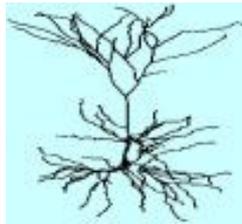

Günter Kochendörfer

Kortikale Linguistik

Teil 6: Gedächtnisformen, Textverstehen



<http://www.cortical-linguistics.de>
15. 9. 2009

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 6

Gedächtnisformen, Textverstehen

Es gibt verschiedene Gedächtnistypen, die mit sprachverarbeitenden Prozessen verknüpft sind und die jeweils ihre eigenen strukturellen Voraussetzungen im Kortex haben. Gängige Unterscheidungen wie die zwischen Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis oder zwischen episodischem und semantischem Gedächtnis sind nicht ausreichend zur Erklärung der beobachtbaren Phänomene. Textverstehen benutzt Gedächtnis in komplizierter Art und Weise.

Diese Arbeit versucht, einige Schlussfolgerungen zu ziehen, die sich aus den Diskussionen in den Teilen 2, 4 und 5 ergeben haben, mit Bezug auf die Repräsentationen von Inhalten im Kortex, die lexikalische und syntaktische Verarbeitung und den Einfluss von Kontext auf das Verstehen neuer Informationen. Verschiedene Arten von Kurzzeitgedächtnis und verschiedene Formen der Verwendung von Langzeitgedächtnisspuren müssen in Betracht gezogen werden.

Inhalt

- 6.1 Gedächtnis: Stand der Forschung und Desiderata
 - 6.1.1 Textverstehen und Gedächtnisproblematik
 - 6.1.2 Langzeitgedächtnis
 - 6.1.3 Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis: Allgemeine Bemerkungen
 - 6.1.4 Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis: Modulare Modelle
 - 6.1.5 Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis: Nicht-modulare Modelle
 - 6.1.6 Anforderungen

- 6.2 Gedächtnisformen
 - 6.2.1 Zelluläre Gedächtnisformen
 - 6.2.2 Synaptische Gedächtnisformen: Langzeitgedächtnis, allgemeine Überlegungen
 - 6.2.3 Synaptische Gedächtnisformen: Langzeitgedächtnis, Klärung zusätzlicher Details durch Simulationsexperimente
 - 6.2.4 Synaptische Gedächtnisformen: Kurzzeitgedächtnis
 - 6.2.5 Gedächtnissysteme

- 6.3 Textverstehen, Stand der Forschung und Desiderata
 - 6.3.1 Bemerkungen zum Textbegriff
 - 6.3.2 Kintsch & van Dijk (1978)
 - 6.3.3 van Dijk & Kintsch (1983)
 - 6.3.4 Kintsch (1988)
 - 6.3.5 Jüngere Entwicklungen
 - 6.3.6 Die Problematik des Kohärenzbegriffs
 - 6.3.7 Desiderata

6.4 Der Prozess des Textverstehens

6.4.1 Sprachliche Episoden

6.4.2 Wortverstehen

6.4.3 Satzverstehen

6.4.4 Textverstehen

6.5 Komplexe Zusammenhänge

6.5.1 Lernen und Gedächtnis

6.5.2 Mentale Modelle

6.5.3 Persönlichkeit und kollektives Gedächtnis

6.1 Gedächtnis: Stand der Forschung und Desiderata

6.1.1 Textverstehen und Gedächtnisproblematik

Wegen der engen Verwandtschaft und gegenseitigen Abhängigkeit liegt es nahe, Textverstehen und Gedächtnisprozesse zusammen zu behandeln. Texte sind als solche ein Gedächtnisphänomen. Wenn man von der physikalischen Erscheinungsform absieht, kann man sie als teils sehr kurzzeitig etablierte, teils dauerhafter verankerte kortikale Strukturen betrachten, die durch Prozesse zustande kommen, die generell für Sprachverarbeitung und Gedächtnis gelten. Kohärenz z. B. ist eine Eigenschaft, die für weite Bereiche kortikaler Verarbeitung, nicht nur den Textbereich, wesentlich sind.

Die Modellierung des Textverstehens setzt voraus, dass ausreichend präzise Vorstellungen über mögliche Gedächtnisprozesse vorliegen. Angesichts der intensiven Forschungstätigkeit, vor allem in der Psychologie, möchte man meinen, dass es hier einen weitreichenden Konsens geben müsste. Aber abgesehen von der Unterscheidung von Langzeitgedächtnis und Kurzzeitgedächtnis bzw. Arbeitsgedächtnis (wobei unterschiedliche Meinungen darüber existieren wie diese beiden Instanzen zusammenhängen) scheint es wenig Einigkeit selbst in grundlegenden Positionen zu geben. Daran hat sich auch nachdem bildgebende Verfahren zu Unterstützung von Verhaltensexperimenten herangezogen werden können wenig geändert.

Für die unbefriedigende Situation ist wohl hauptsächlich auch die Schwierigkeit mit der Erklärung elementarer Lernvorgänge verantwortlich und die vergleichsweise geringe Neigung, neurophysiologische Erkenntnisse in umfangreichere, mehr als einzelne Zellen umfassende psychologische Modelle einzubeziehen. Auch die Anwendung konnektionistischer Vorstellungen (man vgl. die Übersicht bei Ellis & Humphreis, 1999) trägt wenig zur Klärung bei. Künstliche neuronale Netze sind typischerweise in ihrer Funktion holistisch

und zeigen wenig Ansatzpunkte zur Integration gängiger differenzierender Ergebnisse von Verhaltensexperimenten im Gedächtnisbereich.

Hinderlich ist auch die in der Psychologie angewandte Technik der Hypothesenprüfung, die dazu verleitet, isolierte Phänomene zu überprüfen und damit das Risiko heraufbeschwört, dass ein zusammenhängendes Gesamtbild nicht entstehen kann. In diesem Teil 6 des Gesamtprojekts „Kortikale Linguistik“ wird Gedächtnis als kortikales Phänomen in engem Zusammenhang mit den relativ komplexen Modellvorstellungen behandelt, die in den Teilen 1 bis 5 entwickelt worden sind. Die verwendete Simulationstechnik auf neuronaler Ebene kann als Ersatz für das Hypothesenprüfungsverfahren verstanden werden und vermeidet die angesprochene Vereinzelung.

6.1.2 Langzeitgedächtnis

Nach der Dauer der Verfügbarkeit der Gedächtnisspur wird im Allgemeinen ein Ultrakurzzeit-, ein Kurzzeit- und ein Langzeitgedächtnis unterschieden. Mindestens der Begriff des Langzeitgedächtnisses ist einigermaßen unstrittig.

Probleme entstehen aber, wenn es darum geht, verschiedene Komponenten des Langzeitgedächtnisses zu unterscheiden. Eine klassische Taxonomie ist die von Endel Tulving. Der betreffende Text in Tulving (2000:728), der eine neuere Version wiedergibt, soll hier ausführlich zitiert werden, da er nicht nur die Begrifflichkeit darstellt, sondern auch die Art der Argumentation spiegelt:

„The most fundamental division in memory deals with the distinction between behavior and thought. Many forms of learning and memory are expressed in behavior (doing something, carrying out a procedure) whereas others are expressed in thought (contemplating something, being cognizant of some mental contents). The behavioral kinds collectively are referred to as “procedural” memory; the ones expressed in thought are referred to as “cognitive” memory. [...]

Cognitive memory [...] can be further subdivided into four major categories, or “systems”. They are (1) working memory, whose function is to hold information “on line” over short intervals of time while cognitive operations are performed on it; (2) the perceptual representation system, whose function is to mediate memory-based facilitation of perceptual identification of objects; (3) semantic memory, whose function is to mediate the acquisi-

tion and use of individuals' general knowledge of the world; and (4) episodic memory, whose function is to mediate conscious access to the personally experienced past.

The separability of the four systems from one another is widely if not universally accepted. The distinctions among them receive support from sharp dissociation between task performances that depend heavily on the different underlying systems in normal subjects and brain-damaged individuals, as well as from functional neuroimaging and psychopharmacological studies.“

Man sieht, dass es die unterschiedliche *inhaltliche* Funktion ist, die zur Differenzierung dient. So kann man auch verstehen, dass „working memory“, „perceptual representation system“, „semantic memory“ und „episodic memory“ innerhalb des „cognitive memory“ in eine Reihe gestellt werden. Eine graphische Darstellung gibt Abbildung 6.1.2-1:

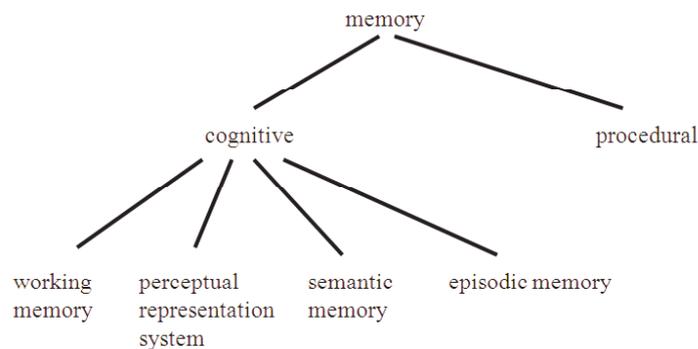


Abbildung 6.1.2-1: Klassifikation von Gedächtnistypen nach Tulving (2000).

Die Unterscheidung von episodischem und semantischem Gedächtnis ist vielfach kritisiert worden, jedenfalls wird angezweifelt ob es sich tatsächlich auch anatomisch um unterschiedliche Strukturen handelt. Eine Zusammenstellung von Argumenten findet sich z. B. bei Buchner & Brandt (2003). Die Autoren schließen, dass die Unterscheidung möglicherweise nur auf „deskriptiver“ Ebene sinnvoll sei (Buchner & Brandt, 2003: 107).

Eine alternative Taxonomie ist die von Larry R. Squire und Mitarbeitern, hier in Abbildung 6.1.2-2 vereinfacht wiedergegeben nach der Darstellung in demselben Sammelband, der auch den Tulving-Text enthält.

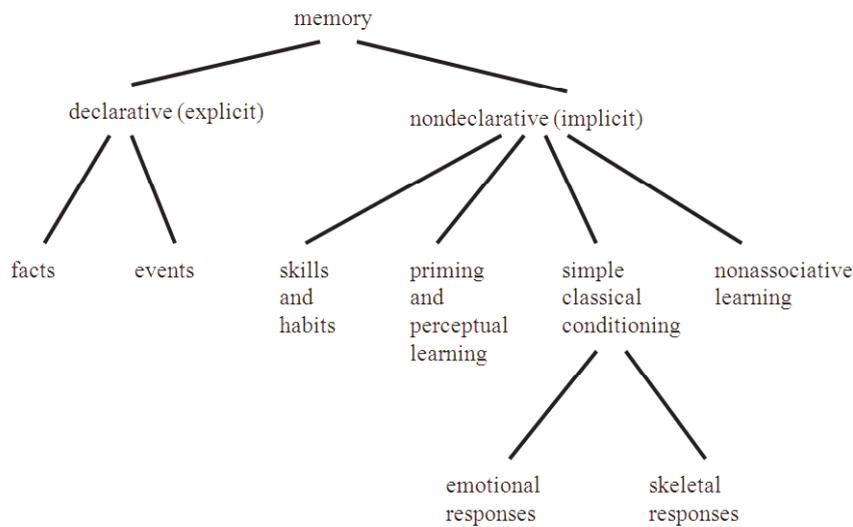


Abbildung 6.1.2-2: Klassifikation von Langzeitgedächtnistypen, vereinfacht nach Squire & Knowlton (2000: 776).

Das Arbeitsgedächtnis ist ausgeklammert und das „perceptual representation system“ fehlt. Der Bereich des „nondeclarative memory“, der mit Tulvings „procedural memory“ nur teilweise identifiziert werden kann, ist genauer spezifiziert, wobei auch die Unterschiedlichkeit von Lernprozessen als Kriterien für die Differenzierung verwendet wird. Das gemeinsame Hauptmerkmal der Komponenten des nichtdeklarativen Gedächtnisses ist das Fehlen bewusst werdender Prozesse. (Die Bezeichnungen explizit vs. implizit werden bei Tulving nicht alternativ anstelle von *cognitiv* vs. *prozedural* verwendet, obwohl Tulving diese Unterscheidung anspricht.)

Viele Formulierungen in den psychologischen Arbeiten zum Gedächtnis deuten darauf hin, dass die Gedächtnistypen mit lokalisierbaren Modulen identifiziert werden. Ein Beispiel aus dem Text von Squire & Knowlton (2000: 770): „The anatomical locus of perceptual priming appears to be in posterior neocortex“. Das gilt auch, wenn vorsichtiger oft von Strukturen die Rede ist, die *in Zusammenhang* mit bestimmten Gedächtnisphänomenen stehen.

Der Fall des Priming, von Squire & Knowlton dem prozeduralen Gedächtnis zugeordnet, ist für die Lokalisierungsfrage deshalb besonders interessant, weil es Priming-Phänomene mit semantischem, episodischem und lexikalisch-ausdrucksseitigem, das heißt unterschiedlich lokalisiertem Material gibt. Brand & Markowitsch (2003: 172) unterscheiden, anders als Squire, vier

Langzeitgedächtnis-Systeme: Episodisches Gedächtnis, semantisches Gedächtnis, prozedurales Gedächtnis und Priming-Gedächtnis, wobei nur der Zugriff auf das episodische Gedächtnis als intentional gesehen wird. Hier wird das Priming-Gedächtnis auf eine Stufe mit den anderen Gedächtnisformen gestellt, was eine etwas überraschende Konstruktion sein dürfte. Außerdem wird offenbar angenommen, dass es für das Priming dieselben Prozessvoraussetzungen gibt, wie für die anderen Gedächtnisformen, also „encoding and consolidation“, „storage“ und „retrieval“ (Brand & Markowitsch, 2003: 179).

Man muss in unserem Zusammenhang natürlich zusätzlich fragen, wie der Sprachbesitz eines Sprechers, der sicherlich im Wesentlichen ein Bestand des Langzeitgedächtnisses ist, in die drei Taxonomien eingegliedert werden kann. Als Wissensbestand ist Sprache vielleicht am ehesten deklarativ (kognitiv) und sie wird auch im Allgemeinen dem semantischen Gedächtnis zugeordnet. Als Grundlage für semantisches Priming und in den dem Bewußtsein entzogenen syntaktischen Prozessen ist die Sprache aber eher prozedural, jedenfalls solange man nicht das prozedurale Gedächtnis hauptsächlich in Basalganglien und Kleinhirnstrukturen (eventuell ergänzt durch prämotorische Areale) lokalisiert, wie bei Brand & Markowitsch (2003: 179) oder Pritzel, Brand & Markowitsch (2003: 426). Soll man ein eigenes Gedächtnissystem für die Sprache annehmen? Oder auch allgemeiner: Was ist überhaupt ein Gedächtnissystem? Die letztere Frage wird auch am Schluss des Textes von Squire & Knowlton gestellt (Squire & Knowlton, 2000: 776).

6.1.3 Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis: Allgemeine Bemerkungen

Wenn man Arbeiten durchsieht, die sich mit den Strukturen von Kurzzeitgedächtnis bzw. Arbeitsgedächtnis beschäftigen, fällt auf, dass das Kriterium für die Unterscheidung verschiedener Gedächtniskomponenten nicht, wie bei der Behandlung des Langzeitgedächtnisses, eher inhaltlicher Art ist, sondern sich auf Eigenschaften des Funktionierens bezieht, z. B. auf die Dauer der Verfügbarkeit des gespeicherten Inhalts oder die Art der Zugriffsprozesse. Aufgrund dieses Kriteriums ist es möglich, in die Modelle auch wieder das Langzeitgedächtnis als Bestandteil einzubeziehen. Das Langzeitgedächtnis unterscheidet sich dann von den anderen Komponenten durch die längere Dauer der Gedächtnisspur, während bei den Kurzzeitgedächtnis-Formen das Abklingen und ggf. der Stützungsbedarf charakteristisch sind.

Dieser Unterschied in der Behandlung letztlich doch verwandter Gegenstände hat dann oft zur Folge, dass in der Diskussion der Kurzzeitgedächtnisstruk-

turen die Einteilungen des Langzeitgedächtnisses vergessen werden, bzw. es wird angenommen, dass das Kurzzeitgedächtnis nicht entsprechend differenziert ist.

Der Begriff „Arbeitsgedächtnis“, der häufig den Begriff „Kurzzeitgedächtnis“ ersetzt hat (obwohl auch eine Differenzierung möglich ist), signalisiert, dass ein enger Zusammenhang dieser Gedächtnisfunktion mit Verarbeitungsleistungen besteht und das Langzeitgedächtnis eher als passiver Speicher gesehen wird.

Man kann modulare und nicht-modulare Gedächtnismodelle unterscheiden. Für modulare Modelle gelten mindestens andeutungsweise die Eigenschaften, die Fodor (1983) für Module feststellt, insbesondere die Abgeschlossenheit und die Existenz von Schnittstellen. Als modulare Modelle werden hier also nicht solche bezeichnet, die mehrere inhaltsspezifische Speichereinheiten unterscheiden, solange nicht zusätzlich gilt, dass diese Speichereinheiten durch Kommunikationsstrukturen verbunden sind, deren Leistung spezifisch und funktional beschränkt ist. Nicht-modulare Modelle sind dagegen solche, bei denen alle wesentlichen Gedächtnisphänomene, auch Phänomene unterschiedlicher Dauer, denselben neuronalen Strukturen zugeschrieben werden, bzw. jedenfalls Strukturen, die nicht durch Schnittstellen getrennt sind.

Die folgenden Abschnitte behandeln ausgewählte Modelle, die in der Diskussion eine besondere Rolle spielen oder gespielt haben. Die Darstellung bezieht sich in erster Linie auf die entsprechenden Architekturen, da sie die Basis der anschließenden Kritik sind. Prozessannahmen bzw. Leistungen (zu denen die Literatur praktisch nicht mehr überschaubar ist) werden nur beschränkt, und soweit auf die Architekturen bezogen, dargestellt. Theorien, deren apparative Ausformung wenig detailliert ist, wie z. B. der Verarbeitungsebenen-Ansatz von Craik & Lockhart (1972), oder solche, die von vornherein Konzepte der künstlichen Intelligenz verwenden, wie z. B. Act-R (Anderson & Lebiere, 1998), sind nicht mit aufgeführt.

6.1.4 Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis: Modulare Modelle

Klassische Mehrspeichermodelle

Ein klassisches Mehrspeichermodell geht auf Atkinson & Shiffrin (1968) zurück und ist vielfach wiederholt und leicht modifiziert worden. Die Struktur, die das Kurzzeitgedächtnis in die anderen Gedächtnisformen einbettet, ist in Abbildung 6.1.4–1 wiedergegeben.

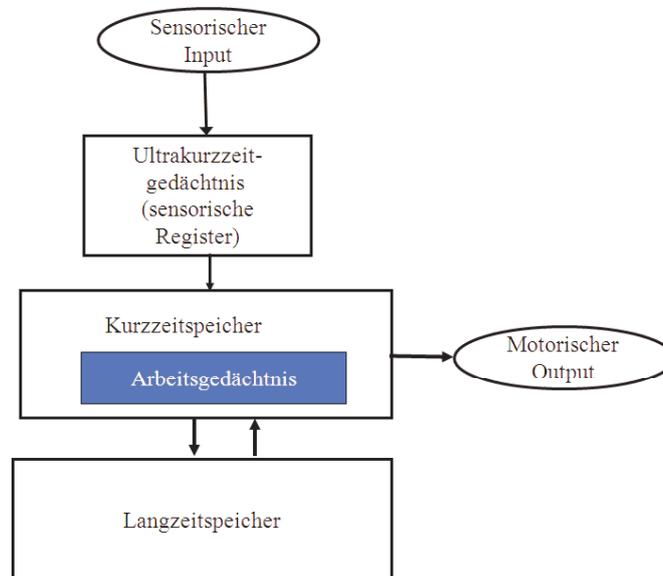


Abbildung 6.1.4–1: Klassisches Mehrspeichermodell nach Atkinson & Shiffrin (1968).

Die sensorischen Register halten in einer reiznahen Form kodierte Informationen für sehr kurze Zeit fest und geben sie selektiv an die folgenden Speichereinheiten weiter. Für die verschiedenen Sinnesmodalitäten werden entsprechend für die Modalitäten spezifische Register angenommen.

Das Kurzzeitgedächtnis enthält Informationen aus den sensorischen Registern und dem Langzeitgedächtnis. Es hat insofern eine zentrale Position und Funktion. Informationen werden einige Sekunden zur bewußten Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt, oder können auch länger anstehen, wenn sie mit Aufmerksamkeit belegt sind.

Der Begriff Arbeitsgedächtnis wird teilweise einfach synonym mit Kurzzeitgedächtnis oder für einen ausgezeichneten Teil davon gebraucht, wie schon in Abschnitt 6.1.3 angedeutet. Das wird hier durch den eingebetteten Kasten ausgedrückt.

Während die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses als zeitlich und inhaltlich begrenzt gilt, gilt das Langzeitgedächtnis als dauerhafter und praktisch unbegrenzter Speicher.

Die Pfeile in Abbildung 6.1.4–1 legen eine Reihenfolge des Informationsflusses fest. Die Kodierungsformen ändern sich von Speicher zu Speicher, so dass man tatsächlich von einer Schnittstellenstruktur sprechen kann.

Arbeitsgedächtnis nach Baddeley

Die Arbeiten von Alan Baddeley zu Gedächtnisformen und Gedächtnisprozessen beziehen sich im Schwerpunkt auf die Konzeption des Arbeitsgedächtnisses, das aus mehreren Komponenten besteht, wie in Abbildung 6.1.4–2 dargestellt.

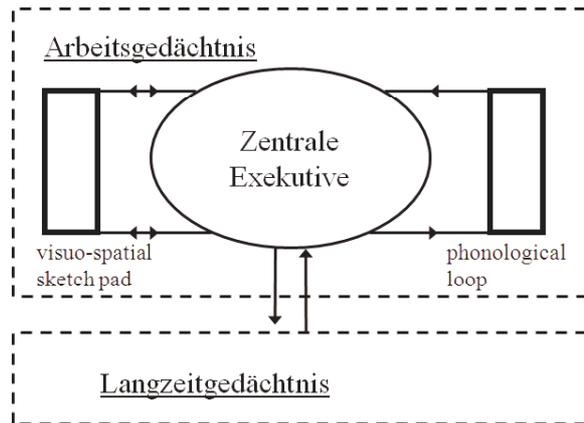


Abbildung 6.1.4–2: Struktur des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1995), ergänzt.

Die Struktur besteht aus einer zentralen Exekutive und zwei „slave systems“. Von besonderem Interesse ist der „phonological loop“, dessen interne Struktur in Abbildung 6.1.4–3 wiedergegeben ist.

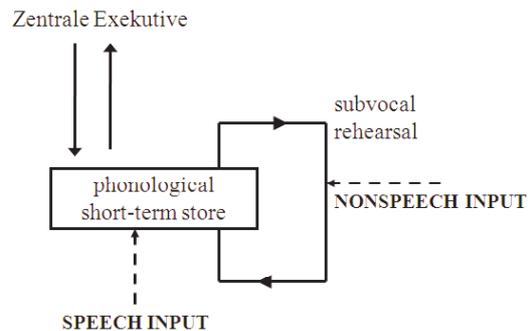


Abbildung 6.1.4–3: Details zur Funktion des phonologischen loop nach Baddeley (1995).

Die experimentellen Grundlagen für diese Konstruktion bestehen in Beobachtungen bei der Wiedergabe von Listen (meist Wörtern). Der zeitliche Abstand zwischen Einspeichern und Wiedergabe wird dabei relativ kurz gewählt. Wichtig sind insbesondere die folgenden Punkte (vgl. Baddeley, 1997, zusammenfassende Darstellung von Tests und Testverfahren z. B. bei Dittmann & Schmidt, 1998):

- (1) Das Verschwinden einer Information wird durch Wiederholung (Rehearsal) verhindert. Die Störung des Wiederholungsprozesses verschlechtert die Wiedergabeleistung.
- (2) Die Wiedergabeleistung bei sprachlichem Material wird durch gleichzeitiges irrelevantes (ebenfalls sprachliches) Material beeinträchtigt. Die Wiedergabeleistung bei nichtsprachlichem Material wird durch Versprachlichung verbessert. Es gilt aber auch, dass sie durch gleichzeitiges irrelevantes nichtsprachliches Material verschlechtert wird.
- (3) Die korrekte Wiedergabe ohne Rehearsal ist auf eine Dauer des sprachlichen Materials und des Abstands von Einspeicherung und Wiedergabe von ungefähr zwei Sekunden beschränkt.

Punkt (1) führt zur Idee der Wiederholungsschleife, Punkt (2) begründet die Annahme von zwei getrennten „slavesystems“ und führt zur Betonung der Bedeutung des *sprachlichen* Rehearsal-Vorgangs. Punkt (3) führt zur Annahme eines Zeitlimits für den Kurzzeitspeicher.

Die zentrale Exekutive hat Steuerfunktion:

„The central executive component of working memory [...] is assumed to be a limited-capacity attentional system that controls the phonological loop and sketch pad, and relates them to long-term memory.“ (Baddeley, 1999: 66)

Die Einschätzung des Modells als modular setzt eine entsprechende Interpretation der Pfeile voraus. Pfeile in Darstellungen modularer Modelle sollten einen Datentransport über Schnittstellen bezeichnen, siehe schon oben zum klassischen Mehrspeichermodell. Wenn Pfeile nur Beziehungen oder Reihenfolgen meinen, und die einzelnen Komponenten nicht mit apparativen Grundlagen identifiziert werden können, fehlen die wesentlichen, nach Fodor (1983) relevanten Eigenschaften der Modularität.

Baddeley (2000) beschreibt eine zweifache Erweiterung des ursprünglichen Konzepts. Die Beobachtung, dass der „phonological loop“ einen Einfluss auf

den Spracherwerb, also das Langzeitgedächtnis hat, wird als Begründung für entsprechende Verbindungen herangezogen (in Abbildung 6.1.4–4 grüne Strukturen). Ein zusätzlicher episodischer Buffer (in Abbildung 6.1.4–5 rote Strukturen) wird eingeführt, um Chunking-Phänomene, z. B. die Verbesserung der Merkleistung für Wörter, die in Sätze eingebettet sind, zu erklären. Offenbar ist dafür eine Kodierung erforderlich, die Informationen aus mehreren Quellen repräsentieren kann und damit universeller ist als die beiden bisher eingeführten Slave-Komponenten. Es wird damit gerechnet, dass der Buffer mehrfach implementiert ist, um das System durch Redundanz robuster zu machen. Das soll aber nicht heißen, dass die modulare Gesamtkonzeption aufgehoben wird:

„The revised framework differs from many current models of WM in its continued emphasis on a multi-component nature, and in its rejection of the suggestion that working memory simply represents the activated portions of LTM“. (Baddeley, 2000: 422)

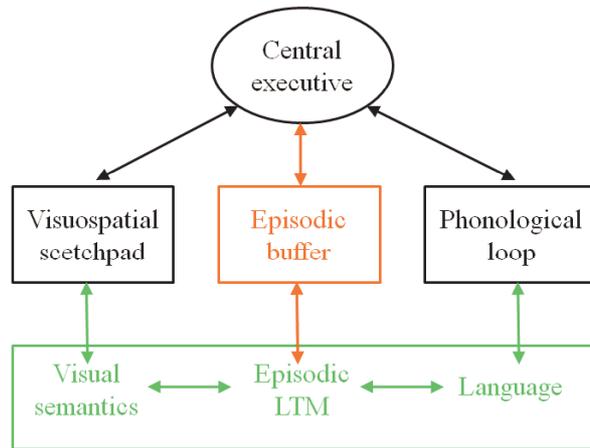


Abbildung 6.1.4–4: Das erweiterte Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (2000).

