größeren Zeitraum und besteht aus mehreren Umformulierungsprozessen, die teilweise die Schriftform als Gedächtnisstütze voraussetzen. Die geschriebene vorliegende Fassung A wird als Vorlage für Fassung B verwendet. Eine der Korrekturen in der Fassung A erfolgt in zwei Schritten: 1. Tilgung durch Streichung, 2. Überprüfung und Korrektur des Produkts durch Einfügen von „und“, um die Struktur zu wahren. Die Randnotiz ist ein späterer Zusatz, was an der Verwendung der lateinischen Schrift wie in Fassung B erkennbar ist und könnte zur Vorbereitung der Fassung B gehören. Sie dient in Fassung B inhaltlich zum Ersatz der beiden gestrichenen Sätze. In der Fassung B ist „vor Beschämung“ eingefügt, ggf. durch Rückgriff auf die schriftliche For-

mulierung in Fassung A, oder auch nach Erinnerung. Weitere Änderungen von Formulierungen in B verglichen mit Fassung A sind rot ausgezeichnet.

### 7.3.5 Reparaturen

Zum Formulierungsprozess, vor allem wenn man die schriftliche Form einbezieht, gehört nicht notwendig eine Unterbrechung des Produktionsflusses innerhalb einzelner Sätze. Prozesse, die Satzgrenzen überschreiten sind beim Formulieren einbezogen. Für die Auslösung und Bearbeitung von Reparaturen nach Levelt (1989) ist dagegen die Unterbrechung innerhalb des Satzes charakteristisch. Sie kann im Fall des Sprechens durch „editing expressions“ markiert sein.

In Teil 5, „Syntax“, Abschnitt 5.4.2 wird als Regel für korrekte Reparaturen, abweichend von der in Levelt (1983) und Levelt (1989) angegebenen, formuliert:

„Alle Sätze, die entstehen, wenn man eine Reparatur direkt an die Stelle kopiert, an der sie den ursprünglichen Satz wieder aufnimmt, sind grammatikalisch.“

Das meint: Eine falsche Reparatur ist daran zu erkennen, dass dieser Test zu einem ungrammatischen Satz führt

Als Beispiel mag ein Fragment aus einem Werkstattdialog in Baßler (1996: 353) dienen, das hier in literarischer Transkription und etwas vereinfachter Form wiedergegeben ist:

*„Das können auch Vierkantstäbe sein aus Blech praktisch vierkant zusammengefaltet mit Pulver gefüllt \* mit Flussmittel gefüllt.“*  
[Das Zeichen \* markiert eine kleine Pause.]

Die „reparierte“ Äußerung lautet:

*„Das können auch Vierkantstäbe sein aus Blech praktisch vierkant zusammengefaltet mit Flussmittel gefüllt.“*

Die Reparatur liefert also genau genommen eine präzisere Reformulierung. Auch Versprecher (beschränkt auf Erscheinungen, die als nicht-pathologische Störungen der Sprachproduktion verstanden werden), haben Eigenschaften, die Formulierungsprozessen ähneln.

Wenn sie durch einen Monitoring-Prozess bemerkt werden, können sie Reparaturen, also eine verbesserte Formulierung, auslösen.

Man kann aber bei genauerer Analyse auch noch weitere Charakteristika von Formulierungen erkennen. Bei der wissenschaftlichen Behandlung dominieren in der Vergangenheit Vorschläge zur Unterscheidung verschiedener Typen, eine Tradition, die bis auf Meringer & Mayer (1895) zurückreicht. Als Beispiel mag hier die Klassifikation von Schade (1992: 47 ff.) dienen.

*Ersetzung:*

Betrifft störende Elemente, die nicht zu einer der anderen Kategorien gehören.

*Antizipation:*

Vorwegnahme eines Segments, das an eine spätere Position gehört.

*Perseveration:*

Ein schon produziertes Äußerungselement wird wiederholt.

*Vertauschung:*

Segmente einer Äußerung tauschen ihre Position.

*Kontamination:*

Verschiedene an einer bestimmten Position mögliche Äußerungssegmente werden zu einer Einheit verknüpft.

Solche Klassifikationen sind an der sprachlichen Oberfläche orientiert und haben nur beschränkten Wert für das Verständnis der dahinter stehenden (Formulierungs-)Prozesse. Das gilt letztlich auch für die älteren Vorstellungen über den Einfluss von Aufmerksamkeitsdefiziten für die Bildung von Versprechern, z. B. aufgrund von Müdigkeit.

Etwas spezifischeren Erklärungscharakter haben sog. „Aktivationsflussmodelle“ und konnektionistische Modelle, und es ist besonders interessant, von diesen Modellen ausgehend den Fall der Antizipationen zu betrachten.

Ein Beispiel, das ohne größere Schwierigkeiten der Interpretation in die Rubrik der Antizipationen einzuordnen ist, findet sich bei Leuninger (1996: 84):

*„Als Rosa, als Hitler das rosa Kaninchen stahl.“*

Antizipationen setzen voraus, dass die entsprechende Information zu dem früheren Zeitpunkt, in dem sie in der Formulierung erscheint, verfügbar ist. Das ist möglich, wenn die Verarbeitung in einem entsprechenden Umfang über eine entsprechende Äußerungssequenz hinweg zeitlich parallel erfolgt. Bei Unterscheidung von Selektion in einer nicht seriellen Planungsphase und Exekution mit Serialisierung (Berg, 1988. und 2003) bzw. (etwas

technischer:) Aktivierung von Normknoten im Unterschied zu Kontrollknoten (Schade, 1992) ist das Problem vielleicht nicht unüberwindbar, bleibt aber neuronal schwierig, man vgl. zu konnektionistischen Modellen Teil 2, Abschnitt 2.2.3.

Es kann aber alternativ dazu auch damit gerechnet werden, dass stehengebliebene Spuren nicht nur des laut werdenden (Perseveration!), sondern auch des inneren Sprechens *Ursache* für Versprecher sind. Auf diese Weise kann seriell(!) kodierte Information, durch einen Gedächtnisprozess vermittelt, zu einem beliebigen Zeitpunkt, also auch verfrüht, für die schließlich laut werdend Produktion verfügbar sein. Es gilt also, dass innerlich vorangehend Vorformuliertes oder auch nur Gedachtes einen Einfluss auf eine aktuelle Äußerung haben kann. In einer Liste von 12 Versprecherbeispielen bei Berg (2003:253), die vor allem die Art der betroffenen linguistischen Kategorien demonstrieren sollten, gilt das für (1), (3), (5), (6), (7), (8), (11) und (12). Der Rest ist durch laut werdende Äußerungsbestandteile bedingt.

- (1) §Man *fühlt sich* immer so alt wie man — man ist immer so alt, wie man sich fühlt.
- (2) Kommen §Matthias und *Matthias* — Matthias und Bettina nicht?
- (3) §Wenn *Töte blicken* — wenn Blicke töten könnten!
- (4) Wie entstehen eigentlich §*Entsprecher* — Versprecher?
- (5) Es bringt mir viele §*Vorteilung* — Vorteile, die Anpassung an die Umwelt da.
- (6) Besten Dank §*einstweiter* — einstweilen Walter Meed.
- (7) Wir können ja 'n §*Fuckel* — Foto von Schuckel [Kosename] reinmachen.
- (8) Es herrscht weiterhin, was Genf §*betriep* — betrifft, das Prinzip Hoffnung.
- (9) Nur die Klinik ist ganz §*klah* — nah.
- (10) In kleinen §*Krüpp* — Grüppchen.
- (11) Was hat denn die §*Plau* — Klaumaus für Schuhe an?
- (12) §Zwei *Klieben* — zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen.

(In der Liste sind Fehler, die die Reparatur auslösen, kursiv wiedergegeben, zusätzlich zu dem Text bei Berg sind die Einsätze der Reparaturen durch § markiert.)

Der Hinweis auf mögliche Gedächtnisspuren des inneren Sprechens ist wesentlich weniger problematisch als die Lösung, die eine prozedurale Trennung von Selektion und Serialisierung bedeutet. Wenn man aber mit Spuren des inneren Sprachens rechnet, setzt man sprachlich ausgearbeitete Formulierungsvorgänge voraus. Mindestens ein Teil des Vorgangs bei Versprechern gehört dann mit zum Thema des Formulierens, auch wenn keine Reparatur erfolgt.

