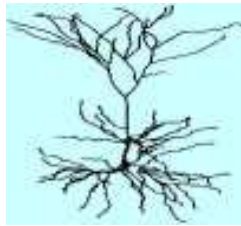

Günter Kochendörfer

Kortikale Linguistik

Teil 8: Spracherwerb



<http://www.cortical-linguistics.de>
16. 3. 2012

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 8

Spracherwerb

Das wesentliche Problem, das die Spracherwerbsforschung bisher behindert hat, ist, dass die neuronalen Voraussetzungen, die Repräsentationen von Inhalten allgemein betreffen, nicht geklärt worden sind. Das Gehirn kommt, abgesehen von vagen Schlussfolgerungen aus bildgebenden Verfahren und der Auswertung bestimmter Pathologien, in der Spracherwerbsforschung nicht vor. Ohne ausreichend brauchbare Vorstellungen über die Grundlagen der Repräsentation von Informationen im Gehirn bleiben auch die Lernprozesse im Rahmen des Spracherwerbs dunkel.

Wenn man die im Projekt „Kortikale Linguistik“ erarbeiteten Grundlagen für Repräsentation und Lernprozesse voraussetzt, erscheint der natürliche Erstspracherwerb insofern als besonders, als er in einem Kortex stattfindet, der in mehr oder weniger großen Umfang noch nicht durch Information belegt ist.

Konsequenz ist ein spezifischer Verlauf, der in allen natürlichen Sprachen zu beobachten ist und den es linguistisch zu erklären gilt.

Inhalt

8.1 Voraussetzungen

8.1.1 Einleitende Bemerkungen

8.1.2 Zelltypen und Verbindungstypen

8.1.3 Redundanz

8.1.4 Besonderheiten syntaktischer Repräsentationen und Prozesse

8.1.5 Zusammenfassung

8.2 Phonetik und lexikalische Ausdrucksseiten

8.2.1 Hörvorgänge

8.2.2 Spracherwerbsprozesse auf lautlicher Ebene

8.2.3 Der Aufbau lexikalischer Ausdruckssequenzen im
Verstehensprozess

8.3 Bedeutungserwerb

8.3.1 Die Zuordnung von Ausdruck und Inhalt

8.3.2 Bedingungen für Lernprozesse

8.3.3 Voraussetzungen des Lernvorgangs für
lexikalische Inhalte im Spracherwerb

8.3.4 Einige Thesen zu typischen Besonderheiten
des Lernvorgangs

8.3.5 Wahrnehmungshäufigkeit und morphologische Segmentierung

8.4 Sprachproduktion

8.4.1 Neuronale Voraussetzungen

8.4.2 Lernvorgang für die Produktionsstrukturen
eines Konzepts

8.4.3 Lernvorgang für eine lexikalische Ausdrucksseite

8.4.4 Probleme mit dem Produktionstakt

8.1 Voraussetzungen

8.1.1 Einleitende Bemerkungen

Der Spracherwerb ist ein Lernprozess, der in vielerlei Hinsicht Vorgängen entspricht, die auch in den Teilen 2 bis 7 des Projekts „Kortikale Linguistik“ behandelt worden sind. Die Besonderheit besteht darin, dass es sich um einen Anfang unter bestimmten Anfangsbedingungen und mit bestimmtem Entwicklungsverlauf handelt. Lernprozesse, die auf Lautwahrnehmungen zurückgehen, werden ab einer bestimmten Reife des Gehirns schon für den Fötus im Mutterleib experimentell nachgewiesen. Sie ergeben damit eine unklare, aber doch existente Spur von Lernprodukten, die als eine der Anfangsbedingungen für den folgenden Entwicklungsverlauf betrachtet werden können. Weniger experimentell gesichert sind linguistische Vorstellungen, die mit angeborenen Ideen rechnen, das heißt mit einer sprachspezifischen, für den Erwerb jeder natürlichen Sprache grundlegenden, aber universellen Wissensbasis des Spracherwerbs, die nicht auf Lernprozessen beruht und nicht allgemein für andere Leistungen des Gehirns verantwortlich ist.

Obwohl also nach experimentellen Befunden und durch linguistische Theoriebildung gewisse Grundlagen angenommen werden, muss der Kortex, also die für Lernprozesse verfügbare Struktur, verglichen mit dem Informationsbestand der Erwachsenensprache und des nichtsprachlichen Wissens, nach der Geburt noch weitgehend als leer gelten. Es ist zusätzlich zu beachten, dass er auch nach der Geburt noch nicht voll entwickelt ist, sondern, den Spracherwerb eine Zeit lang begleitend, massive Wachstumsvorgänge und Umstrukturierungsvorgänge aufweist, die zu einer zunehmend dichteren neuronalen Struktur führen.

Lust (2006: 76) gibt dazu einige Beispiele (Literaturangaben sind durch eckige Klammern ersetzt):

- i. "By the time a child is two years old, the brain will have more than tripled its mass and come close to its full size" [...]
- ii. The corpus callosum "is present at birth but appears disproportionately small in cross section when the brain of a newborn is compared with the brain of an adult" [...]
- iii. Different cortical areas develop at different rates, e. g., aspects of frontal cortex are delayed [...]
- iv. Myelination continues across two decades.
- v. Connections between neurons multiply in the form of synapses. Synaptogenesis peaks between 9 and 24 months of age, reaching approximately 150 percent of that of the human adult.

Wenn man das neugeborene Gehirn als „leer“ betrachtet, heißt das natürlich nicht, dass man annimmt, dass es unstrukturiert ist. Mindestens die in einer bestimmten Phase des Spracherwerbs anzunehmenden Lernprozesse müssen durch entsprechende strukturelle Bedingungen ermöglicht werden. Es muss gezeigt werden, dass das Endprodukt der Erwachsenensprache aus solchen Anfangsbedingungen abgeleitet werden kann. Die vorauszusetzenden Anfangsbedingungen sollen in den folgenden Abschnitten zusammengestellt werden.

8.1.2 Zelltypen und Verbindungstypen

Wenn der Spracherwerb, sofern er ein Lernvorgang ist, die Strukturen der Erwachsenensprache liefern soll, müssen die dort vorhandenen, aber prinzipiell nicht lernbaren Strukturen vorausgesetzt werden. Das betrifft nicht nur bestimmte Verschaltungen, deren Erwerb durch einen inputgesteuerten Lernvorgang schwer denkbar ist, sondern heißt selbstverständlich auch, dass innerhalb dieser Verschaltungen Zellen unterschiedlicher Typen mit unterschiedlichen Eigenschaften angenommen werden müssen, die sich nicht, ausgelöst durch Lernprozesse, neu entwickeln können. Die im Kortex deutlich erkennbare Schichtung, die in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.1.2, besprochen ist, betrifft sowohl die Häufigkeit bestimmter Verbindungstypen als auch die morphologischen Eigenschaften der beteiligten Nervenzellen. Während diese globalen Verhältnisse gut bekannt sind, ist ihre Funktion im Detail wenig geklärt, und man ist auf die Diskussion von Verarbeitungsprozessen, wie z. B. die hier interessierenden Bedürfnisse der Sprachverarbeitung, angewiesen.

Zuächst soll auf eine sehr einfache Überlegung hingewiesen werden, die den Erwerb von Konzepten unter der Annahme lokalistischer Repräsentation grundsätzlich betrifft. Wenn man davon ausgeht, dass Lernen in der Verstärkung von Synapsen besteht (wobei nicht vorausgesetzt werden kann, dass die Zielzelle einer Verbindung entsprechend den Vorstellungen von Hebb, aktiviert sein muss), entsteht das Problem, dass alle Verbindungen durch sich wiederholende Lernvorgänge auf einen Maximalwert gesetzt werden. Unstrittig ist aber, dass unterschiedliche Kombinationen von Merkmalen unterscheidbare Konzepte bilden sollten, was nicht der Fall ist, wenn Teile der Merkmalskombination für verschiedene Konzepte identisch sind. In Teil 2, Abschnitt 2.3.2, wird daraus die Konsequenz gezogen, dass es für Konzeptrepräsentationen eine Grenze gibt, die darin besteht, dass bereits für eine Bedeutung festgelegte Zellen eine weitere Verstärkung der beteiligten Synapsen nicht mehr zulassen. Wenn eine Zelle auf ein bestimmtes Konzept festgelegt ist, wird sie als Reaktion auf dieses Konzept feuern, so dass also das Feuern einer Zelle als Abschluss des Konzeptlernprozesses dienen kann. Andere Lösungen des Problems sind nicht bekannt.

Ein besonders interessanter und aufschlussreicher Fall ist in unserem Zusammenhang die Funktion hemmender Zellen. Hemmende Zellen werden oft vereinfachend als Mechanismen zur Reduktion der Feuerfrequenz erregender Zellen gesehen. Das mag teilweise zutreffen, ist aber für das Verständnis der Sprachverarbeitung nicht grundlegend. Wenn man von der Vorstellung ausgeht, dass Lernvorgänge auf die Plastizität der dendritischen Dornen von Pyramidenzellen angewiesen sind (Schmidt, Thews & Lang, 2000: 129) kann man schließen, dass die Verschaltung der typischerweise dornenlosen hemmenden Zellen nicht durch Lernvorgänge entsteht, jedenfalls nicht durch Vorgänge, die einem Spracherwerbsprozess entsprechen. Hemmende Verbindungen auf der Zielzelle sind vom Typ Gray II (Transmitter GABA), und die Synapsen liegen typischerweise auf den Zellkörpern, nicht auf dendritischen Dornen (Kandel, Schwartz & Jessel, 1996: 243). Wie hemmende Verbindungen durch Lernvorgänge entstehen sollen, ist unklar.

Hemmende Zellen sind zur Repräsentation von Sequenzen zwingend erforderlich. Der in Teil 2 vorgeschlagene Mechanismus besteht in der Kombination einer hemmenden mit zwei erregenden Zellen. (Dabei ist zu beachten, dass hier und im Folgenden die Linien, die Verbindungen darstellen, eine modellhafte Verkürzung der tatsächlichen Vielfalt bedeuten. Analoges gilt für die räumliche Anordnung.)



Abbildung 8.1.2–1: Skizze zur Verschaltung hemmender Zellen. Die hemmende Zelle ist schwarz eingefärbt.

Die in Abbildung 8.1.2–1 rot dargestellten Verbindungen müssen, wie oben ausgeführt, bezüglich des Spracherwerbsprozesses schon aufgrund von unstrittigen Eigenschaften der beteiligten Neuronen als angeboren gelten, können also nicht durch Lernprozesse aufgebaut sein. Die Frage ist, ob auch die dritte, in der Abbildung noch schwarz dargestellte Verbindung, die erregend ist, als angeboren gelten kann. Hier ist die Argumentation etwas komplizierter:

Wenn die mit *s* markierte Zelle eine Funktion bei der Bearbeitung von Sequenzen haben soll, darf sie nur ein Aktionspotenzial abgeben, wenn sie ein Erwartungspotenzial aufweist, das durch einen vorangegangenen Vorgang erzeugt worden ist und unter der Bedingung, dass ein Ereignis eintritt, das die Reaktion dieser Zelle auslöst. Wenn dieses Ereignis, hier das Feuern der mit *i* markierten Zelle, nicht auch die Hemmung auslöst, können Folgen solcher Ereignisse selbst zum Feuern von *s* führen, die Sequenzverarbeitung wird gestört und es können epileptische Anfälle entstehen. Ein systematischer Zusammenhang zwischen dem Feuern von *i* und der Reaktion von *s* ist mit Bezug auf die Sprachverarbeitung Voraussetzung für eine gesunde Gehirnfunktion. Die Konsequenz ist, dass man den Aufbau der schwarz dargestellten Verbindung nicht einem Lernvorgang überlassen kann, der eine bestimmte Beliebigkeit des Auftretens hat. Auch diese Verbindung muss also angeboren sein. Es kann sich um eine axosomatische Verbindung handeln, die auf *s* den weiteren Aufbau von Verbindungen durch Lernvorgänge nicht blockiert, wie es für Sequenzverbindungen erforderlich wäre.

Eine weitere Folgerung bezüglich der in Abbildung 8.1.2–1 dargestellten Konstruktion ergibt sich für die charakteristischen Parameter der mit *s* und *i* markierten erregenden Zellen. Wenn die Zelle *s* in Zusammenhang mit der Abfolge von Elementarereignissen zu sehen ist, muss die Dauer eines darauf ausgelösten EPSP gewährleisten, dass eine durch *i* gebildete Erregung zum Feuern dieser Zelle führt. Die *Abfolge* von Elementarereignissen ist also maßgeblich. Ein Elementarereignis kann mehrere Merkmale haben. Die *Gleichzeitigkeit* dieser Merkmale ist konstitutiv. Gleichzeitigkeit bedeutet,

dass die EPSPs auf der mit **i** markierten Zelle kürzer sein müssen als die für die Verarbeitung von Abfolgen anzunehmenden.

Außerdem gilt, wenn man an Wahrnehmungseinheiten denkt, die Merkmal-komplexen entsprechen, dass ein Sinnesinput immer zuerst die **i**-Zelle erreicht. Nur diese Zellen haben feste Verbindungen mit hemmenden Zellen.

Wenn es charakteristisch für den frühen Spracherwerb ist, dass Phonemsequenzen im sprachlichen Lexikon verankert werden, ist es erforderlich, dass Zellen existieren, die solche Sequenzen *zusammengefasst als Einheiten* repräsentieren. Dafür müssen Zellen zuständig sein, die eine ODER-Funktion haben. Während für die Lernvorgänge an den bisher besprochenen Zelltypen gilt, dass Synapsen durch ihre Verwendung verstärkt werden, und zwar so lange, bis die betroffene Zelle feuert (und vor einem mehr oder weniger raschen Vergessensprozess), gilt für ODER-Zellen, dass sie durch vorangegangene Aktivität lernbereit gemacht werden müssen. Nur so kann gewährleistet werden, dass in zeitlicher Folge mehrere Verbindungen mit *einer bestimmten, ausgewählten* Zelle entstehen. Voraussetzung für diese Vorgänge ist, dass, um die „vorangegangene Aktivität“ zu ermöglichen, angeborene feste Verbindungen mit ODER-Zellen existieren. Die Abbildung 8.1.2-2 gibt eine Skizze dieser Voraussetzung.

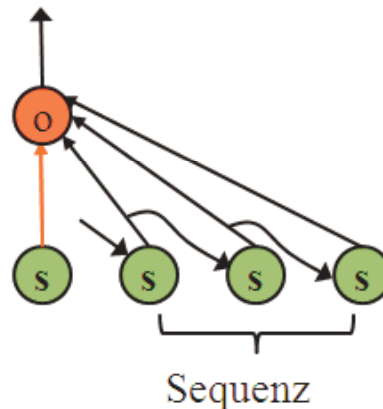


Abbildung 8.1.2-2: Skizze zur Verschaltung von ODER- Zellen. Die rot ausgezeichnete Verbindung muss angeboren sein, die ODER-Zelle, die eine Sequenz zusammenfasst, ist rot eingefärbt.

In den bisher (in Teil 2 bis 7) besprochenen Lernvorgängen sind weitere Eigenschaften als wesentliche Voraussetzungen herausgestellt worden: Es muss Zellen für die Produktion geben, die gegenläufig parallel zu den Perzeptionsstrukturen verwendet werden können (in Abbildung 8.1.2-2 mit **p**

mindestens in der Vergangenheit die Sparsamkeit der Programmierung eine Tugend war, gilt entsprechendes nicht für das Gehirn.

Der Kortex enthält Typen von Zellen, deren Axone vielfach verzweigen (größenordnungsmäßig 10 000-fach). Wenn Lernen teilweise nur in einer Verstärkung gerade aktivierter Synapsen (Zielzellen haben noch nicht reagiert!) besteht, sind zufällig entstehende, schließlich auch funktionsfähige Verbindungen unvermeidbar. Solche Verbindungen sind geeignet, eine entsprechende Fülle von Konzepten im Zusammenhang mit verschiedenen Kontexten zu bilden.

Die auf diese Weise gebildete Redundanz ist eine wesentliche Eigenschaft des Lernprodukts. Sie sichert Ergebnisse der Konzeptbildung gegenüber zufälligen Störungen der neuronalen Struktur und ermöglicht erweiternde Lernvorgänge, die zu Inhaltsmustern führen, die neu sind.

Das angeborene Verzweigungsmuster ist chaotisch, das große Ausmaß an Beliebigkeit ist Voraussetzung für die Flexibilität der Wahrnehmung. Die Konsequenz ist auch, dass viele Verbindungen lebenslang nicht benutzt und letztlich abgebaut werden können. Das Chaos verdeckt die angeborene Systematik.