Eine inhaltliche Spezifizierung des Kurzzeitgedächtnisses, die zu einer der Vermehrung des episodischen Buffers vergleichbaren Vermehrung wohl ebenfalls in sich modularer Strukturen führt, wird z. B. bei Petrides (1994) aufgrund von Untersuchungen mit nichtmenschlichen Primaten angenommen:

„According to the view presented here, there are as many working memory systems as there are specialized systems for processing specific categories of information. Thus, from the point of

view of the present model, the two major working memory ‘slave’ systems, i.e. the phonological loop and the visuospatial sketch pad, which have been proposed from experimental psychological studies (Baddeley, 1986), are but two instances of many specialized working memory systems.“ (Petrides, 1994: 78)

6.1.5 Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis: Nicht-modulare Modelle

Konnektionismus

Die Grundlagen konnektionistischer Modellbildung sind in Teil 2, Abschnitt 2.2.3 dargestellt. Die künstlichen Neuronen eines konnektionistischen Netzes sind durch ein Verbindungsmuster verknüpft, das als Repräsentation der Menge der langfristig gespeicherten Inhalte interpretiert werden kann. Dieses Verbindungsmuster kann in lernfähigen konnektionistischen Netzen durch einen Lernprozess aufgebaut werden. Während der Durchführung einer beliebigen Aufgabe haben die Neuronen einen temporären Aktivationsgrad. Es ist also möglich, den temporären Aktivationszustand eines Netzes als Kurzzeitgedächtnis zu sehen. Je nach Definition der Neuroneneigenschaften kann auch das Abklingen der Aktivierung bei fehlendem Input vorgesehen sein. Das alle abrufbaren Inhalte zusammengenommen repräsentierende Verbindungsmuster ist dann mit dem Langzeitgedächtnis zu identifizieren.

Wenn man die Verhältnisse so sieht, sind konnektionistische Modelle generell Gedächtnismodelle, ohne dass man sie ausdrücklich als solche deklariert. Die Unterscheidung von Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis führt nicht dazu, dass verschiedene apparative Komponenten angenommen werden (von einzelnen Modellen abgesehen, z. B. solchen, die zur Darstellung von Sequenzen eine Schicht von Kontexteinheiten zur Zwischenspeicherung vorsehen). Kurzzeitgedächtnis ist (mindestens bei verteilter Repräsentation) nicht ein aktivierter Teil, sondern das aktivierte Gesamtsystem. Insofern sind konnektionistische Systeme extreme Beispiele für nicht-modulare Kurzzeitgedächtnis-Modelle. Ein Problem dabei dürften allerdings die Vorstellungen zur kapazitiven Beschränkung des Kurzzeitgedächtnisses sein, und schwierig ist auch die Unterscheidung von Kurzzeitgedächtnis und Arbeitsgedächtnis, es sei denn, man konstruiert strukturierte, letztlich wieder modulare Modelle.

Shiffrin (1976)

Der Vorschlag von Shiffrin (1976) hat eine gewisse Ähnlichkeit mit konnektionistischen Modellen. Man kann die in Abbildung 6.1.5–1 senkrecht gestellten Spalten mit Schichten eines künstlichen neuronalen Netzes vergleichen. Die Kodierung ist lokalistisch, die einzelnen Neuronen sind mit einer Bedeutung versehen. Der Input besteht in der visuellen Präsentation eines Wortes, der Output in der Zuordnung der Wortbedeutung. Das Kurzzeitgedächtnis besteht, wie bei einem konnektionistischen Modell mit lokalistischer Kodierung, in der Menge der aktivierten Knoten, das Langzeitgedächtnis besteht in der entsprechend verknüpften Menge aller (auch der aktivierten) Knoten.

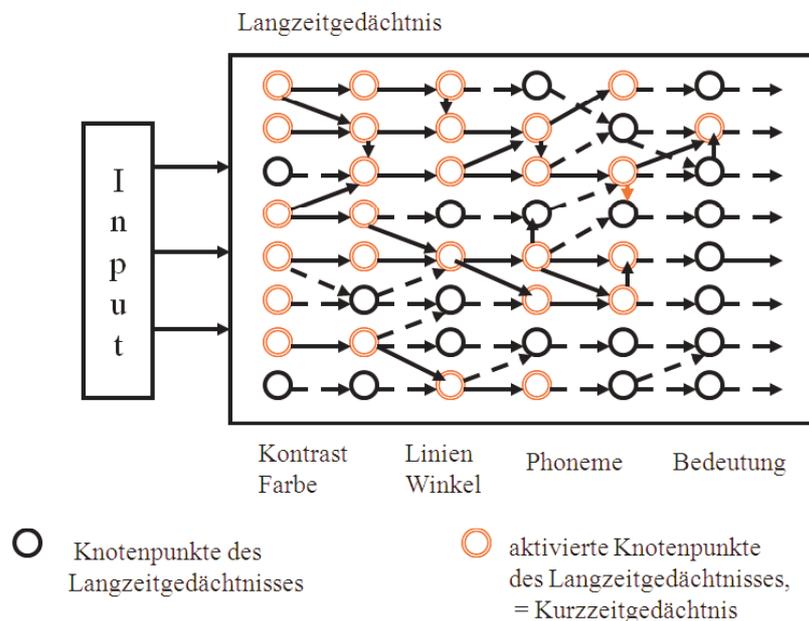


Abbildung 6.1.5–1: Kurzzeitgedächtnis nach Shiffrin (1976: 215), überarbeitet. Aktivierte Verbindungen sind mit durchgezogenen Linien dargestellt.

Es wird angenommen, dass die Löschung eines Kurzzeitgedächtnisinhalts durch Abklingen der Aktivierung bewirkt wird, also quasi durch den Übergang in einen statischen Langzeitgedächtniszustand. Das Abklingen wird durch Interferenz begünstigt, auf diese Weise werden die vielen gleichzeitig möglichen Aktivierungen durch einen statistischen Prozess im zeitlichen

Ablauf so gedämpft, dass man nicht damit rechnen kann, viele Informationen über eine längere Zeit erhalten zu sehen, außer es finden Rehearsal und andere Formen der selektiven Aufmerksamkeit statt.

Langzeitgedächtnisinhalte können nur abgerufen werden durch Aktivierung als Kurzzeitgedächtnisinhalte und setzen Suchprozesse voraus. Die Entstehung neuer Informationen im Langzeitgedächtnis besteht in der Einführung neuer Assoziationen zwischen Elementen, die schon vorhanden sind. Voraussetzung dafür ist die simultane Präsenz der zu verknüpfenden Elemente als Kurzzeitgedächtnisinhalte.

Cowan (1988, 1995)

In das Modell von Cowan wird Aufmerksamkeit als wichtige Komponente einbezogen. Das System wird grafisch wie in Abbildung 6.1.5–2 veranschaulicht:

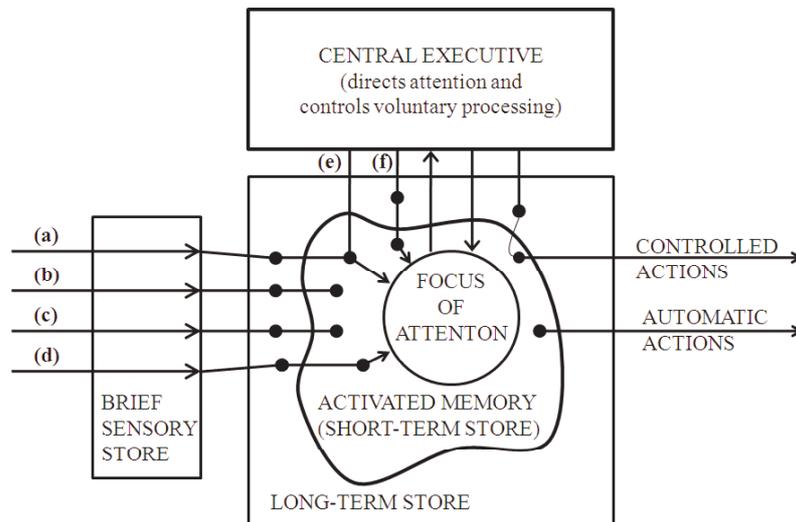


Abbildung 6.1.5–2: Speicherung und Verarbeitung unterschiedlicher Stimuli nach Cowan (1995: 31), angepasst und vereinfacht; (a): physikalisch unveränderter und willentlich erwarteter Stimulus; (b) und (c): durch Habituation abgeschwächte Stimuli; (d): neuer Stimulus; (e): nach außen auf einen Stimulus gerichtete Aufmerksamkeit; (f): nach innen auf einen Inhalt des Langzeitgedächtnisses gerichtete Aufmerksamkeit.

Das Kurzzeitgedächtnis wird wie bei den konnektionistischen Modellen und bei Shiffrin als aktivierte Portion des Langzeitgedächtnisses gesehen, der

Aufmerksamkeitsfokus umfasst einen Teil der aktivierten Portion. Das heißt, die Idee des Kurzzeitgedächtnisses als aktivierte Portion des Langzeitgedächtnisses wird durch eine Abstufung der Aktivierung oder auch eine andere funktional äquivalente Eigenschaft (z. B. Zeiger) erweitert. In diesem Zusammenhang fällt auf, dass die Pfeile der Abbildung unterschiedliche Bedeutung haben.

Die Feststellung einer Gedächtnisspanne betrifft in diesem Modell zunächst den Aufmerksamkeitsfokus und wird u. U. in zweiter Linie ergänzt durch weitere Inhalte des Kurzzeitgedächtnisses. In Cowan (2001) wird der Aufmerksamkeitsfokus als kapazitätsmäßig (nicht zeitlich) auf drei bis fünf Einheiten beschränkt gesehen.

Trotz der Verwandtschaft in einzelnen Punkten mit dem Modell von Baddeley ist doch festzustellen, dass die nichtmodulare Behandlung der Gedächtnisfunktion den Kern der Baddeley-Version, das Rehearsal zur Unterstützung des Kurzzeitspeichers, nicht mehr in einfacher Weise zulässt. Insbesondere ist eine Trennung von Kurzzeitspeicherkomponenten für verbales und für nichtverbales Material und die Betonung der verbalen Komponente nicht gut einzusehen.

Nur der Aufmerksamkeitsfokus kann als äquivalent zur Idee des Arbeitsgedächtnisses aufgefasst werden:

„According to the present view, and that of Cowan (1988), the “working memory” of Baddeley (1986) is a valid concept but one with multiple components. It presumably involves information in the activated portions of long-term memory, in the service of the focus of attention as applied by the central executive to the solution of a specific problem.” (Cowan, 1995: 99)

Die Funktion des Rehearsal ist dann so zu sehen, dass es den Aufmerksamkeitsfokus stabilisiert.

„Second, information that otherwise would decay out of activation can be prolonged with rehearsal and attention [...]. Rehearsal may go on semi-automatically, but it appears to take some attention to initiate and regulate the rehearsal process [...].“ (Cowan, 1995: 243)

Eine wichtige Überlegung zur Beschränktheit des Modells wird bei Cowan (1995: 43) so formuliert:

„There are, however, a number of problems with the concept of short-term memory that were not stated clearly by Cowan (1988). For example, “activated elements from long-term memory” cannot fully describe short-term memory, because short-term memory must also include the specific new links between activated elements. These links represent the new episodic record that is not yet present in long-term memory.“

Cowan stützt sich auf eine große Zahl behavioraler Experimente, die Notwendigkeit der Klärung biologischer Grundlagen wird gesehen.

Ericsson & Kintsch (1995), Kintsch (1998)

Ericsson & Kintsch gehen von der These aus, dass der Umfang der Arbeitsgedächtnis-Inhalte für Verarbeitungsvorgänge wie z. B. Textverstehen oder Schachspielen größer ist, als innerhalb der klassischen Arbeitsgedächtnis-Vorstellungen vorgesehen. Es gilt vor allem, dass Experten (geschulte Leser, Schachmeister) innerhalb ihrer speziellen Domänen, und nur dort, über ein größeres Arbeitsgedächtnis-Volumen verfügen. Da spezielle Fähigkeiten eine Langzeitspeicherung voraussetzen und die Gedächtnisleistungen länger andauern als für das Kurzzeitgedächtnis anzunehmen, muss hierbei das Langzeitgedächtnis beteiligt sein. Dabei erweist sich der Zugriff auf Langzeitgedächtnisinhalte als typischerweise besonders effektiv.

Die von Ericsson & Kintsch vorgeschlagene Lösung dieses Problems besteht in der Einführung eines Langzeit-Arbeitsgedächtnisses (long-term working memory, LT-WM) zusätzlich zu dem bisher angenommenen Kurzzeit-Arbeitsgedächtnis (short-term working memory, ST-WM). Dieses Langzeit-Arbeitsgedächtnis entsteht und ist zugänglich über ein Cue-System, das Verbindungen vom Kurzzeit-Arbeitsgedächtnis zum Langzeitgedächtnis bildet.

Für das Textverstehen werden die Zusammenhänge so formuliert:

„During fluent reading of well-written texts, mental representations of successive sentences are generated in ST-WM. Elements of that representation are linked both to parts of the previously constructed text representation (the episodic text memory), which is already stored in LTM, and to the reader’s knowledge. This linkage creates a LT-WM that provides direct access to relevant parts of these structures from the cues available in STM.“

Die Abbildung 6.1.5–3 gibt eine Darstellung dieser Verhältnisse in der Version von Kintsch (1998) wieder:

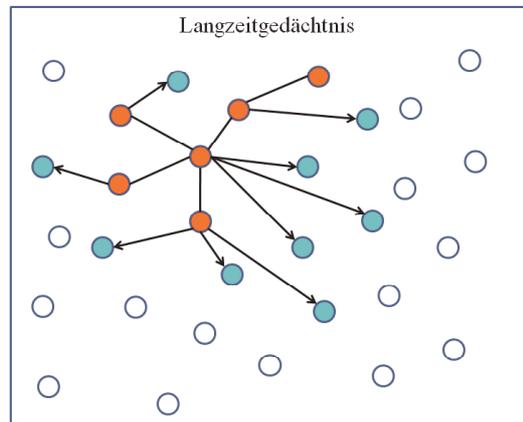


Abbildung 6.1.5–3: Arbeitsgedächtnis nach Ericsson & Kintsch (1995).
Abbildung verändert nach Kintsch (1998: 218). Rote Kreise = ST-WM,
grüne Kreise = LT-WM. Das Linkage-System ist durch Pfeile angedeutet.

Das Kurzzeit-Arbeitsgedächtnis besteht in einer aktivierten Portion des Langzeitgedächtnisses. Es ist in der klassischen Form auf 4 bis 7 Elemente beschränkt. Es wird durch Elemente des Langzeit-Gedächtnisses erweitert, soweit entsprechende, von den Kurzzeitgedächtnis-Elementen ausgehende Zugriffsprozeduren aufgebaut sind. Für die Erweiterung gibt es keine feste, zahlenmäßig angebbare Beschränkung.

6.1.6 Anforderungen

Tulving (2000: 731) kritisiert die Theorie der „memory fields“ von Neuronen, die in Goldman-Rakic, Ó Scalaidhe & Chafee (2000) beschrieben wird, so:

„Although encoding and retrieval ultimately are rooted in neuronal activity, a single neuron cannot encode or retrieve anything. A neuron may “fire” differently during the interval between the presentation of the target and the signal for the saccade in the oculomotor working-memory task used by Goldman-Rakic and colleagues, thus providing for a neat neuronal mechanism for holding information “on line” in the short-term memory “store”. But although it is possible to think of this “on-line holding” mechanism as comparable in principle to “holding” information in the long-term “store,” the parallel probably would not

work. Retrieval — use of the “stored” information — has different meanings to the organism and is based on rather different operations, in the two situations. [...] A challenging task for neuroscience of memory is to determine to what extent such high-level phenomena as conscious recollection of the occurrence of an event depend on the differential activity of individual units, and to what extent they represent network-level happenings, or as yet unknown mechanisms, in the brain.“

Hier wird zu Recht herausgestellt, dass eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterentwicklung von Modellen im Bereich von Gedächtnisleistungen darin besteht, die grundsätzliche Frage der Repräsentation von Inhalten im Gehirn zu klären. Einerseits gilt, dass einzelne *isolierte* Neuronen in der Tat keine Bedeutung tragen können. Andererseits gilt aber auch, dass einzelne Neuronen durchaus Inhalte aktivieren können, insofern sie in ein Teilnetz eingebunden sind, das letztlich eine Verbindung mit Sinnesdaten herstellt. Die Bedeutung, die eine Zelle trägt, ist dann nicht identisch mit einer Eigenschaft dieser Zelle, sondern ist eine Eigenschaft des Bahnensystems, an dessen Spitze diese Zelle als „Großmutterzelle“ steht. Der Speicherprozess muss ein Lernprozess sein der im Aufbau des Bahnensystems bzw. normalerweise der Erweiterung eines bestehenden Bahnensystems besteht und die Bedeutung der Zelle definiert. Ein Retrieval-Vorgang besteht, wie in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.5.3 ausgeführt, in einer Art Pseudowahrnehmung über ein Rückspiegelungssystem.

Wenn von Bahnen die Rede ist, darf dann natürlich nicht daran gedacht werden, dass auf diesen Bahnen Inhalte transportiert werden, und die Bahnen selbst und die Zellen, zu denen sie führen, auch nach einem Lernprozess bedeutungsneutral bleiben. Sie sind es nur *vor* dem Lernprozess, der sie definiert.

Die Abbildung 6.1.6–1 veranschaulicht diese Voraussetzungen. Es ist ohne Zweifel so, dass die definierenden Bahnen auch solche einschließen, die angeborenen Inhalten entsprechen. Das gilt jedenfalls für die äußerste Sinnesperipherie. Ebenfalls peripherienah muss es Bahnen geben, die (von speziellen Krankheiten abgesehen) eine praktisch lebenslange Stabilität haben, man denke an Eigenschaften der Objektwahrnehmung. Die Idee der unterschiedlichen Stabilität von neuronalen Verbindungen lässt sich dann auch auf Bereiche anwenden, die zwar einerseits zentraler sind, andererseits aber auch eine geringere Dauer der „Haltbarkeit“ neuronaler Verbindungen haben können.

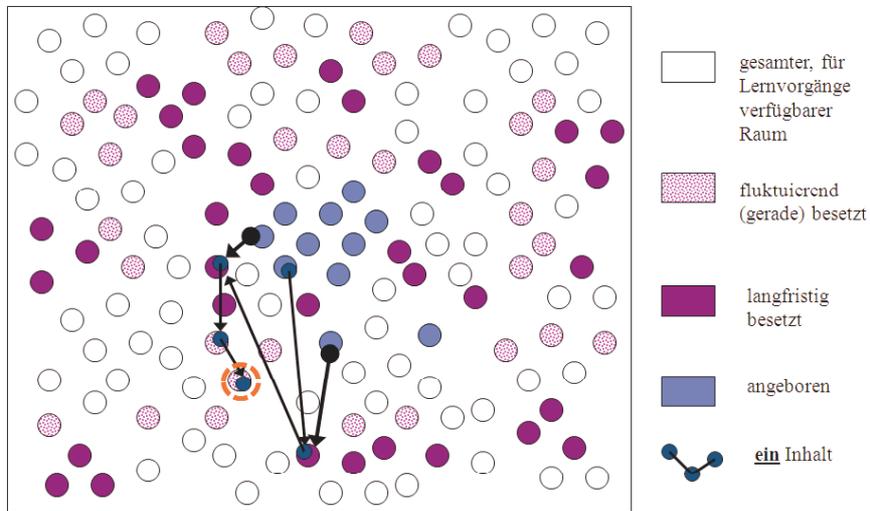


Abbildung 6.1.6–1: Schema zur Bedeutung eines Neurons als Großmutterzelle: Die rot eingekreiste Zelle erhält ihre Bedeutung durch das mit Pfeilen (in Verstehensrichtung) angedeutete Bahnsystem. Nur das auf diese Zelle führende Bahnsystem ist eingezeichnet. In Produktionsrichtung (Retrieval) werden umgekehrt verlaufende Bahnen verwendet, die über den Vorgang der „Rückspiegelung“ (vgl. Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.5.2) eine Abstraktion der definierenden Sinneswahrnehmungen aktivieren. Die Bezeichnung einer Zelle als Großmutterzelle ist insofern vereinfachend, als eigentlich kleine Zellverbände gemeint sind, die entsprechende Verarbeitungsfunktionen gewährleisten.

Die wichtigste Konsequenz aus diesen Überlegungen ist, dass Gedächtnisphänomene nicht einen Datentransport voraussetzen können. Wenn Inhalte in Verbindungsmustern bestehen, können sie nicht transportiert werden. Es ist also nicht möglich, damit zu rechnen, dass es ein lokalisierbares Arbeitsgedächtnis gibt, in das Informationen übertragen werden, die einem aktuellen Verarbeitungsprozess unterzogen werden sollen, oder dass Verarbeitungsprodukte von dort in ein modulhaft unterschiedenes passives Langzeitgedächtnis gelangen. Das bedeutet, dass grundsätzliche Probleme für modulare Gedächtnismodelle entstehen.

Die Frage ist, ob die in der Literatur behandelten nicht-modularen Modelle, bei denen das Kurzzeitgedächtnis als aktivierte Partie des Langzeitgedächtnisses gesehen wird, hier eine Lösung anbieten. Ein Hauptproblem dabei ist möglicherweise die Sequenzierung. Es ist ja nicht so, dass die in begrenzter

Anzahl verfügbaren Elemente des Kurzzeitgedächtnisses alle gleichzeitig in einen Verarbeitungsprozess einbezogen werden. Das würde in jedem Fall zu einer Störung des Prozesses führen. Sequenzierende Verbindungen (siehe die Bemerkung von Cowan oben in Abschnitt 6.1.5), die kurzfristig aufgebaut werden müssten, oder apparative Eigenschaften entsprechender Funktion, sind zusätzlich erforderlich.

In Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.3.2, wird gezeigt, dass Lernprozesse auf neuronaler Ebene nur dann zu verlässlichen Ergebnissen führen, wenn das Prinzip der Einzelimpulskodierung gilt. Das bedeutet, dass die Aktivierung eines Inhalts nicht durch Bursts von Aktionspotenzialen unterschiedlicher Frequenz repräsentiert werden kann. Unterschiedliche Aktivationsgrade sind in Strukturen, bei denen Lernprozesse eine Rolle spielen, nicht anzunehmen. Diese Beschränkung schließt aus, dass der Unterschied zwischen Kurzzeitgedächtnis und Fokus der Aufmerksamkeit im Aktivationsgrad der repräsentierenden Einheiten besteht, wie z. B. von Cowan (1995: 139) vorübergehend erwogen. Dieselbe Schwierigkeit schließt Anwendungen des Spreading-activation-Prinzips, wie bei der Erklärung des semantischen Priming, aus. Eine Erklärung des semantischen Priming, die ohne die Spreading-activation-Idee auskommt, findet sich in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.6.2. (Die verschiedenen Formen von Wortfragment-Ergänzung sind ohnehin ohne das Spreading-activation-Prinzip zu erklären.)

Da die Repräsentation von Inhalten mindestens teilweise die Verbindung mit peripheren Strukturen erfordert und diese Strukturen im Cortex in unterschiedlichen Gebieten lokalisierbar sind, kann man leicht einsehen, dass modalitätsspezifische „Teilgedächtnisse“ unterschieden werden können. Die Annahme multimodaler Bereiche ist ebenfalls unkritisch. Beides bedeutet nicht, dass man mit Schnittstellenstrukturen rechnen muss und damit generell einer modularen Architektur mit beschränkt zugänglichen Modulen.

Es ist also nicht verwunderlich, wenn durch bildgebende Verfahren gezeigt wird, dass auch Kurzzeitgedächtnisphänomene je nach sensorischer Quelle unterschiedlich lokalisiert werden können (Überblick z. B. bei Rösler & Heil, 2003).

Wenn man episodisches und semantisches Gedächtnis unterscheiden möchte, gilt, dass diese Unterscheidung durch die Modalitätsspezifität nicht gestützt wird. Dasselbe gilt für die Unterscheidung deklarativ vs. prozedural. Hier müssen andere Kriterien herangezogen werden, die neu zu diskutieren sind.

Die bloße Beachtung prinzipieller Möglichkeiten der Spurenbildung im Gehirn hat, wie man sieht, dramatische Konsequenzen für die Bewertung einzelner in der Literatur diskutierter Gedächtnismodelle. Für die Konstruk-

tion einer biologisch plausiblen Alternative entstehen weitere Bedingungen aufgrund der Identität von Speicherung und Verarbeitung, die eine Voraussetzung für massive Parallelverarbeitung ist.

Sprachverarbeitende Prozesse unterliegen ohne Zweifel einer Zahl von Bedingungen, die mit Gedächtnisleistungen zu tun haben. Sie können herangezogen werden, wenn es darum geht, das Funktionieren von Gedächtnis über den Bereich der Sprachverarbeitung hinaus zu klären. Es ist wahrscheinlich, dass sich einige Vorteile gegenüber den gängigen psychologischen Testverfahren, insbesondere bezüglich des Kurzzeitgedächtnisses, ergeben, indem einheitliche Strukturierungen für möglichst viele Lernprozesse, Kodierungsformen, Prozesseigenschaften usw. im Kortex gesucht werden.

6.2 Gedächtnisformen

6.2.1 Zelluläre Gedächtnisformen

In Kochendörfer (1999) ist ein Unterschied eingeführt worden zwischen „zellulärem“ und „synaptischem“ Gedächtnis. Zelluläre Gedächtnisformen verwenden als Basis die Veränderung des exzitatorischen postsynaptischen Potentials von Zellen (EPSP), synaptische Gedächtnisformen die Veränderung der Leistungsfähigkeit von Synapsen.

Die Veränderung des EPSP ist die Grundlage der neuronalen Funktion schlechthin. Die synaptische Erregung verändert das Membranpotential der Nervenzelle und führt, wenn sie den zelltypischen Schwellenwert überschreitet, zur Entstehung eines fortgeleiteten Aktionspotentials, das allein in der Lage ist, Verarbeitungsleistungen an anderen Neuronen auszulösen. Das Membranpotential einer nicht mehr von außen erregten Zelle nähert sich in einer relativ kurzen Zeitspanne einem Ruhepotential. Man vgl. hierzu insgesamt Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.1.3. Die Möglichkeit einer Veränderung der Leistungsfähigkeit von Synapsen wird dadurch nicht notwendig vorausgesetzt.

Während der Zeit des Abklingens des Membranpotentials einer Zelle ist es möglich, dass synaptische Erregungen einen Effekt haben, der ohne dieses Membranpotential nicht entstehen würde. Es ist diese Eigenschaft, die in verschiedener Weise für Gedächtnisleistungen genutzt werden kann. Die Grundstruktur ist meist so, dass mehrere unabhängig voneinander zu aktivierende Verbindungen mit einer Zelle bestehen, von denen mindestens eine zu Beginn der zu überbrückenden Zeitspanne erregt wird. Das letztlich interessierende, den Vorgang abschließende Ereignis, ist das Feuern der Zelle, das schließlich zur Rücksetzung des Membranpotentials auf den Ruhewert führt. Ein in speziellen Funktionen auftretender Fall ist, dass eine einzelne Verbindung mehrfach hintereinander erregt wird.

Die damit überbrückbare Zeitspanne ist abhängig von der Abnahmerate des EPSP und der Effektivität der beteiligten Synapsen. Wenn in unterschiedlichen Zusammenhängen unterschiedliche Zeitspannen erforderlich sind, wie das bei der Sprachverarbeitung anzunehmen ist, müssen ggf. unterschiedliche Zelltypen mit unterschiedlichen EPSP-Parametern an den Vorgängen beteiligt sein.

Es soll hier noch darauf hingewiesen werden, dass nicht nur das EPSP sondern auch andere in der Zeit verlaufende Vorgänge für Gedächtnisleistungen herangezogen werden können, so die Fortleitung eines Aktionspotenzials von Zelle zu Zelle einschließlich der Dauer synaptischer Prozesse (z. B. bei der sog. Speicherung durch kreisende Erregung). Die Annahme der Nutzung dieser Möglichkeiten führt allerdings teilweise zu Phänomenen, die für den Kortex unwahrscheinlich sind oder sie sind insgesamt von zweitrangiger Bedeutung.