### 7.3.6 Probleme mit dem Zeitverlauf

Einige der Gegenstände, die man zum Thema „Formulieren“ rechnen möchte, bringen Probleme mit der Einschätzung des Zeitverlaufs mit sich. In besonders deutlicher Form gilt das für Versprecher und die dabei zu beobachtenden Pausen. Ein Beispiel aus einer Rundfunkansage:

*... Antonin Dvoržak und hören einige seiner sklavi — slavischen Tänze Opus 72*

Tombeispiel:

[Versprecher sklavi-slawisch](#)

(Die hier etwas verkürzte Tonspur ist als Bestandteil einer Sammlung im Internet unter [www.radiopannen.de/mp3/vs042.mp3](http://www.radiopannen.de/mp3/vs042.mp3) zu finden.)

Die Wellendarstellung liefert folgendes Bild:

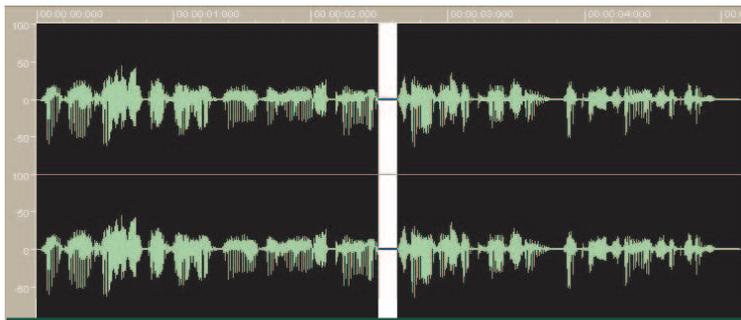


Abbildung 7.3.6–1: Wellendarstellung zu der wiedergegebenen Tonspur. Der weiße senkrechte Streifen markiert eine Pause.

Die Pause (weiße Markierung) nach dem Wortfragment *sklavi* ist 128 Millisekunden lang. Wenn man die Pause wegnimmt, entsteht *sklavislavischen* und das Verständnis des Satzes wird schwieriger (falls man sich eine Produktion, die dazu führt, überhaupt vorstellen kann).

Obwohl die Pause also von Bedeutung ist, werden solche Phänomene in den wissenschaftlichen Behandlungen von Versprechern in der Regel übergangen. Die klassischen Versprechersammlungen notieren kürzere Pausen nicht. Es braucht technische Hilfsmittel um sie zu messen, und es werden Tonaufzeichnungen vorausgesetzt, um überhaupt die Möglichkeit für solche Messungen zu haben. Versprecher werden aber meist zufällig gehört und nur wenn sie auffallen schriftlich festgehalten. Der Zeitverlauf bleibt dabei unberücksichtigt.

Ein ebenfalls die zeitliche Verarbeitung betreffendes Phänomen ist die Tatsache, dass die Fehleranfälligkeit mit Erhöhung der Sprechgeschwindigkeit zunimmt. Der Zungenbrecher

*Der Cottbuser Postkutscher putzt den Cottbuser Postkutschkasten*

kann bei sehr langsamer Sprechweise zuverlässig störungsfrei produziert werden. Das gilt schon nicht mehr bei normaler Sprechgeschwindigkeit. Versprechersammlungen, die für sprachwissenschaftliche Zwecke genutzt werden, müssten also genaugenommen auch systematisch die Sprechgeschwindigkeit festhalten.

Bei Formulierungsproblemen, auch abgesehen von Versprechern, können längere Pausen zwischen den einzelnen Formulierungsversuchen auftreten, und die Pausenlänge kann variieren. Das ist besonders für gesprochene Sprache (nicht so sehr für schriftlich fixierten Text) ein erklärungsbedürftiges Phänomen, besonders für den Gedächtnisbereich.

Man muss insgesamt feststellen, dass die Behandlung des Zeitverlaufs, obwohl die empirische Kontrolle aufwendig und mit Schwierigkeiten behaftet bleibt, für die Thematik des Formulierens ein wichtiger Aspekt ist. Das wird für die im folgenden Kapitel versuchte neuronale Modellierung von grundlegender Bedeutung sein.

## 7.4 Formulieren: Neuronale Prozesse

### 7.4.1 Syntaktische Probleme des Sprachverstehens

Wenn man die Kontrolle sprachlicher Produktion als „perceptual monitoring“ sieht, ist es wichtig, den Verstehensprozess etwas genauer zu beleuchten. Dabei haben in Hinblick auf Formulierungsprozesse (wegen der offenkundigen Verwandtschaft) Reparaturen und Versprecher eine besondere Bedeutung. Verstehensprozesse, die Reparaturen einschließen, sind auf syntaktischer Ebene in Teil 5 beschrieben worden. Versprecher sind, sofern sie korrigiert werden, Sonderfälle von Reparaturen, wie oben in Abschnitt 7.3.5 ausgeführt. Zweierlei ist dafür interessant: das die Reparatur einleitende Signal, also z. B. eine Pause, und die für Reparaturen typischen Startpunkte der Korrektursequenzen. Letztere sind oben in Abschnitt 7.3.4 in die Versprecherbeispiele aus Berg (2003: 253) eingetragen.

Die im Folgenden verwendete Demonstration bezieht sich auf den Ausschnitt der Nominalphrase des am Ende des vorigen Kapitels verwendeten Versprechers. Sie lautet:

*einige seiner sklavi ... slavischen Tänze*

Die syntaktische Kompetenzstruktur, die Basis dieser Nominalphrase ist, wird im Folgenden ohne weitere morphologische Analyse verwendet. Vollformen im Lexikon sind bei häufigen Einträgen möglich, es soll aber nicht behauptet werden, dass die hier verwendeten Wörter als Vollformen lexikalisiert sind. Der Verzicht auf die Ausarbeitung der Morphologie dient der Vereinfachung sowohl der syntaktischen Strukturen als auch der darauf basierenden Prozesse. Da die Syntax eher als aufzählend erscheint, entspricht der Ausschnitt nach der theoretischen Grundlegung von Teil 5, „Syntax“, der Abbildung 7.4.1–1:

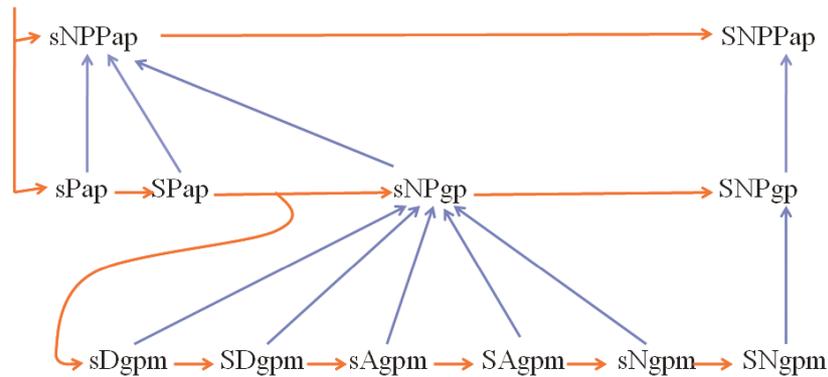


Abbildung 7.4.1-1: Syntaktische Basis der verwendeten Nominalphrase. Erläuterungen im Text.

Wie in den schematischen Darstellungen des Teils 5 ist in diesem Schema die Konstituentenstruktur als Struktur der erforderlichen sequenzenbildenden Zellen dargestellt. Die Bezeichnungen beginnen deshalb mit s bzw. S (letzteres jeweils für die zugehörigen Endelemente). Die Sequenzverbindungen sind rot, die im Verstehensprozess aktivierten hierarchischen Verbindungen blau ausgezeichnet. Die Sequenz beginnt mit einem Pronomen im Akkusativ Plural (sPap—SPap; Wortarten werden mit Großbuchstaben, Kasus und Numerus mit Kleinbuchstaben bezeichnet). Dann folgt ein Genitivattribut, also eine Nominalphrase. Für Nominalphrasen gilt die Kongruenzbedingung, das heißt die Übereinstimmung im Kasus (hier Genitiv), im Numerus (hier Plural) und im Genus (hier Maskulinum). Das Element *seiner* wird als Determinierer klassifiziert (sDgpm—SDgpm). Das Attribut besteht insgesamt in einer (bei fehlender Morphologie) nicht weiter hierarchisch strukturierten Sequenz. Eine ebenfalls wieder der Vereinfachung dienende Maßnahme ist der völlige Verzicht auf die Einbeziehung von Alternativen.