Der Grund für die Notwendigkeit von Redundanz und die Vielfachverzweigung neuronaler Verbindungen ist nicht, dass prinzipiell, wie in der Regel behauptet wird, nur viele Erregungen zusammen eine Nervenzelle zum Feuern bringen. Die Funktion von Lernvorgängen wäre unter dieser Voraussetzung nicht erklärbar.

8.1.4 Besonderheiten syntaktischer Repräsentationen und Prozesse

Die in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Kortexeigenschaften, einschließlich der Redundanz, sind nicht spezifisch für das menschliche Sprachvermögen, sondern werden auch für andere Leistungen gebraucht. Die Frage ist jetzt, ob es Eigenschaften gibt, die nur für die Sprache, insbesondere die Syntax, wichtig sind und die als angeboren gelten müssen.

Für die Syntax gelten Bedingungen, für die eine sprachspezifische Ausprägung mindestens diskutiert werden kann. Das ergibt sich auch aus den Erfahrungen mit den beschränkten Möglichkeiten des Syntaxerwerbs bei Primaten.

In der Tradition des Generativismus sind unterschiedliche Vorstellungen über angeborene Grundlagen des Syntaxerwerbs entwickelt worden, zunächst

in der Form des Language Acquisition Device (LAD) , später als Spezifizierung angeborener Parameter. Dabei wird bei sog. „Reifungstheorien“ angenommen, dass die angeborenen Grundlagen des Spracherwerbs nicht von Geburt an, sondern Schritt für Schritt im Lauf der ersten beiden Lebensjahre zur Verfügung stehen (z. B. Wexler, 1999).

Klassische formale Argumente

Eine seit den Anfängen der generativen Sprachtheorie und bis in die Gegenwart (z. B. noch bei Fitch, Hauser & Chomsky 2005) als spezifisch für natürliche Sprachen betrachtete formale Eigenschaft ist die Rekursivität.

Ein wichtiges Argument für die Annahme von Rekursivität, das auch den Spracherwerb betrifft, ist, dass ein Kind neue Sätze bilden kann, die es nie zuvor gehört hat. Das ist korrekt, solange man annimmt, dass neue Kombinationen aus vorhandenem Material gebildet werden können. Das ist aber nicht gleichbedeutend mit einem „unendlichem Gebrauch von endlichen Mitteln“. Kinder sind in ihrer Produktion immer syntaktisch und lexikalisch an ihren augenblicklichen Erwerbszustand gebunden. Unendlicher Gebrauch ist ausgeschlossen. Auch die Möglichkeit unendlich langer Sätze ist eine künstliche, letztlich aus der Mathematik bezogene Vorstellung. Längere Sätze tendieren dazu, nicht mehr verstanden zu werden. Auch ihre Korrektheit ist ab einer bestimmten Länge nicht mehr zu gewährleisten.

Diese Überlegungen werden ergänzt durch die Schwierigkeiten, Lernprozesse für rekursive Strukturen anzugeben. Man vgl. zu Details Teil 5, Abschnitt 5.2.4.

Klassische inhaltliche Argumente

Bei Valian (2009: 15) wird das Grundproblem für die Annahme angeborener sprachliche Strukturen so formuliert:

„The central question about nativism is whether the child's mind has content independent of experience. The important word is 'content'. By content I mean knowledge in form of concepts and propositions.“

Konzepte und Propositionen setzen natürlich relativ komplexe neuronale Repräsentationsformen voraus.

Wichtiges inhaltliches Argument für Angeborenheit ist das Problem, das bei Chomsky als „poverty of stimulus“ oder als „Plato's problem“ bezeichnet worden ist.

Im Vorwort zu Chomsky (1986) heißt es:

„Plato’s problem, then, is to explain how we know so much, given that the evidence available to us is so sparse.“ (Chomsky, 1986: XXVII)

In Kapitel 4.3, unter der Überschrift „On knowledge of rules“, wird dann die Konsequenz gezogen:

„Plato’s answer was that much of what we know is inborn, “remembered” from an earlier existence. Leibniz argued that the idea is basically correct, but must be “purged of the error of pre-existence.” Much of our knowledge is innate, he held, virtually present in the mind even if not clearly articulated. This is true of the propositions of arithmetic and geometry, and also of “the in-built principles of the sciences,” and of practical knowledge.[...]

These ideas are, I think, basically correct.“ (Chomsky, 1986: 263)

Mit deutlicherem Bezug auf Platons Menon-Dialog ist das in Chomsky (1999) wieder aufgegriffen.

In Teil 7, Abschnitt 7.2.4, wird gezeigt, dass es noch eine andere und letztlich viel wahrscheinlichere Möglichkeit der Begründung für den Erklärungserfolg im Menon-Dialog gibt, nämlich die systematische Konstruktion geeigneter Vorstellungen.

Als gute Kandidaten für angeborene Kategorien im syntaktischen Bereich gelten die Wortarten, die als unterste Ebene der syntaktischen Hierarchien erscheinen. Lexikalische Einheiten (Wörter) werden nach dieser Vorstellung im Spracherwerb durch einen Vorgang des „Einsortierens“ den Wortarten zugeordnet. Das Problem dabei ist, zu erklären, nach welchen Kriterien die Zuordnung geschieht. Am einfachsten ist es, von semantischen Merkmalen der Wortartenkategorien auszugehen. Das ist aber sehr nahe verwandt mit der alternativen Lösung, die besagt, dass Wortarten in der Einwortphase durch Bündel wahrgenommener inhaltlicher Eigenschaften konstituiert werden, die den Wörtern zukommen, so dass in diesem Fall auf die Angeborenheitsthese verzichtet werden kann. Wortarten sind dann nach der Einwortphase auch zusätzlich durch syntaktische Kontexte bestimmt. Das Vorkommen bestimmter Wortartenkategorien in (fast) allen Sprachen ist kein Anlass für die Annahme angeborener Universalien.

Wenn Wortarten interne angeborene Kategorien sein sollen, dann entstehen zusätzlich Probleme, die denjenigen entsprechen, die durch Fodors Annahme

einer Sprache des Denkens hervorgerufen werden und die, wie in Teil 7, Abschnitt 7.1.3, argumentiert wird, nicht lösbar sind.

Wenn man die Annahme angeborener syntaktischer Voraussetzungen auf die im Generativismus gängigen Sprachtheorien bezieht, muss beachtet werden, dass z. B. Prinzipien- und Parameter-Grammatiken oder das minimalistische Programm bestenfalls in symbolverarbeitenden Systemen funktionieren können, die Regelanwendungen auf Datenstrukturen zulassen. Wenn man solche Funktionen für neuronale Architekturen als wenig wahrscheinlich ansieht, geht man auch für die Syntax besser von neuronalen Modellen aus, mit Bevorzugung von Modellen, die komplexe syntaktische Leistungen ermöglichen.

Neuronale Argumente

Komplexe Leistungen sind in Teil 7, Kapitel 7.4, im Zusammenhang mit der Korrektur von Versprechern diskutiert worden. Dabei ist zu beachten, dass unter der Annahme von Levelts lexikalischer These für die Sprachproduktion der syntaktische Teil der Fehlerkontrolle für Produktion und Perzeption identisch ist. Die Produktion geht von der Top-down-Aktivierung lexikalischer Elemente aus, sie mündet zur syntaktischen Kontrolle auf der Perzeptionsebene. Die Perzeption, die von lautlicher Wahrnehmung ausgeht, benutzt ebenfalls die Strukturen dieser Ebene. Die Verbindung zwischen Lexikon und Syntax wird in beiden Fällen durch Wortartkategorien geleistet. Für die Kontrolle selbst muss nach Teil 5, Kapitel 5.4, und Teil 7, Kapitel 7.4, eine Watchdogstruktur zuständig sein, die Perzeption und Produktion bottom-up kontrolliert.

Da in Teil 7 Strukturen, die den Spracherwerb, insbesondere die Zuordnung der Wortartkategorie betreffen, aus Gründen der Einfachheit ausgeklammert geblieben sind, wird hier zur Ergänzung noch einmal ein einfaches Beispiel einschließlich einer entsprechenden Simulation verwendet.

Die Abbildung 8.1.4–1 stellt die dabei zugrundegelegte syntaktische Struktur dar.

Die gestrichelten Vierecke auf der untersten Ebene definieren im Spracherwerb durch entsprechende Wahrnehmungen die Wortarten. Lexikalische Verbindungen, die den (syntaktischen) Wortarten entsprechen, münden an den durch Doppelpfeile ausgezeichneten Stellen auf ODER-Zellen. Ähnlich wie die Wortarten sind auch andere syntaktische Kategorien zu definieren.

Der Unterschied zur den vereinfachenden Verbindungsstrukturen, die in Teil 7 verwendet werden sind, besteht also darin, dass die Wortartkategorien nicht direkt als instanzbildende Zellen erscheinen, sondern (realistischer)

zunächst eine ODER-Zelle überschwellig erregt wird und erst dann, ebenfalls durch eine überschwellige Erregung, die instanzbildende Zelle zum Feuern gebracht wird. Alle Verbindungen können durch Lernprozesse entstehen. Für den Simulationsverlauf ergeben sich, von einer geringfügigen zeitlichen Verzögerung abgesehen, keine nennenswerten Veränderungen.

Die syntaktische Kontrolle setzt, wie hier dargestellt, eine Struktur voraus, bei der die einzelnen syntaktischen Einheiten (im Unterschied zu phonologischen Einheiten) durch Endelemente abgeschlossen sind (Begründung in Teil 5, Kapitel 5.2.2). Die Gesamtstruktur ist hierarchisch, mit der Satzkatégorie an der Spitze. Die in der Abbildung farbig unterlegten Bestandteile ermöglichen Lernvorgänge und schließen die oben in Abschnitt 8.1.2 beschriebenen nicht-lernbaren Verbindungen ein. Die Watchdogbestandteile sind davon vor allem dadurch unterschieden, dass sie eine besondere (hier zur Unterscheidung nicht farbig ausgezeichnete) Struktur bilden, für die Lernvorgänge unwahrscheinlich sind.

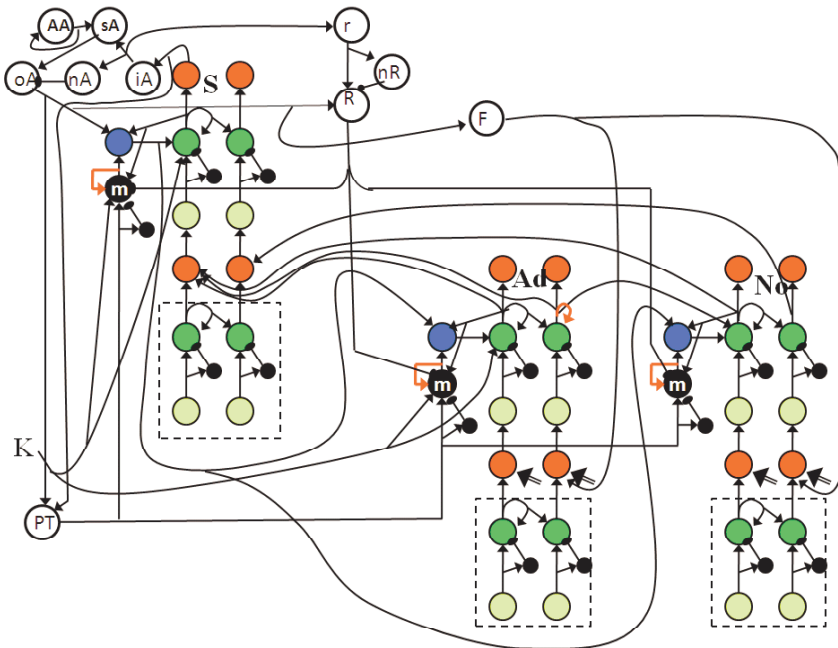


Abbildung 8.1.4-1: Syntaktische Struktur eines Satzes, der aus Adjektiv und Nomen besteht, mit Berücksichtigung der Erwerbsbedingungen für die Wortartenzuordnung und unter Hinzufügung der für die syntaktische Kontrolle erforderlichen Watchdogstruktur.

Die dargestellte syntaktische Struktur wird als Grundlage für die folgenden Simulationen verwendet. Die Bildschirmdarstellung des entsprechenden Anfangszustands ist, um einen besseren Überblick über den Simulationsverlauf zu ermöglichen, in Abbildung 8.1.4–2 gegeben.

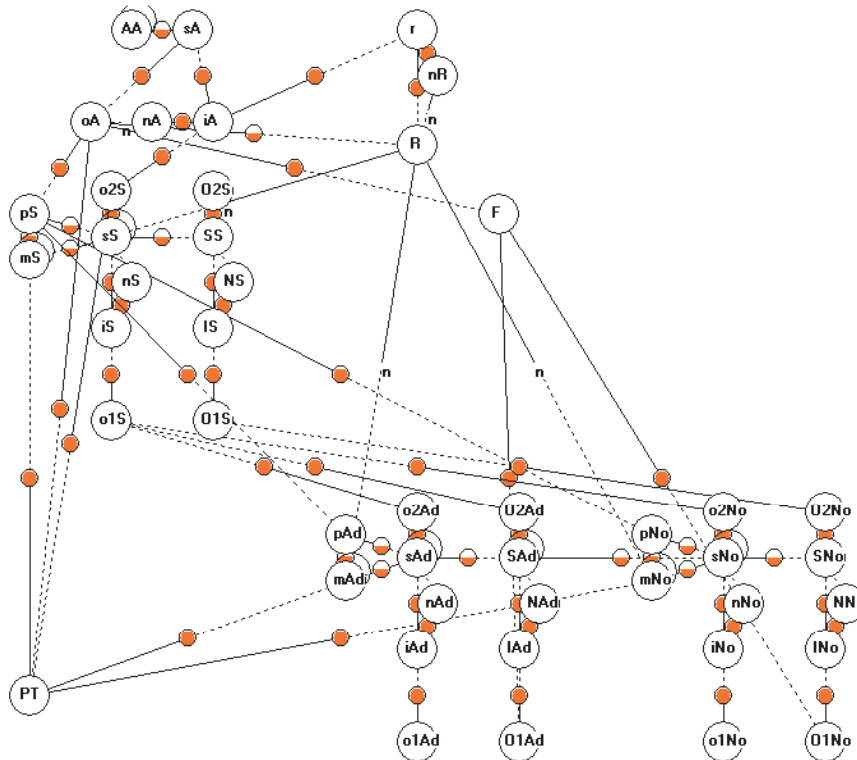


Abbildung 8.1.4–2: Simulation, Bildschirmdarstellung des Anfangszustands.
Die in Abbildung 8.1.4–1 gestrichelt umrahmten Strukturen, die nur für den Lernvorgang relevant sind, sind weggelassen.

Die Eingabedaten entsprechen jeweils unterschiedlichen Problemfällen, das verwendete Textmaterial, das jeweils als Kommentar (beginnend mit einem oder mehreren Leerzeichen auf der ersten Position einer Zeile) in die Eingabedateien eingetragen ist, kann als Antwort auf die Frage

Was sieht man im Karneval?

aufgefasst werden. Bei den Wortarten werden die Endelemente jeweils durch Großbuchstaben bei der Zelleidentifikation ausgezeichnet. Also o1Ad für ein

Element im Innern eines Adjektivs, O1Ad für das Endelement. Die darauf folgenden Zahlen geben den Eingabezeittakt an.

Man beachte, dass, wie oben angegeben, die erforderlichen syntaktischen Verarbeitungsstrukturen und der Verlauf für Perzeption und Produktion identisch sind.

Beispiel ohne Störung des Äußerungsverlaufs: *alte Kappen*.

Eingabedatei:

```
st 1 o1Ad 30 o1Ad 90 o1Ad 160 O1Ad 230 o1No 290 o1No 340
      a      l      t      e      k      a
o1No 400 o1No 460 O1No 515
      p      e      n
.
```

Simulation:

[Alte Kappen.](#)

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

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

Eine Watchdogaktivität entsteht erst in Zeittakt 584 durch die Pause nach Erreichung des Äußerungsendes.

Beispiel mit gefüllter Pause: *alte äh Kappen* (*äh* ist keine mit Bedeutung versehene lexikalische Einheit).