Gleichzeitigkeit und Abfolge

Wenn die Abfolge zweier aufeinanderfolgender voneinander abhängiger Ereignisse als ein Gedächtnisphänomen gesehen wird, bei dem die Zeitlücke zwischen den Ereignissen überbrückt wird, wird dabei die Gleichzeitigkeit schon definitionsgemäß ausgeklammert. Wenn man es genauer nimmt, wird aber deutlich, dass es gerade im Gehirn (wie auch anderswo) absolute Gleichzeitigkeit nicht geben kann und dass man für die neuronale Verarbeitung besser von einem Fenster der Gleichzeitigkeit sprechen sollte. „Gleichzeitige“ Ereignisse sind z. B. die Effekte der Wahrnehmung von Objekteigenschaften, die zur Kategorisierung führen. Außerhalb des Fensters der Gleichzeitigkeit liegen Effekte von Wahrnehmungen, die eine Abfolge bilden, das heißt, die auch als Abfolge wahrgenommen werden.

Im Bereich der Sprachperzeption sind lautliche Kürzen Elemente, die für sich genommen keine Abfolgen sind, aber in Wörtern wahrnehmbare Abfolgen bilden. Daraus kann man schließen, dass das Fenster der Gleichzeitigkeit (deutlich) kleiner sein muss als der Abstand zweier Kurzvokale bei schneller Sprechweise. Wenn man von einem Abstand von ca. 50 ms ausgeht, kann man für das Fenster der Gleichzeitigkeit vielleicht grob eine Spanne von 20 ms oder etwas mehr (minimal vielleicht 10 bis maximal deutlich weniger als 50 ms) annehmen. Zellen, die eine Objektkategorisierung leisten, die auf gleichzeitig wahrgenommenen Eigenschaften beruht („instanzenbildende Zellen“), müssen dann entsprechend kurze EPSP-Dauern haben.

Die maximale Dauer des EPSP, die noch nicht zur Störung der Abfolge-wahrnehmung bei Kurzvokalen führt, muss dann etwas geringer als 100ms

(doppelter Wert des minimalen einfachen Abstands) sein. Die EPSP-Dauer bei Zellen, die für Abfolgen zuständig sind („sequenzenbildende Zellen“), muss dann also zwischen 50 und 100 ms liegen (man vgl. dazu Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.3.3). Es ist anzunehmen, dass diese Werte nicht nur für den lautlichen Bereich gelten. Sie sind allerdings sicherlich diskussionsbedürftig und gelten jedenfalls nicht für Zellen, deren Funktion nahe der Sinnesperipherie und der Motorik liegt.

Die Abbildung 6.2.1–1 gibt eine Darstellung eines einfachen Architekturausschnitts, der Zellen unterschiedlicher EPSP-Dauer enthält und für sprachverarbeitende Leistungen typisch ist:

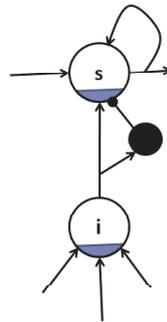


Abbildung 6.2.1–1: Gleichzeitigkeit, Abfolge und gestützte Dauer. EPSPs sind durch blaue Pegel innerhalb der Zellkreise dargestellt. Die Dauer eines wirksamen EPSP in der Zelle *i* darf maximal knapp 50 ms betragen, die in der Zelle *s* maximal knapp 100 ms. Längere Dauern werden, wie im Folgenden besprochen, durch gestützte Erregung über die Verbindung von *s* auf sich selbst zurück ermöglicht. Die hemmende Zelle bewirkt die Löschung des EPSP, wenn ein Input nicht zuvor zum Feuern der Zelle *s* geführt hat. Zur Begründung dieser Konstruktion vgl. Teil 2, Abschnitt 2.4.6.

Formen des Andauerns

Es ist eine grundsätzliche Eigenschaft der Sprachverarbeitung und auch anderer Bereiche der Kortexfunktion, dass es Prozesse gibt, die ein längeres Andauern der Verfügbarkeit von Informationen voraussetzen, ohne dass es sich um Langzeitgedächtnisphänomene handelt, das heißt, ohne dass man mit der Möglichkeit der beliebigen Dauer ohne den Hintergrund eines Verarbeitungsprozesses rechnen muss.

Es ist wieder die lautliche Ebene, die einfache Beispiele liefert. Die Repräsentation eines Langvokals in einer neuronalen Umgebung, die Zellen

mit EPSPs von maximal 100 ms bereithält, kann nur durch Wiederholung dieser elementaren Spanne geschehen, also durch Auffrischung des EPSPs. Für diesen Vorgang kommen Wiederholungsschleifen in Frage, die aber nicht wirken dürfen, wie es für die klassische Vorstellung der sogenannten „kreisenden Erregung“ gilt, sondern es muss eine inputgestützte Form angenommen werden, wie in Teil 2, Abschnitt 2.4.6, eingeführt. Die inputgestützte Form hat für den Vergleich mit den tatsächlich beobachtbaren Phänomenen den Vorteil, dass die Frequenz der kreisenden Erregung an der variablen Frequenz des Inputs orientiert ist, und die Gedächtnisspur bei Ausbleiben des Inputs innerhalb der zelltypischen EPSP-Dauer abklingt. Eine ausdrückliche Löschung des Erregungsvorgangs ist nicht erforderlich und wäre in der neuronalen Struktur des Kortex auch nicht sicher zu gewährleisten.

Es handelt sich insofern um ein Gedächtnisphänomen, als eine die momentane Verarbeitung bestimmende Information als noch gültig über eine gewisse Zeitspanne hinweg repräsentiert wird. Im Bereich der Syntax haben durch Großmutterzellen repräsentierte Konstituenten ggf. eine Dauer in sehr weitem zeitlichem Rahmen. Auch für diesen Fall kommt nur die Wiederholung der EPSP-Spanne durch gestützte kreisende Erregung in Frage, nicht eine synaptische Gedächtnisform. Eine syntaktische Konstituente muss ein letztlich durch den Input bestimmtes Ende innerhalb einer EPSP-Dauer haben, sie klingt nicht in größeren Zeitspannen allmählich ab. Im Fall der Längung von Phonemen genügt für das Beenden der Repräsentation in einem Perzeptionsvorgang ein einfacher Übergang des Inputs zu einem anderen Laut. Für die Syntax sind komplexere Bedingungen maßgebend, die das Ende markieren. Diese komplexeren Bedingungen müssen ihrerseits eine Repräsentation auf Großmutterzellenbasis haben. Das ergibt eine Konstruktion, die in Kochendörfer (1999: 112) als „komplexes zelluläres Kurzzeitgedächtnis“ bezeichnet worden ist (hier in Abbildung 6.2.1–2 wiederholt). Da die Repräsentation des Endes von der des Konstituenten-„Körpers“ verschieden ist, erlischt die Gedächtnisspur der Konstituente, wie in dem Fall der gelängten Phoneme, innerhalb einer EPSP-Spanne. (Für Details der Funktion vgl. Teil 5, „Syntax“.)

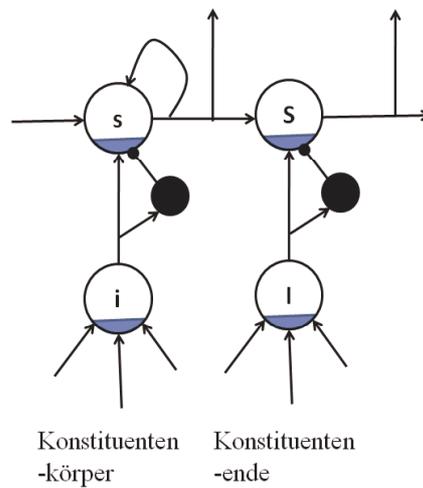


Abbildung 6.2.1–2: Komplexes zelluläres Kurzzeitgedächtnis im Bereich der Syntax.

Kontexte

Die hier beschriebenen EPSP-Funktionen entsprechen dem, was gelegentlich als punktueller bzw. serieller Kontext bezeichnet worden ist. Kontext hat in einem parallelverarbeitenden System in der Art des Gehirns eine unverzichtbare Filterfunktion. Ohne den Kontextfilter würde sich die Zahl der aktivierten Verarbeitungsbahnen um so mehr vermehren, je weiter man sich von der Peripherie entfernt. Das Erkennen einer lexikalischen Ausdrucksseite z. B. ist darauf angewiesen, dass die zweite Lauteinheit nur sinnvoll interpretiert werden kann als Folge der ersten. Es wäre unsinnig, bei der Verarbeitung davon auszugehen, dass alle Lexikoneinträge, die diese zweite Lauteinheit enthalten, zu berücksichtigen sind. Die Folgen für die Zuordnung von Wortbedeutungen hätten absurde Dimensionen.

Man beachte, dass die „Filterwirkung des Kontexts“ nicht meint, dass ein Kontext Verarbeitungsbahnen blockiert, sondern bedeutet, dass Verarbeitungsbahnen sozusagen „freigeschaltet“ werden.

Die folgende einfache Simulation zeigt, wie unter der Annahme von Einheiten der Art der Abbildung 6.2.1–1 die Filterwirkung entsteht. Die in der Simulation verwendete Architektur entspricht dem in 6.2.1–3 wiedergegebenen Bildschirmzustand:

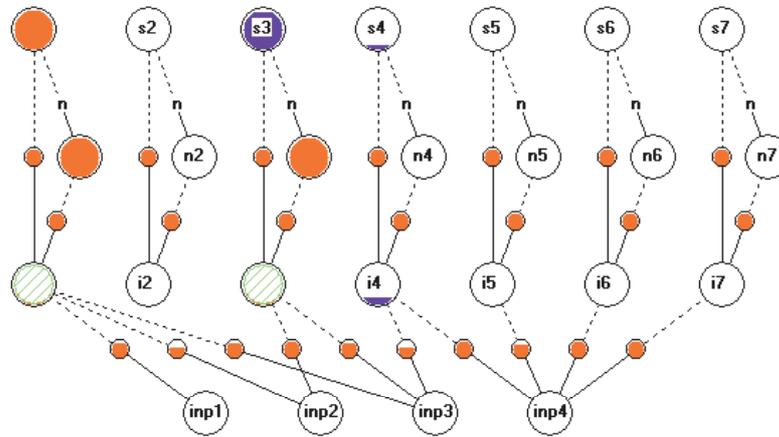


Abbildung 6.2.1–3: Simulation zur Filterfunktion. Bildschirmzustand nach dem einzigen, zu einer Weiterverarbeitung führenden Effekt. Andere Bahnen der Verarbeitung, die über s_3 und s_4 führen würden, sind durch fehlenden Kontext blockiert.

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

Die Zellen $inp1$ bis $inp4$ können als Sinneszellen interpretiert werden, die nicht exakt gleichzeitig, sondern teilweise innerhalb des Fensters der Gleichzeitigkeit ($inp1$ bis $inp3$), teilweise später ($inp4$) aktiviert werden und Auswirkungen auf die Zellen $i1$ bis $i7$ haben, die Verknüpfungen zu Kategorien leisten. Es werden durch die Simulation nur Ausschnitte eines Perzeptionsvorgangs beleuchtet.

Verlauf:

Zu Beginn der Simulation wird ein sequenzieller Kontext gesetzt, der durch die EPSPs in $s1$ und $s4$ gebildet wird. Die zeitlich gestaffelte Aktivität von $inp1$, $inp2$ und $inp3$ hat zur Folge, dass $i1$, $i3$ und $i4$ aktiviert werden, aber nur $i1$ und $i3$ feuern (Filtereffekt: die Aktivität von $i4$ bleibt unwirksam). In Zeittakt 25 feuern $s1$ und $n1$ gleichzeitig, der Effekt von $n1$ bleibt durch die Refraktärphase von $s1$ unwirksam. Die Zelle $s3$ war nicht mit Kontext versehen und feuert daher nicht, das Potenzial in $s3$ wird mit dem hemmenden Einfluss von $n3$ verrechnet und verschwindet (Filtereffekt durch Kontextmuster). Durch die rasche Abnahme der EPSPs in den i-Zellen ist das übriggebliebene Potenzial in $i4$ schon in Zeittakt 42 verschwunden, das Potenzial in $s4$ bleibt noch erhalten.

In Zeittakt 111, außerhalb des Zeitfensters für sequenziellen Kontext, feuert *inp4*. Das hat in den folgenden Zeittakten die Wirkung, dass Potenziale in *i4* bis *i7* entstehen. Es gibt jeweils nur eine Synapse (ein Synapsenbündel gleicher Funktionalität), die in *i4* und *i7* überschwellige Potenziale auslöst. Die durch das Feuern dieser Zellen entstehenden Potenziale in *s4* und *s7* bleiben unwirksam, da das Kontextpotenzial in *s4* bereits abgeklungen ist und *s7* nie zu einem Kontext gehört hat. Alle Potenziale sind in Zeittakt 139 abgeklungen, also ehe ein neuer sequenzieller Input zu erwarten gewesen wäre.

Sprachproduktion

In den vorangegangenen Abschnitten sind Gedächtnisphänomene vom Standpunkt der Sprachperzeption aus betrachtet worden. Die Mechanismen sind typisch auch für Produktionsvorgänge, auch abgesehen von der Rolle, die Perzeptionsvorgänge in der Produktion spielen.

Die Abbildung 6.2.1–4 zeigt eine Zellkombination, die für den lexikalischen Bereich anzunehmen ist und sowohl die perzeptionsseitigen Zellen, als auch die zusätzlich für die Produktion erforderlichen Zellen enthält.

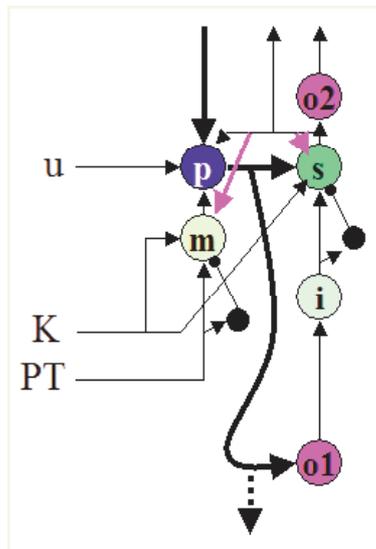


Abbildung 6.2.1–4: Übernommen aus Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, dort als Abbildung 4.4.4–1.

Zellen, die in Produktionsrichtung aktiviert werden und EPSPs als Gedächtnisträger verwenden, sind, jeweils unter der Voraussetzung der Modelle in Teil 2 bis Teil 5 und der Terminologie dort, P-Zellen und M-Zellen:

- P-Zellen liefern die parallel zu den bottom-up wirksamen Strukturen die erforderlichen Top-down-Verbindungen. Die maximalen Pegel der EPSPs sind höher als die der sequenzenbildenden Zellen.
- M-Zellen dienen der Sequenzierung in Produktionsrichtung und haben damit Funktion und Eigenschaften von sequenzenbildenden Zellen. Die EPSP-Dauer muss also derjenigen bei sequenzenbildenden Zellen entsprechen.

Wenn man den üblichen Begriff des Kurzzeitgedächtnisses voraussetzt, sind die zellulären Gedächtnisformen nur teilweise damit zu identifizieren. Es gibt keine Kapazitätsbeschränkungen was die Zahl der durch Spuren repräsentierten Inhalte angeht, und es gibt mindestens prinzipiell auch keine zeitliche Beschränkung (z. B. auf drei Sekunden). Der Zugriff geschieht immer innerhalb spezieller Prozesse und ist davon abgesehen nicht steuerbar. Es ist auch keine Gleichsetzung mit der Idee des Kurzzeitgedächtnisses als aktivierter Partie des Langzeitgedächtnisses möglich. Dort ist die Funktion der Aktivierung eher so gedacht, dass eine ständige gradierte Informationsweitergabe erfolgt, was der Funktion einer EPSP-basierten Speicherung nicht entspricht.

6.2.2 Synaptische Gedächtnisformen: Langzeitgedächtnis, allgemeine Überlegungen

Synaptisches Gedächtnis setzt definitionsgemäß Lernvorgänge voraus, die zur Verstärkung der Synapseneffektivität führen. Man muss annehmen, dass nicht das Wachstum von Axonen und die Bildung neuer Verzweigungen allgemeine Grundlage von Gedächtnisprozessen (mindestens bei Erwachsenen) sind. Die Voraussetzung für synaptisches Gedächtnis muss das für den Kortex typische Chaos von zunächst quasi unbenutzten, schwachen Verbindungen sein, die durch Verstärkung eine spezifische Funktion bekommen. Die Löschung von in dieser Weise gebildeten Gedächtnisspuren kann als passives Abklingen der Synapseneffektivität in der Zeit verstanden werden. Wie bei den Gedächtnisformen, die auf EPSPs beruhen, muss man damit rechnen, dass es zelltypische Unterschiede in den entscheidenden Parametern gibt.

Kodierungsformen

Die Speicherung von *Konzepten*, z. B. zur Wiedererkennung von Objekten der Realität, ist Leistung einzelner Zellen durch Summation der synaptischen Erregungen. Die Aktivierungen der Eingänge können ihrerseits (auch

mehr oder weniger indirekt) eine Folge räumlicher Summation in untergeordneten Zellen sein. Die Großmuttereinheit, die letztlich ein Konzept repräsentiert, enthält, bedingt durch Verarbeitungsprozesse und entsprechende architektonische Grundstrukturen des Kortex, eine Zellkombination wie z. B. oben in Abbildung 6.2.1–1 skizziert.

Die Speicherung von *Ereignissen* (Episoden) setzt definitionsgemäß Sequenzen und deren Zusammenfassung zu Gesamtkomplexen voraus. Wenn ein typisches Ereignis mehrfach in unterschiedlichen Zusammenhängen auftritt, kann es als Ganzes durch entsprechende unterschiedliche sequenzielle Kontexte näher bestimmt werden. Die Repräsentation eines ggf. näher bestimmten Ereignisses wird durch eine zusammenfassende Großmuttereinheit geleistet. Die Speicherung von Konzepten ist in dieser Sicht ein Spezialfall der Speicherung von Ereignissen.

Damit ergibt sich generell für die Repräsentation von Langzeit Spuren ein gemeinsames Schema der Repräsentation, das, beschränkt auf den Perzeptionsvorgang, beispielhaft in Abbildung 6.2.2–1 dargestellt ist.

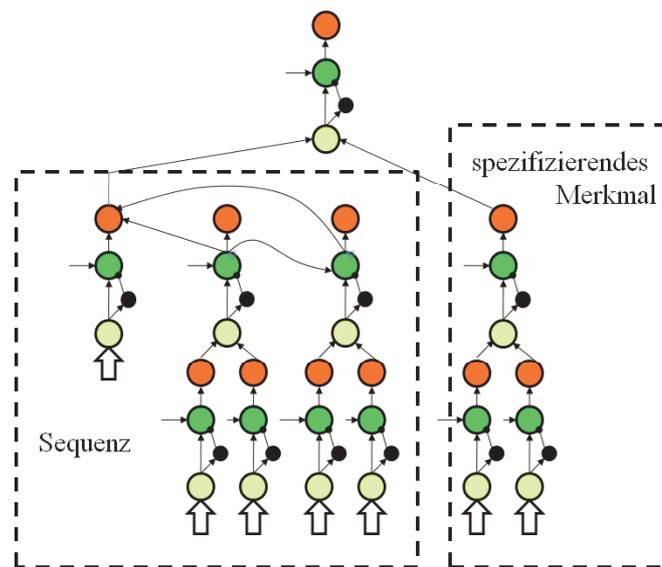


Abbildung 6.2.2–1: Schema zu Strukturen des Langzeitgedächtnisses, beschränkt auf die Perzeptionsrichtung. Kurze waagrechte Pfeile sind sequenzielle Kontextverbindungen, die auf sequenzenbildende Zellen führen und durch Lernprozesse verstärkt werden müssen, dasselbe gilt für die als Kurve erscheinende Kontextverbindung. Schleifenförmige Kontextverbin-

dungen (siehe oben zum Thema „Formen des Andauerns“) sind weggelassen. Blockpfeile repräsentieren Synapsenbündel, die innerhalb des Fensters der Gleichzeitigkeit aktiviert werden und Lernprozessen unterliegen. Alle anderen Verbindungen, die auf gelb ausgezeichnete Zellen führen, müssen ebenfalls durch Lernprozesse verstärkt werden. Wenn mehrere Verbindungen auf rot eingefärbte Zellen (ODER-Zellen) führen, ist eine davon fest, die anderen setzen auch hier Lernprozesse voraus.

Es fällt auf, dass solche Strukturen auch in der Syntax und im Lexikon eine wesentliche Rolle spielen. Man muss allerdings annehmen, dass die Vorkommenshäufigkeit einzelner Strukturdetails jeweils in den einzelnen Bereichen verschieden sein wird. Es ist natürlich auch so, dass spezielle Funktionen an der Peripherie und außerhalb der Möglichkeit von raschen Lernprozessen andere Strukturen voraussetzen.

Lernen und Vergessen

Lernvorgänge, die zur Verstärkung von Synapsen führen, treten in zwei verschiedenen Formen auf.

- Form 1: Eine Synapse wird verstärkt, wenn sie aktiviert wird. Die betroffenen Zielzellen werden durch Axonverzweigungen ausgewählt. Voraussetzung ist, dass eine Zielzelle noch funktionslos ist. Das Feuern einer Zielzelle beendet die Möglichkeit, dass Synapsen an dieser Zelle (nennenswert) verstärkt werden. Zellen dieses Typs sind: instanzbildende und sequenzenbildende Zellen, sowie M-Zellen für die Produktionsfunktion.
- Form 2: Eine Synapse wird verstärkt, wenn sie aktiviert wird. Die betroffenen Zielzellen werden durch Axonverzweigungen ausgewählt. Das Feuern einer Zielzelle muss der Aktivierung vorangegangen sein, ohne diese Vorbereitung können die Synapsen an dieser Zelle nicht (nennenswert) verstärkt werden. Es wird damit vorausgesetzt, dass es eine feste, nicht Lernprozessen unterliegende Verbindung mit einer Zielzelle gibt. Zellen dieses Typs sind: ODER-Zellen, P-Zellen, Rückspiegelungszellen.

Die Beendigung der Lernbereitschaft in Form 1 ist für eine Konzeptbildung (jedenfalls in der Sprachverarbeitung) zwingend erforderlich. Das Problem wird in Teil 2, Abschnitt 2.3.2, ausführlicher diskutiert. Erfahrungen mit Simulationsexperimenten deuten außerdem darauf hin, dass mit Beendigung der Lernbereitschaft auch die Vergessensrate stark reduziert wird, da es für

Gedächtnisphänomene vorteilhaft ist, wenn die Effekte von Aktivierungen, die nicht zu der definierten Funktion einer Zelle führen, rascher abgebaut werden, als erfolgreiche Aktivierungen.

Auch nach der (relativen) Verfestigung der Synapsengewichte führt die Aktivierung von Synapsen zu einer Verstärkung, die dem Vergessensprozess entgegenwirkt, aber nicht so stark sein darf, dass die Funktion der Zellen beeinträchtigt wird. Häufiger (auch durch Mehrdeutigkeiten des Inputs!) aktivierte Spuren bleiben besser erhalten.

Ein zweiter wichtiger Faktor zum Erhalt von Spuren ist die Redundanz der Repräsentation, die bei früh erworbenen Inhalten größer ist als später, wenn die verfügbare Kapazität z. B. für einen bestimmten inhaltlichen Bereich nicht mehr so groß ist.

Der Vorgang des Vergessens stellt bisher benutzten Raum wieder zur Verfügung (so weit Vergessen nicht durch Zellverlust oder Verlust von Synapsen entstanden ist oder zu solchen Folgen führt). Vergessen entsteht nicht durch „Überschreiben“ vorhandener Spuren sondern geht einer möglichen Spurenbildung notwendig voraus. „Catastrophic interference“ wie in verteilten konnektionistischen Modellen findet im Gehirn nicht statt.

Abruf (Retrieval)

Perzeptionsseitige Speicherung aufgrund von Sinnesinput führt nicht für sich genommen zur Möglichkeit des Retrieval (man vgl. auch den Text von Tulving in 6.1.6). Die Unidirektionalität synaptischer Verbindung und die entsprechende Spezialisierung der Zellen erfordern eigene Top-down-Strukturen.

Erinnerungen und Aktivierungen von Konzepten sind Vorstellungen, die durch eine Kombination von Top-down- und Bottom-up-Vorgängen entstehen. In Teil 2 werden sie als „Ersatzwahrnehmungen“ verstanden, die einen Rückspiegelungsprozess voraussetzen. Die Aktivierung einer einzelnen Zelle oder eines Zellverbandes ist nicht ausreichend. Es ist zu beachten, dass die Details des ablaufenden Prozesses dem Bewusstsein nicht zugänglich sind (das heißt, die Abläufe können nicht als solche kontrolliert werden). Wenn man den Eindruck hat, dass eine Erinnerung nur schrittweise aktiviert werden kann, bedeutet das, dass es unterscheidbare Vorstellungen gibt, die Zwischenstationen im zeitlichen Ablauf sind, das heißt, die einer intendierten Erinnerung sequenziell (nicht hierarchisch) vorangehen und damit die Funktion von Kontexten für den Zugriff bekommen.

Rückspiegelungsprozesse sind nicht auf die episodische Gedächtnisleistung beschränkt. Sie sind auch Grundlage des Sprechens (inneres Sprechen, Rück-

spiegelung zur Sequenzierung auch für laut werdendes Sprechen) und für die Steuerung nichtsprachlicher motorischer Vorgänge. Auch in diesen Fällen sind die Details der ablaufenden Prozesse dem Bewusstsein nicht zugänglich. Den Zwischenstationen im Fall von Erinnerungen entsprechen Formulierungsvorgänge oder versuchsweise motorische Reaktionen. Das spricht gegen einen grundsätzlichen Unterschied von deklarativem und prozeduralem Gedächtnis auf der Ebene des Kortex, der auf unterschiedlicher Beteiligung bewusster Kontrolle beruhen würde (vgl. unten Abschnitt 6.2.5).

6.2.3 Synaptische Gedächtnisformen: Langzeitgedächtnis, Klärung zusätzlicher Details durch Simulationsexperimente

In diesem Abschnitt sollen Speicherungs- und Abrufvorgänge behandelt werden, die schließlich zu bewußtwerdenden, aus Gedächtnisleistungen resultierenden Vorstellungen führen. Ein einfacherer Fall ist dabei die Aktivierung eines nicht als Sequenz repräsentierten Konzepts, besondere Schwierigkeiten ergeben sich bei Erinnerungen von Ereignisfolgen.

Als zugrundeliegende Architektur wird zunächst eine Anordnung verwendet, die für beide Fälle jedenfalls vorläufig in geringfügig variiertes Form geeignet scheint. Für den Fall der Speicherung und des Abrufs eines nichtsequenziellen Konzepts ist sie in Abbildung 6.2.3-1 so dargestellt, wie sie auf dem Simulationsbildschirm erscheint. Die verwendete Symbolik wird in Teil 2, Abschnitt 2.1.4, erklärt. Das wesentliche Charakteristikum dieser Version ist, dass drei Merkmale (*O1*, *O2* und *O3*) des Konzepts in der sequenzenbildenden Zelle *i1* verknüpft werden. Der Abruf aktiviert über den Kontext, den Produktionstakt, der die M-Zellen mit einem EPSP versieht, die Zelle *p1*, deren Aktivierung von einem höheren Prozess ausgeht, und die Rückspiegelungszellen *O11*, *O12* und *O13* wieder das gespeicherte (gelernte) Konzept.