Die analog zu den Mustern in Teil 5, Kapitel 5.3, konstruierte neuronale Struktur (Bildschirmdarstellung) ist in Abbildung 7.4.1-2 wiedergegeben. Bemerkenswert gegenüber einer nur die Voraussetzungen zur Realisierung von Sequenzen und der Hierarchie der Konstituenten wiedergebenden neuronalen Struktur ist

- die Einbeziehung der Watchdogarchitektur,
- die Hinzufügung eines Top-down-Systems,
- die Wiederholungsmöglichkeit der Endelemente.

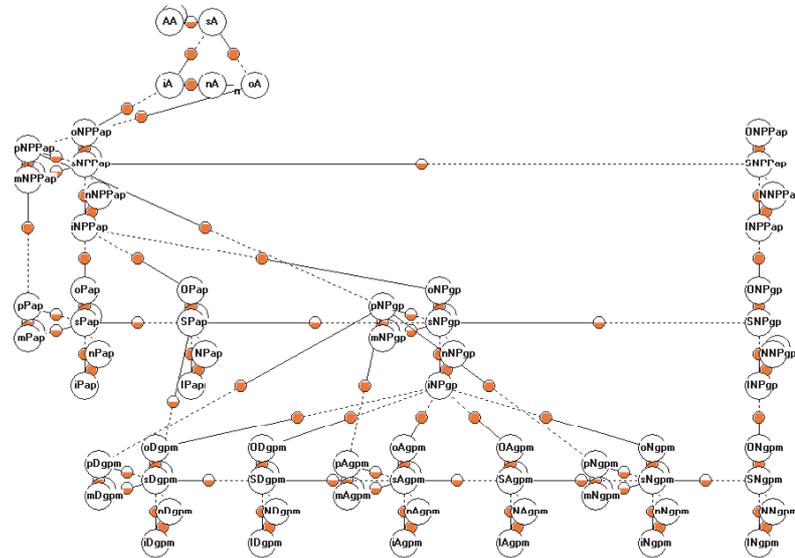


Abbildung 7.4.1-2: Bildschirmdarstellung des Anfangszustands der Simulationsarchitektur.

Die Begründung für die zugrundeliegenden Annahmen findet sich in Teil 5, Kapitel 5.4. Unter den dort beschriebenen Voraussetzungen verläuft die Analyse der hier zugrundegelegten Nominalphrase im Verstehensprozess zunächst bis zum Abbruch des fehlerhaften *sklavi* (das als Fragment einer lexikalischen Einheit behandelt wird) so, dass zusätzlich zu dem Nachvollzug der Konstituentenstruktur innerhalb des Top-down-Systems Aktivitätsspuren der verwendeten sequenziellen Zellen angelegt werden und zusätzlich ein gerade verwendetes Endelement eine Aktivationskraft behält. Die Watchdogstruktur wird dann durch die Pause erregt und löst einen Prozess aus, der bewirkt, dass unter Verwendung der vorhandenen Aktivitätsspuren mögliche Kontexte für eine Fortsetzung wiederhergestellt werden. Der erste Bestandteil der Fortsetzung wählt einen der Kontexte aus und löscht die weiter zurückliegenden.

Die Details dieser Vorgänge sind in der nun folgenden Simulation erkennbar. Sie verwendet dem Prinzip der lokalistischen Kodierung entsprechend einen Input aus einzelnen Impulsen in Zellen, die für jeden Laut des Äußerungsbeispiels die aktuelle syntaktische Funktion repräsentieren. Die Eingabedatei (enthält, abgesehen von Kommentaren, jeweils eine Zellidentifikation gefolgt von der Angabe des Zeittakts für die Erzeugung eines überschweligen Potentials in der betreffenden Zelle) ist:

st 20  
 einige  
 iPap 97 iPap 159 iPap 221 iPap 283 iPap 345 IPap 407  
 seiner  
 iDgpm 494 iDgpm 556 iDgpm 618 iDgpm 680 iDgpm 742  
 IDgpm 804  
 sklaavi  
 iAgpm 891 iAgpm 953 iAgpm 1015 iAgpm 1077 iAgpm 1139  
 iAgpm 1201 iAgpm 1263  
 Pause  
 slaaviSen  
 iAgpm 1427 iAgpm 1489 iAgpm 1551 iAgpm 1613 iAgpm 1675  
 iAgpm 1737 iAgpm 1799 iAgpm 1861 IAgpm 1923  
 täntse  
 iNgpm 2010 iNgpm 2072 iNgpm 2134 iNgpm 2196 iNgpm 2258  
 INgpm 2320  
 .

Simulation:

[Syntaktische Analyse](#) des Versprechers.

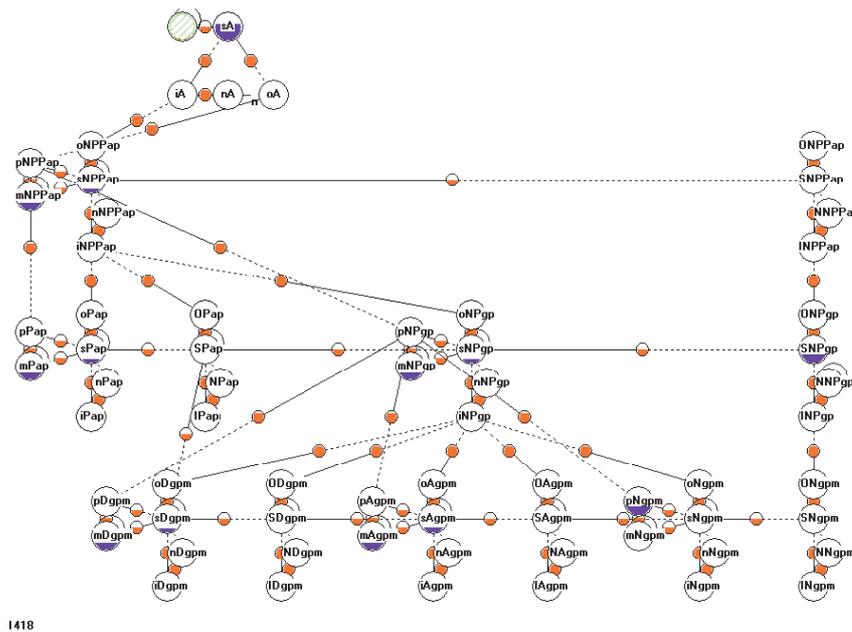
Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

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

Bemerkungen zum Verlauf der Simulation (nur markante Details werden aufgeführt):

- 20 ff. Setzen eines Anfangskontexts für *einige* und Start der Watchdogaktivität
- 97 ff. Von *iPap* ausgehende Aktivität, die Spuren in den Zellen des Top-down-Systems hinterlässt, außerdem entstehen Erwartungspotenziale in den aktiven sequenzenbildenden Zellen und den zugehörigen Endelementen.
- 114 ff. Watchdoginput über *iA* verhindert einen Watchdogoutput.
- 121 ff. Auffrischen der Pegel des Top-down-Systems.
- 412 ff. Das Endelement *SPap* bildet den Kontext für *seiner*.
- 494 ff. Beginn der Bearbeitung von *seiner*. Von den Erwartungspotenzialen abgesehen werden neue Spuren in *mDgpm*, *pDgpm*, *mNPgp* und *pNPgp* gebildet.