Eingabedatei:

```
st 1 o1Ad 30 o1Ad 90 o1Ad 160 O1Ad 230
      a      l      t      e
      Pause nach Wortende
o1No 400 o1No 465 o1No 520 o1No 590 O1No 665
      k      a      p      e      n
.
```

Simulation:

[Alte äh Kappen.](#)

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

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

Die Pause nach dem Ende der lexikalischen Einheit *alte* löst in Zeittakt 360 eine Watchdogaktivität aus, die zunächst in Zeittakt 366 zu einem Vor-

gang der Kontextwiederherstellung führt. Der zur Fortsetzung bereitgestellte Kontext entspricht den unterschwelligen Aktivitäten von sAd und sNo. Die Eingabe von o1No führt zur Auswahl von sNo für die Fortsetzung. Die Eingabe von o1Ad würde die Wiederholung von *alte* einleiten.

Beispiel mit Versprecher: *alte Ma äh Kappen*.

Eingabedatei:

```
st 1 o1Ad 30 o1Ad 90 o1Ad 160 O1Ad 230
      a      l      t      e
o1No 290 o1No 355
      m      a
Pause im Wort
o1No 490 o1No 550 o1No 615 o1No 675 O1No 735
      k      a      p      e      n
.
```

Simulation:

Alte Ma äh Kappen.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

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

Es ist angenommen, dass der Versprecher als semantisch abweichend erkannt wird (vgl. Teil 7, Abschnitt 7.4.3) und damit zu einer Pause führt, die in Zeittakt 479 eine Watchdogaktivität erzeugt. Die Kontextwiederherstellung liefert wie im vorigen Beispiel unterschwellige Aktivitäten in sAd und sNo, nicht aber den Kontext sNo zur Fortsetzung des Fragments *ma*. Es wird also mit dem Beginn eines neuen Worts gerechnet.

Konsequenzen

Man kann sich nun anhand dieser Beispiele die Frage stellen, was die Syntax von anderen Strukturen und Prozessen unterscheidet. Die wichtigsten Gesichtspunkte sind:

- Die Funktion von Endelementen im Zusammenhang mit dem Aufbau hierarchischer Strukturen. Phonemsequenzen sind nicht mit Hilfe von Endelementen aufgebaut.
- Das durch die Struktur der P-Zellen gebildete Top-down-System. Während bei der lexikalischen Produktion und bei der Aktivierung von

Gedächtnisinhalten dieses System direkt beteiligt ist, gilt das nicht für die Syntax, sofern man die lexikalische These Levelts akzeptiert. Die syntaktische Produktion startet nicht mit einer hierarchischen Spitze (dem Satzknoten). Das Top-down-System dient der Speicherung zurückliegender Kontexte. Dabei werden zwar Verbindungen benutzt, die durch Lernprozesse entstehen können, die Gesamtfunktion ist aber typisch für die Syntax.

- Wiederholungsschleifen bei Endelementen zur Gewährleistung der Kontextwiederherstellung.

Dagegen ist die Watchdogfunktion nicht spezifisch syntaktisch, sondern gehört auch zu den Voraussetzungen für Problemlösungsvorgänge.

Insgesamt handelt es sich nicht um konzeptuelle oder propositionale Voraussetzungen, wie bei Valian (siehe oben) als Kern der nativistischen Hypothese hervorgehoben, sondern um formale Bedingungen, das heißt, Bedingungen, die neuronale Strukturen betreffen.

8.1.5 Zusammenfassung

Voraussetzungen für den Spracherwerb sind nicht Inhalte, sondern Formen, die den Erwerb von Inhalten erst ermöglichen. Das Fortschreiten der Evolution ist charakterisiert durch die Entwicklung solcher Formen. Wenn man die Syntax als besonders weit entwickelte Fähigkeit betrachtet, gilt auch hier, dass sie durch bestimmte Formen ermöglicht wird. Man kann aber auch schon auf lexikalischer Ebene, wenn man die neuronalen Bedingungen für die Repräsentation von Lautsequenzen beachtet, von notwendigen evolutionären Entwicklungen sprechen. „Formen“ meint nicht „formale“ im Unterschied zu „substanziellen“ Universalien, wie es dem Generativismus auf dem Stand der „Aspekte der Syntax“ entsprechen würde.

Inhaltliche Voraussetzungen im Stil der angeborenen Ideen des Generativismus sind wenig plausibel. Man beachte ergänzend, dass der Prinzipien-und-Parameter- Ansatz oder das minimalistische Programm, wie schon oben erwähnt, auch bei der Erwachsenen-Grammatik nicht funktioniert bzw. unbiologische Annahmen erfordert, so dass es sinnlos ist, nach einem biologischen Anfangszustand zu suchen, der auf dieses Ziel führt.

8.2 Phonetik und lexikalische Ausdrucksseiten

8.2.1 Hörvorgänge

Die Hörvorgänge sollen hier nur beschränkt auf die neuronale Ebene nach den in Teil 3, „Phonetik/Phonologie“ erarbeiteten Grundlagen kurz charakterisiert werden.

Aus dem tonotopen Repräsentationsprinzip der Cochlea des Innenohrs folgt, dass die übermittelte Schallinformation nicht primär frequenzkodiert sein kann. Da es in den natürlichen Sprachen insgesamt mehr unterschiedliche Laute gibt, als innere Haarzellen zur Kodierung zur Verfügung stehen, müssen Lauteigenschaften durch unterschiedliche Kombinationen von Haarzellen bzw. Haarzellenbündeln repräsentiert werden. Nach der Argumentation in Teil 3 ist die Auswertung so denkbar, dass die Synchronizität der Haarzellenerregung auf Abschnitten der Cochlea dazu herangezogen wird. Dieser Vorgang kann nicht einen Lernprozess voraussetzen, wie er für den Kortex typisch ist. Stattdessen kann man darauf hinweisen, dass Kinder im Alter von 6 Monaten zur Diskrimination von Lauten in der Lage sind, die sie ein halbes Jahr später nicht mehr als verschieden erkennen (Cheour et al., 1988; Kuhl, 2000), es muss also anstelle eines Lernprozesses einen Vergessensprozess geben, der schließlich das Lautinventar der Umgebungssprache liefert.

Die Lautwahrnehmung muss am Ende der subkortikalen Verarbeitung bei Kürzen, gleichgültig ob Vokal oder Konsonant, zur Erregung einer oder mehrerer spezialisierter Zellen führen, die genau einen Impuls abgeben. Das Ergebnis der Synchronizitätsauswertung bei Haarzellen liefert aber zunächst Salven von Aktionspotenzialen. Es ist also eine zusätzliche Umkodierung erforderlich, um die für die spätere kortikale Verarbeitung erforderlichen störungsfreien Lernprozesse zu ermöglichen.

Der gesamte Vorgang der Ableitung von phonetischen Merkmalen ist in Teil 3, Abbildung 3.3.5–2, schematisch dargestellt, wie hier als Abbildung 8.2.1–1 wiederholt:

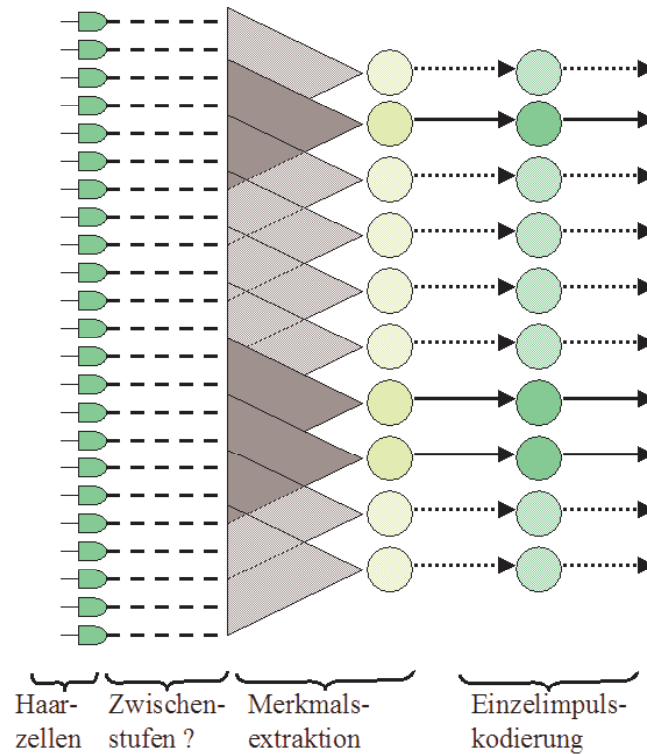


Abbildung 8.2.1–1: Schema zur Merkmalsextraktion. Aufgrund von Vergessensprozessen unwirksam gewordene Merkmalsdetektoren sind halbtransparent und mit gepunkteten Verbindungspfeilen dargestellt.

Der den Kortex erreichende Input besteht in Merkmalsbündeln. Die Merkmale in den Bündeln sind „privativ“, das heißt, sie sind vorhanden oder nicht vorhanden. Es kann kein Merkmal geben mit einer positiven und einer negativen Ausprägung, die negative Ausprägung kann nicht durch Fehlen eines Aktionspotenzials bei einer merkmalspezifischen Zelle repräsentiert sein. Die Unterscheidung von kategorialer Wahrnehmung bei Konsonanten und kontinuierlicher Wahrnehmung bei Vokalen (vgl. Klann-Delius, 1999, S. 27 f. mit entsprechenden zusätzlichen Literaturhinweisen) muss so variiert werden, dass nur Plosive insofern „kategorial“ wahrgenommen werden, als

die Merkmale eine Sequenz bilden, während Vokale und längbare Konsonanten (wie im Deutschen *f, l, m, n, r, s*) andauernde Merkmale haben. Wenn Plosive gelängt werden, ist es die Pause, die auf den Verschluss folgt, die die Länge bildet. Alle Merkmale sind nach dem oben erwähnten Umkodierungsprozess, der in Teil 3, Abschnitt 3.3.6, dem Colliculus inferior auf der Hörbahn zugeschrieben wird (also als subkortikal zu betrachten ist) durch spezialisierte Zellen mit einzelnen Aktionspotenzialen repräsentiert. Die Kategorisierung von Lauten aufgrund der einzelimpulskodierten Merkmale geschieht in allen Fällen durch instanzenbildende Zellen, deren zeitliches Verhalten so eingestellt ist, dass im Fall von Plosiven auch die Sequenz erkannt wird. Gleichzeitigkeit und die hier relevante zeitliche Sequenz sind für instanzenbildende Zellen nicht verschieden. Man beachte, dass Vokale aufgrund ihres ggf. harten Einsatzes genau genommen auch als sequenziell gelten können.

8.2.2 Spracherwerbsprozesse auf lautlicher Ebene

Offenbar sind Vergessensprozesse auf subkortikaler Ebene ein wesentlicher Faktor des lautsprachlichen Erwerbs. Sie leisten das Herausfiltern einzel-sprachlicher lautlicher Eigenschaften und dienen damit der Identifikation einzelner Laute durch Merkmalsbündel. Das Erkennen von Wörtern beruht auf der Abfolge von Lautidentifikationen, die kortikal durch die Erregung instanzenbildender Zellen entstehen.

Voraussetzung dabei ist eine ausreichende Ähnlichkeit und Häufigkeit der Wahrnehmung. Es ist zu beachten, dass es nicht nur um die Wahrnehmung der Produktion von Bezugspersonen geht, sondern dass auch die Wahrnehmung der eigenen Produktion von Bedeutung ist. Einige wichtige Probleme sind dabei zu klären, dazu gehören vor allem das Normalisierungsproblem, die als Fis-Phänomen bekannte Merkwürdigkeit des Lauterwerbs und die Bedingungen, unter denen Informationen revidiert werden können.

Das Normalisierungsproblem

Die gängige Position in dieser Frage ist, dass für das Erkennen von Vokalen hauptsächlich die ersten beiden Formanten des Frequenzspektrums maßgebend sind. Die Frequenz dieser Formanten ist aber bei Frauenstimmen und Männerstimmen verschieden. Ein Verstehensproblem kann dann nur vermieden werden, wenn eine Normalisierung vorausgesetzt wird, die die Differenz beseitigt. Es existieren verschiedene Vorschläge zur Lösung des Normalisierungsproblems, die insgesamt nicht recht befriedigen können.

In Teil 3, „Phonetik/Phonologie“ wird eine Beobachtung wiedergegeben, die zeigt, dass das Normalisierungsproblem verschwindet, wenn man experimentell klärt, welche Eigenschaften der Vokalkategorisierung tatsächlich zugrunde liegen. Obwohl man in konkreten Fällen die beiden ersten Formanten verantwortlich machen kann, heißt das noch nicht, dass sie die durch Lernprozesse im Spracherwerb etablierten und das Verstehen ermöglichenden Eigenschaften darstellen. Das entscheidende Experiment besteht darin, den Frequenzbereich des zweiten Formanten in Äußerungen erwachsener Sprecher zu unterdrücken. In Teil 3 wird als Beispiel die Wahrnehmung von [i:] verwendet. Der Frequenzbereich des zweiten Formanten liegt nach gängiger Auffassung bei männlichen erwachsenen Sprechern zwischen 1800 und 2000 Hertz. Eine Tilgung dieses Bereichs hat aber nicht die Konsequenz, dass ein [i:] nicht mehr wahrgenommen wird. Der maßgebende Frequenzbereich liegt dagegen bei 3200 bis 3500 Hertz, wie bei kindlichen Sprechern. Daraus folgt, dass eine Normalisierung, die der Lautentwicklung in der Aussprache von Vokalen Rechnung tragen würde, nicht erforderlich ist, also ein Normalisierungsproblem nicht besteht.

Das Fis-Phänomen

Die klassische Beschreibung stammt von Berko & Brown (1960: 531). Sie lautet:

„One of us, for instance, spoke to a child who called his inflated plastic fish a fis. In imitation of the child’s pronunciation, the observer said, ‘That is your fis?’ ‘No,’ said the child, ‘my fis.’ He continued to reject the adult’s imitation until he was told, ‘That is your fish.’ ‘Yes,’ he said, ‘my fis.’“

Für den Vorgang ist charakteristisch, dass das Kind die Fehlerhaftigkeit seiner Produktion nicht erkennt. Die in Kochendörfer (2002: 83 f.) versuchte, von Berko & Brown abweichende Erklärung ist, dass beachtet werden muss, dass auch die Diskriminationsfähigkeit des bewertenden Linguisten in dessen frühem Spracherwerb durch Vergessensprozesse an die Umgebungssprache angepasst worden ist. Man kann also nicht davon ausgehen, dass der Linguist den Merkmalsbestand der Produktion des Kindes vollständig und korrekt wahrnimmt. Es ist also möglich, dass das Kind die Produktion des Linguisten ablehnt, ebenso wie der Linguist die Produktion des Kindes als fehlerhaft hört. Schematisch ergeben sich also die Verhältnisse der Abbildung 8.2.2–1:

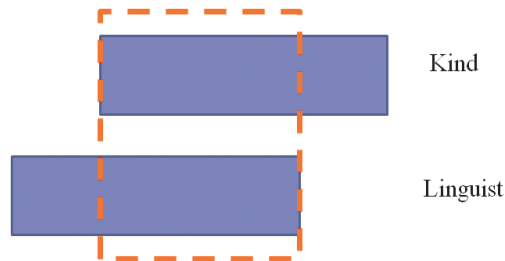


Abbildung 8.2.2–1: Quelle der Missverständnisse, die zum Fis-Phänomen führen. Kind und Linguist hören bei den Äußerungen des jeweiligen Gesprächspartners nur den rot markierten Bereich.

Veränderungen bereits erworbener Lauteigenschaften

Das Ziel des Spracherwerbsprozesses ist die Form der Erwachsenensprache, also beim Fis-Phänomen die des Linguisten. Ein nicht der Erwachsenensprache entsprechender Laut wird, wie die korrekte Form auch, durch einen Vorgang der Instanzenbildung aufgrund der akustischen Wahrnehmung eines Merkmalsbündels erworben. Ein bereits gebildetes und funktionsfähiges, das heißt Aktionspotenziale auslösendes Merkmalsbündel ist stabil (Vorgang der Fixation, vgl. Teil 2, Abschnitt 2.3.2) und kann ohne einen dazwischen geschalteten Vergessensprozess, der durch entsprechend längeres Ausbleiben von passendem Input entsteht, nicht z. B. durch Hinzufügen oder Verändern einzelner Merkmale angepasst werden. Veränderungen von Lauteigenschaften, die auf diese Weise fixiert sind, sollten also schwierig sein. Man beachte allerdings in diesem Zusammenhang die Bedingungen, unter denen der Instanzenbildungsprozess stattfindet. Die Synapseneffektivität, die schließlich zu einer funktionsfähigen Instanz führt, kann eine mehr oder weniger häufige Erregung voraussetzen. Das führt zu zelltypischen Unterschieden in der Bildung von Lernerfolgen. Wenn man die Redundanz neuronaler Veränderungen hinzunimmt, ergibt sich dadurch eine Streuung von Neuronen, die einen unterschiedlichen Zustand in der Entwicklung des Lernergebnisses haben. Redundanz führt so zum Bereithalten veränderbarer Instanzen, die Basis von Korrekturvorgängen sein können. Wenn eine Korrektur erfolgreich ist, bedeutet das, dass sie auch durch häufigeren Gebrauch in der Sprachproduktion unterstützt wird. Nicht mehr unterstützte Korrekturen unterliegen dem Vergessen.