Nur verstärkbare (dauerhafter Verstärkung unterliegende) potenzielle Verbindungen und die dabei implizierten Strukturen sind auf der Darstellung des Bildschirms sichtbar. Da bei einem Lernvorgang die Top-down-Aktivität nicht zu einer vollständigen Produktion führen darf, ist eine Hemmung der Rückspiegelungszellen realisiert, die das gewährleistet, aber sicherlich in künstlicher Form, das heißt, dass sie modellhaft ungültig ist. Ihre Strukturen sind ebenfalls nicht sichtbar. Vorhanden und modellhaft gültig, aber ebenfalls auf der Bildschirmdarstellung unterdrückt, sind die erforderlichen hemmenden Strukturen für M-Zellen.

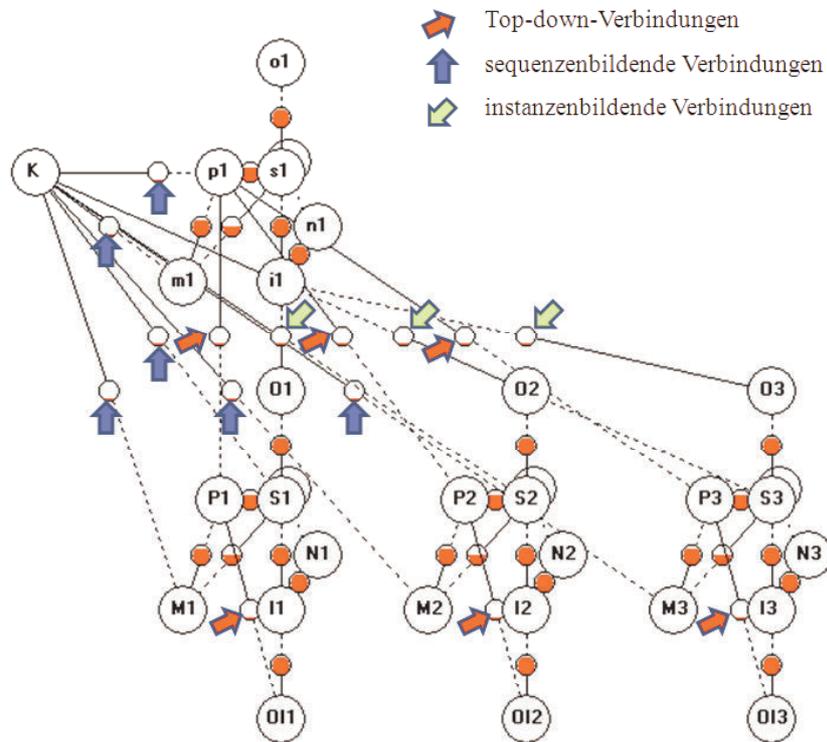


Abbildung 6.2.3–1: Architektur zur Demonstration von Speicherung und Retrieval eines inhaltlichen Konzepts (Bildschirmdarstellung vor den Lernvorgängen). Es sind vier Anordnungen des in Abbildung 6.2.1–4 dargestellten Typs vorhanden. Die durch Pfeile bezeichneten Synapsen (Effektivität durch rote Pegel in den kleinen Kreisen dargestellt) sind zu verstärken. Die Lernrate ist für verschiedene Zelltypen und Verbindungstypen verschieden.

Simulation:
[Lernen und Abruf einer hierarchischen Konzeptstruktur.](#)
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden.

Eine zusätzliche Simulation, bei der nur die Lernraten verändert sind, zeigt den allmählichen Aufbau der Verbindungsgewichte durch längeres Andauern des Inputs

Simulation:
Lernen einer hierarchischen Konzeptstruktur
 mit Aufbau der Verbindungsgewichte in zwei Schritten, und folgendem
 Abruf. Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die
 Leertaste gesteuert werden.

Die Lernphase besteht in diesem und den folgenden Beispielen aus fünf Schritten:

- (1) Ein Kontext wird gesetzt durch Feuern der Zelle *K*. Da die Kontextaktivierung immer von einem vorangegangenen Prozess ausgeht, geschieht sie in entsprechendem Abstand vor den weiteren Schritten.
- (2) Es folgt eine externe Erregung der Rückspiegelungsneuronen als Reaktion auf einen Sinnesinput. Das entspricht einem normalen Wahrnehmungsprozess, der natürlich auch durch den Kontextfilter gesteuert wird.
- (3) Elemente, die den Kontextinformationen entsprechen, werden über den Produktionstakt und dessen unterschwellige Wirkung auf die P-Zellen ausgewählt.
- (4) Die hierarchiehöchste P-Zelle wird (z. B. durch übergeordnete Strukturen) zusätzlich aktiviert, die durch den Produktionstakt in Schritt (3) ausgewählten Elemente feuern.
- (5) Ein Output wird über Hemmung der Rückspiegelungsneuronen verhindert.

In der Phase des Abrufs gilt die Folge (1), (3) und (4). Der Schritt (2) ist Kern der Speicherung, aber nicht des Abrufs, und entfällt hier. Da es beim Abruf auf die Produktion einer Ersatzwahrnehmung ankommt, entfällt natürlich auch die künstliche Hemmung in Schritt (5). Es handelt sich insgesamt um einen Lernvorgang, der nicht nach dem Doppelwellenprinzip funktioniert, sondern den Produktionstakt als Hilffsystem verwendet (vgl. Teil 2, Abschnitt 2.5.3). Das entspricht dem beim Erwerb lexikalischer Ausdrucksseiten allein möglichen Verfahren (vgl. Teil 4, Abschnitt 4.4.5) und wird deshalb für den Aufbau synaptischer Gedächtnisspuren generell (und abweichend von den Vorschlägen in Kochendörfer, 1999) verwendet.

Die Abbildung 6.2.3–2 zeigt einen Zustand der Simulation von Abbildung 6.2.3–1 nach dem Lernvorgang.

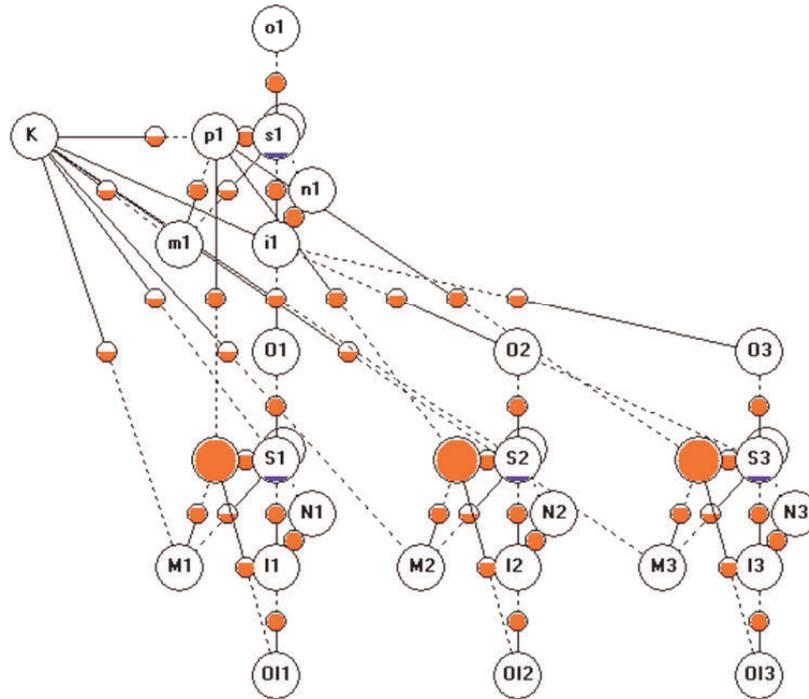


Abbildung 6.2.3-2: Zustand der Architektur von Abbildung 6.2.3-1 in Zeittakt 218 nach dem Lernvorgang und nach dem Beginn der Retrieval-Phase. Die in Abbildung 6.2.3-1 gekennzeichneten Verbindungen sind verstärkt, erkennbar an den erhöhten Pegeln in den kleinen Kreisen. Das Retrieval aktiviert die das Konzept bildenden Merkmale.

Wesentlich komplizierter als der einfache Speichervorgang eines nicht-sequenziellen Konzepts ist die Verankerung und der Abruf von Episoden.

Ereignisse, die in einem Erinnerungsvorgang aneinandergereiht werden, müssen nicht das der Speicherung zugrundeliegende tatsächliche Erlebnis in realistischer Reihung widerspiegeln. Einzelereignisse können über unabhängige Kontextvorgaben abrufbar sein. Kleinstäumige zeitliche sequenzielle Zusammenhänge müssen aber repräsentierbar (speicherbar und abrufbar) sein. Hier sind Versuche mit Simulationsexperimenten deshalb von besonderem Wert, weil sie zur Genauigkeit und Funktionssicherheit der Konstruktionen zwingen und zu interessanten Schlussfolgerungen führen.

Es läßt sich zunächst zeigen, dass bei einer einfachen Architektur, die sich nur auf die Bedürfnisse der Perzeption bezieht, das Einspeichern einer Sequenz von andauernden Ereignissen zwar funktioniert (wie auch schon in

Teil 2, Abschnitt 2.4.7, bei Einführung von ODER-Zellen gezeigt), nicht aber der Abruf durch einen entsprechenden Produktionsvorgang. Die verwendete Architektur ist in Abbildung 6.2.3–3 dargestellt. Man beachte, dass zeitliches Andauern des Inputs durch Wiederholungsschleifen innerhalb der entsprechenden Großmuttereinheiten ermöglicht wird. Wie oben in Abbildung 6.2.3–1 sind wieder die zu verstärkenden Synapsen mit Pfeilen markiert.

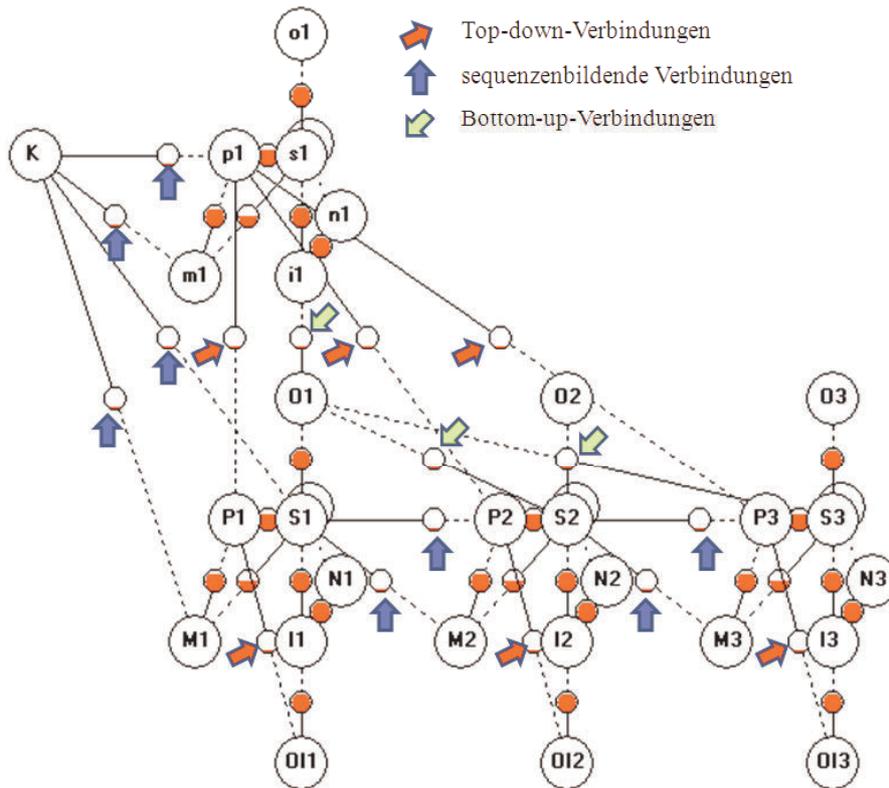


Abbildung 6.2.3–3: Erster Versuch einer Architektur zur episodischen Speicherung von Sequenzen: Anfangszustand, die durch Pfeile bezeichneten Synapsen sind zu verstärken.

Hier geht es vor allem um die Verstärkung von Verbindungen, die $S2$ und $S3$ mit $O1$ verknüpfen. Auf $i1$ führende potenzielle Verbindungen von $S2$ und $S3$ her wären selbst bei Verstärkung wirkungslos.

Simulation:
Lernen und Abruf einer episodischen Sequenz.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden. Die Option „Simulation bis Stop“ führt an den Beginn der Abrufphase.

Der Lernvorgang ist zwar erfolgreich, die Wiedergabe ist aber, wie in der Abbildung 6.2.3–4 zu erkennen, gestört.

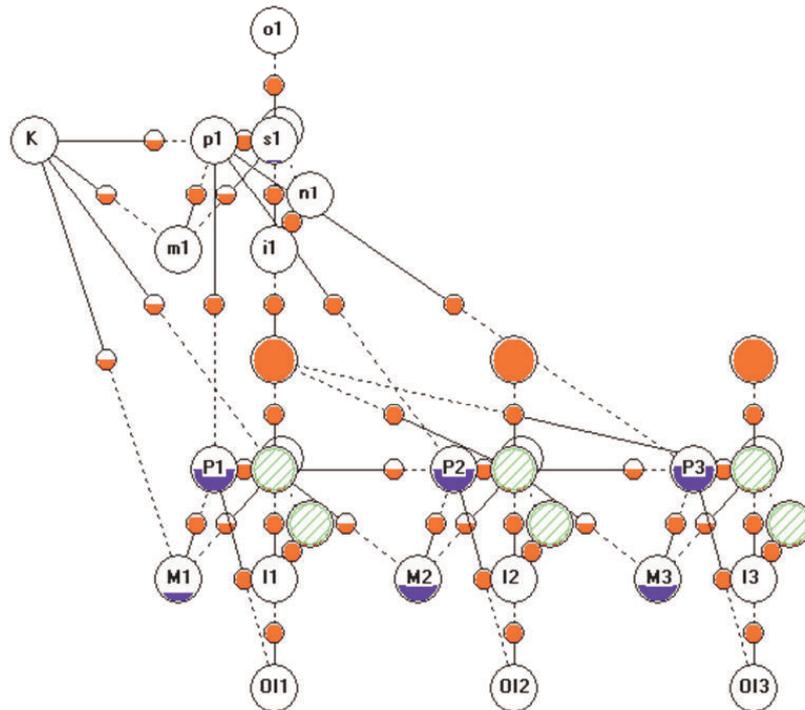


Abbildung 6.2.3–4: Erfolgreicher Lernvorgang, aber unbefriedigende Eigenschaften der Produktion. In dem dargestellten Zeittakt 520, der dem Schluss der Sequenz entspricht, werden gleichzeitig alle drei Teilsequenzen produziert statt nur der dritten, davor waren es zwei, statt nur der zweiten.

Zunächst wird korrekt das erste Sequenzelement produziert, dann aber statt dem zweiten das erste und das zweite gleichzeitig und statt des dritten alle drei. Unbefriedigend ist auch die starre Abfolge. Eine Verlängerung

der Aktivierung der einzelnen Teilsequenzen ist nicht möglich. Man kann bei einem Detail in der Erinnerung beliebig lange an einem Gegenstand stehen bleiben (Kontext wird festgehalten). Sequenzielles Umschalten muss willentlich gesteuert sein.

Das Problem erinnert an die für das Funktionieren der Syntax erforderlichen, in Teil 5 eingeführten „Endelemente“. Sie schließen dort eine andauernde Konstituente ab und bewirken den Übergang zu einem nachfolgenden Element. Im Unterschied zu syntaktischen Strukturen ist es aber nicht denkbar, dass Einheiten von Episoden in der Wahrnehmung durch Endelemente abgeschlossen sind, etwa so, wie das über bereits gelernte lexikalische Elemente der Fall ist. Der Lernvorgang kann nicht über die Wahrnehmung mit Endelementen „versorgt“ werden. Es muss sozusagen von innen eine entsprechende Anregung erfolgen. In der hier zunächst folgenden Simulation wird diese Anregung künstlich über einen externen Input gegeben, indem eine dafür eingeführte Zelle *GLE* erregt wird. Voraussetzung ist natürlich, dass potenzielle Strukturen für Endelemente vorhanden sind. Die Architektur entspricht der Abbildung 6.2.3–5.

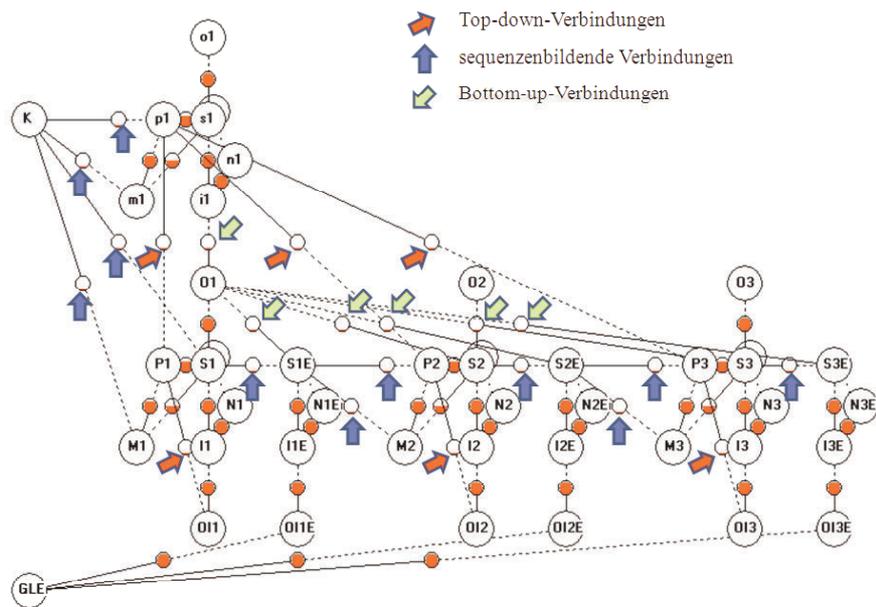


Abbildung 6.2.3–5: Architektur mit Endelementen und globaler Weiterleitung durch Aktivierung der Zelle *GLE*. Die durch den Lernprozess zu verstärkenden Verbindungen sind markiert wie in den vorangegangenen Abbildungen.

Zur besseren Veranschaulichung ist hier die Datei, die die Eingabesteuerung der Simulation enthält, im Wortlaut wiedergegeben. Auf die Identifikation einer Zelle folgt jeweils der Zeittakt, in dem sie überschwellig aktiviert wird. Der Input erfolgt über *OI1*, *OI2* und *OI3*. Die Zelle *pt* erzeugt den Produktionstakt, die Zelle *px* bewirkt ein EPSP in *p1*. NSP löst die Hemmung der Rückspiegelungszellen aus, GLE aktiviert die Endelemente.

Lernvorgang

```
K 0 OI1 50 pt 60 px 65 NSP 68 GLE 110
K 110 OI2 170 pt 180 px 185 NSP 188 GLE 240
K 240 OI3 300 pt 310 px 315 NSP 318 GLE 390
```

Produktion

Haltepunkt für die Option "Simulation bis Stop"

```
*** 450
```

Setzen des Kontexts für die Produktion

```
K 450
```

Produktion

```
pt 460 px 460 GLE 510
```

```
pt 560 px 560 GLE 610
```

```
pt 660 px 660 GLE 710
```

Simulation:

Lernen und Abruf einer episodischen Sequenz

mit Endelementen für die einzelnen Sequenzeinheiten.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden. Die Option „Simulation bis Stop“ führt an den Beginn der Abrufphase.

Die Abbildung 6.2.3–6 zeigt, dass die Produktion jetzt so funktioniert, wie man es erwartet.

Unbefriedigend ist allerdings, dass die Herkunft des auf GLE führenden Signals im Verstehensprozess unerklärt bleibt. In der Produktion kann man einen entsprechenden inneren Prozess annehmen, ausgelöst aufgrund der jeweiligen Ersatzwahrnehmung. Bei der Verankerung der äußeren episodischen Wahrnehmung im Speicherprozess ist das wenig plausibel.

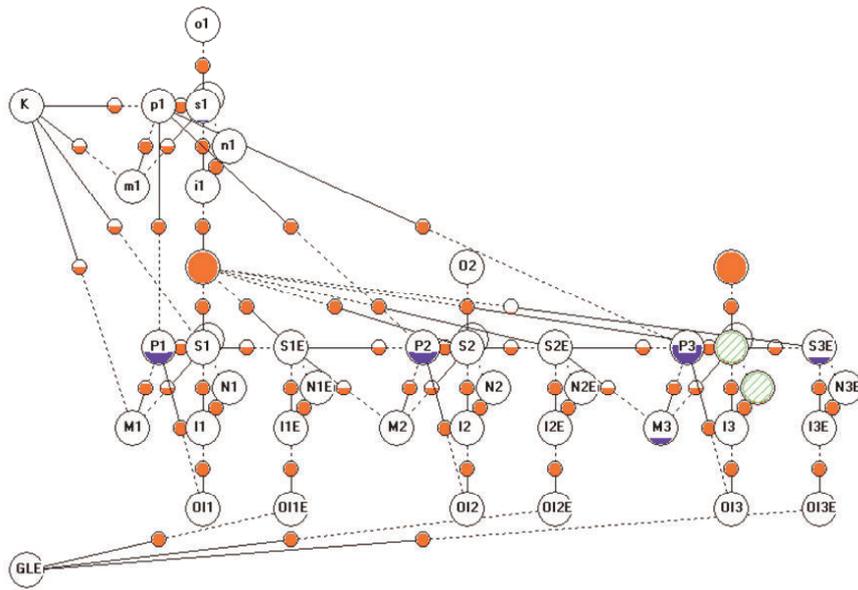


Abbildung 6.2.3–6: Architektur mit Endelementen und globaler Weiterschaltung über einen externen Input. Zustand bei der Produktion des letzten Sequenzelements in Zeittakt 685.

Man kann sich überlegen, was den Wechsel von Gegenständen in einer Ereignissequenz ausmacht. Die Wahrnehmung eines neuen Gegenstands kann bedeuten, dass die bisherige Kontextkonstellation verändert wird. In diesem Fall entsteht eine Inkohärenz, die entsprechend verarbeitet werden muss. Zur Feststellung von Inkohärenzen und zur Auslösung entsprechender Reaktionen ist in Teil 5 für den Bereich der Syntax eine als „Watchdog“ bezeichnete Einrichtung eingeführt worden. Der Watchdog besteht aus einer spontan-aktiven Zelle (*AA*), die nach einer Anzahl von produzierten Impulsen eine zweite Zelle (*sA*) zum Feuern bringt, sofern diese Zelle nicht durch erfolgreiche Aktionen der überwachten Struktur (über *iA* und *nA*) gehemmt wird. Der Watchdog feuert also dann, wenn eine Inkohärenz vorliegt. Das kann zum Segmentieren eines inhaltlichen zeitlich zusammenhängenden Stroms durch auftretende Inkohärenz herangezogen werden.

Die Abbildung 6.2.3–7 gibt die Watchdogstruktur für die Ableitung der Erregung von *GLE* aufgrund des Outputs von *o1* wieder.

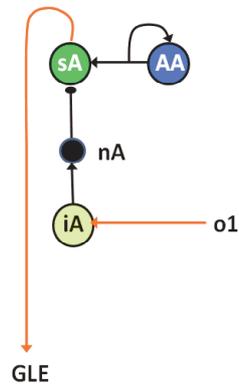


Abbildung 6.2.3–7: Watchdogschaltung.

Es wird in Teil 5, Abschnitt 5.4.1 darauf hingewiesen, dass diese einfache Konstruktion möglicherweise nicht ausreicht, was auch bei den hier durchgeführten Simulationen sichtbar wird. Eine abschließende Diskussion bringt Teil 7, „Denken und Formulieren“.

Die Eingabedatei für die Simulation verändert sich jetzt, unter Erweiterung durch andauernden Sinnesinput und einer variablen Produktion, wie folgt:

```

Herstellung der Watchdog-Bereitschaft:
AA 0

Lernvorgang
-----

Erster Sequenzbestandteil:
K 0 0I1 50 pt 60 px 65 NSP 68
Zweiter Sequenzbestandteil:
K 90 0I2 130 pt 140 px 145 NSP 148
K 170 0I2 190 pt 200 px 205 NSP 208
K 230 0I2 270 pt 280 px 285 NSP 288
Dritter Sequenzbestandteil:
K 300 0I3 350 pt 360 px 365 NSP 368
K 370 0I3 420 pt 430 px 435 NSP 438

Pause, Watchdog wird zurückgesetzt
iA 650

```

Produktion

Haltepunkt für die Option "Simulation bis Stop"

*** 650

Setzen des Kontexts für die Produktion

K 650

Produktion des ersten Sequenzbestandteils

pt 660 px 660 GLE 750

Produktion des zweiten Sequenzbestandteils

pt 810 px 810

pt 880 px 880 GLE 940

Produktion des dritten Sequenzbestandteils

pt 1000 px 1000

pt 1060 px 1060

pt 1120 px 1120

.

Simulation:

Lernen und Abruf einer episodischen Sequenz

mit Endelementen für die einzelnen Sequenzeinheiten und Definition über Inkohärenzen.

Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.

Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die

Leertaste gesteuert werden. Die Option „Simulation bis Stop“

führt an den Beginn der Abrufphase.

Die Eingabedatei zeigt, dass während der Lernphase die Aktivierungen der Zelle GLE verschwunden sind. Hier dienen Inkohärenzreaktionen des Watchdogs, die durch den ersten Input des zweiten und des dritten Sequenzbestandteils ausgelöst werden, zum Ersatz. Bei der Produktion wird dagegen GLE „willentlich“ gestartet. Sowohl der Lernvorgang als auch die Produktion lassen zu, dass ein Sequenzelement durch Wiederholung gelängt wird.

Zu den Endelementen ist zu bemerken, dass die EPSP-Dauer der sequenzenbildenden Zelle länger sein muss, als sonst für Zellen dieses Typs erforderlich und zulässig. Bei längerem Andauern der Inkohärenz bricht die aktuelle Sequenz ab. Die Adressierung von Episoden durch Wechsel des äußeren Kontexts wird in Teil 7, „Denken und Formulieren“ behandelt. Die in den Simulationen vorgeschlagene Behandlung von Endelementen und deren Erregung durch ein globales Signal kann zur Konsequenz haben, dass Hierarchien (Sequenzen von Sequenzen), die mit denen in der Syntax vergleichbar wären, nicht möglich sind. Details müssten durch zusätzliche empirische Studien geklärt werden.

An dieser Stelle sei nun noch ergänzend darauf hingewiesen, dass der in den Lernphasen der gezeigten Simulationen verwendete externe Input des Produktionstakts *pt* und der Aktivierung der obersten P-Zelle der Hierarchie über die Zelle *px* natürlich nicht der neuronalen Realität entsprechen kann. In Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.4.5, wird eine Abhängigkeit dieser Funktionen von dem Wahrnehmungsinput vorgeschlagen. Dazu wird die Aktivierung der Spitze der Perzeptionsstruktur verwendet, die eine Folge des Wahrnehmungsinputs ist. Wenn man von einem nicht automatischen, sondern willentlich gesteuerten Produktionsvorgang ausgeht, darf dieser Zusammenhang allerdings nur in der Lernphase, nicht in der Produktionsphase wirksam sein, und muss dort ausgeschaltet werden. Für das relativ einfache Beispiel der Struktur in Abbildung 6.2.3–3 und der damit verbundenen Simulation sieht der Vergleich der Eingabedateien nach den entsprechenden Änderungen wie folgt aus:

Lernphase -----	Lernphase -----
K 0	K 0
OI1 50 pt 60 px 65 NSP 67	OI1 50 NSP 67
OI2 110 pt 120 px 120 NSP 123	OI2 110 NSP 123
OI3 170 pt 180 px 180 NSP 183	OI3 170 NSP 183
*** 350	*** 350
Produktion -----	Produktion -----
K 350	K 350
pt 370 px 370	pt 370 px 370 No1 370
pt 435 px 435	pt 435 px 435 No1 435
pt 495 px 495	pt 495 px 495 No1 495

In der rechten Spalte, die die veränderte Version zeigt, sind die Inputs für *pt* und *px* während des Speicherprozesses weggefallen und hemmende Inputs (*No1*) zur Vermeidung des Einflusses der Rückmeldung auf die Taktung bei der Produktion hinzugefügt. Diese Inputs sind ebenso künstlich und durch die Simulationstechnik bedingt wie die im Fall von *NSP*.