- 529 ff. Auffrischen der Pegel des Top-down-Systems.
- 804 ff. Das Endelement *SDgpm* bildet den Kontext für ein Adjektiv im Genitiv Plural Maskulinum.
- 892 ff. Beginn der Bearbeitung des Fragments *sklavi*, neue Spuren im Top-down-System sind *mAgpm* und *pAgpm*.
- 1394 Feuern des Watschdogs nach Abbruch des Inputs von *sklavi*. Zu diesem Zeitpunkt gibt es kein „zuletzt aktiviertes Endelement“, es gibt also nur Pegel im Top-down-System, nicht auch in der sequenzbildenden Zelle eines Endelements.
- 1418 Ein Kontext ist wiederhergestellt, der die sequenzbildenden Zellen *sNPPap*, *sNPgp*, *sPap*, *sDgpm* und *sAgpm* umfasst. Siehe unten Abbildung 7.4.1–3.
- 1427 Beginn der Reparatur.
- 1500 ff. Zurückliegende Kontexte sind gelöscht, das heißt, die Reparatur an ihrer Ansatzstelle hat sich durchgesetzt, die Spurenbildung im Top-down-System beginnt ab dieser Ansatzstelle neu.



1418

Abbildung 7.4.1–3: Bildschirmdarstellung in Zeittakt 1418

## 7.4.2 Verlaufskontrolle bei der Produktion und Reparatur von Versprechern: Grundlagen

Wenn man erwartet, dass eine Reparatur (z. B. bei Versprechern) syntaktisch korrekt sein sollte, muss ein korrekter syntaktischer Anknüpfungspunkt gewählt werden. Das gilt für alle in Abschnitt 7.3.5 wiedergegebenen Beispiele aus Berg (2003). Vorausgesetzt werden Mechanismen wie in 7.4.1 beschrieben, Alternativen sind nicht bekannt. Diese Mechanismen beziehen sich aber auf den Verstehensprozess, jedenfalls zunächst nicht auf die Produktion. Der Produktionsvorgang setzt zusätzliche Überlegungen voraus, die vor allem die Beteiligung des sprachlichen Lexikons betreffen.

### *Grundsätzliches zum Zusammenhang von Produktion und Perzeption*

Die Kontrolle der laufenden sprachlichen Produktion, wie sie bei Versprechern und deren Korrektur anzunehmen ist, setzt nach Levelts Idee des „perceptual monitoring“ einen Signalverlauf voraus, der in die Perzeptionsstrukturen einmündet. Es ist dabei, wenn eine Doppelung der Kompetenz vermieden werden soll, mit Rücksicht auf den Spracherwerb erforderlich, dass Produktion und Perzeption parallel strukturiert sind, das heißt, sich im Wesentlichen in der Verlaufsrichtung der Signale unterscheiden, nicht in inhaltlichen Punkten. Das bedeutet neuronal gesehen allerdings die notwendige Annahme unterschiedlicher Bahnen für Produktion und Perzeption. Da die Perzeption der Produktion in den erforderlichen Lernprozessen vorausgeht, das heißt, Versuchs-Irrtums-Prozesse auf elementarer Ebene für den Spracherwerb nicht grundlegend sind, müssen aber die in Perzeptionsrichtung arbeitenden Strukturen prinzipiell auch für die Strukturierung der Produktion maßgebend sein.

Eine (negative) Konsequenz ist, dass die peripheren Bestandteile von Audition und Motorik nicht in den Monitoringprozess einbezogen sind, da die Bahnsysteme anatomisch und in ihrer Funktion, vor allem was die Lernvorgänge angeht, getrennt sind. Die „Einmündung“ der Produktion in das sie überwachende Perzeptionssystem muss relativ weit innen erfolgen, und zwar, wegen der dafür erforderlichen Lernvorgänge, in Bereichen, die Lernen ermöglichen. Das sind die wesentlichen Voraussetzungen für die Konstruktion der Rückspiegelungsebene in Teil 2, Abschnitt 2.5.3. Ein Modell, das sich mit prinzipiellen Prozessen der Produktionskontrolle beschäftigt, kann sich (positive Konsequenz) auf den Bereich oberhalb der Rückspiegelungsebene und diese Ebene einschließend beschränken.

### Die Lexikonstruktur

Die Lexikonstrukturen sind wegen der erforderlichen Lernprozesse auf jeden Fall einzubeziehen, und ihre Funktion bestimmt auch den Verlauf des Monitoring.

Für die lexikalische Perzeption und Produktion ergibt sich nach der Argumentation in Teil 4, Abschnitt 4.4.4, die auch schon in Teil 5 wiedergegebene Grundstruktur der Abbildung 7.4.2-1.

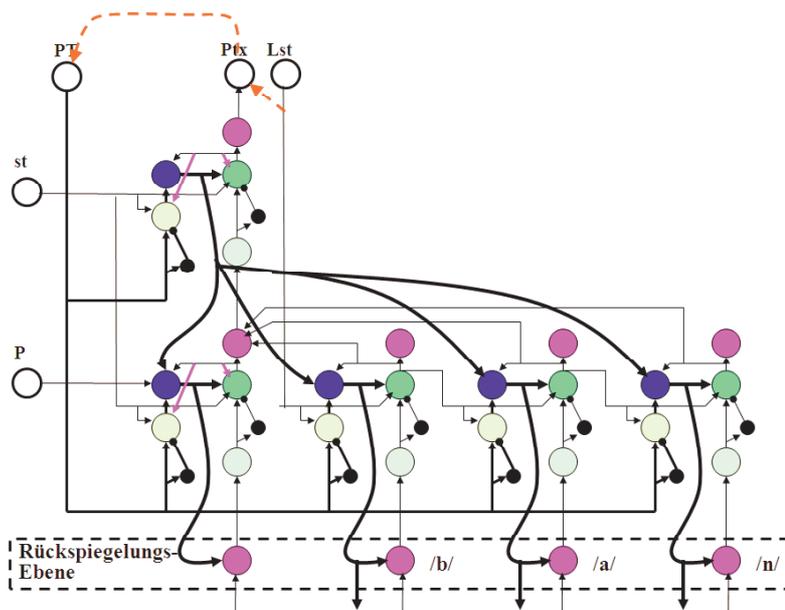


Abbildung 7.4.2-1: Beispiel einer Struktur für Perzeption und Produktion von *ban*, angepasst nach Teil 4, Abbildung 4.4.4-2

Die für die Produktion erforderlichen Verbindungen sind fett schwarz dargestellt.

Die Darstellung der Abbildung 7.4.2-1 ist insofern eine Vereinfachung, als die Repräsentation des Lexikoneintrags als lineare, unverzweigte Sequenz erscheint. In Wirklichkeit muss man in typischen Fällen eher an einen Weg durch ein (baumförmiges) Labyrinth von Verzweigungen denken, die in der Produktion jeweils über Top-down-Verbindungen gewählt werden und in ihrer Folge den Pfad bilden. Solche baumförmigen Strukturen entstehen durch Lernvorgänge wie in dem aus Teil 4, Abschnitt 4.3.2, übernommenen Beispiel der Abbildung 7.4.2-2:

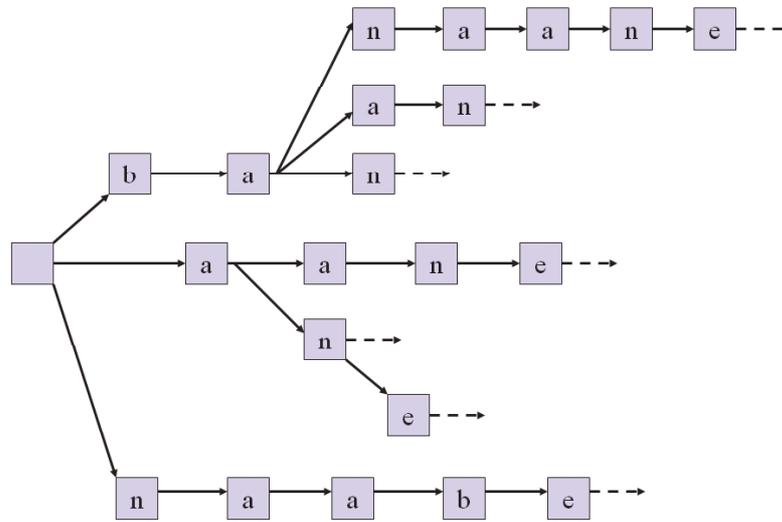


Abbildung 7.4.2-2: Ausdrucksseitige Baumstruktur

Repräsentiert sind die Ketten

b - a - n (Bann)

b - a - a - n (Bahn)

b - a - n - a - a - n - e (Banane)

a - n (an)

a - n - e (Anne)

a - a - n - e (Ahne)

n - a - a - b - e (Nabe).