8.2.3 Der Aufbau lexikalischer Ausdruckssequenzen im Verstehensprozess

Sprachliche Ausdrücke, die zur Übermittlung von Informationen verwendet werden, bestehen aus mehr oder weniger komplexen lautlichen Sequenzen. Die Elemente, aus denen diese Sequenzen bestehen, sind phonologische Instanzen und werden, wie im vorigen Abschnitt dargestellt, aufgrund von entsprechendem lautlichem Input etabliert. Für die Sequenzbildung gelten zusätzliche Bedingungen, die in Teil 4, Abschnitt 4.3.3, erarbeitet worden sind. Die wichtigsten Punkte, stichwortartig zusammengefasst, sind:

- Das Feuern sequenzenbildender Zellen wird durch den Input eines in die Sequenz passenden lautlichen Elements ausgelöst, das heißt, nicht allein durch Aktivität der Sequenzverbindungen.
- Sequenzverbindungen müssen auch nach der durch den Lernvorgang erzielten Verstärkung der Synapsen relativ schwach bleiben und dürfen allein oder als Bündel nicht zum Feuern der sequenzenbildenden Zelle führen.
- Es muss möglich sein, den Aufbau von Sequenzverbindungen in mehreren Schritten zu erreichen. Ein Lernvorgang, der immer sofort zu einer gültigen Sequenzverbindung führt, ist für den Spracherwerbsvorgang unrealistisch.
- Das Entstehen von störenden Schleifen bei der baumförmigen Struktur der Sequenzverbindungen kann durch das Konzept des „Fixationszeitfensters“ verhindert werden. Es bedeutet, dass das Fixieren einer Sequenzverbindung nicht stattfindet, wenn die vorangegangene Erregung länger als 100 Millisekunden zurückliegt. Wenn dieses Zeitfenster überschritten wird, gilt die zelltypisch definierte Abnahmerate des Synapsengewichts.

Für den Lernvorgang ist es wichtig, zu beachten, dass er ggf. die Fortsetzung eines Wahrnehmungsprozesse auf der Basis bereits etablierter Sequenzelemente ist. Es ist selbstverständlich nicht auszuschließen, dass eine wahrgenommene Teilsequenz einem bereits etablierten lexikalischen Ausdruck entspricht. Auf diese Weise können (müssen aber nicht) baumförmige Strukturen gebildet werden. Listenförmige Strukturen sind ebenfalls möglich, und sind aufgrund des Redundanzprinzips im Kortex auch zu erwarten.

Im Innern einer Ausdruckssequenz gilt, dass Fortsetzungen immer durch Erwartungspotenziale gesteuert werden, die vom jeweiligen lautlichen Vorgänger

ausgehen. Wenn diese Erwartungspotenziale schwach sind, können sie abgeklungen sein, ehe der Nachfolger wahrgenommen wird. Die Sequenz bricht ab. In diesem Fall kann dann durch Wiederholung der Gesamtsequenz schließlich eine Synapsenstärke erreicht werden, deren Wirkung die Zeitspanne bis zum Nachfolger überbrückt.

Beim Start einer Ausdruckssequenz gibt es keinen steuernden Vorgänger. Hier muss ein Erwartungspotenzial ohne Vorgänger erzeugt werden. In den Lexikonmodellen, die im Rahmen des vorliegenden Projekts vorgeschlagen werden, wird immer ein Lexikonstart verwendet, der die anschließende sequenzielle Verarbeitung ermöglicht. Für den Spracherwerb muss man dann voraussetzen, dass die ersten Anfänge durch einen angeborenen Startprozess ermöglicht werden. Ob die entsprechenden Strukturen lebenslang bestehen und ein Ersatz nicht vorgesehen werden muss, mag dabei offen bleiben.

Zur Demonstration soll hier nun ein Simulationsbeispiel, vereinfacht übernommen aus Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, verwendet werden. Die in Abbildung 8.2.3–1 wiedergegebene Simulationsarchitektur besteht aus 108 potenziellen Sequenzelementen aus drei Zellen.

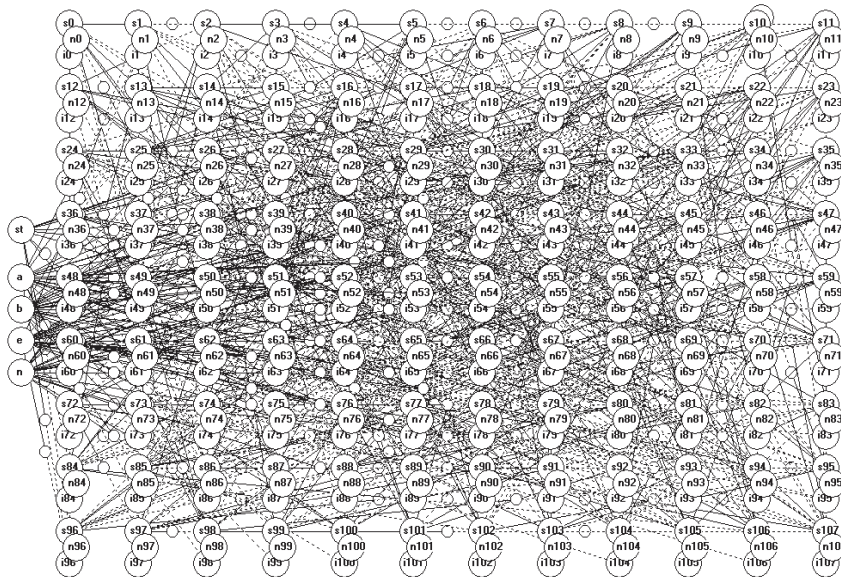


Abbildung 8.2.3–1: Simulationsarchitektur (Bildschirmdarstellung) zur Demonstration von Lernvorgängen für lexikalische Ausdruckssequenzen.

Die einzelnen Elemente entsprechen den in Abschnitt 8.1.2 begründeten angeborenen Strukturen, können also als (verkürzte) Basis für Spracherwerbsvorgänge dienen. Es wird eine relativ große, nicht mehr überschaubare, aber doch für den vorgesehenen Lernvorgang nicht ganz ausreichende Zahl von potenziellen (angeborenen) Verbindungen verwendet. Am linken Rand sind Zellen angegeben, die den phonologischen Input /a/, /b/, /e/, /n/ und den Lexikonstart (Startzelle *st*) leisten.

Als Input für den Lernvorgang dienen die Sequenzen *an*, *ane* (Anne) und *aane* (Ahne). (Der Input /b/ wird also im Unterschied zu der Simulation in Teil 4 hier nicht verwendet.) Diese Abfolge wird mit einer dazwischen liegenden Pause von ca. 2,5 Sekunden zweimal eingegeben.

Simulation:
Lernvorgang für Ausdruckssequenzen.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Option „Simulation bis Stop“ kann verwendet werden,
 um die beiden Lernphasen zu trennen und die lange Pause zu überbrücken.

Die Simulation liefert, in Baumform dargestellt, das Ergebnis der Abbildung 8.2.3-2.

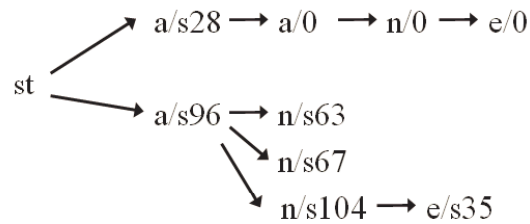


Abbildung 8.2.3-2: Ergebnis der Simulation in baumförmiger Darstellung. An den Verzweigungen ist jeweils der repräsentierte Laut und die repräsentierende sequenzenbildende Zelle notiert. Null bedeutet das Fehlen einer Repräsentation. Die Zelle *st* startet die Sequenzenbildung.

Das Beispiel sollte zeigen, dass die beschriebenen Annahmen über Sequenzbildungsprozesse ausreichen, um ausdrucksseitige lexikalische Sequenzen aufzubauen. Der Zusammenhang mit inhaltsseitigen Lernprozessen und weitere Details lexikalischer Prozesse sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

8.3 Bedeutungserwerb

8.3.1 Die Zuordnung von Ausdruck und Inhalt

Das Ziel des Erstspracherwerbs ist es, die Möglichkeit zu schaffen, Inhalte lautlich kommunizierbar zu machen. Die Zuordnung von Ausdrucksseiten zu Inhalten setzt einen Lernprozess voraus, der im Produktionsprozess von den zu kommunizierenden Inhalten ausgeht bzw. im Verstehensprozess zu solchen Inhalten führt. Repräsentationen von Inhalten entstehen im Kortex durch Lernvorgänge, die unabhängig von der Existenz entsprechender lexikalischer Ausdrucksseiten sind. Nach der in Teil 2 entwickelten Großmutterzellentheorie sind es jeweils einzelne Zellen (also nicht verteilte Repräsentationen) die einen Inhalt darstellen. Die Auswertung der Merkmale einer Wahrnehmung führt auf die den Inhalt repräsentierende Großmutterzelle. Wenn eine lexikalische Ausdrucksseite als Kommunikationsmittel im Verstehensprozess für diesen Inhalt verwendet werden soll, muss ihre Aktivierung die Aktivierung der repräsentierenden Großmutterzelle zur Folge haben. Schon allein die Tatsache, dass lexikalische Ausdrucksseiten zeitliche Sequenzen bilden, führt zur Folgerung, dass die zwischen Ausdruck und Inhalt vermittelnde Großmutterzelle eine ODER-Zelle sein muss, das heißt eine Zelle, die im Verstehensprozess über unabhängig erregte unterschiedliche Bahnen jeweils zum Feuern gebracht werden kann. Mit einer gewissen Vereinfachung und Ergänzung der in Teil 4, Abbildung 4.4.1–2 dargestellten Struktur ergibt das die Anordnung der Abbildung 8.3.1–1.

Die eingezeichneten gestrichelten Verbindungen deuten an, dass die ersten Segmente der Ausdrucksseite als mehrdeutig gedacht sind, dass also Verbindungen zu anderen Inhalten bestehen. Die rot eingezeichnete schleifenförmige Verbindung ist für das Andauern der Wahrnehmung und also die Erzeugung einer entsprechenden Salve von Aktionspotenzialen der sequenzenbildenden Zelle und der ODER-Zelle erforderlich.

8.3.2-1 zeigt diesen Zustand stark vereinfacht und reduziert auf die in der Simulation relevanten Architekturbestandteile.

Als Beispiele werden die Wörter „Kanne“ und „Kasse“ verwendet, die insofern interessant sind, als sie mit dem gleichen Anlaut beginnen. Das hat zur Folge, dass die lexikalische Struktur der Ausdrucksseiten baumförmig ist, das heißt, die Wortanfänge werden durch eine gemeinsame Phonemsequenz realisiert. Die Zuordnung der beiden Bedeutungen (ODER-Zellen *oKSE* bzw. *oKNE*) wird durch die Kontexte *sts* bzw. *stk* bestimmt.

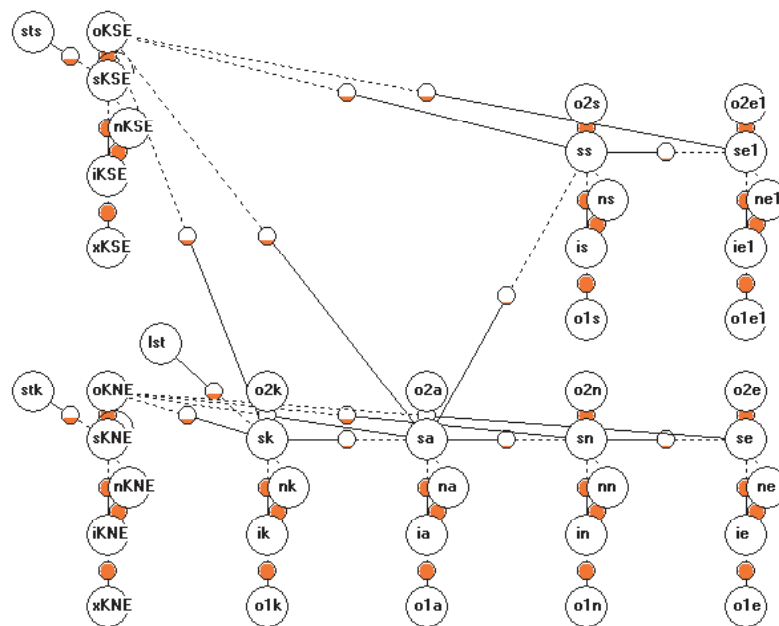


Abbildung 8.3.2-1: Bildschirmdarstellung des Zustands vor Beginn des Lernvorgangs.

Die Eingabedatei für die Simulation ist:

```

Erwerb von Kanne:
stk 10
xKNE 65 lst 70 o1k 80 xKNE 125 o1a 140 xKNE 185 o1n 200 xKNE 245 o1e 260
Erwerb von Kasse:
sts 410
xKSE 465 lst 470 o1k 480 xKSE 525 o1a 540 xKSE 585 o1s 600 xKSE 645 o1e1 660
*** 1000

```

(Ende der Lernphase, es folgt die Eingabe der Ausdrucksseiten zur Kontrolle des Lernergebnisses)

lst 1070 o1k 1080 o1a 1140 o1n 1200 o1e 1260
 lst 1470 o1k 1480 o1a 1540 o1s 1600 o1e1 1660

Der Lernvorgang betrifft sowohl die baumförmige Sequenzstruktur als auch die Bedeutungszuordnung. Nach Ablauf der Lernphase ist die Effektivität der Zellverbindungen entsprechend erhöht: Die Verbindungen mit den ODER-Zellen sind überschwellig (die kleinen Kreise auf den Verbindungslinien, die das Synapsengewicht anzeigen, sind ganz rot ausgefüllt) die Sequenzverbindungen bei den Ausdrucksseiten haben die für die Funktion typischen Werte (die Kreise auf den Verbindungslinien haben entsprechend niedrigere rote Pegelstände.).

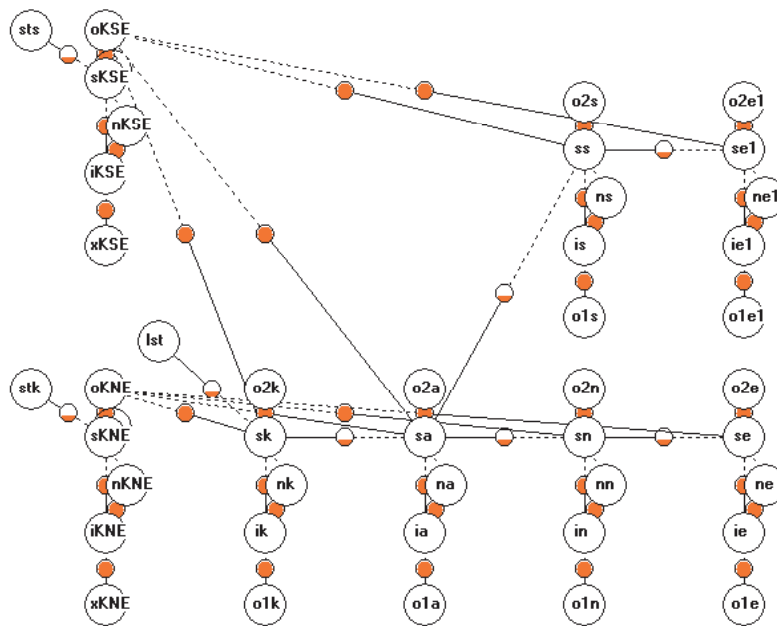


Abbildung 8.3.2–2: Bildschirmdarstellung nach Beendigung des Lernvorgangs (in Zeittakt 1000).

Simulation:

Lernvorgang für die Inhalte „Kanne“ und „Kasse“.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Option „Simulation bis Stop“ ergibt einen Schnelldurchgang durch die Lernphase, anschließend kann mit Festhalten der Leertaste das Lernergebnis überprüft werden.

Die Kontrolle am Ende der Lernphase zeigt am Anfang die Mehrdeutigkeit der ausdrucksseitigen Ketten. Während der Verarbeitung der gleichlautenden Anfänge ist sowohl die Bedeutung KANNE *oKNE* als auch die Bedeutung KASSE *oKSE* aktiviert (beide ODER-Zellen feuern). Anschließend ist die Bedeutungszuordnung eindeutig.