Die Simulation zeigt, dass das Verhalten der Strukturen oberflächlich identisch bleibt, dass also die künstliche Versorgung der Taktimpulse nicht erforderlich ist, und nur eine für das Verständnis praktische Abkürzung darstellt.

Simulation:
Lernen und Abruf einer episodischen Sequenz,
 Version ohne externe Eingabe des Produktionstakts.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die
 Leertaste gesteuert werden. Die Option „Simulation bis Stop“
 führt an den Beginn der Abrufphase.

6.2.4 Synaptische Gedächtnisformen: Kurzzeitgedächtnis

Die Annahme eines synaptischen Kurzzeitgedächtnisses ergibt sich aus der Beobachtung, dass in vielen Fällen Gedächtnisinhalte

- einige Sekunden verfügbar bleiben, also länger, als es der EPSP-Dauer entsprechen kann,
- obwohl in dieser Zeit keine stützenden Prozesse stattfinden;
- zusätzlich gilt, dass die Verfügbarkeit in der Zeit allmählich abnimmt, und schließlich,
- dass die Verfügbarkeit durch Produktionsvorgänge verlängert werden kann.

Die oben besprochenen zellulären Gedächtnisformen für sich genommen sind dafür nicht geeignet. Was andererseits auffällt, ist die Verwandtschaft mit der Langzeitspeicherung, der Unterschied zur Langzeitspeicherung scheint nur darin zu bestehen, dass die Vergessensrate, also die Abschwächung der Effektivität von Synapsen, bei Strukturen des synaptischen Kurzzeitgedächtnisses höher ist. Auch für die Langzeitspeicherung gilt, dass die Wiederholung eines Inhalts seine Verfügbarkeit verlängert.

Eine solche Gedächtnisform ist von besonderem Wert für die zeitlich kurzräumige Verhaltenssteuerung, die nicht dazu führen sollte, dass das Gedächtnis unnötig mit nicht weiter benötigten Inhalten überschwemmt wird.

Wenn der Unterschied zwischen Langzeitgedächtnis und synaptischem Kurzzeitgedächtnis letztlich nur darin besteht, dass Synapsen unterschiedlichen zeitlichen Verhaltens beteiligt sind, muss man sich fragen, welche Synapsen hier betroffen sind. Klar ist, dass nur durch Lernvorgänge veränderbare Synapsen hier in Frage kommen. Das betrifft auf der Perzeptionsseite Synapsen,

die sequenzenbildende, instanzenbildende und ODER-Funktion haben. Auf der Produktionsseite gibt es ebenfalls sequenzenbildende Verbindungen (für die Kontextsteuerung) und Top-down-Verbindungen mit ODER-Funktion.

Es lässt sich nun leicht einsehen, dass die durch einen Produktionsvorgang ausgelöste Ersatzwahrnehmung (über den Rückspiegelungsprozess) immer zur Verstärkung von Sequenzverbindungen des Perzeptionssystems führt, auch dann, wenn sich diese Verbindungen im zeitlichen Verlauf zuvor abgeschwächt haben. Das Abklingen von Kurzzeitspuren setzt also eine Abschwächung des Top-down-Systems voraus. Das kann z. B. so in der Simulation rekonstruiert werden, dass die in der folgenden Abbildung mit Blockpfeilen bezeichneten Synapsen in dem oben in Abbildung 6.2.3–5 verwendeten Beispiel des Langzeitgedächtnisses pro Zeittakt um einen geringen Betrag reduziert werden.

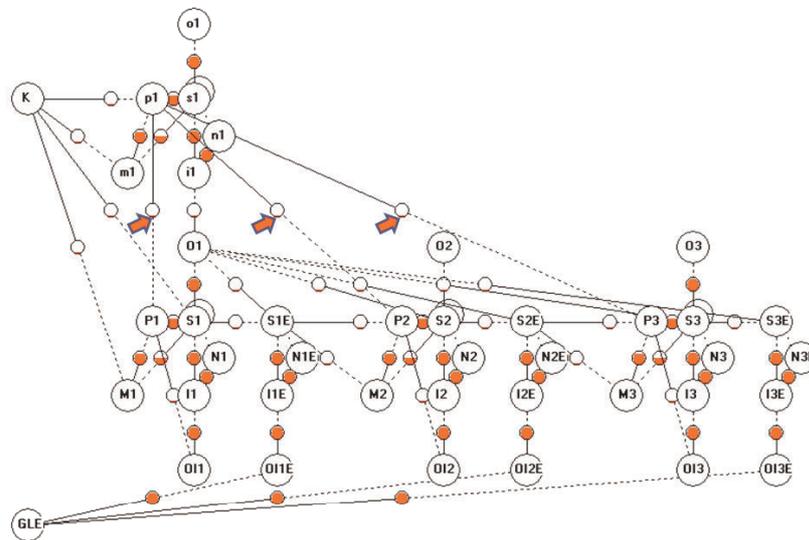


Abbildung 6.2.4–1

Selbstverständlich gilt, dass bei funktionslosem Top-down-System auch die einem Lernprozess unterliegenden Perzeptionsverbindungen abgeschwächt werden. Dieses Detail ist in den Simulationen nicht realisiert, wohl aber die Auswirkungen einer wiederholten Produktion. Verwendet wird eine Architekturversion mit Aktivierung von GLE durch eine Watchdogschtung. Diese Schaltung ist auf dem Bildschirm nicht sichtbar. Die Abschwächung ist dadurch realisiert, dass die markierten Synapsengewichte pro Zeittakt

mit dem Faktor 0.9995 multipliziert werden. Die Stützung durch Wiederholung setzt voraus, dass die Benutzung einer Top-down-Verbindung bei der Produktion, also in anderer Reihenfolge als beim Lernvorgang, die Abschwächung in ausreichendem Umfang ausgleicht.

Dem besseren Überblick vor allem über die hier ja besonders relevanten Zeitverhältnisse soll hier wieder die Eingabedatei dienen:

Herstellung der Watchdog-Bereitschaft:

AA 0

Lernvorgang

Erster Sequenzbestandteil:

K 0 pt 60 OI1 60 px 65 NSP 70

Zweiter Sequenzbestandteil:

K 90 pt 140 OI2 140 px 145 NSP 150

K 170 pt 200 OI2 200 px 205 NSP 210

K 230 pt 280 OI2 280 px 285 NSP 290

Dritter Sequenzbestandteil:

K 300 pt 360 OI3 360 px 365 NSP 370

K 370 pt 430 OI3 430 px 435 NSP 440

Pause, Watchdog wird zurückgesetzt

iA 1650

Produktion

Haltepunkt für die Option "Simulation bis Stop"

*** 1650

Setzen des Kontexts für die Produktion

K 1650

Produktion des ersten Sequenzbestandteils

pt 1660 px 1660 GLE 1750

Produktion des zweiten Sequenzbestandteils

pt 1810 px 1810

pt 1880 px 1880 GLE 1940

Produktion des dritten Sequenzbestandteils

pt 2000 px 2000

pt 2060 px 2060

pt 2120 px 2120

```

Watchdog wird zurückgesetzt
iA 3300

Haltepunkt
*** 3300

Setzen des Kontexts für die Produktion
K 3350
  Produktion des ersten Sequenzbestandteils
pt 3360 px 3360 GLE 3450
  Produktion des zweiten Sequenzbestandteils
pt 3510 px 3510
pt 3580 px 3580 GLE 3640
  Produktion des dritten Sequenzbestandteils
pt 3700 px 3700
pt 3760 px 3760
pt 3820 px 3820
.

```

Wenn man die stützende Produktion ab Zeittakt 1650 weglässt, scheitert die abschließende Wiedergabe, die ungefähr 3 Sekunden nach dem Speichervorgang beginnen sollte.

Simulation:

[Lernen und Abruf einer Sequenz](#)

im synaptischen Kurzzeitgedächtnis. Version mit stützender Produktion. Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden. Die Option „Simulation bis Stop“ führt zunächst an den Beginn der stützenden Produktion, später an den Beginn der zweiten Produktion, die das Funktionieren demonstriert.

[Lernen und Abruf einer Sequenz](#)

im synaptischen Kurzzeitgedächtnis. Version ohne stützende Produktion. Die Option „Simulation bis Stop“ führt hier sofort an den Beginn des scheiternden abschließenden Produktionsversuchs.

Das funktioniert bei beliebigen Inhalten, man denke z. B. an das Merken einer Spielkartensequenz, oder das Nachzählen von Glockenschlägen usw.... Allerdings ist es am leichtesten, sich die Funktion, die ja bei längerer Zeitdauer eine stützende Wiederholung der Produktion voraussetzt, bei lautlichen Inhalten (sprachlich oder einfach akustisch) vorzustellen. Dieser Fall

hat allerdings die Besonderheit, dass innerhalb einer lautlichen Sequenz mit Wortcharakter keine Pausen auftreten. Pausen, die zur Segmentierung dienen können, gibt es in Wortlisten zwischen den Wörtern, und eben nicht innerhalb der Wörter. Unter der Annahme, dass Wiederholungsschleifen an sequenzenbildenden Zellen nicht durch Lernvorgänge hinzugefügt werden können, sondern zu den strukturellen Voraussetzungen vor einem Lernprozess gehören, ergibt sich das oben (vgl. die Abbildungen 6.2.3–3 und 6.2.3–4) behandelte Problem, dass das Produktionsergebnis unbefriedigend ist, da mehrere Outputelemente gleichzeitig produziert werden.

Für den Fall lautlicher Strukturen, bei denen die Widerspiegelungszellen innerhalb der Ebene der phonologischen Merkmale angesiedelt sind (vgl. Teil 2, Abschnitt 2.5.3, Teil 3, Abschnitt 3.4.5), wird in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.4.4 eine Lösung vorgeschlagen, die durch einen Prozess der lateralen Hemmung, unter Voraussetzung von Adaptationsprozessen in den beteiligten Nervenzellen, gewährleistet, dass nur eines der konkurrierenden Outputelemente zur Rückspiegelung kommt (eine willentliche Verlängerung ist ebenfalls möglich). Das hat zur Folge, dass pro Sequenzelement vor Aktivierung des Nachfolgers nur eine einzige Rückmeldung erfolgt. Die Funktion ist damit im wesentlichen so, als seien die Wiederholungsstrukturen nicht vorhanden. Der strukturelle Aufwand der durch diese Lösung vorausgesetzt wird, ist im Fall der Phonologie vertretbar, kaum aber bei einer anzunehmenden höheren Zahl beteiligter Rückspiegelungselemente in anderen Bereichen. Es handelt sich also nicht um eine Möglichkeit, die Annahme von Endelementen und deren Funktion bei Gedächtnisprozessen grundsätzlich zu vermeiden.

Lexikonstrukturen, wie sie in Teil 4 in diesem Zusammenhang behandelt werden, entstehen in mehreren Wiederholungen des Perzeptionsvorgangs. Das ist ein wichtiger Unterschied zu den Bedingungen, unter denen die Kurzzeitspeicherung von Phonemketten steht. Außerdem ist es für die Kurzzeitspeicherung definitionsgemäß typisch, dass die verwendeten Zellen rasch wieder für neue Speicherprozesse freigegeben werden. Es kann vermutet werden, dass durch das Ausbleiben von wiederholten Rückmeldungen und der damit verbundenen fehlenden Nutzung des Wiederholungsapparats die Wiederholungsverbindungen bei sequenzenbildenden Zellen abgebaut werden, und, nachdem sie nicht funktionsfähig sind, auch nicht wieder aufgebaut werden können.

Neben der Funktion einer lateralen Hemmung kann man nach dieser Argumentation für die Kurzzeitspeicherung auch mit sozusagen schon vorbereiteten Architekturkomponenten rechnen, die Großmuttereinheiten mit hoher Vergessensraten enthalten und deren sequenzenbildende Zellen keine Wie-

derholungsverbindungen haben. Da die Effekte für die Kurzzeitspeicherung letztlich in beiden Fällen identisch sind, soll hier im Folgenden in der Simulation die einfacher zu realisierende Version mit Zellen ohne Wiederholungsverbindungen verwendet werden. Wenn man den Versuch der Abbildungen 6.2.3–3 und 6.2.3–4 mit solchen Zellen wiederholt, werden die Störungen der Produktion, wie die Abbildung 6.2.4–2 zeigt, tatsächlich vermieden.

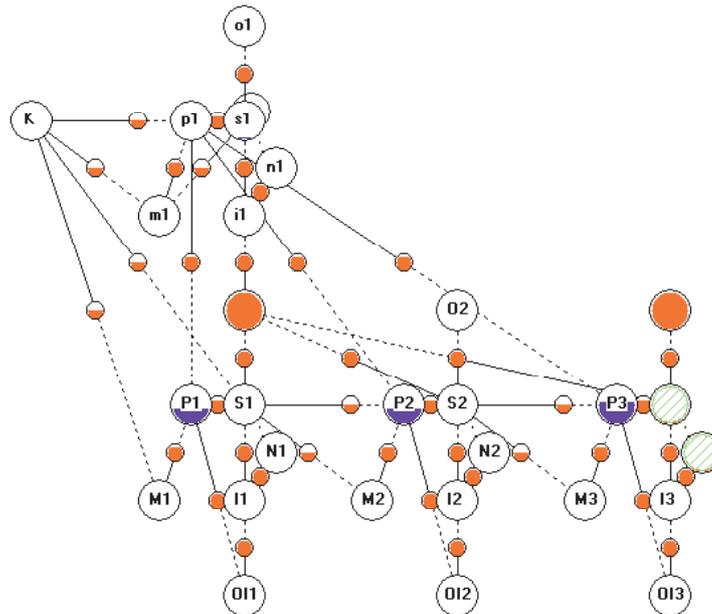


Abbildung 6.2.4–2: Erfolgreicher Lernvorgang, befriedigende Eigenschaften der Produktion. Die sequenzenbildenden Zellen haben keine Wiederholungsschleifen. In dem dargestellten Zeittakt 520, der dem Schluss der Sequenz in der Produktion entspricht, wird (korrekt) nur das letzte Element produziert.

Simulation:
Lernen und Abruf einer Lautsequenz.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation kann durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden. Die Option „Simulation bis Stop“ führt an den Beginn der Abrufphase.

Diese Simulation betrifft nur die Verarbeitung einer Lautsequenz, die einem einzelnen Wort entspricht. Wenn, wie in den Experimenten zu den Leistungen des Kurzzeitgedächtnisses für sprachliches Material, Sequenzen von

Wörtern verwendet werden, die durch kurze Pausen separiert sind, werden architektonische Strukturen vorausgesetzt, die eine Kombination der Liste lautlicher Sequenzen mit einem (multimodalen) Gedächtnissystem gewährleisten, das der Abbildung 6.2.4–1 entspricht. Man gelangt also zu einer Gesamtstruktur wie im Beispiel der Abbildung 6.2.4–3, die damit vergleichbar ist mit den Leistungen des „phonological loop“ bei Baddeley (siehe oben Abschnitt 6.1.4), wobei aus praktischen Gründen nur drei Items als Input verwendet werden.

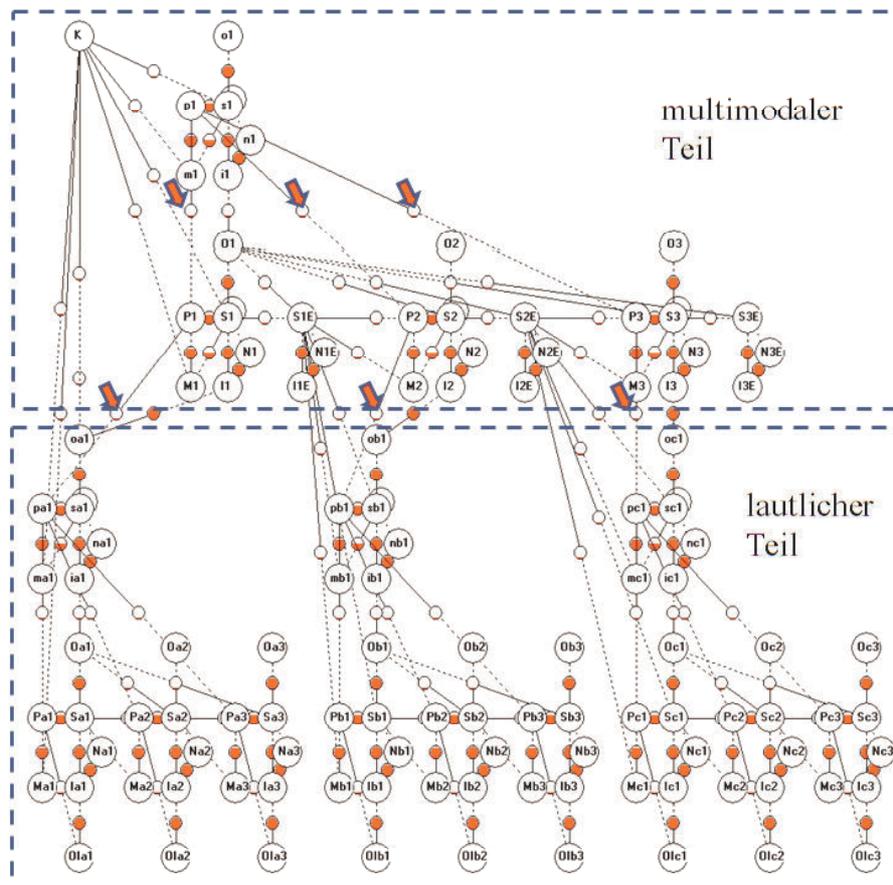


Abbildung 6.2.4–3: Bildschirmdarstellung einer Struktur, die das Verhalten des „phonological loop“ zeigt. Gewichte von Top-down-Verbindungen, die im zeitlichen Verlauf abgeschwächt werden, sind mit Blockpfeilen markiert.

Da die Höhe eines Bildschirms mit 1024x768 Pixeln zur Darstellung in der Simulation nicht ausreicht, werden der multimodale Teil und der lautliche Teil, jeweils mit anschließenden Strukturen, separat in eigenen Aufrufen gezeigt. Es handelt sich dabei um dieselbe Simulation, bei der nur das Bildschirmfenster verschoben ist. Weil zusätzlich die Funktion mit unterschiedlichem Input, einmal mit stützendem Rehearsal, einmal ohne Rehearsal gezeigt wird, ergeben sich insgesamt vier Aufrufe.

Die Eingabedatei in der Version mit Rehearsal soll hier wieder zum besseren Verständnis der Details angegeben werden:

```

Initialisieren des Watchdogs
AA 10

Lernphase
-----
K 10 OIa1 50 pt 60 px 65 NSP 65 OIa2 110 pt 120 px 125 NSP 125
OIa3 170 pt 180 px 185 NSP 185

OIb1 350 pt 360 px 365 NSP 365 OIb2 410 pt 420 px 425 NSP 425
OIb3 470 pt 480 px 485 NSP 485

OIC1 650 pt 660 px 665 NSP 665 OIC2 710 pt 720 px 725 NSP 725
OIC3 780 pt 790 px 795 NSP 795

Produktion
-----

Haltepunkt für die Option "Simulation bis Stop"
*** 1440
Setzen des Kontexts für die Produktion
K 1440
Zurücksetzen des Watchdogs
iA 1440

pt 1460 px 1460
pt 1530 px 1530
pt 1600 px 1600 GLE 1760

pt 1770 px 1770
pt 1840 px 1840
pt 1900 px 1900 GLE 2060

```

pt 2080 px 2080
 pt 2150 px 2150
 pt 2220 px 2220

Haltepunkt für die Option "Simulation bis Stop"
 *** 3440
 Setzen des Kontexts für die Produktion
 K 3440
 Zurücksetzen des Watchdogs
 iA 3440

pt 3460 px 3460
 pt 3530 px 3530
 pt 3600 px 3600 GLE 3760

pt 3770 px 3770
 pt 3840 px 3840
 pt 3900 px 3900 GLE 4060

pt 4080 px 4080
 pt 4150 px 4150
 pt 4220 px 4220

.

In der Version ohne Rehearsal ist die erste Phase der Produktion ab Zeittakt 1440 ausgeblendet, der Rest bleibt unverändert.

<p>Simulation: Simulation von Funktionen des „phonological loop“. Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert. Die Simulationen können durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden. Phonological Loop mit Rehearsal, multimodaler Teil. Phonological Loop mit Rehearsal, lautlicher Teil. Die Option „Simulation bis Stop“ führt an den Beginn der Rehearsalphase, anschließend an den Beginn der abschließenden Produktion. Phonological Loop ohne Rehearsal, multimodaler Teil. Phonological Loop ohne Rehearsal, lautlicher Teil. Die Option „Simulation bis Stop“ führt an den Beginn der abschließenden Produktion.</p>

Die verwendete Architekturversion wertet Pausen zwischen den Phonemketten zur Segmentierung aus. Wenn keine Pausen vorhanden sind, führt der Input, sofern keine lexikalisierten Elemente vorliegen, zur Bildung entsprechend verlängerter Item-Ketten (zum Fall lexikalisierte Elemente vgl. unten 6.4). Die Zahl insgesamt störungsfrei reproduzierbarer Items ist vom Abschwächungsfaktor der Synapsen abhängig, der hier für das Top-down-System 0,9997 beträgt, was einer Gesamtlänge der überbrückbaren Zeitspanne für die Gedächtnisleistung von etwas mehr als 3 Sekunden entspricht.

Die Eigenschaften der involvierten Zellen (sowohl der P-Zellen als auch der sequenzenbildenden Zellen) sind andere, als die der Zellen, die sonst zur Langzeitspeicherung dienen. Ein Übergang von Kurzzeitgedächtnisinhalten in das Langzeitgedächtnis kann nicht dadurch erreicht werden, dass Synapsen ihr Abschwächungsverhalten verlieren, eher jedenfalls durch wiederholte Ersatzwahrnehmung, die nicht nur das Kurzzeitgedächtnis stützt, sondern auch eine Speicherung in Langzeitbereichen bewirken kann, deren Abschwächungsverhalten nicht so stark ist.

6.2.5 Gedächtnissysteme

Allgemeine Überlegungen

Unter dieser Überschrift werden hier nur Strukturen behandelt, die im Kortex lokalisiert sind. Eine wesentliche Voraussetzung für die bei Gedächtnisphänomenen anzunehmenden Lernvorgänge ist die chaotische Struktur und das Überangebot der synaptischen Verbindungen im Kortex, die vor allem bei mikroskopischen Schnitten parallel zur Oberfläche erkennbar werden. Diese Voraussetzung wird in den Modellen der vorangegangenen Abschnitte nicht dargestellt, ist aber grundsätzlich erforderlich und modellhaft mitgemeint.

Es gibt keine Hinweise darauf, dass Gedächtnissysteme Module im Sinne von Fodor sein könnten. Ausgeschlossen ist auch die Vorstellung, dass Gedächtnisbereiche passive Informationsspeicher sind, die von den Verarbeitungsstrukturen zu unterscheiden wären. Die Trennung von Speichern und Prozessoren, wie sie bei gängigen Computerstrukturen gilt, würde die im Gehirn erforderliche massive Parallelverarbeitung nicht gewährleisten. Die Folge ist, dass es prinzipielle Schwierigkeiten gibt, überhaupt Gedächtnissysteme zu unterscheiden.

Was ohne Probleme angenommen werden darf, ist die Spezialisierung der primären, also peripherienahen Bereiche des Kortex (primärer visueller Kortex, primärer akustischer Kortex, primäre sensorische und motorische Area-

le). Sie ergibt sich aus der lokalistischen Gesamtstruktur der neuronalen Kodierung und der subkortikalen Organisation zwangsweise. Gedächtnis für Inhalte, die wenig „tiefe“ Verarbeitung voraussetzen, wird innerhalb oder in unmittelbarer Nachbarschaft der primären Bereiche anzusiedeln sein. Die Frage ist, ob man damit eine interessante Kategorisierung erreicht. Besser ist es, von einem Gedächtnissystem zu sprechen, wenn zusätzliche strukturelle Eigenschaften angenommen werden müssen. Das ist die im Folgenden geltende Strategie, die allerdings zu Ergebnissen führt, die in vielen Punkten von gängigen Vorstellungen abweichen.

Kurzzeitgedächtnis vs. Langzeitgedächtnis

Strukturen des zellulären (Kurzzeit-)Gedächtnisses sind überall auch Bestandteile der synaptischen Gedächtnisformen. Wenn Kurzzeitgedächtnis einfach eine aktivierte Partie des Langzeitgedächtnis wäre, würde man wahrscheinlich auch nicht von einem eigenen Gedächtnissystem sprechen. Bei dem synaptischen Kurzzeitgedächtnis ist die Situation aber so, dass eigene strukturelle Eigenschaften angenommen werden müssen, nämlich Zellen mit Synapsen, deren Effektivität rasch abklingt. Es wird also tatsächlich eine von Langzeitgedächtnisstrukturen verschiedene neuronale Grundlage vorausgesetzt. Allerdings ist nicht daran zu denken, dass dieses Kurzzeitgedächtnis räumlich eigene Kortextbereiche einnimmt. Die für den Kortex gültige lokalistische Kodierungsform legt vielmehr nahe, dass Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis in unmittelbarer Nachbarschaft voneinander, sozusagen „parallel“ angesiedelt sind. Wenn man eine räumliche Trennung als Voraussetzung für die Klassifizierung als Gedächtnissystem nicht verlangt, kann das synaptische Kurzzeitgedächtnis tatsächlich als solches verstanden werden. Der Zusammenhang mit dem Langzeitgedächtnis ist, siehe oben, nicht so, dass Kurzzeitgedächtnisspuren in Langzeitgedächtnisspuren übergehen, ohne dass das neuronale Substrat gewechselt wird.

Das Kurzzeitgedächtnis kann in synaptischer Form nicht mit einem Arbeitsgedächtnis identifiziert werden. Verarbeitende Prozesse finden auch dort statt, wo es langfristig verankerte Inhalte gibt. Eine Übertragung solcher Inhalte in ein synaptisches Kurzzeitgedächtnis zum Zweck der Verarbeitung kann nicht angenommen werden.

Die Stützungsfunktion durch Wiederholung, die für das synaptische Kurzzeitgedächtnis charakteristisch ist, ist auch für das Langzeitgedächtnis anzunehmen, die erforderliche Wiederholungsfrequenz ist, wegen der geringeren Abnahmerate der Synapseneffektivität, entsprechend geringer. Die Beobachtung einer solchen Funktion (von innerem Sprechen) ist schon biblisch, wenn man den damaligen Stand der Kenntnisse über mentale Prozesse berücksichtigt:

Da sie [die Hirten] es [das Kind] gesehen hatten, breiteten sie das Wort aus, welches zu ihnen von diesem Kinde gesagt war. Und alle, vor die es kam, wunderten sich der Rede, die ihnen die Hirten gesagt hatten. Maria aber behielt alle diese Worte und bewegte sie in ihrem Herzen.

ἡ δὲ Μαρία πάντα συνετήρει τὰ ῥήματα
ταῦτα συμβάλλουσα ἐν τῇ καρδίᾳ αὐτῆς .

Lukas 2, 17–19

Deklaratives vs. prozedurales Gedächtnis

Die von Squire verwendete Unterscheidung dieser Gedächtnistypen mit dem Hinweis auf die Dichotomie bewusst – unbewusst (siehe auch oben 6.2.1) hat ihre Schwierigkeiten. Der Wortlaut in Squire & Knowlton (2000: 765) kann unterschiedlich interpretiert werden.