Zusätzlich ist zu bedenken, dass die Bottom-up-Verbindungen zur Repräsentation der lexikalischen Bedeutung nicht erst vom Ende eines ausdrucksseitigen Pfads ausgehen können. Aus den Beobachtungen, die zu dem Kohortenmodell von Marslen-Wilson geführt haben, ergibt sich, dass beliebige Teilketten, also letztlich einzelne phonologische Elemente, solche Verbindungen haben müssen. Bei der Produktion wird der Weg durch den Baum durch den zu äußernden Inhalt festgelegt. Die Simulation von Lernprozessen in Teil 4 zeigt, dass eine apparative Trennung des inhaltlichen von dem lautlichen Bereich erforderlich ist (vgl. dort Abschnitt 4.4.2).

Während die Verbindungen, die bei Produktionsprozessen aktiviert werden, von P-Zellen ausgehen, führen die in Perzeptionsrichtung verwendeten Verbindungen, die von sequenzenbildenden Zellen ausgehen zu ODER-Zellen.

Die Bezeichnung eines Bereichs als „Rückspiegelungsebene“ meint, dass Strukturen vorhanden sind, die eine Rückspiegelung leisten, ohne dass architektonische Details impliziert sind.

#### *Ableitung des Produktionstakts*

Die rot gestrichelten Verbindungen in Abbildung 7.4.2–1 dienen der Generierung des Takts für die lexikalische Produktion auf der Basis der Rückmeldung, entsprechend den Entwürfen in Teil 4, Abschnitt 4.4.4. Grundlage ist die doppelte Aktivierung der obersten ODER-Zelle in der Repräsentation der Bedeutung, die nur in der Produktion, nicht im Perzeptionsvorgang zu beobachten ist. Sie entsteht dadurch, dass im Produktionsvorgang sowohl die Bedeutung, als auch die Abfolge der phonologischen Segmente einer lexikalischen Einheit einen Rückspiegelungsvorgang auslösen. Es liegt also nahe, die Doppelung zur Generierung des Produktionstakts heranzuziehen, während eine einfache Aktivierung im Perzeptionsfall wirkungslos bleibt. Die erforderliche Verknüpfung der Aktionspotenziale wird in Abbildung 7.4.2–1 durch die Zelle *Ptx* geleistet.

#### *Das Wortartenproblem*

Produktion und Perzeption, soweit sie, wie die Darstellung in Abbildung 7.4.2–1, syntaktische Funktionen nicht berücksichtigen, beziehen die Wortartenkategorien nicht ein. Sie werden relevant, sobald man den Zusammenhang von Lexikon und Syntax zu modellieren versucht, wie für den Monitoringprozess bei der Sprachproduktion erforderlich. Die in der Simulation des Abschnitt 7.4.1 vorausgesetzten Inputkategorien können als elementare Wortartenkategorien aufgefasst werden. Es muss also geklärt werden, wie die Wortarten lexikalisch repräsentiert werden.

Eine zunächst nahe liegende Möglichkeit ist, anzunehmen, dass die Semantik die Basis der Wortarteninformation ist, und damit (vereinfachend) der *semantische* Output der Lexikonstruktur direkt dem syntaktischen Monitoring unterworfen werden kann.

Dazu ist zu beachten, dass Wortbedeutungen im Spracherwerb unabhängig von den Wortformen erworben werden können. In Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ werden entsprechende Lernprozesse beschrieben.

Ein die Verarbeitung ermöglichender Zusammenhang von Wortbedeutung und Wortform setzt aufgrund der lokalistischen Kodierung eine Zuordnung von Phonemsequenz und Wortbedeutung voraus, wie in Abbildung 7.4.2–1 skizziert. Für die Wortarteninformation gilt, wie für die Wortbedeutung,



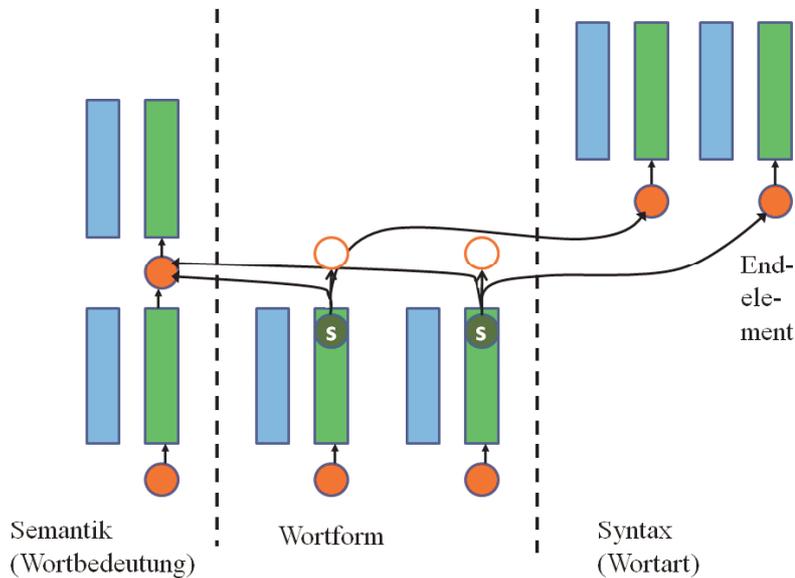


Abbildung 7.4.2–4: Zusammenhang von Wortbedeutung, Wortform und Wortart. Erläuterungen im Text.

Eine Besonderheit ist, dass die sequenzenbildenden Zellen der Wortform, Ausgangspunkt der Wortartinformation sind. Die Möglichkeit, dafür die ohne Flächenfärbung dargestellten ODER-Zellen zu verwenden, würde für Lernvorgänge zweierlei Probleme mit sich bringen, verursacht durch mögliche Zielzellen der Verbindung:

- Eine Verbindung mit instanzbildenden Zellen würde wegen der Eigenschaften dieses Zelltyps eine unerwünschte UND-Verknüpfung zwischen Informationen, die unterschiedlichen Wortarten entsprechen, nicht ausschließen.
- Eine Verbindung mit ODER-Zellen, die für den Spracherwerb potenzielle ODER-ODER-Verbindungen voraussetzen müsste, würde Endlosschleifen und damit epileptische Anfälle riskieren.

Die Verzweigung des Outputs der sequenzenbildenden Zellen (abgesehen von den lokal mit der Gewährleistung der Sequenz erforderlichen Verbindungen) einerseits in den Bereich der Inhalte, andererseits in den Bereich der syntaktischen Kategorien wird auch in Teil 5, „Syntax“, Abschnitte 5.5.3 und 5.5.5 verwendet und in Kochendörfer (2002) und sowie Teil 8, „Spracherwerb“, begründet.

*Funktion von Top-down-Strukturen*

Die Top-down-Strukturen dienen im lexikalischen Bereich der Produktion der lautlichen Sequenzen. Wenn man mit einer Syntax rechnet, die den Vorstellungen des Abschnitts 7.4.1 entspricht, verbietet sich dort eine entsprechende Funktion. Die Syntax kann nicht so funktionieren, dass von einer Spitze aus top-down-gesteuert syntaktische Strukturen mit entsprechenden lexikalischen Realisierung generiert werden. Die lexikalische Hypothese von Levelt, die von einer steuernden Funktion der Lexikoneinträge ausgeht (siehe auch unten Abschnitt 7.4.4), vermeidet bewusst diese Möglichkeit. Damit entfallen auch Strukturen, die eine Top-down-Verbindungen zwischen den Top-down-Strukturen der Syntax und denen des Lexikons über die Wortartkategorien herstellen würden. Wortartinformationen werden also nur bottom-up repräsentiert. Sie haben ausschließlich eine Funktion bei der Kohärenzkontrolle.