Wenn man annehmen würde, dass Lernvorgänge im Kortex lokal nicht gebunden sind, sondern Lernvorgänge beliebiger Art an beliebigen Stellen möglich sind, also zum Beispiel Lernvorgänge aufgrund visueller Wahrnehmungen und Lernvorgänge mit akustischer Basis, entstehen Probleme, die in Teil 4, Abschnitt 4.4.2, mit einer Simulation demonstriert sind. Diese Simulation zeigt eine überschießende Aktivierung von ODER-Zellen und sequenzenbildenden Zellen, die eine geordnete Repräsentation und entsprechende Reaktion unmöglich macht. Die Struktur des Kortex zeigt aber eine Bereichstrennung, die solche negativen Effekte ausschließt. Bekannte spezifische Kortexbereiche sind die primären Areale: der primäre auditive Kortex, der primäre visuelle Kortex, der primäre somatosensorischer Kortex usw., wobei man nicht annehmen kann, dass sich die Bereichstrennung auf solche Bereiche beschränkt, die relativ nahe Verbindungen mit Sinnesorganen haben.

8.3.3 Voraussetzungen des Lernvorgangs für lexikalische Inhalte im Spracherwerb

Im vorigen Abschnitt sind Vorgänge, die den Erwerb von Inhalten für lexikalische Ausdrücke im Detail betreffen, zunächst ausgeklammert worden. Eine vorangehende Definition von Inhalten ist aber Voraussetzung z. B. für den Erwerb einer Verbindung von Ausdruck und Inhalt. Nicht alle Konzepte (Inhalte) werden sprachlich repräsentiert. Es gilt auch umgekehrt, dass Kinder, die 6 Monate alt sind, zwar bedeutungslose Silbenfolgen merken und wiedererkennen können, das lässt aber nicht auf eine Lexikalisierung schließen.

Wenn man assoziatives Lernen eines lexikalischen Wortschatzes methodisch mit Behaviorismus im Stil von Skinner identifiziert, ist es relativ einfach, dergleichen als typischen Lernvorgang im Spracherwerb abzulehnen.

Lernvorgänge, die Probleme mit Hilfe von Constraints und speziellen Lernprinzipien lösen, haben sich ebenfalls nicht bewährt. Bloom (2000:10) gibt eine kurze Aufzählung solcher Constraints:

„Perhaps lexical constraints (or principles, assumptions, or biases) specifically earmarked for word learning are needed to explain how children learn the meanings of words. There has been a proliferation of these constraints over the last decade or so. They include the whole-object bias, the taxonomic bias, and the mutual exclusivity bias (Markman, 1989), the noun-category linkage (Waxman, 1994), the shape bias (Landau, Smith & Jones), the principles of contrast and conventionality (Clark, 1993) and the principles of reference, extendibility, object scope, categorical cope, and novel name-nameless category (Golinkoff, Mervis & Hirsh-Pasek, 1994).“

Es ist unklar, ob man annehmen darf, dass diese aus Beobachtungen abgeleiteten Constraints (a) funktionieren und (b) auf angeborenen Grundlagen beruhen.

Plausibler ist die Voraussetzung die von Tomasello (2003) als „joint attention“ bezeichnet wird. Es geht darum, dass der Spracherwerb für lexikalische Ausdrücke die Aktivierung von Inhalten voraussetzt, die für Bezugsperson und Kind entweder bereits gemeinsam sind, oder im Vorfeld eingeführt werden können. Das entspricht den Bedeutungen bei dem im vorigen Abschnitt behandelten Simulationsbeispiel. Der mit einer Ausdrucksseite zu verknüpfende neuronal repräsentierte Inhalt wird durch einen bestimmten Situationskontext aktiviert. Der Situationskontext kann (muss aber nicht) durch „Intention-reading“-Vorgänge erzeugt worden sein. Inhaltliche Grundlage des Erwerbs von Wortbedeutungen ist also eine Vorstellung, die durch die in Teil 2, Kapitel 2.5, beschriebenen Mechanismen entsteht. Die passende Vorstellung ersetzt die Constraints, die damit nicht als angeborene Bedingungen vorausgesetzt werden müssen..

Bedingungen, die den Besonderheiten der neuronalen Funktion entsprechen, ergeben sich vor allem aus der Häufigkeit des wahrgenommenen Inputs. Das gilt sowohl für die lautliche Sequenz eines lexikalischen Elements (siehe oben), als auch für die zuzuordnende Bedeutung. (Man beachte aber zusätzlich die Beschränkungen, die unten in Abschnitt 8.3.5 behandelt werden.) Im Zentrum der Aufmerksamkeit stehende Inhalte werden häufiger wahrge-

nommen und entsprechend ist die Chance, dass sie im Erwerbsvorgang bevorzugt werden, höher. Der Wahrnehmungskontext des Kindes, gleichgültig in welcher Sinnesmodalität (nicht nur visuell, sondern auch akustisch, taktil, olfaktorisch usw.), ist für die Häufigkeit von Wahrnehmungen ein wichtiger Faktor und erklärt z. B. solche Beobachtungen wie die Bevorzugung von konkreten ganzheitlichen Objekten bei Benennungen im frühen Spracherwerb.

Man beachte in diesem Zusammenhang, dass der Erstspracherwerb insgesamt kein Lernprozess ist, der dem Wörterlernen im Schulunterricht entspricht, sondern in großem Umfang dem Zufall überlassen bleibt. „Young children can grasp aspects of the meaning of a new word on the basis of a few incidental exposures, without any explicit training or feedback—even without any explicit act of naming.“ (Bloom, 2000: 26)

Es ist auch unrealistisch, den Start des Wortlernens auf ein Alter von ca. 12 Monaten zu datieren. Zu diesem Zeitpunkt sind vielleicht die Ausdrucksseiten von Wörtern zu beobachten, Inhalte werden aber auch schon wesentlich früher verhaltenssteuernd verwendet.

8.3.4 Einige Thesen zu typischen Besonderheiten des Lernvorgangs

Überdiskriminierung

Wenn ein Kind als „Hund“ ausschließlich den schwarzen Pudel des Nachbarhauses bezeichnet, gilt das als Überdiskriminierung. Man muss sich aber überlegen, was es für die neuronale Repräsentation bedeutet und worin der Unterschied zur neuronalen Repräsentation von Erwachsenen besteht. Das einzige Exemplar des Kindes kann eine Kombination von mehr oder weniger vielen Eigenschaften (Merkmale) sein. Es kann als Einwortäußerung in einem Komplex unterschiedlicher, wenn auch nicht beliebiger Szenen auftreten. Es ist nicht impliziert, dass es sich um ein sehr einfaches Konzept handelt. Einfach ist es nur dann, wenn wenig unterscheidende Merkmale beachtet werden müssen, das heißt für den Spracherwerb (typischerweise), wenn es sich um ein früh erworbenes Konzept handelt, das nicht weiter ausgearbeitet worden ist. Es kann aber auch genügen, wenn ein Hund aufgrund eines einzelnen Merkmals bezeichnet wird, das zufällig nur einem bestimmten Exemplar zukommt. Diese Interpretation hat den Vorzug, den geringsten Aufwand für den Erwerb zu verursachen.

Übergeneralisierung

Szagun (2006: 138 f.), verwendet das Beispiel *moon* aus Bowerman (1977: 241), das, oberflächlich betrachtet, anders als das Beispiel „Hund“, Übergeneralisierung in erstaunlichem Ausmaß zeigt:

„Eva, *moon (Mond)*:1;3.26 (erster Gebrauch): sieht sich den Mond an; 1;4.2: sieht die Schalenseite einer halben Grapefruit von schräg unten; 1;4.19: spielt mit einer halbmondförmigen Zitronenscheibe; 1;4.23: fasst den runden Knopf an der Geschirrspülmaschine an; 1;4.24 spielt mit glänzendem rundem Blatt, das sie gerade aufgehoben hat; fasst ein Häufchen Spinat an, das ihre Mutter ihr gerade gibt; 1;5.2: hält ein halbrundes Stück Papier, das sie von einem gelben Block abgerissen hat; 1;6.16: sieht die Innenseite eines Lampenschirms einer angezündeten Flurlampe an; 1;6.16: sieht sich oben an der Wand in einem Lebensmittelgeschäft Bilder von grünem Gemüse an (Gurken, Erbsen); 1;6.29: sieht einen Wandbehang (oben) mit rosa und violetten Kreisen an; 1;7.7: zeigt auf oranges helbrundes Blinklicht an einem Auto; 1;8.4 sieht (nach oben) auf gebogene Stierhörner an der Wand; 1;8.11: klebt grünen magnetischen großen Buchstaben D an Eisschrank; 1;8.13: sieht auf schwarzes, unregelmäßig nierenförmiges Stück Papier an der Wand; 1;11.20: *my moon is off (mein Mond ist ab)*, nachdem ihr ein Haken abgegangen ist (sie sagt das öfter).“

Bei der Interpretation verwendet Szagun Vorstellungen der Prototypentheorie:

„Noch interessanter aber ist vielleicht, dass Eva beim Gebrauch von *moon* von Mal zu Mal die Merkmale wechselt. Manchmal ist die Basis der Überdehnung das Merkmal der Rundheit, dann ist es die gelbe Farbe, dann die glänzende gelbliche Farbe, und wieder ein anderes Mal die Sichelförmigkeit.[...] Dieses Verhalten beim Gebrauch des Wortes *moon* kann man so interpretieren, dass kleine Kinder mit einer prototypischen Begriffsstruktur operieren. Der Mond ist der Prototyp. Er weist alle Merkmale des Begriffs auf. Die anderen Objekte, die mit *moon* bezeichnet werden, haben jeweils ein oder zwei Merkmale mit dem Prototypen Mond gemeinsam.“

Die prototypentheoretische Interpretation würde, wenn man die in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.4.5, entwickelten Mechanismen akzeptiert, voraussetzen:

- Wahrnehmung mehrerer Merkmale, die eine bedeutungstragende instanzenbildende Zelle erregen.
- Feuern der Zelle durch Überdefinition (mehrere Merkmale sind zu einem bestimmten Zeitpunkt gleichzeitig überschwellig oder haben gemeinsam überschwellige Wirkung).
- Fixierung des Merkmalsbestandes und der Überschwelligkeit bestimmter Merkmale durch Feuern der bedeutungstragenden Zelle.

Die entscheidende Schwierigkeit bei dieser Interpretation ist das frühe Alter des Erwerbs, das mit der gleichzeitigen Verankerung einer ganzen Reihe von Merkmalen nicht gut vereinbar ist. Für den frühen Spracherwerb ist das eher unwahrscheinlich, weil die Merkmale ja erkannt und zugewiesen werden müssen. Wenn man annimmt, dass *moon*, abweichend vom Erwachsenengebrauch, einfach „Kreisbogen“ bzw. eine entsprechende Vorstellung bedeutet, kann man alle Belege des Beispiels mit einem minimalen Erwerbsvorgang, der nur eine einzelne Eigenschaft liefert, erklären. Nur wenn man alle vom Kind benannten Eindrücke mit den Erwachsenendefinitionen vergleicht, entsteht der von Szagun wiedergegebene Eindruck, dass Merkmale gewechselt werden. Das bedeutet: Übergeneralisierungsbeobachtungen können wegen der Spracherwerbsbedingungen jedenfalls nicht plausibel mit prototypischer Charakteristik der Bedeutungsrepräsentation erklärt werden. Man kann auch die Meinung vertreten, dass Übergeneralisierung und Überdiskriminierung letztlich auf denselben neuronalen Vorgang zurückgehen, nämlich die Wahl eines Merkmals, das nicht dem Merkmalsbestand der Erwachsenensprache entspricht und zu unterschiedlichen Erwachseneninterpretationen führt.

Weiterentwicklung lexikalischer Bedeutungen

Die in Abschnitt 8.2.2 behandelten Schwierigkeiten bei bereits fixierten lautlichen Lernergebnissen gelten auch für die inhaltliche Ebene. Es gibt keinen grundsätzlichen architektonischen Unterschied zwischen den Elementen, die für die Definition von Inhalten und denjenigen, die für die Definition von Lauten zuständig sind. In beiden Fällen werden Merkmale ausgewertet, die zur Bestimmung von instanzenbildenden Zellen führen. Feuernde instanzenbildende Zellen unterliegen der als Fixation bezeichneten Verhaltensänderung und sind damit gegenüber weiterer Veränderung geschützt. Bedeutungen, repräsentiert durch ODER-Zellen, die inhaltliche Definitionen für lexikalische Einheiten liefern, haben damit wie die Laute eine entsprechende Stabilität und können ohne einen dazwischen geschalteten Vergessenprozess nicht z. B. durch Hinzufügen oder Verändern einzelner Merkmale angepasst werden. Man beachte allerdings in diesem Zusammenhang wie

beim Lauterwerb die Bedingungen, unter denen der Instanzenbildungsprozess stattfindet. Die Synapseneffektivität kann zelltypisch unterschiedlich sein, und aufgrund der Redundanz der über Lernprozesse aufzubauenden Verbindungen ergibt sich dadurch eine Streuung von Neuronen, die einen unterschiedlichen Zustand in der Entwicklung des Lernergebnisses haben. Redundanz führt so bei lexikalischen Inhalten wie bei den Lauten der Ausdrucksseiten zum Bereithalten veränderbarer Instanzen, die Basis von inhaltlichen Veränderungen sein können. Wenn eine Veränderung erfolgreich ist, bedeutet das, dass sie auch durch häufigeren Gebrauch in der Sprachproduktion unterstützt wird. Nicht mehr unterstützte Korrekturen unterliegen dem Vergessen.

Holophrasen

Die Sprachproduktion von Kindern beginnt nach Meinung vieler Linguisten typischerweise nicht mit der Äußerung einzelner Wörter, sondern mit Einwortsätzen (Holophrasen).

Holophrasen drücken definitionsgemäß Inhalte aus, die in der Erwachsenensprache durch größere syntaktische Gebilde, also nicht durch einzelne Wörter, realisiert werden. (Man beachte aber, dass Holophrasen auch in der Erwachsenensprache gebraucht werden. Gute Belege dafür liefert z. B. die Sprechakttheorie.) Die inhaltliche neuronale Repräsentation von Holophrasen muss dem entsprechen, was Sätze in der Erwachsenensprache (mit Einschränkungen, die dem Stand der sprachlichen Entwicklung entsprechen) liefern würden. Beispiele für kindliche Holophrasen haben aber nicht diese Komplexität. Bickes & Pauli (2009: 74) nennen folgende Beispiele:

„Im Wesentlichen benutzen Kinder Holophrasen, um

- nach Objekten zu verlangen oder diese zu beschreiben (dabei nennen sie das Objekt beim Namen mit einer auffordernden oder neutralen Intonation);
- das Wiederauftreten von Objekten oder Ereignissen zu verlangen (*mehr, wieder*);
- das Wiederauftreten von dynamischen Ereignissen, in die Objekte eingebunden sind, zu verlangen oder diese zu beschreiben (*durch, hoch, ’runter, an, aus*);
- nach Handlungen von Personen zu verlangen oder diese zu beschreiben (*essen, malen, trinken*);
- lokale Angaben zu Objekten und Personen zu machen (*hier, draußen*);
- elementare Fragen zu stellen (*Was-das?, Wo-gehen?*);

- Eigenschaften von Objekten zu nennen (*schön, nass*);
- in sozialen Situationen zu (re)agieren (*Hallo, Tschüss, Danke, Nein*)
- Auch einzelne längere formelhafte Sequenzen aus der Erwachsenensprache werden u.U. direkt als Holophrasen in entsprechenden Situationen produziert (*Tschüss bis morgen, Zeig 'mal her!*)“

Von diesen Anwendungsbeispielen haben die wenigsten die Möglichkeit, durch einfache Satzmuster ersetzt zu werden, abgesehen davon, dass man den Kindern die Existenz entsprechender Bedeutungen zuschreiben muss. Es handelt sich offenbar um ein ähnliches Phänomen wie das, was der prototypentheoretischen Interpretation von kindlichen Wortbedeutungen und der Interpretationen bei Überdiskriminierung zugrunde liegt: Die Interpretation von Erwachsenen wird den kindlichen Äußerungen unterstellt.

8.3.5 Wahrnehmungshäufigkeit und morphologische Segmentierung

Gisela Szagun diskutiert in ihrem Abschnitt 9.3.3 (Szagun, 2006: 262 ff.) die Beobachtung, dass Häufigkeit einer Wahrnehmung nicht unbedingt für den Erwerb einer entsprechenden sprachlichen Einheit ausschlaggebend ist.