„Declarative memory refers to memories for facts and events that are recollected consciously. [...] Nondeclarative memory is expressed through performance without any requirement for conscious memory content.“

Wenn man die in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Prozesse betrachtet, wird klar, dass niemand in der Lage ist, sich bewußt zu machen, wie der Verlauf eines Abrufprozesses tatsächlich ist und welche Strukturen er voraussetzt. Offenbar bezieht sich das Attribut „bewusst“ auf einen Prozess, der Rückspiegelung und Ersatzwahrnehmung voraussetzt. Was bewusst wird, ist der Gegenstand der Ersatzwahrnehmung. Man kann auf dieser Basis annehmen, dass tatsächlich gespeicherte Inhalte möglich sind, die zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht zu einer Ersatzwahrnehmung führen können und in diesem Sinne „unterbewusst“ sind. Ein Beispiel für Inhalte, die gelernt werden, die aber *prinzipiell* (nicht nur zu einem bestimmten Zeitpunkt) nicht rückgespiegelt werden können, liefert die Syntax. Sie bleibt „unbewusst“, obwohl natürlich sprachliche Ausdrücke (die Endprodukte eines Verarbeitungsprozesses) grundsätzlich Rückspiegelungsprozesse voraussetzen, also „bewusst“ sind. „Skills“ fallen nur dann unter die Rubrik unbewusster Gedächtnisinhalte, wenn sie nicht Gegenstand von Vorstellungen sein können, also vielleicht nur dann, wenn sie keine im Kortex anzusiedelnde, durch Lernprozesse im Kortex entstehende Komponente haben. Die Dichotomie bewusst – unbewusst ist also zur Unterscheidung von Gedächtnissystemen wenig geeignet.

Episodisches vs. semantisches Gedächtnis

Man vgl. zu dieser Unterscheidung oben den Abschnitt 6.1.2 und den Hinweis dort auf kritische Stellungnahmen. Mit Blick auf die Untersuchungen der vorangegangenen Abschnitte kann die Skepsis noch etwas klarer begründet werden.

Wenn semantische Gedächtnisspuren als typische Ereignisse Repräsentationen von Sequenzen einschließen, und selbst in episodische Sequenzen einbezogen werden können, ist eine Unterscheidung von episodischem und semantischem Gedächtnis apparativ nicht mehr möglich. Die Lernvorgänge sind grundsätzlich gleich. Die Bindung an flüchtige Ereignisse der Lebensgeschichte ist in dieser Hinsicht nebensächlich, die entsprechenden spezifizierenden Verbindungen werden relativ wenig aktiviert und deshalb schneller abgebaut. Semantisches Gedächtnis ist dann ein aufgrund von Vergessensprozessen unspezifiziertes episodisches Gedächtnis. Es spricht wenig dafür, dass es sich bei der Unterscheidung von episodischem und semantischem Gedächtnis um unterschiedliche Gedächtnissysteme handelt.

Sprachliche Kompetenz

Das Langzeitgedächtnis für verschiedene Funktionen, gerade im Sprachbereich, ist von unterschiedlicher Flexibilität. Dazu tragen nicht nur unterschiedliche Lernraten, sondern auch die unterschiedlichen strukturellen Anforderungen bei.

Das bedeutet noch nicht, dass die Lernvorgänge an der einzelnen Zelle prinzipiell verschieden wären. Es ist aber auffällig, dass der Syntaxerwerb ein relativ langwieriger Prozess ist, was darauf hindeutet, dass Strukturen vorausgesetzt werden, die nicht denen des episodischen Langzeitgedächtnisses entsprechen. Insbesondere ist die Funktion von Endelementen und die Rolle des Top-down-Mechanismus anders, als in anderen Gedächtnisbereichen. Einzelheiten werden in Teil 8, „Spracherwerb“, behandelt.

Der lexikalische Bereich ist, wenn man die Überlegungen in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“ akzeptiert, ebenfalls strukturell spezifisch. In Teil 4 wird gezeigt, dass der lautliche Bereich in spezieller Weise vom inhaltlichen Bereich getrennt werden muss.

Gedächtnissysteme, die aus bestimmten Verhaltensbeobachtungen abgeleitet worden sind

Man kann sich merken, welche Aufgaben man am kommenden Tag zu erledigen hat. Daraus ist geschlossen worden, dass es ein Gedächtnis für zukünftige

tig Geplantes („prospektives Gedächtnis“) geben muss. Spuren dieser Art können aber identisch sein mit entsprechend zusätzlich spezifizierten episodischen Gedächtnisinhalten. Es ist also nicht mit einer charakteristischen architektonische Grundlage, also nicht mit einem eigenen Gedächtnissystem zu rechnen.

Im Fall des „Priming-Gedächtnisses“ sollte man beachten, in welchen Bereichen sich die damit gemeinten Gedächtnisleistungen bewegen. Die Wortfragment-Ergänzung ist eine selbstverständliche Leistung des ausdrucksseitigen Lexikons. Die Beschleunigung bzw. Erleichterung des Zugriffs bei Inhalten, die kontextuell verwandt sind (semantisches Priming, man vgl. die Erklärung in Teil 4, Abschnitt 4.6.2) ist Leistung der inhaltlichen Seite des Lexikons, aber auch des episodischen Gedächtnisses. Das in Abschnitt 6.1.2 schon skeptisch behandelte Priminggedächtnis ist offenbar ein aus empirischen Verhaltensexperimenten abgeleitetes Artefakt, nicht ein eigenes Gedächtnissystem.

Fokus der Aufmerksamkeit

Der Begriff „Aufmerksamkeit“ wird mit verschiedenen Inhalten belegt. Wenn der Aspekt der Wachheit betrachtet wird, ist mit Sicherheit die *Formatio reticularis* beteiligt und damit auch (vielleicht nur unter anderem) ein System, das mit der im Zusammenhang mit dem Gedächtnis behandelten Watchdogfunktion zu tun hat und in weiteren Details in Teil 7, „Denken und Formulieren“ behandelt wird. Die Idee eines Fokus der Aufmerksamkeit betrifft den Aspekt der „gezielten“ Aufmerksamkeit. Es wird davon gesprochen, dass etwas „in den Fokus der Aufmerksamkeit“ gebracht wird. Damit kann nicht gemeint sein, dass es einen Speicherbereich gibt, der als Aufmerksamkeitsfokus ausgezeichnet ist. Insofern ist die Idee einer konstanten Begrenzung dieses Fokus nach der Anzahl der Items, die er aufnehmen kann (Cowan, 2001), wenig plausibel.

Nachdem der sequenzielle Kontext eine Auswahl der störungsfrei (ohne Inkohärenzreaktion) wahrnehmbaren und produzierbaren Inhalte bewirkt, liegt es auf der Hand, dass dieser Funktion eine Rolle bei der Fokussierung der Aufmerksamkeit zukommt. Begrenzungen des Fokus können dann aus verschiedenen Ursachen entstehen. Dazu gehören auch die Faktoren, die zur Begrenzung des synaptischen Kurzzeitgedächtnisses führen.

Der Fokus der Aufmerksamkeit kann ausgewählt werden durch eine Inkohärenzreaktion, durch einen Input, zusammen mit einer Inkohärenzreaktion, oder einfach als Folge in einer bereits etablierten Sequenz.

Die Rolle der Hippokampusformation

Es ist nicht möglich, der Hippokampusformation Funktionen zuzuschreiben, die einen Austausch von Informationen, die den Zuschnitt von detaillierten Kurzzeitgedächtnisinhalten haben, mit anderen Gedächtnissystemen voraussetzen (gegen z. B. Plihal, 1997; Plihal & Born, 1998). Die Struktur kommt schon aus Umfangsgründen (unter Annahme lokalistischer Kodierung) dafür nicht in Frage. Ein Zusammenhang mit Gedächtnisfunktionen kann nicht geleugnet werden, eine Möglichkeit wird in Kochendörfer (1999: 159 ff.) spekulativ angedeutet. Sie besagt, dass ein Bedarf besteht, eine Art temporärer Speicherung für inhaltliche Anknüpfungspunkte zu haben, die eine Schlafphase überstehen kann. Inhaltliche Anknüpfungspunkte können durch Aktivierung von hierarchiehöchsten Elementen gebildet werden, von denen aus größere Zusammenhänge hergestellt werden können. Der Ausgangspunkt einer solchen Aktivierung müsste dann die den Wachzustand charakterisierende Aktivität des Inkohärenzmechanismus sein. Die Hippokampusformation würde dann die Funktion des Speichers einer Schaltereinstellung haben, wozu spezielle architektonische Voraussetzungen erforderlich sind, so dass man sie tatsächlich als Gedächtnissystem einordnen könnte.

Fazit

Was von den gängigen Unterscheidungen bleibt, ist nicht sehr viel: letztlich nur die Unterscheidung von synaptischem Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis und die Sonderrolle des Hippokampus. Aus linguistischer Perspektive ergibt sich zusätzlich die Trennung und Spezialisierung von Gedächtnisbereichen in der sprachlichen Kompetenz, insbesondere im Lexikonbereich und in der Syntax.

Wenn man von der Natur der gespeicherten Inhalte und den darauf bezogenen empirischen Untersuchungen ausgeht, ist allerdings, wie die Forschungsliteratur zeigt, der Feststellung immer neuer zusätzlicher „Gedächtnisse“ Tür und Tor geöffnet.

6.3 Textverstehen: Stand der Forschung und Desiderata

6.3.1 Bemerkungen zum Textbegriff

Die Modellierung des Textverstehens setzt, wie in Abschnitt 6.1.1 festgestellt, voraus, dass ausreichend präzise Vorstellungen über mögliche Gedächtnisprozesse vorliegen. Das Verarbeiten von Texten benötigt einerseits schon vorliegende Gedächtnisspuren und produziert selbst andererseits solche Spuren für zukünftige Verstehensprozesse oder Prozesse der Handlungssteuerung. Wenn man den Lesevorgang ausklammert und sich nur auf die mündliche Kommunikation bezieht, sind Texte offenbar das, was sprachlich hauptsächlich produziert und verarbeitet wird.

Es ist offenbar nicht sinnvoll, zu überlegen, was ein Text im Unterschied zu anderen sprachlichen Produkten ist. Versuche, auf die Kohärenzforderung zur Charakterisierung von Texten (als Objekten) hinzuweisen, sind ungeeignet, denn einerseits ist Kohärenz eine Eigenschaft von gültigen kortikalen Prozessen schlechthin, andererseits gibt es ausdrücklich auch (vorübergehende) Inkohärenzen in Texten (zum Kohärenzbegriff vgl. unten Abschnitt 6.3.6).

Texte können aus einem Satz oder aus vielen Sätzen und schließlich auch aus nicht-satzförmigem sprachlichem Material bestehen. Letztlich ist jedes sprachliche Produkt, das als eine Einheit *verstanden* wird, ein Text. Es gibt „gute“ und „schlechte“ Texte (Prototypizität!). Ein prototypischer schriftlich fixierter Text kann in der Tat von einem Leser als kohärent empfunden werden, enthält keine Bilder oder anderes nichtsprachliches Material, und ist sprachlich unauffällig. Schlechte Texte können in dem Sinne inkohärent sein, dass sie Reaktionen auslösen, die für die (abschließende) kognitive Repräsentation wesentliche Reparaturen in entsprechend größerer Zahl voraussetzen.

Der Begriff Text ist, wie oben schon angedeutet, nicht auf die Schriftlichkeit zu beschränken. Ein Vortrag ist sicherlich ein Text. Auch Gespräche sollten als Texte mit zusätzlicher dialogischer Struktur und den sich daraus ergebenden Konsequenzen verstanden werden. Texte in mündlicher Form sind ursprünglicher als solche, die die Möglichkeiten der Schriftlichkeit nutzen. Es ist unwahrscheinlich, dass die mentale Verarbeitung im Sprachbereich wesentlich von der Natur des schriftlichen Mediums abhängt. Für die folgenden Abschnitte gilt die Orientierung an den Bedingungen der Mündlichkeit. Der Vorgang des Lesens, also der optischen Aufnahme von Text, wird ausgeklammert.

Für die Behandlung des Gesamtkomplexes „Textverstehen“ waren in der Vergangenheit Errungenschaften der „kognitiven Wende“ von großer Bedeutung (man vgl. dazu Figge, 2000), und damit zunächst Vorbilder, die der Künstlichen-Intelligenz-Forschung zuzuordnen sind. Solche Vorbilder stehen ab den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts zur Verfügung. In den letzten Jahrzehnten verstärkt sich zusätzlich der Einfluss der Biologie. Vor der kognitiven Wende beschäftigt sich die Textlinguistik in erster Linie mit Regularitäten, die an Texten festzustellen sind, und mit Repräsentationsformen, nicht so sehr mit dem Verstehensprozess. Es wird also ein eher deskriptiver Standpunkt eingenommen. Eine jüngere Darstellung dieser Art findet sich in der Duden-Grammatik (Dudenredaktion, 2006 Hg.).

Das bedeutet, dass eine Auseinandersetzung mit möglicherweise konkurrierenden Positionen in der Forschungsliteratur für Textverstehensprozesse erst ab den 70er Jahren wirklich lohnt. Von besonderem Interesse sind dabei die Arbeiten von Walter Kintsch und Teun A. van Dijk

6.3.2 Kintsch & van Dijk (1978)

Der Text von Kintsch & Van Dijk (1978) gilt als erste ausdrücklich prozessorientierte Darstellung der Textverarbeitung. Entsprechend dem Stand der Forschung in den 70er Jahren wird, was die Gedächtnisleistungen angeht, unterschieden zwischen Langzeitgedächtnis, Arbeitsgedächtnis und Kurzzeitgedächtnis (short-term buffer).

Das Arbeitsgedächtnis ist der Ort der Bildung und Verarbeitung von Propositionen, die die sog. Textbasis darstellen. Es gibt in der Literatur Anweisungen zur Konstruktion von Propositionenlisten, es wird aber von Kintsch & van Dijk kein auf die Verarbeitung bezogener Prozess angegeben. Eine ebenfalls von vornherein zugestandene Lücke ist die Art und Weise, wie der

Gebrauch von Vorwissen und der Mechanismus von Inferenzen zu verstehen sind.

Propositionen sind hier als atomar zu verstehen, im Unterschied zu den später verwendeten „komplexen“ Propositionen. Sie haben die Form (*Prädikat, Argument, Argument ...*). Also in Listenform für den Beginn des in Kintsch & van Dijk (1978) verwendeten Textes:

- 1 (SERIES, ENCOUNTER)
- 2 (VIOLENT, ENCOUNTER)
- 3 (BLOODY, ENCOUNTER)
- 4 (BETWEEN, ENCOUNTER, POLICE, BLACK PANTHER)
- 5 (TIME: IN, ENCOUNTER, SUMMER)
- 6 (EARLY, SUMMER)
- 1 (TIME: IN, SUMMER, 1969)

(Attribute sind hier als Prädikate behandelt. Die Zahl der Argumente und ihre Kasusrollen werden durch das Prädikat festgelegt, die Kasusrollen werden nicht geschrieben.)

Der zugrundeliegende Satz ist:

A series of violent, bloody encounters between police and Black Panther Party members punctuated the early summer days of 1969.

Die Verarbeitung der Propositionen wird als zyklisch verstanden. Das Arbeitsgedächtnis ist von begrenzter Kapazität, es kann nur eine bestimmte Anzahl von Propositionen bereithalten. Es werden zunächst Propositionen, z. B. in einer Anzahl, die einem längeren Satz entspricht, im Arbeitsgedächtnis abgelegt. Nach der Bearbeitung dort erfolgt die Übertragung ins Langzeitgedächtnis. Eine kleine Zahl, die der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses entspricht, wird im Arbeitsgedächtnis behalten, um den Zusammenhang des Textes zu gewährleisten. Ein neuer Zyklus beginnt dann mit der Auffüllung des Arbeitsgedächtnisses durch neue Textpropositionen.

Die Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis betrifft die Kohärenzherstellung, ggf. durch Inferenzen, und die Ableitung von „Makropropositionen“, die den Informationskern eines Textes repräsentieren, unter Steuerung durch textsortenspezifische Schemata. Kohärenz wird schematisch aufgefasst als basierend auf Argumentwiederholungen und Einbettung von Propositionen

in der Funktion von Argumenten. Es wird angenommen, dass eine Textrepräsentation im Langzeitgedächtnis aufgebaut wird, die prinzipiell in Form eines Kohärenzgraphen, das heißt einer Struktur, die sowohl Propositionen als auch ihre Kohärenzbeziehungen spezifiziert, darstellbar ist. Es bleibt unklar, ob die Kohärenzbeziehungen tatsächlich im Langzeitgedächtnis explizit repräsentiert zu denken sind oder ob nur eine Liste von Propositionen (Mikro- und Makropropositionen) gespeichert wird. Unter Voraussetzung einer Weiterentwicklung der Funktion der Propositionen kann man mit einer Repräsentation zusammenhängender Fakten („facts“, in frameartigen Strukturen) rechnen. Kohärenz meint dann den Zusammenhang zwischen Fakten in einer möglichen Welt (Kintsch & van Dijk, 1978: 390).

Es wird angenommen, dass die Vergessensrate im Lauf der Zeit abhängt von der Zahl der Zyklen, in denen eine Proposition vorkommt. Das heißt, der Zugriff auf die Spur im Langzeitgedächtnis wird durch Wiederholung stabilisiert.

Die Gesamtarchitektur entspricht, wenn man die Aussagen verschiedener Textstellen zusammenfügt, der Abbildung 6.3.2–1:

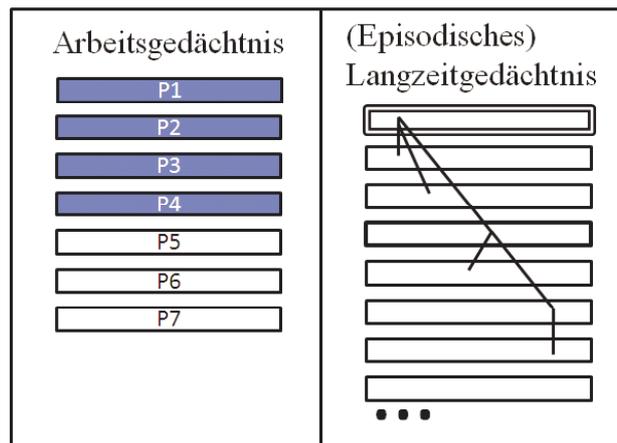


Abbildung 6.3.2–1: Architektur zum Textverstehensprozess von Kintsch & van Dijk (1978). Propositionen sind durch Rechtecke dargestellt. Die blau ausgezeichneten Propositionen sind über den Kurzzeitspeicher aus dem vorigen Verarbeitungszyklus übernommen. In der Darstellung des Langzeitgedächtnisses sind Kohärenzbeziehungen angedeutet. Die mehrfache Umrandung einer Proposition im Langzeitgedächtnis repräsentiert die Zahl der Zyklen, in denen sie vorkommt.

Es sind in diesem Modell hauptsächlich Prozesskomponenten identifiziert, ein Zusammenhang mit architektonischen Details wird nicht ausführlich bzw. konsistent hergestellt. Im Hintergrund steht allerdings ohne Zweifel eine Mehrspeichervorstellung des Gedächtnisses. Gelegentlich (Kintsch & van Dijk, 1978:392) wird auf Atkinson & Shiffrin (1968) verwiesen, vgl. oben Abschnitt 6.1.4. Andere „Implementierungen“ werden angesprochen.

6.3.3 Van Dijk & Kintsch (1983)

1983 wird eine erste Weiterentwicklung bzw. Erweiterung des Modells von 1978 vorgestellt, ohne dass dadurch (nach Meinung der Autoren) dem älteren Modell grundsätzlich widersprochen würde.

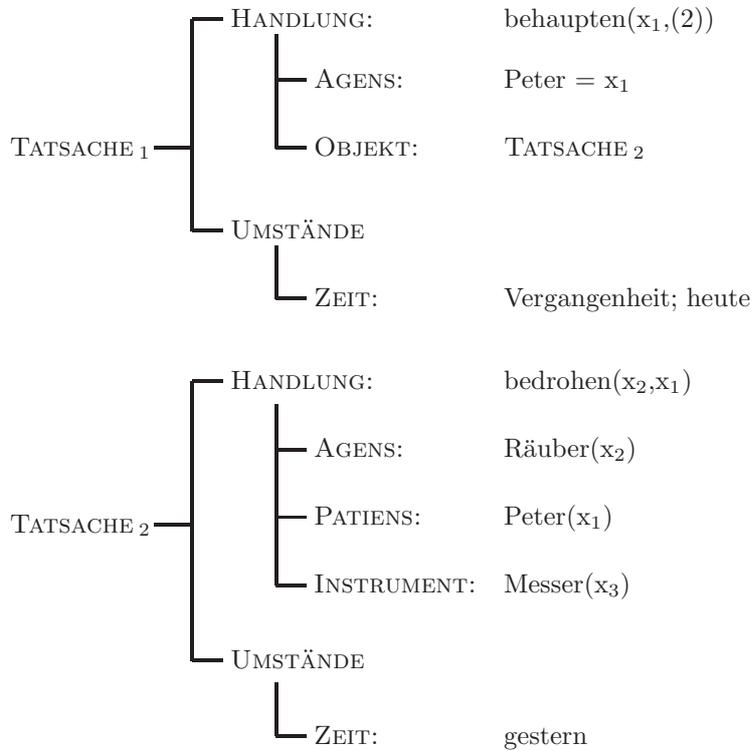
Ein wichtiges Detail ist der Ersatz von atomaren durch komplexe Propositionen. Den Unterschied zeigt ein Beispiel aus van Dijk (1980:175 f., verkürzt). Der analysierte Satz ist:

Peter behauptete, dass er gestern von einem Räuber mit einem Messer bedroht worden sei.

Die Version mit atomaren Propositionen (die Notationskonventionen weichen von denen in Kintsch & van Dijk, 1978, geringfügig ab; die kursiv gesetzte Proposition dient der Kohärenzherstellung) wäre:

1. Peter = x_1
2. behauptete($x_1, (3)$)
3. bedroht worden sei von(x_1, x_2)
4. Räuber(x_2)
5. gestern((3))
6. *haben*(x_2, x_3)
7. Messer(x_3)

Die Analyse des Satzes in komplexen Propositionen liefert, in grafischer Darstellung wiedergegeben:



Man beachte, dass gegenüber der Darstellung der Satzbedeutung durch atomare Propositionen auch die Informationen durch explizite Zuordnung von Rollen und eine wiederkehrende typische Interpretationsstruktur bemerkenswerte Bereicherungen darstellen.

Abgesehen von dem Ersatz von atomaren durch komplexe Propositionen ist die Grundidee jetzt, darzustellen, wie unterschiedliche Wissensquellen im Verstehensprozess genutzt werden. Die zyklische Struktur des Prozesses wird dahingehend modifiziert, dass zwar Wörter „on line“ bearbeitet werden, aber komplexe Propositionen im Arbeitsgedächtnis bevorzugt an Satzgrenzen und Phrasengrenzen gebildet werden, was dem zyklischen Verhalten des Modells von 1978 entspricht.

Das neue Modell von 1983 ist, wie die Abbildung 6.3.3-1 zeigt, strukturell detaillierter als das von 1978:

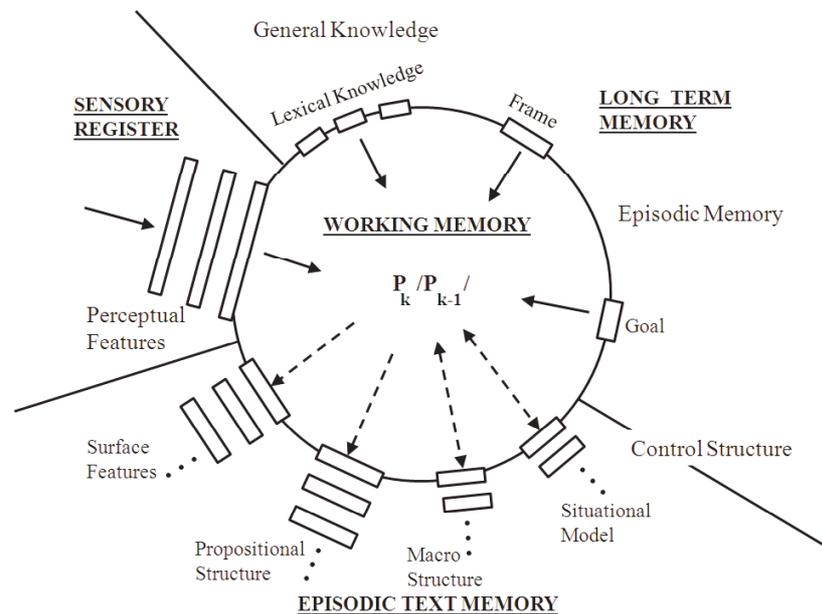


Abbildung 6.3.3-1: Architektur zum Textverstehensprozess nach van Dijk & Kintsch (1983: 347, Abbildung 10.1), vereinfacht und ergänzt. Erläuterungen im folgenden Text.

Bemerkungen zu den einzelnen Komponenten:

Das sensorische Register (sensory register) hält kurzzeitig die perzeptuelle Information bereit und macht sie verfügbar für den zentralen Prozessor. Zu einem bestimmten Zeitpunkt ist nur eine Auswahl der perzeptuellen Merkmale (perceptuel features) verfügbar.

Das Langzeitgedächtnis enthält sowohl Allgemeinwissen (general knowledge, z. B. lexikalisches und Frame-Wissen) als auch episodische Spuren und persönliche Ziele, die die aktive Kontrollstruktur bilden.

Im Text auf Seite 348 (nicht in der Abbildung) werden „episodic text memory“ (surface memory, propositional text base und macro structure) und „situation model“ unterschieden. Die Textverstehensprodukte werden innerhalb des episodic text memory in Stapelspeichern abgelegt. Mit zahlreichen Querbeziehungen zwischen Inhalten wird gerechnet. Textinhalte bilden schließlich Spuren im Langzeitgedächtnis.

Gegenüber dem Modell von 1978 neu ist hier vor allem das Situationsmodell. Es soll nicht ausschließlich propositional gedacht sein, sondern eher

im Umfang eines „mentalens Modells“, vergleichbar mit dem Vorbild von Johnson-Laird (1983). Die Feststellung von Kohärenz bezieht sich auf dieses Modell. Eine Charakteristik des Situationsmodells wird S. 338 so formuliert:

„It [the situation model] is the representation of that fragment of the world the text is speaking about. Of course, the text will leave unsaid much of this fragment, mainly because the hearer already has a lot of knowledge about it. On the other hand, the main (semantic and pragmatic) function of the text is to enrich the model: to get to know things. This holds not only for semantic information in assertive contexts, but also for threats, promises, and excuses: These speech acts inform us about the wants, wishes, beliefs of the speaker with respect to our actions.“

Der zentrale Kreis steht für den zentralen Prozessor, der identisch ist mit dem Arbeitsgedächtnis. Das Arbeitsgedächtnis enthält die im Aufbau befindlichen Propositionen. Alle kognitiven Operationen finden hier statt.

„Thus in order to modify any element from one of the memory systems that were described before, the element must be brought into the central processor. Retrieval is the only operation that can be performed on memory elements outside it.“

Der zentrale Prozessor enthält einen „buffer“, der Reste aus der vorangegangenen Proposition überträgt. Es wird nur von *einer* Textproposition gesprochen, die eine komplexe ist, im Unterschied zu atomaren Propositionen, die sie zusammensetzen. In der Abbildung ist diese Proposition zwischen Schrägstriche gestellt. Der zentrale Prozessor gilt als ein aktiver, bewusster Kern, der strikt kapazitätslimitiert ist. Dagegen bildet die Umgebung ein Kontrollsystem, das die Verarbeitung im Kern beeinflusst, nicht direkt bewusst wird und nicht kapazitätslimitiert ist. Nur die unmittelbar an der Kreislinie dargestellten Umgebungselemente sind aktuell verfügbar.