Wenn man den Input der in der Simulation des Abschnitts 7.4.1 verwendeten Struktur als Wortartinformation sieht, ergibt sich die nahe liegende Annahme einer Identifikation (das heißt die Annahme entsprechender Verbindungen) der Wortartrepräsentationen des Lexikons mit dem Input der syntaktischen Kontrolle. Die von Levelt angenommene Verbindung von Produktion und Perception kann dann konsequenterweise darin bestehen, dass für die Perception und das dadurch realisierte Monitoring die syntaktische Struktur des Abschnitts 7.4.1 steht.

### 7.4.3 Verlaufskontrolle bei der Produktion und Reparatur von Versprechern: Simulation

Die Simulation ist in zwei Phasen aufgeteilt:

- Die lexikalische Phase, die mit der Aktivierung der Wortarteninformationen endet und
- die syntaktische Phase, die mit den Wortarteninformationen beginnt.

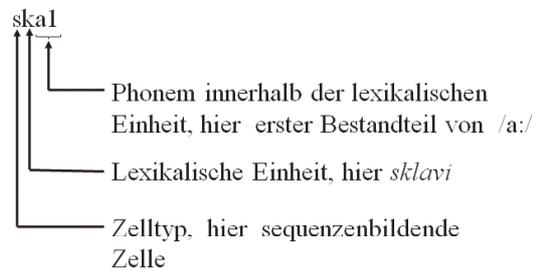
Die syntaktische Phase ist vollständig identisch mit der oben in Abschnitt 7.4.1 verwendeten Simulation, die Wortarteninformationen sind dort als Input einbezogen. Es ist also überflüssig, eine separate Simulation vorzusehen.

Die lexikalische Simulation verwendet eine Architektur, die ausschnittsweise in der folgenden Bildschirmdarstellung wiedergegeben ist.



Die Bildschirmdarstellung entspricht den Architekturprinzipien von Abbildung 7.4.2–1. Um die Darstellung überschaubar und interpretierbar zu halten sind nur die Lexikonstrukturen von *sklavi[schen]* (nur das tatsächlich produzierte Fragment ist dargestellt, das neuronale Lexikon repräsentiert die gesamte Wortform) und *slavischen*, außerdem die für die Ablaufsteuerung allgemein erforderlichen Zellen *lst*, *ptx* und *pt*, und die Zellen für die Wortarteninformationen (mit zugehörigen Verbindungen) *iPap*, *IPap*, *iDgpm*, *IDgpm*, *iAgpm*, *IAgpm*, *iNgpm* und *INgpm* wiedergegeben. Zur Interpretation der Symbolik vgl. man Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.1.4.

Die für die Lexikoneinträge spezifischen Zellidentifikationen, von den Wortarten abgesehen, sind nach dem folgenden Schema konstruiert:



Die Identifikation der entsprechenden sequenzenbildenden Zelle in der Repräsentation von *slavischen* ist *sla1*.

Die in der Simulation verwendete Eingabedatei lautet:

```
steini 10 pEINI 15 lst 40
*** 407
stsein 407 pSEIN 412 lst 437
*** 804
stklav 804 pKLAV 809 lst 834
*** 1263
stlavi 1340 pLAVI 1345 lst 1370
*** 1923
sttänz 1923 pTÄNZ 1928 lst 1953
*** 2320
.
```

Die Eingabe von st[plus Spezifizierung] setzt einen Kontext, entsprechend der Zelle *st* in Abbildung 7.4.2–1. Die Zelle *p*[plus Spezifizierung] aktiviert

die Repräsentation der jeweiligen Wortbedeutung, *lst* bewirkt den Start der lexikalischen Ausdrucksseiten. Nach jeder auf diese Weise initialisierten Lexikonaktivität wird mit **\*\*\*** ein Simulationsstopp definiert, der auf die Endelemente *IPap*, *IDgpm*, das Ende des Fragments *sklavi*, *IAgpm* und *INgpm* führt. Diese Stopps können zur Beschleunigung der Gesamtsimulation verwendet werden.

Die Eingabedatei enthält, abgesehen von dem unspezifischen Lexikonstart, nur Informationen, die der inhaltlichen Ebene der Lexikonrepräsentation zuzuordnen sind. Der gesamte Vorgang, also einschließlich der syntaktischen Phase, kann als inhaltlich gesteuert angesehen werden.

Simulation:  
**Lexikalischer Verlauf** des Versprechers.  
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.  
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten) oder die Verwendung der Stopps gesteuert werden.

Bemerkungen zum Verlauf:

Zeittakt	Kommentar
10	Kontext für <i>einige</i> wird gesetzt. Da der Simulationsbildschirm auf die Wiedergabe des Lexikonausschnitts <i>sklavi + slavischen</i> begrenzt ist, wird der Effekt nicht sichtbar.
15	Die Repräsentation des Inhalts von <i>einige</i> wird aktiviert, der Effekt bleibt ebenfalls im Hintergrund.
40 ff.	Start des ausdrucksseitigen Lexikoneintrags. Da der Lexikonstart nicht für einen bestimmten Eintrag spezifisch ist, wird das Feuern der Zelle <i>lst</i> und die unterschwellige Wirkung bei den damit verknüpften Zellen <i>sk</i> , <i>mk</i> , <i>sl</i> und <i>ml</i> , die eigentlich zu <i>sklavi</i> bzw. <i>slavischen</i> gehören, sichtbar.
44	Die von <i>lst</i> überschwellig erregte Zelle <i>ptx</i> , die der Erzeugung des Produktionstakts dient, feuert.
60 ff.	Die Zelle <i>pt</i> feuert und löst überschwellige Erregungen auf den hemmenden Zellen <i>Nks</i> usw. und auf <i>Nls</i> usw., sowie den bereits unterschwellig erregten Zellen <i>mk</i> und <i>ml</i> aus.
67 ff.	Es bleiben unterschwellige Erregungen auf <i>pks</i> , <i>pls</i> , <i>sk</i> und <i>sl</i> übrig.

Zeittakt	Kommentar
95	Die Zelle <i>ptx</i> wird von der obersten ODER-Zelle der Wortbedeutung von <i>einige</i> ( <i>oeini</i> , im Hintergrund, nicht sichtbar) unterschwellig erregt.
97 f.	Die Zelle <i>iPap</i> wird überschwellig erregt und feuert, das heißt, dem aktuellen phonologischen Segment des Lexikoneintrags ist die Wortartinformation zugeordnet, die den Input für die syntaktische Kontrolle bildet.
105	Das Potenzial in <i>ptx</i> wird durch eine zweite Erregung von <i>oeini</i> überschwellig ergänzt und führt in Zeittakt 122 zur Bildung eines neuen Produktionstakts, der die für Zeittakt 60 ff. beschriebenen Konsequenzen, aber ohne die überschwellige Erregung von <i>mks</i> und <i>mls</i> auslöst.
160 ff.	Der Zyklus, bestehend aus unterschwelliger Erregung von <i>ptx</i> , Feuern von <i>iPap</i> , überschwelliger Ergänzung des Potenzials von <i>ptx</i> und Produktionstaktbildung wiederholt sich für jedes Sequenzelement des Lexikoneintrags. Das Endelement erregt statt <i>iPap</i> die Zelle <i>IPap</i> .
407	Beginn der Bearbeitung von <i>seiner</i> nach demselben Muster. Die zugehörigen Wortartinformationen <i>iDgpm</i> und <i>IDgpm</i> feuern entsprechend der Abfolge der Sequenzelemente.
804 ff.	Beginn der Bearbeitung des Fragments <i>sklavi</i> . Die bisher im Hintergrund gebliebenen Vorgänge werden jetzt in der Bildschirmdarstellung entsprechend Abbildung 7.4.3–1 sichtbar. Der durch den Input von <i>stklav</i> erzeugte Kontext besteht in den unterschweligen Potenzialen der Zellen <i>sklav</i> und <i>sKLAV</i> ( <i>ptx</i> hat einen funktionslosen Potenzialrest aus den vorangegangenen Vorgängen).
810 ff.	Der Input von <i>pKLAV</i> löst über die Verbindung mit OKLAV die der Bedeutung von <i>sklavi</i> [...] entsprechende Vorstellung aus, das heißt, dass sich eine in Wahrnehmungsrichtung, also bottom-up verlaufende Erregungsabfolge bis zu der ODER-Zelle <i>oklav</i> ergibt, die auch die für die Weiterverarbeitung erforderlichen Kontexte in <i>pKLAV</i> , <i>mKLAV</i> , <i>pklav</i> , <i>mklav</i> , <i>sKLAV</i> und <i>sklav</i> erzeugt.
834 ff.	Der Input von <i>lst</i> bringt, da unspezifisch, wieder die unterschwellige Aktivierung von <i>sks</i> , <i>mks</i> , <i>sls</i> und <i>mls</i> und das Feuern von <i>ptx</i> .
854 ff.	Die Zelle <i>pt</i> feuert. Zusätzlich zu den oben bei Zeittakt 60 beschriebenen Konsequenzen feuern jetzt auch <i>mklav</i> und <i>mKLAV</i> aufgrund des vorhandenen Kontextpegels.