„Die Rolle von Häufigkeit im Input ist vermutlich recht komplex und zurzeit auch nicht vollends geklärt. Man kann von der Vorstellung ausgehen, dass eine sprachliche Form umso schneller gelernt wird, je häufiger sie in der Inputsprache auftritt. Diese Idee ist aber möglicherweise zu simpel. Es ist auch möglich, dass ein gewisser Schwellenwert reicht, damit eine Form erworben wird. Darüber hinaus bringt Häufigkeit keinen Nutzen mehr.“

In Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.3.2, wird dieses Problem als entscheidend in der Weise gesehen, dass ein Schwellenwert, das heißt ein Grenzwert für die Wirksamkeit von Wahrnehmungen unabdingbar ist, damit Repräsentationen eindeutig und unterscheidbar bleiben. Es wird dort auch eine geeignete Lösung des Problems vorgeschlagen, die dann in Lernprozessen des Projekts „Kortikale Linguistik“ grundsätzlich verwendet wird: Die Wirksamkeit von Wahrnehmungen wird durch eine Eigenschaft der repräsentierenden Zelle beim Erreichen des Lernziels (das heißt: beim Feuern der Zelle)

ausreichend abgeschwächt. Die Abschwächung kann nur durch einen sicherlich unterschiedlich langen Vergessensprozess wieder aufgehoben werden.

Diese Problemlösung setzt voraus, dass man die in Teil 2 entwickelten Grundlagen für neuronale Repräsentationen (lokalistisches Repräsentationsprinzip und Einzelimpulskodierung) akzeptiert, und das von Szagun beobachtete Spracherwerbsproblem kann also auch als zusätzliche Stütze dafür dienen.

Die Wahrnehmungshäufigkeit kann eine wichtige Funktion bei der morphologischen Segmentierung haben. Flexionsendungen, wie z. B. der Träger der Bedeutung PLURAL, sind im laufenden Input häufiger als die Wortstämme, mit denen sie verbunden sind. Einige Beispiele mit /-e/ „PLURAL“, für die das zweifellos gilt, sind:

Hund – Hunde
 Fisch – Fische
 Stein – Steine
 Stück – Stücke
 Tisch – Tische

usw.

Eine Segmentierung die zu einer erwünschten grammatikalischen Regel führt, sollte den Wortstamm mit seiner Bedeutung einerseits und die Flexionsendung andererseits trennen. Der Ausgangspunkt sind aber komplette Wortformen mit Bedeutungen, also z. B. /hunde/ HUND+PLURAL (beide Bedeutungsbestandteile stehen gleichzeitig an). Wenn /hund/ nur als Singularform erscheint bzw. /hunde/ nur als Pluralform, ist eine Segmentierung nicht möglich. Es braucht den Vergleich von Singular und Plural.

Wenn nicht, wie in Abschnitt 8.3.2 gezeigt, Verbindungen zu Bedeutungsträgern (ODER-Zellen) in Lernvorgängen aufgebaut werden, deren Effektivität einschränkt sofort zur Auslösung eines Aktionspotenzials führt, sondern so dass z. B. *eine* Wiederholung vorausgesetzt werden muss, reichen für die Verankerung der Ausdrucksseite /fiS/ (S steht hier und im Folgenden für f). zwei Inputs, der einer Singularform und einer Pluralform, aus, aber nicht für die Verankerung der Flexionsendung /e/, die in dieser Konstellation nur einmal vorhanden ist und deshalb nicht gültig mit einer Bedeutung verknüpft wird. Das ändert sich, wenn zusätzlich /tiS/ mit Singular und Pluralform im Input erscheint. Dann ist auch /e/ ausreichend häufig vorhanden und kann mit der Bedeutung PLURAL verknüpft werden. Die erwünschte Segmentierung ist damit, bis auf ein weiter unten noch zu diskutierendes technisches Detail, erreicht.

Als Demonstrationsobjekt ist in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ eine viele Zellen und Verbindungen umfassende Architektur konstruiert worden, de-

ren Nachteil natürlich eine Einbuße an Übersichtlichkeit sein musste. Um das Prinzip einfacher darzustellen, wird hier eine Simulation verwendet, die das Verhalten weniger Zellen betrifft, unter Verzicht auf die Vielfalt der biologischen Realität. Die Architektur des Ausgangszustands ist in Abbildung 8.3.5–1 dargestellt.

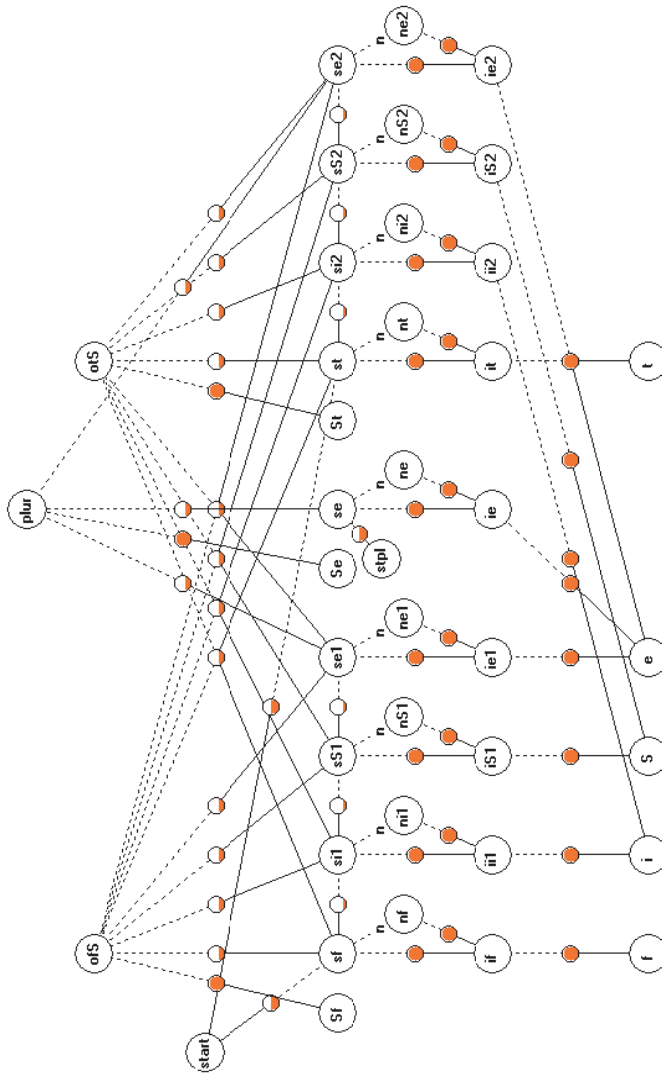


Abbildung 8.3.5–1: Architektur zum Lernprozess bei der Segmentierung von Morphemsequenzen.

Die graphische Notation entspricht dem in Abschnitt 8.3.2 verwendeten Standard (größere Kreise für die Repräsentation von Zellen, durchgezogene und gestrichelte Linien für Verbindungen und kleine, teilweise rot eingefärbte Kreise für die Synapseneffektivität. Hemmende Verbindungen werden mit n markiert.) Es wird also nicht die verkürzende Notationsform für größere Zellverbände wie in Teil 4 verwendet.

Die neuronale Repräsentation umfasst nach dem Lernvorgang die vorbereiteten Phonemsequenzen /fiS/, /fiSe/, /tiS/ und /tiSe/ .

Zur Erleichterung des Nachvollzugs sei hier der Wortlaut der Eingabedatei wiedergegeben:

```
Eingabe von Fisch
start 0 Sf 10 f 20 Sf 90 i 100 Sf 160 S 170
```

```
Eingabe von Fische
start 300 Sf 310 Se 310 f 320 Sf 390 Se 390 i 400
Sf 460 Se 460 S 470
stpl 520 Sf 520 Se 520 e 530
```

```
*** 700
```

```
Eingabe von Tisch
start 700 St 710 t 720 St 790 i 800 St 860 S 870
```

```
Eingabe von Tische
start 1000 St 1010 Se 1010 t 1020 St 1090 Se 1090 i 1100
St 1160 Se 1160 S 1170
stpl 1220 St 1220 Se 1220 e 1230
```

```
*** 1400
```

```
Start des Pluralmorphems allein
stpl 1400 e 1410
```

```
.
```

Simulation:

Morphologische Segmentierung

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert. Die Option „Simulation bis Stop“ ergibt in zwei Phasen einen Schnelldurchgang durch den Lernvorgang, anschließend kann mit Festhalten der Leertaste das Lernergebnis überprüft werden.

Das Lernergebnis zeigt die Abbildung 8.3.5–2. Die entscheidende Veränderung des Gewichts der Verbindung von *se* mit *plur* ist durch einen Blockpfeil markiert. Die Verbindungen von anderen Repräsentationen von /e/ auf ODER-Zellen sind nicht ausreichend leistungsfähig.

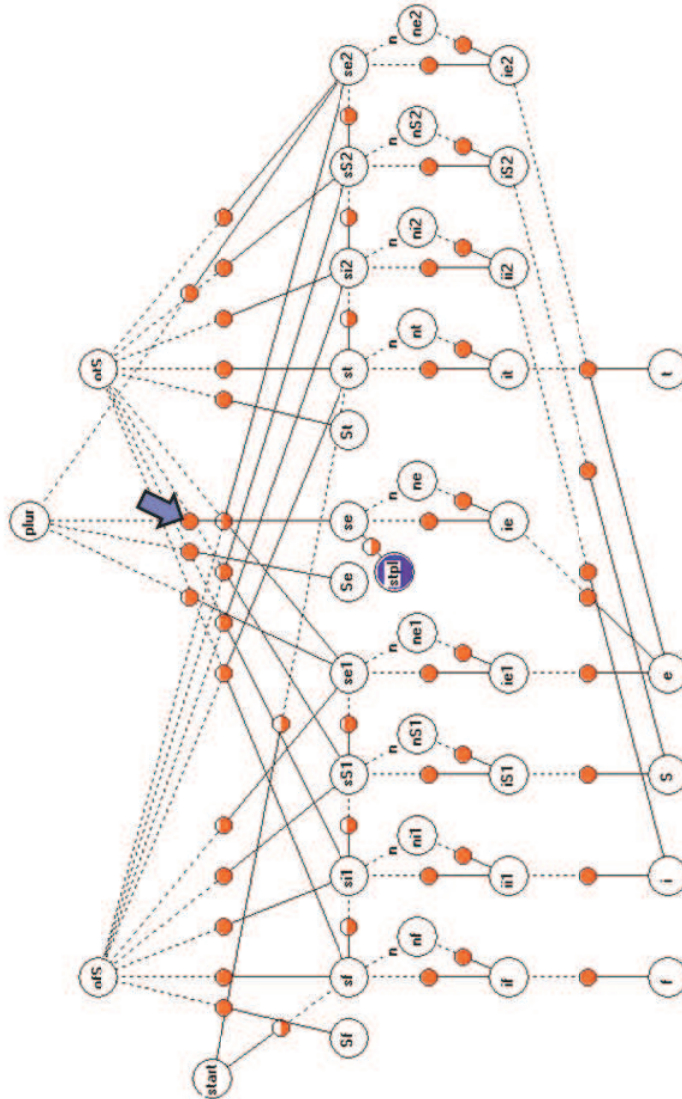


Abbildung 8.3.5–2: Ergebnis der Simulation in Zeittakt 1400.

Kommentar zum Verlauf:

Zeittakt	Vorgang
	<u>Eingabe der ersten Sequenz (fiS)</u>
0 ff.	Input auf die Zelle <i>start</i> , deren Feuern Erwartungspotenziale auf beide Sequenzstarts (Zellen <i>sf</i> und <i>st</i>) erzeugt.
10 ff.	Aktivierung der Bedeutung FISCHER. Die Zelle <i>ofS</i> feuert und bereitet damit die Verstärkung der Verbindung $sf \rightarrow ofS$ vor.
20 ff.	Input des Lautsegments /f/. Die Verbindung $sf \rightarrow ofS$ wird verstärkt, bleibt aber unterschwellig. Ein Erwartungspotenzial auf der folgenden sequenzenbildenden Zelle <i>si1</i> wird erzeugt.
90 ff.	Widerholung der Aktivierung von FISCHER. Input des Lautsegments /i/, das sowohl zur Sequenz <i>fiSe</i> als auch zur Sequenz <i>tiSe</i> gehört. Letzteres bewirkt, dass die Repräsentation von TISCHER, deren Verbindung mit <i>si1</i> nicht ganz gewichtslos ist, ein Potenzial erhält, das allerdings geringer ist, als das Potenzial von FISCHER und rasch abklingt. Die sequenzenbildende Zelle <i>sS1</i> erhält ein Erwartungspotenzial.
160 ff.	Der Vorgang ab Zeittakt 90 wiederholt sich sinngemäß mit dem Segment /S/. Die sequenzenbildende Zelle <i>se1</i> erhält ein Erwartungspotenzial das wegen des Ausbleibens eines /e/ für Plural wirkungslos abklingt.
	<u>Eingabe der zweiten Sequenz (fiSe)</u>
300 ff	Die Sequenzen werden in derselben Weise gestartet wie auf Zeittakt 0 folgend, und es wird auch die Aktivierung der Bedeutung FISCHER wiederholt, jetzt aber gleichzeitig mit der Bedeutung PLURAL (das gilt, solange die entsprechende Wahrnehmung andauert).
320 ff	Input des Lautsegments /f/. Die Verbindung $sf \rightarrow ofS$ wird verstärkt, und hat jetzt überschwellige Wirkung, so dass die Zelle <i>ofS</i> ein zweites Mal feuert. Die sequenzenbildende Zelle <i>si1</i> erhält ein Erwartungspotenzial.

- 400 ff. Input des Lautsegments /i/ mit überschwelliger Wirkung der Verbindung $si1 \rightarrow ofS$. Die Vorgänge ab Zeittakt 320 wiederholen sich sinngemäß mit dem Segment /S/ und dem Pluralzeichen /e/. Letzteres hat das Feuern von $se1$ zur Folge und damit eine erste Verstärkung der Verbindung $se1 \rightarrow ofS$, die hier nicht ausreicht, um zum Feuern von ofS zu führen.
Zusätzlich feuert jetzt aufgrund des in Zeittakt 520 über $stpl$ eingeführten syntaktischen Kontexts die Zelle se mit Verstärkung der Verbindung $se \rightarrow plur$, die unterschwellig bleibt.
Während der Eingabe der Sequenzen fiS und $fiSe$ bleiben die aktivierten Sequenzelemente von tiS und $tiSe$ wirkungslos, die Erwartungspotenziale werden gelöscht.
- Eingabe der dritten Sequenz (tiS)
- 700 ff. Input auf die Zelle $start$, deren Feuern wieder wie bisher Erwartungspotenziale auf beide Sequenzstarts (Zellen sf und st) erzeugt.
- 710 ff. Aktivierung der Bedeutung TISCHE. Die Zelle otS feuert und bereitet damit die Verstärkung der Verbindung $st \rightarrow otS$ vor.
- 720 ff. Input des Lautsegments /t/. Die Verbindung $st \rightarrow otS$ wird verstärkt, bleibt aber unterschwellig. Ein Erwartungspotenzial auf der folgenden sequenzenbildenden Zelle $si2$ wird erzeugt.
- 790 ff. Wiederholung der Aktivierung von TISCHE. Input des Lautsegments /i/, das sowohl zur Sequenz $fiSe$ als auch zur Sequenz $tiSe$ gehört. Letzteres bewirkt, dass die Repräsentation von FISCHE, deren Verbindung mit $si2$ nicht ganz gewichtslos ist, ein Potenzial erhält, das allerdings geringer ist, als das Potenzial von TISCHE und rasch abklingt. Die sequenzenbildende Zelle $sS2$ erhält ein Erwartungspotenzial.
- 860 ff. Der Vorgang ab Zeittakt 790 wiederholt sich sinngemäß mit dem Segment /S/. Die sequenzenbildende Zelle $se2$ erhält ein Erwartungspotenzial das wegen des Ausbleibens eines /e/ für Plural wirkungslos abklingt.

Eingabe der vierten Sequenz (tiSe)

- 1000 ff. Die Sequenzen werden wie bisher gestartet, einschließlich der Bedeutung TISCHE und der Bedeutung PLURAL.
- 1020 ff. Input des Lautsegments /t/. Die Verbindung $st \rightarrow otS$ wird verstärkt, und hat jetzt überschwellige Wirkung, so dass die Zelle otS ein zweites Mal feuert. Die sequenzbildende Zelle $si2$ erhält ein Erwartungspotenzial.
- 1100 ff. Input des Lautsegments /i/ mit überschweelliger Wirkung der Verbindung $si2 \rightarrow otS$. Die Vorgänge ab Zeittakt 1020 wiederholen sich sinngemäß mit dem Segment /S/ und dem Pluralzeichen /e/. Letzteres hat jetzt das Feuern von $se2$ zur Folge und damit eine erste Verstärkung der Verbindung $se2 \rightarrow otS$, die hier nicht ausreicht, um zum Feuern von otS zu führen.