6.3.4 Kintsch (1988)

Während die Arbeit von Kintsch & van Dijk (1978) einen relativ schematischen, mit wenigen Komponenten ausgestatteten Textverstehensprozess beschreibt und in van Dijk & Kintsch (1983) zusätzlich am Verstehensprozess beteiligte Wissensquellen spezifiziert werden, geht es in Kintsch (1988) um eine genauere Analyse der Prozesse, die zu einer kohärenten *Textbasis* führen. Als Anhaltspunkte für eine Modellierung dieser Prozesse wird z. B.

auf Ergebnisse von Priming-Experimenten hingewiesen, die zeigen, dass bei einer frühen Beobachtung von Prime-Target-Asynchronien noch konkurrierende Interpretationen des Primes wirksam sind, die später wegfallen. Daraus wird ein zweistufiges Verfahren abgeleitet, das als „construction-integration“-Modell bezeichnet wird. Es besteht darin, dass in einem ersten Schritt des Verstehensprozesses ohne Rücksicht auf den Kontext Wortbedeutungen aktiviert, Propositionen aufgebaut und Inferenzen eingeführt werden. Das Netzwerk der Verbindungen zwischen den einzelnen Elementen ermöglicht in einer zweiten Phase einen Spreading-activation-Prozess nach Art lokalistischer konnektionistischer Modelle des PDP-Paradigmas (Rumelhart & McClelland, 1986), der schließlich zu einer Vereindeutigung und zu einem kohärenten Ergebnis führt.

Details des *Konstruktionsprozesses*:

1. Bildung einer propositionalen Repräsentation direkt aus dem Textinput durch einen entsprechenden Parsing-Prozess. Der Parser bleibt auch in diesem Modell ausgeklammert. Es wird ausdrücklich nicht verlangt, dass nur richtige, passende Propositionen gebildet werden.
2. Jede auf diese Weise gebildete Proposition dient als Schlüssel für die Anbindung assoziierter Knoten im Wissensnetz.
3. Die so gebildete Menge von Propositionen wird durch Inferenzen ergänzt.
4. Die Verbindungen zwischen allen Elementen werden spezifiziert, das heißt, es werden Verbindungsgewichte (positive und negative Werte) zugewiesen, die auf der Nachbarschaft im Text oder in der Wissensbasis beruhen.

Details des *Integrationsprozesses*:

1. Der Integrationsprozess beginnt am Ende eines Verstehenszyklus, der analog zu den Zyklen im Modell von Kintsch & van Dijk (1978) zu sehen ist und dessen Konstruktionsprozess zu einem Netz von Propositionen geführt hat.
2. Den einzelnen Propositionen werden Anfangswerte für Aktivierungen zugeordnet.
3. Ein Spreading-activation-Prozess verändert, gesteuert durch die spezifizierten Verbindungsgewichte zwischen den Propositionen, diese Aktivierungen. Der an sich parallele Prozess wird rechnerisch mit Hilfe

einer Taktung realisiert, bei der pro Takt jeweils alle Elemente des Propositionennetzes bearbeitet werden.

4. Nach jedem Durchgang durch das Netz werden die Aktivationswerte so normalisiert, dass der höchste erreichte Wert 1,0 ist.
5. Es werden so viele Durchgänge gerechnet, wie erforderlich sind, um ein stabiles Ergebnis zu erzielen, bei dem die Aktivationswerte sich nicht mehr nennenswert verändern.

Der Integrationsprozess beseitigt Widersprüche im Netz, entscheidet Alternativen bei den Wortbedeutungen und liefert die kohärente Textrepräsentation.

6.3.5 Jüngere Entwicklungen

Kintsch (1998)

Das Buch von 1998 liest sich, soweit die Textverstehenstheorie dargestellt wird, teilweise wie eine zusammenfassende und verfeinerte Darstellung älterer Konzepte. Gegenüber Kintsch & van Dijk (1978) sind neu:

- Die konsistente Verwendung von komplexen Propositionen.
- Die Einbeziehung der Funktion des Situationsmodells in den Textverstehensprozess.
- Die Verwendung des Construction-integration-Prinzips für das Wortverstehen.
- Die Einführung eines Langzeit-Arbeitsgedächtnisses (long-term working memory, nach früheren Arbeiten von Ericsson).
- Das Verfahren der „Latent Semantic Analysis“ (LSA) als Alternative zu propositionalen Repräsentationen.

Das Langzeit-Arbeitsgedächtnis ist oben in 6.1.5 schon behandelt, komplexe Propositionen und das Situationsmodell in 6.3.3 und das Construction-integration-Prinzip in 6.3.4.

LSA (nach Landauer & Dumais, 1997, und Landauer, Foltz & Laham, 1998) verwendet Repräsentationen von Wortbedeutungen, die ausschließlich auf sprachlichem Input beruhen. Die Bedeutung eines Worts wird zurückgeführt

auf die Menge von Texten bzw. Textausschnitten, in denen das Wort vorkommt. Die Inhalte, die in den Texten behandelt werden, sind dabei irrelevant, relevant ist nur, welche anderen Wörter in denselben Texten bzw. Ausschnitten belegt sind. Auf diese Weise können mit einigen mathematischen Tricks, die hauptsächlich die Funktion haben, die Datenmenge zu reduzieren, Wortbedeutungen und Bedeutungen beliebiger Textausschnitte in Beziehung zueinander gesetzt werden. Das Verfahren stammt ursprünglich aus der Informatik, es kann in psycholinguistischem Kontext eingesetzt werden, wenn es nur um die Vorhersage von experimentellen Ergebnissen (auch Inferenzen und Kohärenz betreffend, vgl. Foltz, Kintsch & Landauer, 1998) geht. Mehr als nur Leistungsmodellcharakter kann nicht erwartet werden. Wenn man an den biologischen Realitäten interessiert ist, ist das Verfahren letztlich uninteressant. Das von Kintsch angedeutete Argument, dass Propositionen „von Hand“ konstruiert werden müssten (d. h. natürlich: in dem Fall, dass sie zur Interpretation psycholinguistischer Experimente dienen sollen), während LSA ein vollständig maschineller Ersatz sein könnte, kann kein Grund für die Verwendung von LSA in biologisch realistischen Textverstehensmodellen sein.

Die Theorie von Kintsch & van Dijk ist vielfach variiert worden, ohne dass sich das Gesamtkonzept wesentlich verändert hätte. Sie dominiert den „Markt“ der Textverstehenstheorien fast vollständig. Einige Veröffentlichungen, von denen hier ein Beispiel kurz charakterisiert werden soll, beschreiben aber auch interessante abweichende Vorstellungen.

Budiu & Anderson (2004)

Budiu & Anderson (2004) konstruieren ein Textverstehenssystem, das als „Interpretation-based processing“ (= INP) bezeichnet wird und sich in erster Linie mit dem Verstehen von Sätzen beschäftigt, dadurch aber auch indirekt Details des Verstehens von Texten betrifft.

Die Grundidee wird wie folgt charakterisiert (Budiu & Anderson, 2004:2):

„INP postulates that the same processes are involved in the processing of both literal and nonliteral language and shows that literality is only a matter of degree. Although a word may seem inappropriate, a rich sentence context that contains a lot of known information can often help people identify what the sentence is about and make them grasp the intended meaning of that word. Moreover, if the sentence context precedes the “wrongword” (be it metaphor, semantic distortion or even a poorly chosen literal), then people can get what the word refers to without even

detecting that it was inappropriate or not used literally. That is, the literal meaning of a word can be bypassed if the other preceding words in the sentence are informative enough. This theory naturally explains priming effects due to context: rich contexts can provide interpretations for sentences; these interpretations, in turn, can facilitate the processing of new meanings.“

Die Theorie ist als Computersystem in ACT-R (Anderson & Lebiere, 1998) implementiert und übernimmt die für dieses System charakteristische Spreading-activation-Philosophie zur Zuordnung von „Interpretationen“ für syntaktische Einheiten.

„According to ACT-R, when an item comes in the focus of attention, it spreads activation to other items to which it is associated. The amount of activation spread depends on the strength of association, which, in turn, in the case of INP, depends on the semantic similarity.“ (Budi & Anderson, 2004: 5)

Die semantische Struktur eines Satzes wird baumförmig dargestellt, die Knoten im Baum repräsentieren Bedeutungen, also die Spitze die Bedeutung des ganzen Satzes, die Zwischenebenen die Bedeutung zusammengesetzter syntaktischer Einheiten und die Blätter die Bedeutungen einzelner Wörter. Da es in INP im wesentlichen um semantische Ähnlichkeiten geht, wird, in Ermangelung einer besseren Theorie, LSA (siehe oben zu Kintsch, 1998) für diesen Zweck verwendet.

Der Analyseprozess, der lokal an Elemente eines Satzes gebunden ist, wird durch einen Integrationsprozess ergänzt, der bei Erreichen des Satzendes Kohärenz mit dem vorhandenen episodischen Wissen herstellt.

6.3.6 Die Problematik des Kohärenzbegriffs

Die Rolle dessen, was mit dem Begriff „Kohärenz“ bezeichnet wird, ist in der textlinguistischen Literatur unklar geblieben.

Wenn man die Behandlung von Textkohärenz bei Kintsch und van Dijk zusammenfassend charakterisieren möchte, kann man etwa das folgende Bild zeichnen:

Kohärenz ist eine Eigenschaft von Textrepräsentationen, die durch kohärenzstiftende Prozesse im Arbeitsgedächtnis hergestellt wird. Während bei Kintsch & van Dijk (1978) noch der direkte Bezug auf die Propositionen

der „Textbasis“ im Vordergrund steht, ist in van Dijk & Kintsch (1983) die Kohärenz auf mentale Modelle bezogen und der Kohärenzherstellungsprozess ist nicht mehr einfach als Herstellung von Argumentüberlappung zu verstehen.

Van Dijk & Kintsch (1983: 339):

„In our earlier work we have stressed that both local and global coherence depend on relations between propositions. Roughly speaking, a textbase is locally coherent if the facts referred to are connected, for example, by conditional or temporal/causal relations. Again, the real facts in the world are irrelevant for a cognitive theory, so we need a representation of them, that is, a model. If in the model of the situation as it has been constructed by the hearer the represented facts are connected, then this fragment of the text is coherent.“

Es ist aber möglich, nach wie vor Kohärenz als Eigenschaft von Texten zu verstehen (van Dijk & Kintsch, 1983: 150):

„Semantic coherence may be local and global. Under local coherence we understand a property of discourse which is defined in terms of semantic relationships between the successive sentences of the discourse.“

Wenn in Foltz, Kintsch & Landauer (1998) Kohärenz von Texten „gemessen“ wird, ist das nur sinnvoll unter der Annahme, dass Kohärenz eine Texteigenschaft ist, ohne dass sie tatsächlich explizit durch eigene Strukturen festgehalten wird. Kohärenz wird über die Semantik definiert, sie ist gleichzusetzen mit semantischer Ähnlichkeit. Die Funktion von Kohärenz über den Verstehensprozess und die Semantik hinaus bleibt unklar.

Letzteres ist ein wesentlicher Unterschied zur Position von Givón (1995). Givon stellt fest, dass Inhalte von Textrepräsentationen im episodischen Gedächtnis auf zweierlei Weise verknüpft sind (Terminus bei Givon „grounded“): hierarchisch und sequenziell. Je mehr solche Verknüpfungen vorhanden sind, umso leichter und schneller sind die Inhalte zugänglich. Allerdings beschränkt sich Givon hauptsächlich auf prozessnahe Repräsentationen. Givon S. 64:

„I will be concerned here primarily with use of episodic representation *during* the on-line processing of incoming discourse. For this use, the longer-term neocortical episodic representation of

the text is probably irrelevant. It is the early and extremely flexible episodic representation in the hippocampus-based system that concerns me most here.“

Kohärenz wird mit „grounding“ identifiziert. Sie bezieht sich also auf die netzförmige Struktur der inhaltlichen Textrepräsentation. Die kohärenzstiftenden Mittel im Text dienen dem Aufbau einer solchen Struktur. Was hierbei irritiert, ist, dass der angenommene Zusammenhang selbstverständlich für alle synaptischen Gedächtnisformen gilt und eine besondere Funktion der Kohärenz nicht erkennbar ist.

Eine andere Möglichkeit, Kohärenz zu verstehen, wird von Schade, Langer, Rutz & Sichelschmidt (1991) beschrieben. Kohärenz wird nicht als Eigenschaft eines Objekts verstanden, sondern als Eigenschaft eines Prozesses. Das bedeutet (auf systemtheoretischer Basis erklärt), dass ein System dazu tendiert, einen Zustand der Inkohärenz so zu behandeln, dass am Ende ein stabiler Zustand (Kohärenz) entsteht. Es gibt dann kein Objekt, das am Ende eine Eigenschaft der Kohärenz besitzt, sondern es ist ein Prozess, der am Ende in einen kohärenten Zustand mündet.

Diese letztere Auffassung führt zu einer einheitlichen Konzeption, die den Begriff Kohärenz auf verschiedene Bereiche der Sprachverarbeitung beziehen lässt und der damit nicht mehr allein den inhaltlichen (semantischen) Bereich betrifft.

6.3.7 Desiderata

Unvollständigkeit der Modelle

Das Textverstehen beginnt mit Phonologie und Lexikon. „Beginnen“ meint, dass in einem vollständigen Modell des Textverstehens zu jedem Verarbeitungszeitpunkt eine Aktivierung in diesen Bereichen stattfindet, die weitere Verarbeitungsschritte festlegt. Die Ausklammerung dieser Bereiche setzt eine modulare Gesamtkonzeption voraus, bei der mit den abschließenden Ergebnissen von Phonologie und Lexikon argumentiert werden kann, ohne dass die Vorstellungen vom Funktionieren der Folgeprozesse dadurch beeinflusst würden. Das Problem wird z. B. in van Dijk & Kintsch (1983: 347f.) gesehen, hat aber dort keine weiteren Konsequenzen. Es gibt auch keine ausreichend explizite Modellierung des Lexikonabgleichs.

Auch die Syntax kann nicht, wie teilweise ausdrücklich (trotz der Problembewusstheit z. B. bei Kintsch, 1998: 90) ausgeklammert werden. Es entspricht nicht einmal naiver Beobachtung, dass der syntaktische Verlauf ver-

nachlässigt werden kann, und bestenfalls ein Ergebnis in die semantische Analyse einbezogen werden muss. Man muss also fordern, dass der bewussten Annahme vorläufiger Ausklammerungen mindestens eine genauere Analyse der riskierten Folgen entspricht. Noch besser ist es, wenn die Lücken, wenigstens versuchsweise, geschlossen werden.

Unbiologisches

Man muss beachten, dass Textverstehensmodelle (jedenfalls die hier besprochenen) von Psychologen oder Psycholinguisten entwickelt worden sind. Statistische Verfahren oder überhaupt Messtechniken aufgrund psychologischer bzw. psycholinguistischer Experimente sind fast ausschließlich die Basis für die Modellkonstruktionen. Die Voraussage von Versuchsergebnissen in der Form von zahlenmäßigen Messwerten ist aber nur *eines* der Kriterien für die Bewertung von Modellen. Jeder Informatiker weiß, dass ein bestimmtes äußeres Verhalten durch verschiedene Programme und Strukturen zustande kommen kann, so dass man vom Verhalten in beschränkten Beispielen her nur sehr vage Vorstellungen über die zugrundeliegenden Verarbeitungsstrukturen gewinnen kann. Eine Konsequenz ist wahrscheinlich auch, dass Modularität und Datentransport, wie bei einigen Gedächtnismodellen, auch für Textverstehensprozesse bevorzugte Vorstellungen sind. Die Modularität wird bei Kintsch im Laufe der Entwicklung zwar etwas relativiert (vgl. das Konzept des Langzeit-Arbeitsspeichers), bleibt aber insgesamt doch bestimmend und macht die Modelle unbiologisch.

Auch das Spreading-activation-Prinzip, das dem Construcion-integration-Modell von Kintsch zugrunde liegt, widerspricht Kodierungsmöglichkeiten und Lernprozessen im Kortex (vgl. Abschnitt 6.1.6). Die Reduktion von Mehrdeutigkeit ist zwar ein Grundproblem der Textverarbeitung, die apparative Realisierung muss aber auf andere Techniken zurückgreifen.

Unbiologisch ist, was auch den Verwendern im Bereich des Textverstehens klar ist, das Verfahren der „Latent Semantic Analysis“ (LSA), das speziell auf Computerverarbeitung zugeschnitten ist.

Repräsentationsprobleme

Zu den von den biologischen Grundlagen her zu lösenden Problemen gehört die Form, die für die Gedächtnisspuren anzunehmen ist, die beim Textverstehen erzeugt werden, also auch die Frage, ob man mit propositionalen Strukturen rechnen muss, und/oder ob, wie bei den Vorschlägen von van Dijk, systematisch wiederkehrende Anordnungen von Rollenrepräsentationen gebildet werden. Man vgl. die Diskussion bei Kintsch (1998: 42 ff.), ins-

besondere auch zur „Imagery-Debatte“. Eine Konkurrenz dazu sind auch semantische Netze oder Frame-Strukturen, die nicht vollständig auf propositionale Strukturen zurückführbar sind.

Für den Aufbau der Repräsentationen müssen ausreichend schnelle Lernprozesse vorgeschlagen werden, es ist selbstverständlich, dass das Lernproblem das überhaupt entscheidende Problem in der Modellierung des Textverstehensprozesses darstellt, der ja zu einer Informationsaufnahme (auch als Basis für unmittelbare Handlungen) führen soll.

6.4 Der Prozess des Textverstehens

6.4.1 Sprachliche Episoden

Zum Prozess des Textverstehens gehört nicht nur ein störungsfreier momentaner Durchlauf, der durch Kurzzeitgedächtnismechanismen, wie oben in Abschnitt 6.2.1 beschrieben, möglich wäre, sondern auch die Produktion eines Ergebnisses als Spur des Langzeitgedächtnisses. Textverstehen entspricht (mit funktionstypischer Variation) der Speicherung von Episoden. Was hier als „Episoden“ bezeichnet ist, sind jetzt sprachliche Ereignisse, aufgebaut aus Konzeptbedeutungen und Rollenzuordnungen.

Satzverstehen bedeutet zunächst Verstehen von Wörtern, also die Auswertung ausdrucksseitiger lexikalischer Strukturen und die Zuweisung eines Inhalts, der dann der weiteren Verarbeitung zugrunde liegt. Mehrdeutigkeiten stellen dabei ein Problem dar. Die syntaktische Verarbeitung von Sätzen führt, zusätzlich zu den Wortbedeutungen, syntaktisch vermittelte Rollen ein. Textverstehen, schließlich, setzt Satzverstehen voraus und bedeutet die Auswertung von Zusammenhängen, die komplexere inhaltliche Strukturen aufbauen.

Selbstverständlich ist es nicht sinnvoll, ein hierarchisches Modell zu konstruieren, bei dem die verschiedenen Verarbeitungsebenen zeitlich nacheinander aktiviert werden, in dem Sinne, dass zuerst die Wörter bearbeitet werden, dann die Sätze, und schließlich der Text als Ganzes. Alle Verarbeitungsschritte zusammen genommen sind an den grundsätzlichen Zeittakt von größenordnungsmäßig 100 Millisekunden gebunden, das heißt, sie werden innerhalb dieser Zeitspanne wirksam. Vorgänge, die scheinbar diese Grundvoraussetzung außer Kraft setzen, sind u. a. Spiegelungen von Denkprozessen, die ihrerseits wieder dem 100-Millisekunden-Takt unterliegen, aber nicht für den Textverstehensprozess spezifisch sind.

Es ist, auch wenn man sich auf das Textverstehen im engeren Sinne bezieht, sinnvoll, primäre Prozesse (Wortverstehen, elementare Satzverstehensprozesse) einerseits und Prozesse, die einfachere Weiterverarbeitungsvorgänge voraussetzen (sekundäre Prozesse) andererseits zu unterscheiden. Der Vorgang des Verstehens schließt beides ein. Man kann, wie bei jüngeren Darstellungen üblich, auch der Meinung sein, dass letztlich mentale Modelle konstruiert werden, und die Verarbeitung sich nicht auf das Erstellen von Listen atomarer Propositionen oder vergleichbaren Repräsentationsformen beschränkt. In den folgenden Abschnitten werden hauptsächlich Details primärer (6.4.2, 6.4.3) und sekundärer (6.4.4) Prozesse behandelt. Die Argumentation ist insgesamt sehr „technisch“, unter Voraussetzung von Architekturvorstellungen, die dem Projekt „Kortikale Linguistik“ durchgängig zugrundeliegen. Weniger spezifische Grundlagen werden in Kapitel 6.5 zusammengefasst.

6.4.2 Wortverstehen

Grundlage des Wortverstehens ist das Lexikon. In den Teilen 3, „Phonetik/Phonologie“ und 4, „Lexikon, Morphologie“, sind aufgrund ausführlicher Argumentation, vor allem bezüglich der erforderlichen Erwerbsprozesse, dafür die strukturellen Voraussetzungen konstruiert worden. Der lexikalische Lernprozess führt zu redundanten Repräsentationen. Das gilt zunächst für die Ausdrucksseite. Die das Lernen erst ermöglichende Vielzahl potenzieller Verbindungen im Kortex ist die Grundlage dafür. Eine Konsequenz aus der sequenziellen Natur der Ausdrucksseiten und den für den Lexikonaufbau anzunehmenden Lernprozessen (vgl. Teil 4, Kapitel 4.3 und 4.4) ist dann, dass ausdrucksseitig gleiche Wortanfänge zu unterschiedlichen Wörtern mit unterschiedlichen Bedeutungen gehören.

Der Verstehensprozess verwendet die in Spracherwerbsprozessen (ggf. lebenslang) zugeordneten Bedeutungen und legt darauf basierend Spuren im episodischen Gedächtnis an. (Man beachte, dass kein prinzipieller Unterschied, z. B. eine unterschiedliche Lokalisierung im Kortex, zwischen episodischem und semantischem Gedächtnis für diesen Prozess besteht, vgl. dazu Abschnitt 6.2.5.) Wichtig ist, dass der Aufbau von Gedächtnisspuren immer in der Verstärkung von Verknüpfungen zwischen Zellen, die bereits in ein Netz eingebunden sind, mit Zellen aus einem großen Angebot von Kandidaten besteht, die ihrerseits die typischen angeborenen Strukturen von Großmuttereinheiten haben. Letzteres ermöglicht die erforderlichen Verarbeitungsprozesse und auf allen Verarbeitungsebenen die Kontrolle an Kon-

textbedingungen, die einen Kontextfilter bilden, wie er oben in Abschnitt 6.2.1 näher behandelt worden ist. Für den Fall des Wortverstehens können diese Verhältnisse schematisch wie in Abbildung 6.4.2–1 dargestellt werden:

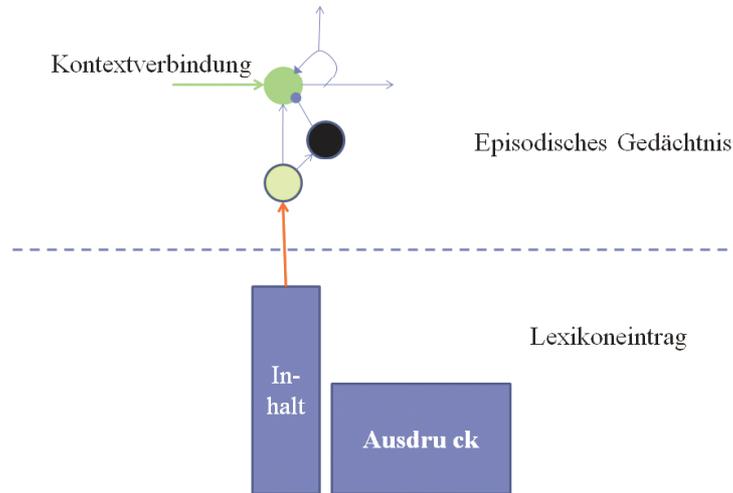


Abbildung 6.4.2–1: Skizze zur Funktion der Kontextkontrolle bei Wortbedeutungen. Vgl. auch Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.4.3. Erläuterungen im Text.

Die Lexikonstrukturen sind hier nur abkürzend dargestellt, eine von der lexikalischen Bedeutungsrepräsentation ausgehende Verbindung (rot) führt auf eine Großmuttereinheit des episodischen Gedächtnisses, die zusätzlich durch eine sequenzielle Verbindung (grün) ausgewählt ist. Der Prozess der Speicherung besteht in der Verstärkung der farbig ausgezeichneten Verbindungen. Die Verstärkung basiert auf der Aktivierung der Synapsen über die Axone von Zellen, die bereits in ein Netz einbezogen sind. Solange die Zellen, zu deren Dendritenbaum die Synapsen gehören, nicht schon eine spezifische Bedeutung haben, gibt es keine zusätzliche Bedingung, durch die dieser Speichervorgang sozusagen „angeschaltet“ oder „abgeschaltet“ werden könnte. Diese grundsätzliche Funktion verkompliziert, ausgehend von den Eigenschaften lexikalischer Langzeitrepräsentationen, den Vorgang des Wortverstehens.

Beim lexikalischen Lernprozess, der zur Zuordnung einer Bedeutung zu einer Ausdrucksseite führt, ist *eine* der Ausdrucksseite insgesamt zugeordnete Bedeutung aktiviert. Der Vorgang der Sprachproduktion liefert, ausgehend von dieser Bedeutung, die Ausdrucksseite. Beim lexikalischen Verstehen sind am

Anfang einer Lautkette zunächst *mehrere bis viele* der insgesamt möglichen Bedeutungen aktiviert. Wenn episodische Spuren gebildet werden, sollten aber nur solche Bedeutungen verankert werden, die der lexikalischen (morphologischen) Einheit *insgesamt* entsprechen. Ein Produktionsprozess aufgrund episodischer Spuren darf nur von der Bedeutung ausgehen, die beim Kettenende im Analyseprozess übrig ist.

Aus dieser Überlegung ergibt sich also, dass für eine Erinnerung mit erfolgreicher Produktion nur die im Verstehensprozess zuletzt (am Kettenende) erreichte Bedeutung zugänglich sein darf, nicht die bis dahin gültigen Zwischenstufen. Es darf nun aber nach den oben angestellten Überlegungen zur Verstärkung von Synapsen und der zeitlichen Bedingungen, unter denen die Verstärkung allein möglich ist, nicht angenommen werden, dass die Speicherung von Bedeutung einfach bis zum Kettenende wartet. Die Bedeutungen, soweit sie Kandidaten sind für die letztlich gemeinte Bedeutung, sind während des Ablaufs im Verstehensprozess ständig aktiviert. Auch die Kontrolle auf Stimmigkeit bezüglich des inhaltlichen Kontexts im episodischen Gedächtnis findet laufend statt (man vgl. Teil 4, Abschnitt 4.4.3) und setzt entsprechende Speicherprozesse voraus. Eine zeitliche Unterbrechung würde das Erlöschen des laufenden sequenziellen Kontexts zur Folge haben, auch des Kontexts, der zu der eigentlich gemeinten Bedeutung gehört. Die Situation ist also so, dass im Verstehensprozess, um die Kontrolle der episodischen Stimmigkeit zu ermöglichen, tatsächlich alle im Ablauf der lexikalischen Ausdrucksseite aktivierten inhaltlichen Verbindungen episodischer Gedächtniselemente verstärkt werden müssen.

Die Konsequenz ist, dass die Hervorhebung der eigentlich gemeinten Bedeutung, die erst am Kettenende zur Verfügung steht, nicht durch Lernprozesse erfolgen kann, die in Perzeptionsrichtung stattfinden. Es bleibt nur die Möglichkeit, sie an die Etablierung der Produktionsstrukturen zu binden.