Zeittakt	Kommentar
862	Die Zelle <i>pklav</i> feuert, erregt durch <i>mklav</i> , und bringt in der Folge auch <i>pKLAV</i> und etwas später auch <i>pks</i> zum Feuern. Die beiden P-Zellen lösen dann je für sich eine Ersatzwahrnehmung aus, die bottom-up über die voraktivierten sequenzenbildenden Zellen mit Erzeugung des Kontexts für die Wiederholung schließlich die Zelle <i>oklav</i> erreicht. Das Zeitverhältnis ist so, dass zunächst die Vorstellung der Bedeutung aktiviert wird, anschließend die Repräsentation der mit der Bedeutung verknüpften Wortform. Das ist nach den Überlegungen oben 7.4.2 die Voraussetzung für die innere Erzeugung des Produktionstakts. Die Ersatzwahrnehmung der Phonemeinheit bewirkt außerdem die Voraktivierung der Folgeeinheiten (hier <i>skk</i> und <i>mkk</i> ) zur Gewährleistung der Sequenz und bringt die Zelle zur Repräsentation der Wortart, also <i>iAgpm</i> , zum Feuern.
899 ff.	Summation der mit zeitlichem Abstand von <i>oklav</i> her eintreffenden Erregungen und Feuern von <i>ptx</i> . Anschließend Erzeugung des Produktionstakts <i>pt</i> . Die ab Zeittakt 854 beschriebenen Vorgänge wiederholen sich bis zum Abbruch des Fragments.

[Wir übergehen an dieser Stelle zunächst die Begründung des Abbruchs und die Vorgänge, die zum Neuansatz führen.]

Zeittakt	Kommentar
1340 ff.	Beginn der Bearbeitung von <i>slavischen</i> , das Verfahren entspricht analog dem bei der Bearbeitung des Fragments <i>sklavi</i> . Die Äußerungssequenz wird bis zum Erreichen des Endelements durchgeführt. Das Endelement liefert als Repräsentation der Wortartinformation <i>IAgpm</i> .
1923	Beginn der Bearbeitung von <i>Tänze</i> .
2320	Abschluss mit Erreichen des Endelements und Repräsentation der Wortartinformation durch <i>INgpm</i> .

Wenn eine Pause entsteht, die zu syntaktischen Reparaturen führt, wie oben in Abschnitt 7.4.1 beschrieben, muss die Ursache darin bestehen, dass Wortarteninformationen verzögert eintreffen bzw. für ein Intervall von mehr als ca. 95 Millisekunden aussetzen. Wortarteninformationen werden nach den hier entwickelten Vorstellungen pro phonologischem Segment durch die lexikalischen Ausdrucksseiten produziert. Ihr Ausbleiben kann unterschiedliche Ursachen haben. In unserem Beispiel ist besonders bemerkenswert, dass offenbar ein Grund vorliegt, der in einer inhaltlichen Unstimmigkeit besteht.

Man würde also vielleicht annehmen, dass eine außerhalb(!) der Lexikonstruktur angesiedelte inhaltliche Kontrolle zu einem Abbruch von *sklavischen* nach der Produktion des /i/ führt. Wie diese inhaltliche Kontrolle aussehen könnte, ist unklar.

Man beachte nun aber, dass die Inhaltseite eines Lexikoneintrags bei der Produktionssteuerung ständig beteiligt sein muss. Da die Produktion der Rückspiegelung vorausgeht, ist es möglich, dass zwar die Produktion (im Beispiel die des /i/) aufgrund einer vorangehenden Kontextfestlegung funktioniert, die Rückspiegelung aber einen veränderten Kontext voraussetzt und also an der vorangegangenen Festlegung scheitert. Das entspricht der in Abbildung 7.4.3–2 skizzenhaft dargestellten Situation. Die Rückspiegelung kann, weil die bei der Generierung des Produktionstakts vorausgesetzte doppelte Erregung von *ptx* ausbleibt, nicht zu einer ungestörten Fortsetzung der Äußerungssequenz führen. Es entsteht eine Pause. In der Simulation wird diese Wirkung vereinfachend dadurch erreicht, dass die Rückspiegelungsverbindung von *ski* auf *oKLAV* weggelassen ist während die Verbindung zur Wortartinformation erhalten bleibt.

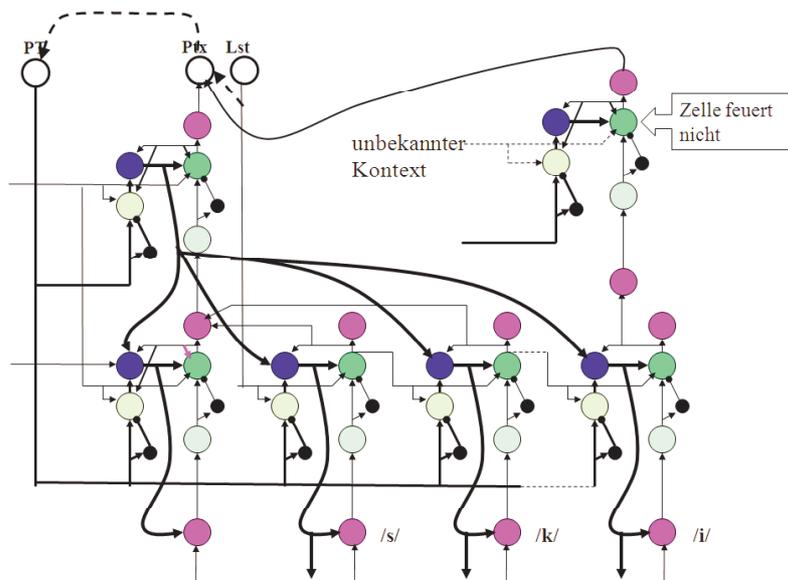


Abbildung 7.4.3–2: Situation, die zur Entstehung einer die syntaktische Kontrolle aktivierenden Pause führt.

Wenn man in dem Beispiel des Dvoržak-Textes die Pause wie in Abbildung 7.4.3–3 künstlich wegnimmt (die als kleinere Pausen erscheinenden Stre-

cken in der Abbildung entstehen technisch durch energiearme Laute), wird das Verstehen komplizierter. Es wird ein Adjektiv *sklavislavischen* vorausgesetzt, das im Lexikon eines Hörers nicht existiert. Das Fragment *sklavi* ist als Bestandteil von z. B. *Sklavin* bzw. von *sklavisch* wahrscheinlich durchaus vorhanden und kann dementsprechend störungsfrei bearbeitet werden (auch die substantivische Interpretation ist möglich). Die Verlängerung durch *slavischen* scheitert aber. Das führt syntaktisch zu einer längeren Pause, die der Dauer von *slavischen* entspricht. Eine von der syntaktischen Kontrolle vorgeschlagene Fortsetzung zur Korrektur des Fehlers ersetzt dann das Adjektiv durch das substantivische *Tänze*, nicht durch *slavischen*.