Während der Eingabe der Sequenzen tiS und tiSe bleiben die aktivierten Sequenzelemente von fiS und fiSe wirkungslos, die Erwartungspotenziale werden gelöscht.

Interessant ist jetzt das Verhalten von PLURAL. Das durch den zusätzlichen Kontext über $stpl$ ermöglichte Feuern von se bewirkt eine zusätzliche Verstärkung der Verbindung $se \rightarrow plur$, die damit überschweellig wird.

Kontrolle

- 1400 Eingabe von $stpl$ als Kontext für das Pluralzeichen.
- 1410 ff. Eingabe des Pluralzeichens /e/, die Erregungen von $se1$ und $se2$ bleiben wirkungslos, nur se feuert.
- 1420 Die Verbindung $se \rightarrow plur$ ist überschweellig, die Repräsentation des Pluralzeichens $plur$ feuert, ohne vorher für einen Lernprozess vorbereitet zu sein.

Der Lernvorgang bewirkt, dass die Bedeutungen FISCH, TISCH und PLURAL kontextgesteuert separat über die lexikalischen Ausdrucksseiten aktiviert werden können.

8.4 Sprachproduktion

8.4.1 Neuronale Voraussetzungen

Grundsätzlich gilt, dass der Verstehensprozess und die dafür vorausgesetzten Lernprozesse dem Produktionsprozess vorausgeht. Man kann dazu die Beobachtung von Reaktionen bei Kindern im Alter von weniger als 12 Monaten anführen, die darauf hindeuten dass offenbar die Strukturen, die das Verstehen von Sprachinput ermöglichen, früher erworben werden als die jeweils beobachtbare Produktion.

Es ist prinzipiell nicht denkbar, dass Kinder korrekte Äußerungen produzieren, deren strukturelle Voraussetzungen nicht zuvor in Verstehensrichtung durch Lernprozesse aufgebaut worden sind. Hierbei muss allerdings zusätzlich beachtet werden, dass nicht dieselben Zellen, die im Perzeptionsprozess beteiligt sind, auch die Produktion leisten können, obwohl die Vorbereitung der Produktion, wie oben angedeutet, durch Lernprozesse in Verstehensrichtung erfolgen muss. Wenn man die Strukturen der Perzeption als bottom-up gerichtet versteht, müssen die Strukturen der Produktion als top-down gerichtet aufgefasst werden. Es ist aber trotz dieser unterschiedlichen Spezialisierung nicht möglich, dass die Top-down-Strukturen unabhängig von den Lernprozessen der Bottom-up-Strukturen entstehen. Das ergibt eine notwendige Parallelität und setzt Verbindungen der beiden gegenläufigen Bahnen als Voraussetzung des Lernprozesses voraus.

Speziell für die Strukturen des sprachlichen Lexikons gilt, dass alle Folgeprozesse, die sich aus der Perzeption ableiten, also auch die Produktion, durch Strukturen ermöglicht werden müssen, die oberhalb der ODER-Zelle liegen, die durch die phonologischen Segmente der Ausdrucksseiten innerviert wird. Der Verstehensprozess muss also die (auf die wesentlichen und redundanzfrei dargestellten Bestandteile reduzierte) Architektur der Abbildung 8.4.1-1 liefern.

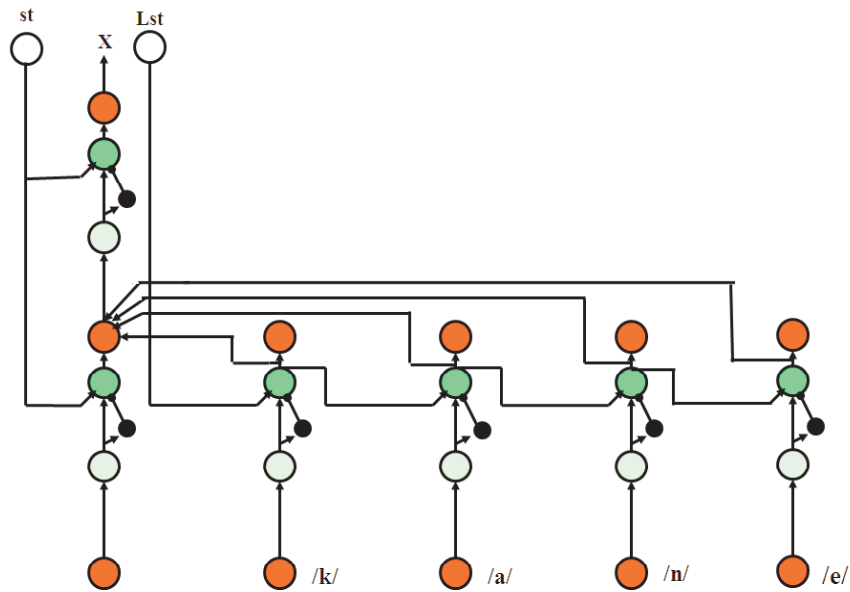


Abbildung 8.4.1–1: Zweistufige Architektur zur Demonstration der strukturellen Voraussetzungen für Folgeprozesse, die durch einen Verstehensvorgang ausgelöst werden.

Wenn man Levelts Idee des Monitoring akzeptiert und damit vermeidet, dass für das Monitoring der Produktion ein eigenes grammatikalisches System in Perzeptionsrichtung anzunehmen ist, müssen die Produktionsbahnen in die Perzeption einmünden. Das erfordert ein Strukturdetail, für das hier die Bezeichnung „Rückspiegelungsebene“ verwendet wird. Die Produktion selbst muss einen zeitlichen Rahmen erfüllen, der das Monitoring über die Rückspiegelungsebene erlaubt. Die Auslösung der Folgefunktion einer Produktion muss die Vollständigkeit der Rückspiegelung abwarten.

8.4.2 Lernvorgang für die Produktionsstrukturen eines Konzepts

In Abschnitt 8.3.2 wird unter den Bedingungen für Lernprozesse im lexikalischen Bereich festgehalten, dass eine Ausdruckssequenz für den Verstehensprozess nicht vor dem auszudrückenden Inhalt gelernt werden kann. Das setzt auch für den Produktionsprozess voraus, dass der Inhaltsbereich

schon erworben sein muss, ehe die Ausdrücke zugeordnet werden (man vgl. dazu auch die Trennung der Taktsysteme PTS und PT in Teil 5, „Syntax“, Abschnitt 5.5.5, wo PTS nur die Semantik betrifft). Wenn man diese Voraussetzung und die im vorigen Abschnitt zusammengestellten Details beachtet, ergibt sich als architektonische Grundlage für den Lernprozess eines Inhalts, der als Vorstellung produziert werden soll, die Struktur der Abbildung 8.4.2-1.

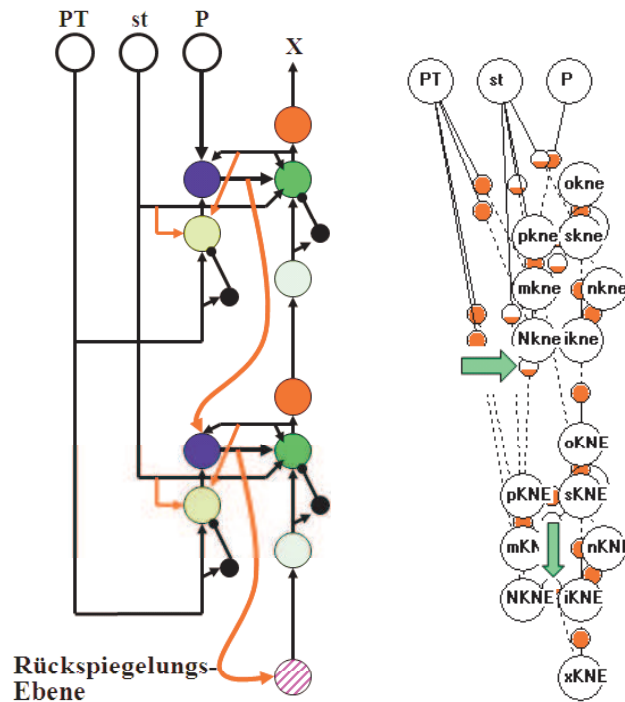


Abbildung 8.4.2-1: Struktur einer Bedeutungsrepräsentation (schematisch links und als Simulationsarchitektur rechts), als Voraussetzung für den Lernvorgang.

Die blau eingefärbten Zellen und die Zellen der Rückspiegelungsebene haben den Lernmechanismus der ODER-Zellen. Das heißt, die Verstärkung der Verbindungen auf diesen Zellen ist nur möglich, wenn die Zellen zuvor durch Feuern dafür vorbereitet worden sind. (Siehe z. B. Teil 2, Abschnitt 2.4.7, Teil 4, Abschnitt 4.4.1 und 4.4.5.) Das geschieht in dem Beispiel des Abschnitts 8.3.2 durch Aktivierung der Bedeutungen (externer Input von xKNE bzw. xKSE).

In der schematischen Darstellung der Verbindungsstruktur der Abbildung 8.4.2–1 sind diejenigen lernbaren Verbindungen, die zum Produktionsprozess gehören, rot dargestellt. Dagegen gehören die von PT ausgehenden Verbindungen, einschließlich der innervierten Zellen, zu einem unspezifischen System, von dem angenommen werden kann, dass es nicht Lernprozessen unterliegt. P ist ebenfalls ein unspezifischer Auslöser, der die Hierarchiespitze markiert. Die Hierarchieebenen für die Perzeption sind schwarz gekennzeichnet, da die sie erzeugenden Lernprozesse nicht zur Produktion gehören. Die Funktion der mit x gekennzeichneten Verbindung wird weiter unten noch behandelt.

Das Konzept wird über die Verbindung *st* einem Kontext zugeordnet, von dem hier angenommen wird, dass er zu dem Ausdruck [kane] gehört.

Zum Nachvollzug der Simulation sind in der Darstellung der Simulationsarchitektur die entscheidenden Verbindungsgewichte, deren Verstärkung beobachtet werden kann, mit Blockpfeilen markiert.

In dem Beispiel ist der Wahrnehmungsinput das Merkmal *xKNE*, die instanzbildende Zelle *iKNE* kann aber auch eine Verknüpfung mehrerer Merkmale leisten. Wie für ODER-Zellen erforderlich, wird nach der Aktivität des Produktionstakts durch die Aufwärtsbewegung der Erregung zunächst *pKNE* zum Feuern gebracht und anschließend *pkne*. Da *xKNE* durch den Input bereits für die Verstärkung der Verbindung *pKNE* → *xKNE* vorbereitet war, ist diese Verbindung jetzt überschwellig und das Feuern von *pkne* verstärkt die jetzt ebenfalls vorbereitete Verbindung *pkne* → *pKNE*.

Der Lernvorgang endet mit Zeittakt 150. Die Top-down-Bahn ist damit etabliert und kann erwartungsgemäß zur Produktion der inhaltlichen Vorstellung benutzt werden. Anschließend kann der Lernerfolg nach einer Pause, in der die Potenziale abklingen, durch Produktion überprüft werden.

Simulation:

Lernvorgang für Inhalt und Produktion des Konzepts(!) KANNE

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Option „Simulation bis Stop“ ergibt einen Schnelldurchgang durch die Lernphase. Anschließend folgt nach einer Pause ab Zeittakt 310 die Produktion.

Die Produktionsphase beginnt mit der Aktivierung des inzwischen abgeklungenen Kontexts durch *st* zur Auswahl der gelernten Vorstellung und einem Start durch *P*, der keine Auswahlfunktion hat. Anschließend folgt eine allein durch den Produktionstakt (unter der Voraussetzung, dass sich der Kontext nicht ändert) ausgelöste, andauernde Erregungsfolge.

8.4.3 Lernvorgang für eine lexikalische Ausdrucksseite

Die entsprechende Architektur für den Lernvorgang des *Ausdrucks* /kane/ ist schematisch in redundanzfreier Form in Abbildung 8.4.3–1 gegeben.

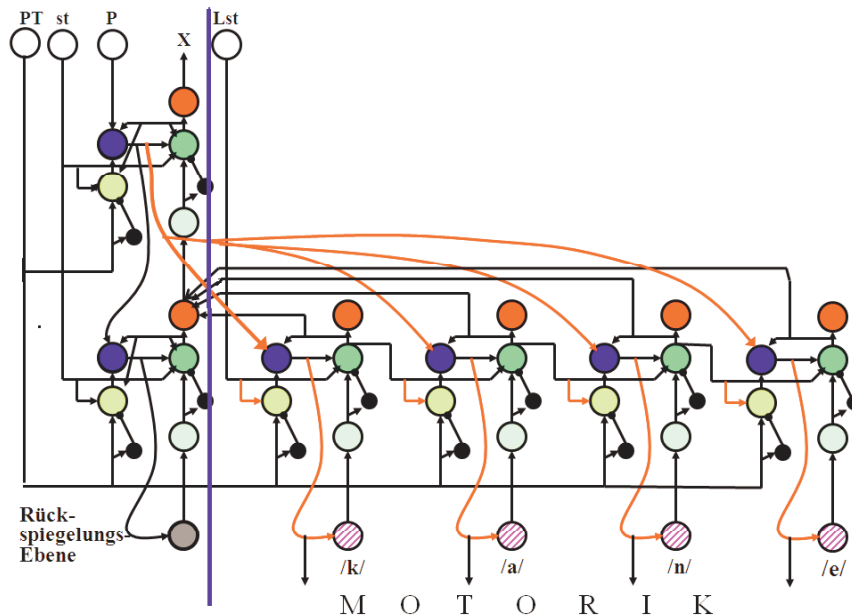


Abbildung 8.4.3–1: Architektur für den Lernvorgang der Ausdruckssequenz *Kanne*. Links von der blauen Linie ist die Bedeutungsstruktur wiedergegeben, rechts die Ausdrucksseite mit roter Markierung der dem Lernvorgang unterliegenden Produktionsverbindungen.

Die folgende Simulation setzt voraus, dass die Bedeutung von *Kanne* und die Zuordnung der Phoneme zu dieser Bedeutung bereits erworben ist. Es sollen also entsprechende Lernvorgänge für die Perzeption bereits standgefunden haben. Es bleiben für die Erwerbsproblematik der Produktion die Top-down-Strukturen. Zu beachten ist, dass, wie oben schon bemerkt, die Produktionstaktstrukturen nicht Lernprozessen unterliegen, sondern global vorhanden, also angeboren, bzw. unspezifisch angelegt zu denken sind.

In Teil 4, Abschnitt 4.4.5 ist eine Lösung des Lernproblems vorgeschlagen, die allerdings zusätzlich voraussetzt, dass nicht nur die Rückmeldeverbindungen der Inhaltsrepräsentation, sondern auch die der Ausdrucksseite bereits etabliert sind. Diese Gleichbehandlung ist unter den Verhältnissen des

Spracherwerbs wenig wahrscheinlich. Also sind auch diese Verbindungen im Ausdrucksbereich durch Lernprozesse aufzubauen. Insgesamt geht es bei dem darzustellenden Lernprozess um die in Abbildung 8.4.3–2 durch Blockpfeile markierte, sich verändernde Verbindungsgewichte. Soweit es ODER-Zellen sind, deren Verbindungen sich verändern sollen, muss die in besonderer Weise beschränkte Lernbereitschaft dieser Zellen beachtet werden.

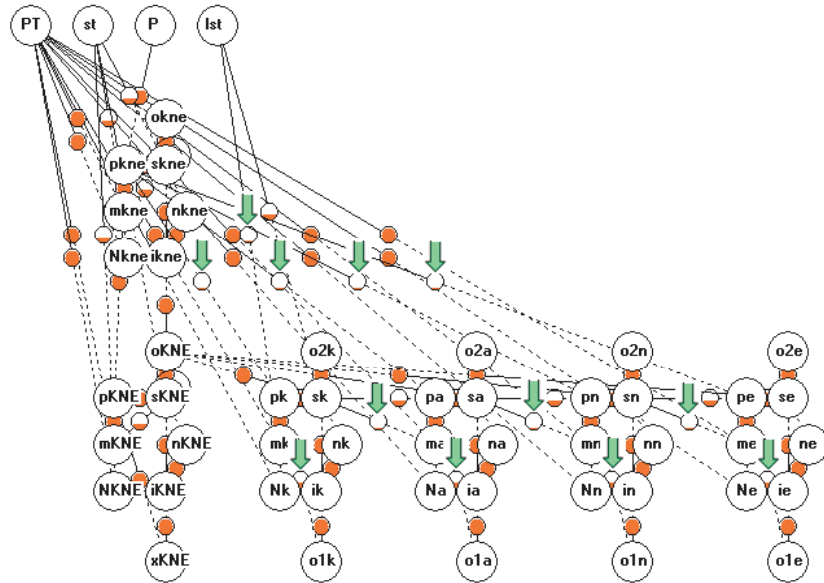


Abbildung 8.4.3–2: Anfangszustand mit Blockpfeilen für die zu beobachtenden Veränderungen der Verbindungsgewichte.