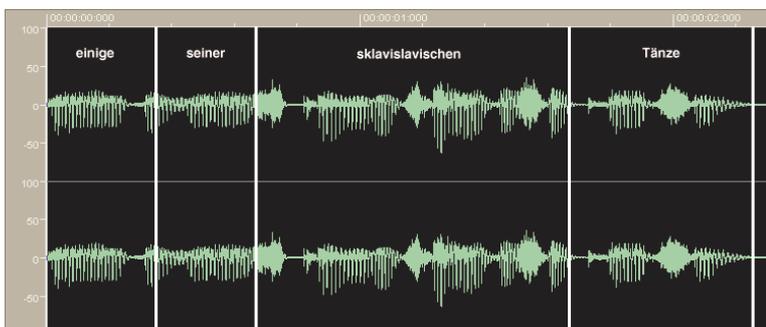


Abbildung 7.4.3–3: Wellendarstellung ohne Pause, die Wortgrenzen sind durch senkrechte Striche markiert.

Der Neustartpunkt für die Fortsetzung mit *slavischen* ist nicht etabliert, *blabla Tänze* wird verstanden. Hier könnten dann auch Kurzzeitgedächtnisprozesse durch Wiederholung des akustischen Phänomens (sofern die erforderliche Zeit zur Verfügung steht) eine Rolle spielen.

In Abschnitt 7.3.6 ist darauf hingewiesen worden, dass nicht nur die Entstehung von Pausen bei der Produktion und dem Verstehensprozess eine wichtige Funktion hat, sondern auch allgemein die Sprechgeschwindigkeit. Veränderungen der Sprechgeschwindigkeit können zur Entstehung von Störungen führen, die unter entsprechenden Bedingungen als Versprecher klassifiziert werden können.

Der Zungenbrecher

*der Kottbuser Postkutscher putzt den Kottbuser Postkutschkasten*

kann bei Produktion einzelner Wörter in größeren Abständen vom Autor noch mit einer Geschwindigkeit von durchschnittlich ca. 50 Millisekunden pro Lauteinheit fehlerfrei produziert werden. Bei einer höheren Geschwindigkeit ergeben sich Fehler.

Wenn man ersatzweise die Dateien des Versprecherbeispiels verwendet und bei unverändertem Abstand der Wörter nur die Frequenz des Produktionstakts erhöht, ergeben sich ab eines Produktionstaktabstands von 52 Millisekunden noch keine Störungen:

Simulation:  
**Lexikalischer Verlauf** bei Reduktion des Produktionstaktabstands auf 52 Zeittakte.  
**Syntaktischer Verlauf** bei Reduktion des Produktionstaktabstands auf 52 Zeittakte.  
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.  
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten) gesteuert werden.

Bei 51 Millisekunden ergibt sich der gestörte Verlauf der folgenden Simulation:

Simulation:  
**Lexikalischer Verlauf** bei Reduktion des Produktionstaktabstands auf 51 Zeittakte.  
**Syntaktischer Verlauf** bei Reduktion des Produktionstaktabstands auf 51 Zeittakte.  
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.  
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste (ggf. festhalten) gesteuert werden.

In Zeittakt 757 feuert der Watchdog bei der syntaktischen Kohärenzprüfung vor Erreichen des Wortendes. Eine Fortsetzung wäre nur mit *iDgpm* oder *iPap* möglich. Stattdessen liefert das Lexikon in Zeittakt 880 den Output *iAgpm* und die folgenden lexikalischen Outputs passen nicht mehr in die begonnene syntaktische Struktur.

Produziert wird *einige sein....skla....sla....Tänt*. Man beachte, dass die Voraussetzung für dieses Produkt (unrealistisch!) ein normaler Abstand zwischen den Wörtern ist. Die entstehenden Typen von Versprechern, sind auch deshalb schwer im Vergleich mit der Realität zu beurteilen, da dort mit schwankenden Zeitabläufen und unterschiedlichen Problemen bei der lexikalischen Auswahl zu rechnen ist.

#### 7.4.4 Formulierungsvorgänge

Für das Verständnis von Formulierungsvorgängen ist grundlegend, dass man sich klar macht, in welchem großem Umfang Parallelverarbeitung im Gehirn stattfindet. Formulierungsalternativen werden durch gleichzeitig aktivierte

Kontextverbindungen (Sequenzverbindungen) repräsentiert. Formulierungsalternativen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt bestehen und noch nicht ausgeführt sind, bieten sich als parallel zur Verfügung stehende Möglichkeiten an. Der Formulierungsvorgang wird dadurch insofern erleichtert, als nicht eine passende Alternative durch eine Reihe von aufeinanderfolgenden Versuchen ermittelt werden muss, sondern dass unter den verfügbaren Alternativen eine passende sofort aktiviert werden kann. Das gilt für die Auswahl von Fortsetzungsmöglichkeiten, die durch das syntaktische Monitoring angeboten werden, aber auch für die inhaltliche Ebene auf der ebenfalls verzweigende Kontextverbindungen anzunehmen sind.

Die Details der Simulation von Abschnitt 7.4.3 gelten zunächst nur für Korrekturen von Versprechern, die mit willentlichen Wortabbrüchen verbunden sind.

Gesprochene Sprache enthält typischerweise auch Korrekturen, die nicht als Versprecher klassifiziert werden können, sondern durch andere „Störungen“ des Produktionsprozesses hervorgerufen werden. Nach der lexikalistischen Hypothese von Levelt steht am Beginn des Produktionsprozesses die semantisch gesteuerte lexikalische Auswahl, die dann ihrerseits die erforderlichen formalen (syntaktischen) Konsequenzen hat. Levelt (1989:181; man vgl. auch Teil 5, Abschnitt 5.5.2):

„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.“

Wenn man diese Hypothese akzeptiert, ergibt sich, auf das neuronale Modell übertragen, eine gute Übereinstimmung mit den in dem Versprecherbeispiel angenommenen Vorgängen. Eine semantisch stimmige Wortwahl bedeutet zunächst, dass die Kombination der semantischen Merkmale zu dieser Wahl geführt haben. Zusätzlich wird ein passender Kontext vorausgesetzt. Unter diesen Bedingungen kann dann, wie im vorigen Abschnitt beschrieben, ein Produktionstakt generiert werden, der zum Ablauf der lexikalischen Produktion bis zu einem Endelement führt. Voraussetzung ist allerdings, dass auch die mit einer lexikalischen Einheit verknüpften syntaktischen Informationen in den Satzkontext passen. Die syntaktische Information (= Wortart) wird, genau so wie die Semantik, fortlaufend, das heißt entlang der lautlichen Struktur, überprüft. Unstimmigkeiten führen in beiden Fällen dazu, dass Pausen entstehen, entweder durch Scheitern der Erzeugung eines Produktionstakts oder durch Aussetzen einer passenden

Fortführung der syntaktischen Sequenz. Eine nach der Inkohärenz folgende Fortsetzung des Produktionsprozesses wird dann durch die nach dem Muster der Simulation in Abschnitt 7.4.1 angebotenen syntaktischen Möglichkeiten und die zur Verfügung stehenden semantischen Konzepte gesteuert.

Für das Monitoring und die Auslösung von Revisionen innerhalb eines Satzes ist also in jedem Fall das Entstehen oder die willentliche Produktion von Pausen wesentlich. Die im Falle sogenannter „gefüllter Pausen“ produzierten Lautäußerungen sind entweder nicht als lexikalische Elemente zu betrachten (z. B. das *äh*) oder unterbrechen die reguläre syntaktische Sequenz (z. B. der Einschub von *Quatsch*).

Die semantische Kontrolle wird auf diese Weise auf eine syntaktische zurückgeführt.

Wenn man, wie am Ende von Abschnitt 7.3.1 angemerkt, akzeptiert, dass Formulierungsprozesse oberhalb der Satzebene den nichtsprachlichen Problemlösungsprozessen entsprechen, ist mit dem Hinweis auf die parallel zu dem Versprecherbeispiel verlaufenden Vorgänge ein wesentlicher Ausschnitt des Formulierungsproblems beschrieben.

Es fällt insgesamt auf, dass Annahmen über die Architektur und die Funktion des Gehirns, wie sie im Gesamtprojekt „Kortikale Linguistik“ entwickelt und verwendet werden, ohne prinzipielle Veränderung auch zur Erklärung von Formulierungsprozessen dienen können.