Simulation:

[Lernvorgang für die Produktionsstrukturen des Ausdrucks „Kanne“.](#)

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Option „Simulation bis Stop“ ergibt einen Schnelldurchgang durch die Lernphase.

Inhaltsstart

st 10 P 30 PT 40

Ausdruckssequenz

lst 70 o1k 80 PT 90

o1a 150 PT 160 o1n 220 PT 230 o1e 290 PT 300 *** 400

Auffällig und diskussionswürdig ist die Aktivierung des Produktionstakts *PT* in der Eingabedatei in regelmäßigem kurzem Abstand nach dem phonologischen Input.

Um den Nachvollzug zu erleichtern, folgt hier ein beschreibender Kommentar des Simulationsvorgangs, ausführlicher für das erste phonologische Segment, dann nur noch in Stichworten.

Zeittakt	Kommentar
10 ff.	'Ein Startkontext wird gesetzt.
30 ff.	Die oberste P-Zelle wird aktiviert und in ihrer Wirkung durch den Kontext spezifiziert. Anschließend führt die Aktivierung des Produktionstaktes zur Produktion des durch den Kontext bestimmten Inhalts „Kanne“, überlappend bis Takt 84 schon mit dem Anfang der Bearbeitung des Ausdrucks. Der Inhalt ist durch einen Verstehensprozess, wie in Abschnitt 8.3.2 beschrieben, bereits dem lexikalischen Ausdruck zugeordnet.
71	Das Feuern der Zelle <i>lst</i> startet den Ablauf des für die Produktion zu aktivierenden Lexikonausdrucks, zehn Zeittakte später bringt der externe Input auch <i>oIk</i> für das Segment /k/ zum Feuern.
81 ff.	Der Input für /k/ wird bearbeitet. Zu diesem Vorgang gehört das Feuern von <i>PT</i> in Zeittakt 91 mit der spezifischen Spur <i>mk</i> . Es wird in der Folge von der feuernden Zelle <i>sk</i> ausgehend ein zunächst unterschwelliges Potenzial bei <i>pk</i> erzeugt und über die Verbindung von <i>sk</i> mit <i>oKNE</i> eine Aktivierung des Inhalts von „Kanne“, wie durch den Lernvorgang des vorausgesetzten Verstehensprozesses vorbereitet, bewirkt. Außerdem wird die Verbindung <i>sk</i> → <i>ma</i> verstärkt, sichtbar in Zeittakt 102.
100 ff.	Die top-down wirkende Zelle <i>pkne</i> ist erreicht worden. In <i>pk</i> werden jetzt die von <i>sk</i> ausgegangene Eregung und die Wirkung des Produktionstakts, vermittelt durch <i>mk</i> , addiert. <i>pkne</i> und <i>pk</i> feuern gleichzeitig. Die Laufzeit der Top-down-Verbindung ist dafür verantwortlich, dass die Bedingungen für die Verbindungsverstärkung erfüllt sind, so dass die Verstärkung in Zeittakt 104 sichtbar wird. Die Verbindung <i>pk</i> → <i>oIk</i> entsteht gleichzeitig, da <i>oIk</i> von <i>pk</i> aus ebenfalls zum Feuern gebracht wird und <i>oIk</i> als ODER-Zelle in Zeittakt 81 dafür vorbereitet worden ist.

Zeittakt	Kommentar
103 ff.	Von <i>oKNE</i> (in Zeittakt 100) ausgehend ergibt sich eine Erregung aufwärts, die das Feuern von <i>ikne</i> , <i>nkne</i> , <i>skne</i> und <i>okne</i> einschließt und im Verlauf unterschwellige Potenziale in <i>pkne</i> , <i>pKNE</i> , <i>mkne</i> und <i>mKNE</i> bildet, die für den weiteren Verlauf zur Entwicklung des Produktionstakts erforderlich sind.
111 ff.	Das Feuern von <i>pKNE</i> in Zeittakt 100 führt in Zeittakt 111 (also mit einer gewollten Verzögerung) zum Feuern von <i>xKNE</i> , was anschließend zu einer aufwärtsgerichteten Erregung in <i>iKNE</i> , <i>nKNE</i> , <i>sKNE</i> und <i>oKNE</i> führt. Man beachte, dass <i>oKNE</i> in Zeittakt 120 jetzt zum zweiten Mal überschwellig erregt wird.
116 ff.	Eine von <i>o1k</i> in Zeittakt 103 ausgegangene Erregungswelle, die <i>ik</i> , <i>nk</i> und <i>sk</i> einschließt, versiegt in Zeittakt 120 in der Refraktärphase von <i>oKNE</i> .
123 ff.	Die Aufwärtsbewegung über <i>ikne</i> , <i>skne</i> und <i>okne</i> hat über die Verbindung <i>skne</i> → <i>pkne</i> eine Auffrischung des Pegels von <i>pkne</i> zur Folge.
151 ff.	Die Zelle <i>o1a</i> feuert aufgrund eines externen Inputs. Vorgänge, die dem Input für /k/ in Zeittakt 81 entsprechen, wiederholen sich jetzt sinngemäß (einschließlich der sich wiederholenden Aktivierung der Repräsentation der Bedeutung) für das Segment /a/ und die Verbindungen <i>pa</i> → <i>o1a</i> und <i>pkne</i> → <i>pa</i> werden verstärkt. Zusätzlich wird die Sequenzverbindung <i>sk</i> → <i>ma</i> aufgebaut. Analoges gilt für die Vorgänge, die auf den Input von <i>o1n</i> in Zeittakt 221 (Verstärkung der Verbindungen <i>pn</i> → <i>o1n</i> , <i>pkne</i> → <i>pn</i> und der Sequenzverbindung <i>sa</i> → <i>mn</i>) und auf den Input von <i>o1e</i> in Zeittakt 291 (Verstärkung der Verbindungen <i>pe</i> → <i>o1e</i> , <i>pkne</i> → <i>pe</i> und der Sequenzverbindung <i>sn</i> → <i>me</i>) folgen. Das Feuern der Zellen <i>o2k</i> , <i>o2a</i> , <i>o2n</i> und <i>a2e</i> hat keine weitere Funktion
314	Alle für die Produktion erforderlichen Verbindungen entsprechend dem Schema der Abbildung 8.4.1–4 sind aufgebaut, die Zellpotenziale klingen ab.

Es ist bemerkenswert, dass dieser doch sehr komplexe Verlauf ermöglicht wird, ausschließlich

- durch die auch in anderen Zusammenhängen verwendeten Eigenschaften der ODER-Zellen,
- durch die ebenfalls konstant gehaltenen Eigenschaften der sequenzenbildenden Zellen,
- durch die eingeführten und sich wiederholenden Architekturmerkmale,
- und einen letztlich nur den Zeitverlauf bestimmenden Beitrag der Eingabedatei.

8.4.4 Probleme mit dem Produktionstakt

Bemerkenswert ist auch die Behandlung des Produktionstakts. Bei der Vorgängerversion des Lernvorgangs in Teil 4, Abschnitt 4.4.5, ist der Versuch gemacht worden, den Produktionstakt aus der Verdoppelung des Feuerns der obersten ODER-Zelle der Bedeutungsrepräsentation abzuleiten. Genauere Untersuchungen im Vorfeld der jetzt vorgeschlagenen Lösung haben gezeigt, dass man damit ein wenig plausibles Schwanken der zeitlichen Abfolge riskiert. Ein solides Lernergebnis kann produziert werden, wenn man den akustischen Input zur Erzeugung des Produktionstakts heranzieht. Das ist hier vereinfachend so dargestellt worden, dass der Produktionstakt PT in der Eingabedatei mit festem Abstand auf die phonologische Eingabe folgt.

Es ist aber nicht möglich, für die Sprachproduktion, wo es keine Parallelität zu einem lautlichen Input geben kann, diese Lösung vorzuschlagen. Es ist aber möglich, hier die Verdoppelung des Feuerns der obersten ODER-Zelle heranzuziehen. Das ergibt im ersten Anlauf aufgrund des Ergebnisses des dargestellten Lernvorgangs mit einer zusätzlichen unterschwelligen Verbindung von *okne* mit PT und mit einer Eingabedatei, die nur den Anfang der Lautsequenz festlegt, einen oberflächlich gesehen brauchbaren Vorschlag für eine Nutzung des in den Abbildungen bisher mit x bezeichneten, vorläufig funktionslosen Ausgangs.

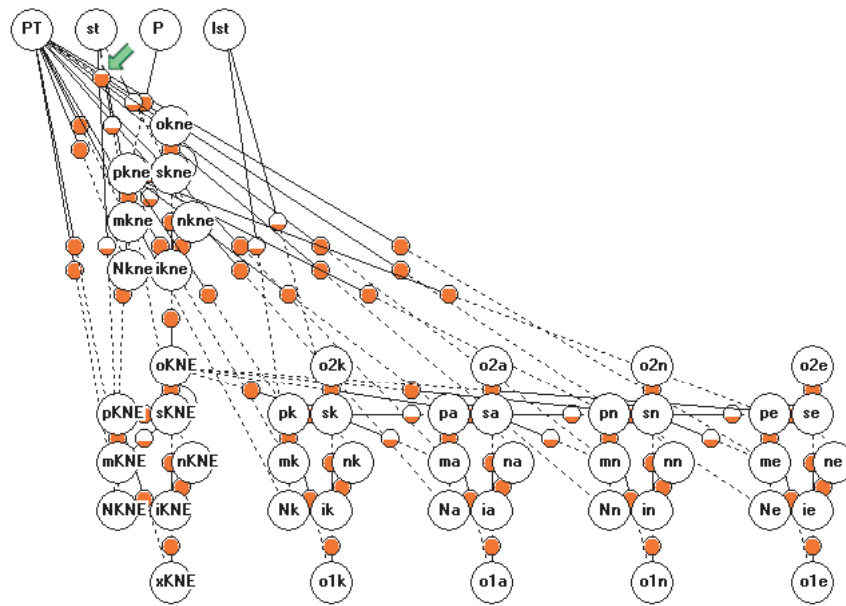


Abbildung 8.4.4–1: Abbildung der Ergebnisstruktur des dargestellten Lernvorgangs. Die zusätzlich eingefügte Verbindung von *okne* mit *PT* ist an der mit Blockpfeil gekennzeichneten Symbolisierung des unterschwelligen Verbindungsgewichts kenntlich.

Die Eingabedatei besteht nur noch aus der Festlegung des Inhalts über den Startkontext mit dessen unspezifischer Aktivierung und dem ebenso unspezifischen Lexikonstart:

```

Startkontext
st 10 P 30
PT 40
Lexikonstart
lst 90 PT 100
.
```

Simulation:
 Produktion mit dem Ergebnis des Lernversuchs, erste Version.

Als Ergebnis liefert dieser Produktionsversuch die zeitliche Reihung

xkNE 66 o1k 118 o1a 166 o1n 214 o1e 262.

Die Abstände zwischen den einzelnen Phonemproduktionen betragen, wie man sieht, 48 Zeittakte. Im Lernversuch waren die Abstände der Eingabephoneme auf 70 Zeittakte eingestellt. Das entspricht einer mittleren Sprechgeschwindigkeit (maximal 80, minimal 60 Zeittakte). Der aus dem Lernversuch sich ergebende Abstand ist auf jeden Fall zu gering. Er ist außerdem starr an die Eingabegeschwindigkeit gebunden.

Die Wirklichkeit des Spracherwerbs sieht aber so aus, dass eine feste Zuordnung zu der Lerngeschwindigkeit nicht erwartet werden kann. Die Sprechgeschwindigkeit ist variabel, man kann eine bestimmte gelernte Lausequenz langsamer oder schneller wiedergeben.

Man muss sich überlegen, wie das im Modell erreicht werden kann. Ein Verfahren der Längung von Vokalen ist in Teil 4, Abschnitt 4.4.4 angegeben. Eine langsamere Sprechweise setzt aber den dort beschriebenen Prozess nicht voraus. Das heißt, eine phonologische Kürze bleibt auch dann als Kürze erhalten, wenn die Sprechgeschwindigkeit allgemein verlangsamt ist. Sicherlich können die neuronalen Bedingungen auch nicht speziell und in größeren Strukturbereichen für den Einzelfall einer gerade beabsichtigten Produktion verändert werden. Eine verallgemeinerbare Lösung muss in Bereichen ansetzen, deren Wirkung zwar allgemein, aber auch nicht unveränderlich, also nicht etwa als angeborene Eigenschaften architekturell gebunden ist.

Eine diesen Voraussetzungen entsprechende Möglichkeit ist es, die Verbindung der Hierarchiespitze mit dem Produktionstakt variabel zu halten. Wenn man sich auf die Notwendigkeit der Verlangsamung beschränkt, kann man sich die Architektur der Abbildung 8.4.1–6 als Lösung vorstellen. Dort ist eine einzelne Zelle (oder auch ein entsprechender Zellverband) zwischen die Hierarchiespitze und den Produktionstaktmechanismus eingeschaltet. Die Verdoppelung des Signals der Hierarchiespitze wird beibehalten. Verlangsamend wirkt die Zeitverzögerung der Verbindung $PR \rightarrow PT$, die kontinuierlich veränderbar sein kann, z. B. durch den Einfluss von Stressfaktoren. Die Starteingabedatei kann unverändert bleiben, braucht also nur, wie oben für die starre Zeitregelung, den zu produzierenden Inhalt und den Lexikonstart festzulegen:

Startkontext
 st 10 P 30
 PT 40
 Lexikonstart
 lst 90 PT 100
 .

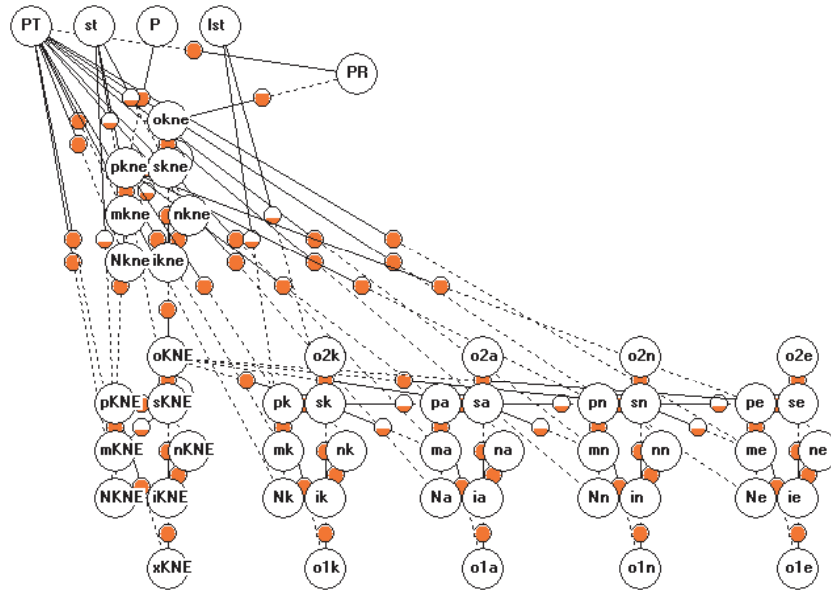


Abbildung 8.4.4–2: Architektur zur Produktion aufgrund des gleichen Lernergebnisses, aber mit variiertem Produktionsgeschwindigkeit. Eine Zwischenschaltung mit einer zusätzlichen Zelle *PR* ist zur Verlangsamung zwischen *okne* und *PT* eingefügt.

Simulation:

Produktion mit dem Ergebnis des Lernversuchs, verbesserte Version.

Abstand der Phonemproduktionen 69 Zeittakte.

Abstand der Phonemproduktionen 61 Zeittakte.

Der Abstand von 69 Zeittakten entsteht bei einer Zeitdauer der Verbindung $PR \rightarrow PT$ von 20 Zeittakten, der Abstand von 61 Zeittakten entsteht bei einer Zeitdauer der Verbindung $PR \rightarrow PT$ von 10 Zeittakten.