Wenn man zurückblickt auf die Bedingungen zur Etablierung episodischer Spuren in Abschnitt 6.2.3, so sind dort Endelemente von Ereignisketten für das Zustandekommen von Top-down-Verbindungen zuständig. Diese Endelemente werden dort durch Inkohärenzen aktiviert. Beim Wortverstehen ist die nahe liegende Alternative der Rückgriff auf die für syntaktische Zwecke erforderliche Auszeichnung der Kettenenden. Das in Abschnitt 6.2.3 als GLE bezeichnete Signal kann aus dem Vorhandensein eines syntaktischen Endelements abgeleitet werden und braucht nicht notwendig die für die syntaktischen Endelemente typische Spezifizierung für jeweils spezifische Konstituenten zu übernehmen.

Für den Aufbau von Top-down-Verbindungen ist zusätzlich das Signal *pt* erforderlich. Die Begründung dafür findet sich in Teil 4, Abschnitt 4.4.5. Nach

dem Vorschlag in 6.2 wäre eine Ableitung aus der Aktivität der Hierarchiespitze anzunehmen. Das ist dort bezogen auf ein Beispiel ohne Endelemente. Wenn man mit einer Ableitung von GLE aus lexikalischen Endelementen rechnet, wird man eine Ableitung aus GLE oder analog zu der des Signals GLE annehmen. Das gilt allerdings nur im Lernvorgang. Wie im Vorschlag von 6.2 muss die automatische Generierung von pt im Produktionsvorgang unterdrückt werden. In Abschnitt 6.2 wird das erreicht durch Hemmung der ODER-Zelle der Hierarchiespitze. In einer Architektur mit Endelementen ist das besser durch Differenzierung von GLE möglich, das heißt die Verwendung eines Signals GLE mit Generierung des Produktionstakts für die Lernphase und Unterdrückung der Produktion (realisiert durch Hemmung der Rückmeldeverbindungen) und ein GLE (Identifikation GLEopt) ohne Generierung von pt, da pt das Zeitverhalten der Produktion steuern muss, und zwar ohne Hemmung der Rückmeldeverbindungen, da ja produziert werden soll.

Ein Simulationsexperiment zeigt, was bei einer solchen Annahme im Einzelnen geschieht. Als Input wird das Adjektiv *dick* verwendet, dessen Kontextvoraussetzungen und das Anfangsphonem identisch ist mit dem in dem verwendeten Lexikonfragment ebenfalls vorhandenen Adjektiv *dünn*. Beide sind mit Strukturen versehen, die die jeweiligen Bedeutungen repräsentieren. Der Anfangszustand der Simulationsarchitektur ist in Abbildung 6.4.2–2 wiedergegeben.

Es sind zwei in der Abbildung rechteckig umrahmte potenzielle Gedächtniselemente vorhanden, die zu den aktuellen Kontextbedingungen passen (so dass die Auswahl nicht von vornherein durch den Kontextfilter beschränkt wird) und die jeweils von den lexikalischen Elementen aus erreichbar sind. Während des Verstehensprozesses werden durch den Input von /d/ zunächst beide Gedächtniselemente den lexikalischen Einheiten zugeordnet (die Verbindungen mit blauem Blockpfeil werden verstärkt), aber die lexikalische Bedeutung sollte nur von dem Gedächtniselement aus, das dem Input entspricht, top-down erreichbar sein, also über die Verbindung mit rotem Blockpfeil. Diese zur Produktion erforderliche Verbindung wird erst am Kettenende verstärkt, ausgelöst durch das globale Signal GLE und über das Signal pt. Ein Produktionsvorgang kann dann über diese Verbindung die Bedeutungsdefinition aktivieren, bei Start mit *lst* kann der Bedeutung entsprechend die ganze Kette /dik/, und nur diese, produziert werden. (Details des Produktionsvorgangs werden in Teil 4, „Lexikon, Morphologie“, Abschnitt 4.4.5 behandelt.)

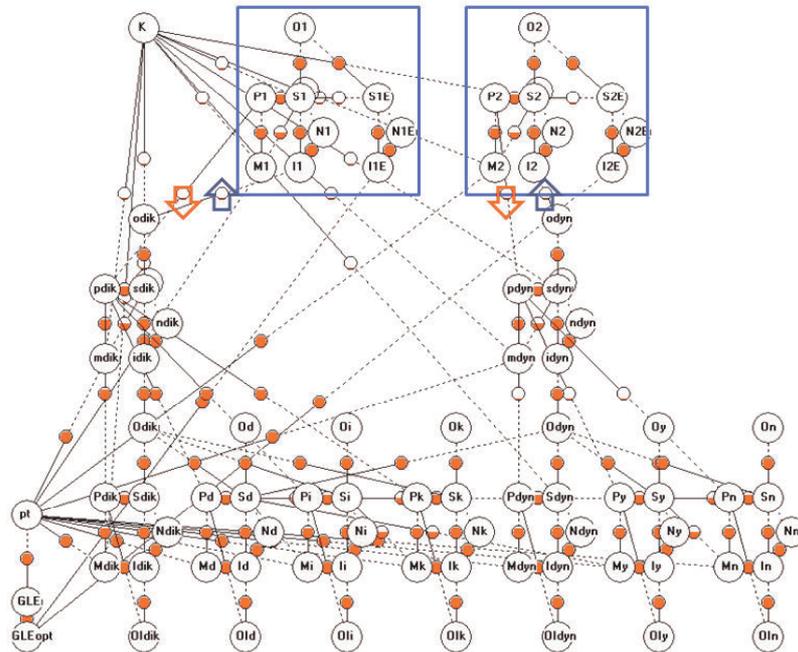


Abbildung 6.4.2–2: Bildschirmdarstellung der Architektur zur Demonstration der Verarbeitung lexikalischer Mehrdeutigkeiten. Verbindungsgewichte zwischen Lexikon und episodischem Gedächtnis, die durch Lernvorgänge verändert werden, sind mit Blockpfeilen markiert.

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

Wiedergabe der Eingabedatei zur Veranschaulichung des Ablaufs:

```
Aktivierung der Ausdrucksseite von /dik/  

mit anschließender Speicherung der Bedeutung  

K 0 Lst 20 OId 40 OIi 105 OIk 170 GLE 197
```

```
Start der Produktion  

*** 350
```

Abruf der gespeicherten Bedeutung
K 350 px 370 pt 375

Produktion der zugehörigen Ausdrucksseite
Lst 420 px 440 pt 445
px 500 pt 505
px 570 pt 575 GLEopt 617
.

Das Top-down-System, das am Wortende gebildet bzw. vervollständigt wird, ermöglicht also einen Produktionsprozess, der einer Erinnerung entspricht. Die Bottom-up-Speicherung ist dagegen laufend und nicht an das Wortende gebunden. Während man sich an lexikalische Alternativen nicht erinnern kann, ist das oberhalb der Wortebene möglich, auch dann, wenn eine syntaktische Konstituente, die aus mehreren lexikalischen Einheiten besteht, nicht abgeschlossen ist.

Ein Vergleich mit dem Construction-integration-Prinzip von Kintsch (1988), das ebenfalls eine Lösung lexikalischer Probleme impliziert (vgl. oben Abschnitt 6.3.4), liegt nahe, aber es gibt in dem hier diskutierten Vorschlag keine Phasentrennung wie dort. Es wird nicht zunächst eine vorläufige Repräsentation aus einem Input abgeleitet und anschließend über einen Spreading-activation-Prozess eine passende korrigierte Version abgeleitet. Es entsteht kein Zeitverbrauch für eine Integrations-Phase. Spreading-activation findet nicht statt.

6.4.3 Satzverstehen

Wenn man von einer Syntax im Zuschnitt einer der Varianten der generativen Sprachtheorie ausgeht, ist es, wegen deren mangelnder biologischer Realität, schwierig, das Satzverstehen überhaupt zu behandeln; es werden umfangreiche modulare Verarbeitungs- und Speicherprozesse vorausgesetzt.

Die Annahme modularer Prozesse ist auch, von den durch die Syntaxtheorie verursachten Problemen abgesehen, Voraussetzung für Details der gängigen Textverstehensmodelle, z. B. des Paradigmas von Kintsch & van Dijk. Der Aufbau von Gedächtnisspuren im Kortex setzt aber voraus, dass nicht-revisionsbedürftige Repräsentationen innerhalb eines Zeittakts von weniger als 100 Millisekunden gebildet werden (den Fall von Inkohärenzen ausgeklammert). Man kann diese Bedingung ganz sicher nicht einhalten, wenn

man die Vorstellung hat, dass ein erster Verarbeitungsschritt in der Ableitung atomarer Propositionen im Stil von Kintsch & van Dijk (1978) besteht, die dann die Basis weiterer Verarbeitungsvorgänge sind; von komplexen Propositionen kann das ohnehin nicht behauptet werden, da sie auf jeden Fall die Möglichkeit einer gegenüber dem Satzwortlaut nicht synchronen Umorganisation voraussetzen.

Wenn man das Modell des Teils 5, insbesondere des Kapitels 5.5 zugrundelegt, gilt für die Syntax, dass aufgrund der lexikalischen Hypothese (Abschnitte 5.5.2 und 5.5.3) in die lexikalische Auswahl die syntaktische Funktion und damit die Spezifizierung der semantischen Rollen einbezogen wird. Diese wortbezogenen Informationen werden Laut für Laut aktiviert, und die Weiterverarbeitung geschieht diesem Takt entsprechend, der einem Spielraum von ca. 50 bis 90 Millisekunden entspricht. Das Ergebnis der syntaktischen Verarbeitung besteht damit zunächst in der Verankerung von rollenspezifizierten lexikalischen Bedeutungen im Langzeitgedächtnis in der Form von einzelnen isolierten Großmuttereinheiten. Die Behandlung von Mehrdeutigkeiten und der gesamte lexikalische Prozess entsprechen den Konstruktionen des Abschnitts 6.4.2.

Die Satzbedeutung besteht aber nicht nur in einer ungeordneten Ansammlung einzelner Wortbedeutungen, mindestens könnte man zunächst annehmen, dass wenigstens die Reihenfolge, in der die Wortbedeutungen gefunden werden, im Gedächtnis festgehalten wird. Das Experiment zum Wortverstehen in Abschnitt 6.4.2 betrifft nicht die Verankerung einer Sequenz von Bedeutungselementen, wie man sie als Ergebnis des Satzverstehens erwarten würde. Man muss versuchen, zu klären, wie sich die syntaktische Struktur, zusätzlich zur Rollenspezifizierung einzelner Wortbedeutungseinheiten, für das Ergebnis des Satzverstehens auswirkt.

Für Sequenzen gilt eine Gedächtnisstruktur, in der die einzelnen Sequenzelemente durch eine übergeordnete Einheit zusammengefasst werden. Es sind entsprechend sowohl in Verstehensrichtung als auch in Produktionsrichtung verlaufende Verbindungen erforderlich. In dem Experiment von Abschnitt 6.4.2 wird das (syntaktische) Endelement der lexikalischen Einheit genutzt, um durch Aufbau der spezifischen Top-down-Verbindung diese Einheit für Produktions- und damit auch Vorstellungsprozesse nutzbar zu machen. Im Unterschied dazu geht es jetzt darum, Top-down-Verbindungen aufzubauen, die jedes einzelne Element einer inhaltlichen Teilsequenz im Rahmen eines Satzes zugänglich machen.

Man beachte, dass solche Verbindungen auch in diesem Fall nur hergestellt werden können, wenn die zu verbindenden Zellen innerhalb eines Zeitfensters aktiviert sind, das kleiner ist, als der minimale Abstand von lautlichen

Sequenzelementen. Ein Einfluss auf mehrere zeitlich zurückliegende Elemente ist ausgeschlossen. Der Aufbau von zusammenhängenden Sequenzen von Wortbedeutungen muss auf dieser Basis gedacht werden. Das geschieht beispielhaft in der folgenden Simulation. Der Zusammenschluss der Sequenz in einer übergeordneten Großmuttereinheit geht hier von dem ersten Sequenzelement (und dessen Kontext) aus. Die Behandlung des Signals GLE und des Produktionstakts entspricht dem Wortverstehen, auch hier kann (mindestens versuchsweise) die für die syntaktische Verarbeitung erforderliche inhaltliche Spezifizierung der Endelemente übergangen werden.

Die Abbildung 6.4.3–1 zeigt die Bildschirmdarstellung der verwendeten Architektur. Es ist angenommen, dass die dargestellten Strukturen des Inputs oberhalb der lexikalischen Bedeutungsebene liegen. Die untersten Elemente entsprechen den Rechtecken in der Abbildung 6.4.2–2 zum Wortverstehen. Der Verlauf der Rückspiegelung ist entsprechend verkürzt und vereinfacht. Mehrdeutigkeit ist ausgeklammert. Die Repräsentationen der Wortbedeutungen, die von der Syntax aufgrund des mentalen Lexikons geliefert werden, haben diesen Status, und mehrdeutiger Output wird dort bereitgestellt, solange ein passender Kontext vorliegt.

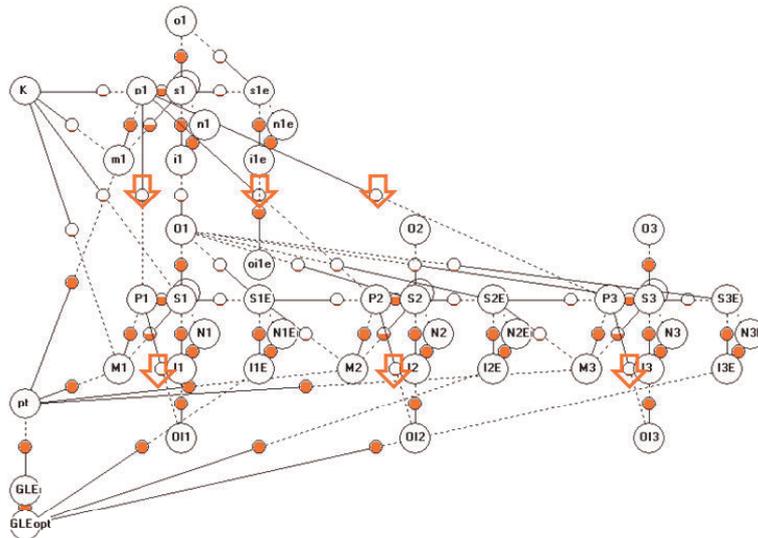


Abbildung 6.4.3–1: Bildschirmdarstellung der Architektur zur Demonstration der Speicherung von Sequenzen von Wortbedeutungen. In Produktionsrichtung wirksame Verbindungsgewichte, die durch Lernvorgänge verändert werden, sind mit Blockpfeilen markiert.

Simulation:
Verarbeitung von Bedeutungssequenzen.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die
 Leertaste gesteuert werden (ggf. festhalten).
 Mit der Option „Simulation bis Stop“ kann direkt der Beginn der
 Produktionsphase erreicht werden.

Unbefriedigend an dieser Konstruktion ist, dass die immer gleichartige Kette der Sequenzelemente beliebig fortgesetzt werden kann, bis zu einem durch die Beschränkung der Ressourcen bewirkten Abbruch. Die syntaktische Gliederung wirkt sich nicht aus. Wünschenswert ist mindestens eine Strukturierung in Teilketten, die jeweils ein eigenes übergeordnetes Element und damit auch eigene Kontextbedingungen haben.

Wenn man die syntaktische Gliederung oberhalb der lexikalischen Ebene einbeziehen möchte, ist eine nahe liegende Hypothese die, dass dazu die syntaktischen Endelemente oberhalb der lexikalischen Ebene herangezogen werden. Man kann außerdem davon ausgehen, dass syntaktische Konstituenten als abgegrenzte Einheiten, wenn auch vielleicht mit Ausnahmen und jedenfalls unter der Voraussetzung der in Teil 5 dargestellten Grundsätze, als Quellen einer *inhaltlichen* Gliederung gelten können. Das führt dann allerdings zu einer Differenzierung des GLE-Signals je nach der auslösenden Quelle, mindestens entsprechend der jeweiligen syntaktischen Verarbeitungsebene. Eine gewisse Abstraktion gegenüber der tatsächlichen syntaktischen Funktion ist möglich. Nur das aus den lexikalischen Kategorien abgeleitete GLE-Signal muss zusätzlich pt auslösen.

Die folgende Simulation zeigt die Funktion einer solchen Konstruktion. Es werden insgesamt drei lexikalische Einheiten angenommen. Die ersten beiden bilden eine vollständige syntaktische Konstituente und die dritte für sich genommen ebenfalls.

Simulation:
Verarbeitung von Bedeutungssequenzen,
 revidierte Version.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die
 Leertaste gesteuert werden (ggf. festhalten).
 Mit der Option „Simulation bis Stop“ kann direkt der Beginn der
 Produktionsphase erreicht werden.

Die zugrunde gelegte Architektur ist in Bildschirmdarstellung in der Abbildung 6.4.3-2 wiedergegeben.

Setzen des Kontexts für die Produktion

K 550

Produktion

pt 560 px 560 GLE2o 600

pt 630 px 630 GLE2o 670 GLE1o 675

pt 700 px3 700 GLE2o 740 GLE1o 745

.

Zusätzliche Bemerkungen zum Verlauf (es ist zu beachten, dass die untersten neuronalen Elemente des Netzes denselben Bedingungen unterliegen, wie in der vorangegangenen Simulation):

Zeittakt Kommentar

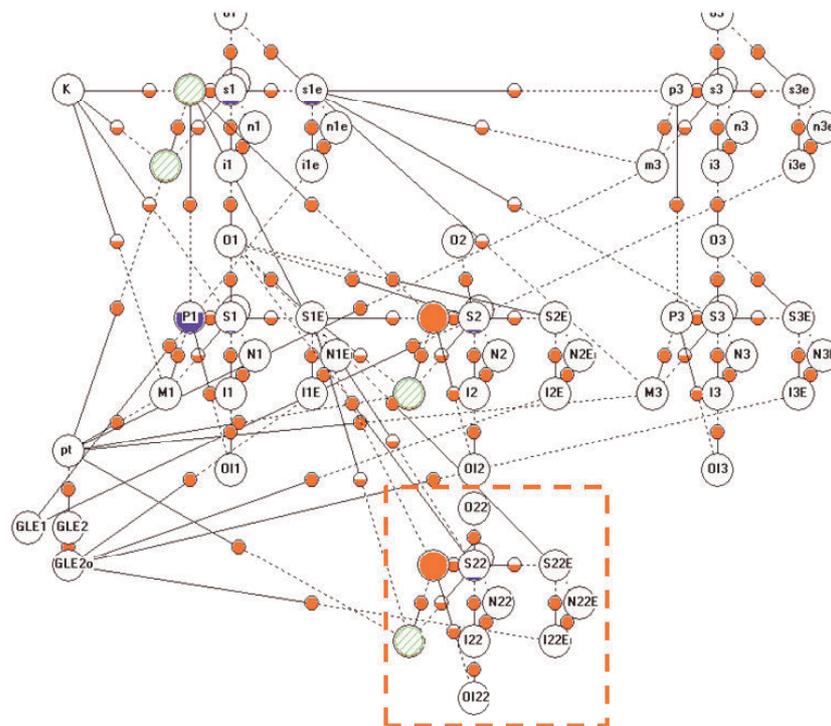
- 190 ff. Das erste Element (3 Lautdauern) wird mit einfachem GLE2 abgeschlossen,
- 320 ff. Die Signale GLE1 und GLE2 bewirken sowohl das Feuern von *S2E*, als auch des übergeordneten Endelements *s1e* und schließen damit die Teilsequenz ab.
- 339 Von *s1e* ausgehende Kontextverbindungen werden verstärkt.
- 380 ff. Die zweite, nur aus einem Element bestehende Teilsequenz wird abgeschlossen.
- 550 ff. In der Produktionsphase wird GLE konsequent durch das Signal GLEopt (GLE1o und GLE2o), also die Version ohne Auslösen des Produktionstakts, ersetzt.

Es wird wahrscheinlich sinnvoll sein, nur bestimmte Endelemente oder Kombinationen davon in der syntaktischen Struktur für die Bildung der GLE-Signale heranzuziehen.

Die neuronale Wirklichkeit ist wesentlich komplizierter, als die in den Abbildungen gezeigten, nur für ein bestimmtes Ergebnis interessanten Netzstrukturen. Viele Verbindungen (mehrere tausend), die für die Lernvorgänge erforderlich sind, aber nicht ausreichend verstärkt werden, sind nicht dargestellt, ebenso durch Lernprozesse entstehende Verbindungen, die zu Redundanzen und Mehrdeutigkeiten führen.

Ein interessanter Fall in diesem Zusammenhang ist die Funktion des Kontexts. Dem in den Simulationen gezeigten Vorgang geht ein Prozess voraus, der über Endelemente einen Kontext eröffnet. Dieser Kontext kann in vielen Verbindungen bestehen, die alle einen möglichen sequenziellen Anschluss erlauben. Die Auswahl bestimmter Verbindungen geschieht über den Input. Jedes Endelement hat aber auch nach der Verankerung eines Inhalts viele

Kontextverbindungen auf unbenutzte Zellen. Man könnte sich vorstellen, dass dadurch zusätzliche alternative Fortsetzungen z. B. die Ergänzung von Eigenschaften für ein referenziertes Objekt, verankert werden könnten. Das würde aber voraussetzen, dass die entstehenden alternativen Pfade in der Produktion steuerbar sind, wie bei dem Problem der lexikalischen Mehrdeutigkeit. Die Situation von Abbildung 6.4.3–3 mit einer gleichzeitigen Produktion von sich gegenseitig ausschließenden Alternativen darf nicht auftreten.



637

Abbildung 6.4.3–3: Zustand im Zeittakt 637 bei Störung durch Mehrfachproduktion von Alternativen. Die gegenüber Abbildung 6.4.3–2 zusätzlich eingeführte Alternative ist gestrichelt umrahmt. Die rot gefärbten P-Zellen (P_2 gegenüber S_2 und P_{22} gegenüber S_{22}) führen zur gleichzeitigen Produktion der Alternativen, eine an sich wünschenswerte Auswahl ist nicht möglich.

Simulation:
Produktionsstörung bei Alternativen.
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die
 Leertaste gesteuert werden (ggf. festhalten).
 Mit der Option „Simulation bis Stop“ kann direkt der Beginn der
 Produktionsphase erreicht werden.

Eingabedatei:

Lernvorgang

```
K 0 0I1 50 GLE2 70
0I2 110 GLE2 130 GLE1 135
0I3 180 GLE2 200 GLE1 205
```

Zusatz unter dem gleichen Kontext

```
K 350
```

Das erste Element wird nicht neu verankert, sondern nur
aufgerufen:

```
pt 360 px 360 GLE2o 400
```

Zusatz:

```
0I22 440 GLE2 460 GLE1 465
```

Produktion

Haltepunkt für die Option "Simulation bis Stop"

```
*** 550
```

Setzen des Kontexts für die Produktion

```
K 550
```

Produktion

```
pt 560 px 560 GLE2o 600
```

```
pt 630 px 630 GLE2o 670 GLE1o 675
```

```
pt 700 px3 700 GLE2o 740 GLE1o 745
```

.

Der Produktionsvorgang, der in Zeittakt 560 beginnt, aktiviert gleichzeitig beide Alternativen, was natürlich unerwünscht ist und zu einer Blockade führen muss. Damit kann ein Verfahren mit nachträglich hinzugefügten Alternativen zu einer bestehenden inhaltlichen Struktur nicht sinnvoll sein.

Man beachte auch, dass der Vorgang nur funktioniert, wenn die Teilstruktur, an die nachträglich angeknüpft wird, nur aufgerufen und nicht mit den für eine Speicherung erforderlichen zusätzlichen Bedingungen aktiviert wird, was an sich schon ein grundsätzliches Problem darstellt und auch die Möglichkeit der einfachen Verlängerung einer existierenden Struktur beeinträchtigt.

Man kann für eine weniger technische Begründung darauf hinweisen, dass Kontexte immer an eine spezifische Vorgängersituation gebunden sind und nicht mehrfach in einem und demselben zeitlichen Verlauf auftreten können (das ist Charakteristikum des episodischen Gedächtnisses, zum Aufbau von Wissensbeständen siehe unten 6.5).

Die biologisch realistische Vielfachverzweigung von Endelementen hat deshalb nur für den (ersten) Lernvorgang eine Bedeutung.

Die Funktion des beschriebenen Verfahrens besteht in der Definition von Großmuttereinheiten für Teilsequenzen. Die von einem Text mitgeteilte Information besteht in der Summe der Sequenzinhalte plus den Rollen der Bestandteile. Referenz und Prädikation sind solche Rollen und nicht an Stellen in der Notation von Propositionen gebunden. Eine Gedächtnisspur, die auf die in diesem Abschnitt beschriebene Weise entsteht, kann (jedenfalls für deutschsprachige Texte) nicht die Form einer Proposition haben.

Es ist an dieser Stelle auch interessant, sich klar zu machen, was in den Simulationen dieses Abschnitts mit „Produktion“ gemeint ist. Produktion bedeutet zunächst nur die Aktivierung einer den Gedächtnisinhalten entsprechenden Vorstellung, das heißt, Rückspiegelung eines Inhalts über die Vermittlung von primären Sinnesarealen des Kortex. Das Schema der Abbildung 6.4.3–4 zeigt die strukturellen Grundlagen.

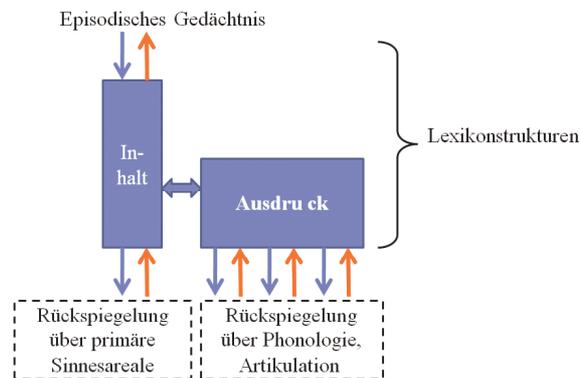


Abbildung 6.4.3–4: Schema zur Funktion von Produktionsvorgängen.

Eine ausdrücklich *sprachliche* Produktion setzt zusätzlich den Lexikonstart (Start der lexikalischen Ausdrucksseiten) voraus, und entweder nur die Rückspiegelung über die Phonologie in der Form des inneren Sprechens oder mit zusätzlicher motorischer Artikulation (man vgl. das Beispiel in Abschnitt 6.4.2). Das heißt aber jetzt, dass eine tatsächlich satzweise Äußerung nur über Formulierungsprozesse entstehen kann, wie sie in Teil 5, „Syntax“ und Teil 7, „Denken und Formulieren“ beschrieben sind. Die direkte wörtliche Produktion eines Satzes aufgrund einer im Textverstehensprozess aufgebauten inhaltlichen Repräsentation ist nicht möglich. Man beachte, dass auch durch psychologische Experimente gezeigt werden kann, dass Satzwortlaute nur kurzfristig über Kurzzeitgedächtnisstrukturen und ansonsten längerfristig nur durch Auswendiglernen (mit oder ohne Verständnis) verfügbar sind.

6.4.4 Textverstehen

Die Argumentation in diesem Abschnitt geht, aus Gründen, die auch schon in der Einleitung 6.1.1 angesprochen sind, von der mündlichen (akustisch vermittelten) Kommunikation aus, also z. B. von der Situation eines Vortrags und der Wahrnehmung von dessen Verlauf. Die folgenden Klärungsversuche beziehen sich auf diese Grundlage. Die Anwendung auf den Bereich der Schriftlichkeit bedarf zusätzlicher Gesichtspunkte, die sich aus den Bedingungen der optischen Wahrnehmung ergeben.

Dass Textinhalte in Form von Propositionen beschrieben werden können, ist kein schlagendes Argument für eine kortikale Repräsentation dieser Art, wenn man nicht zeigen kann, dass die erforderlichen Speichervorgänge in realem Zeitverlauf im Kortex möglich sind, was, wie schon im vorigen Abschnitt festgestellt, zu Schwierigkeiten führt. Es gibt aber auch einige zusätzliche Überlegungen, die eine propositionale Repräsentation eher fragwürdig machen.

Es ist z. B. zu beachten, dass die propositionale Analyse, auch einschließlich der Bildung von Makropropositionen und der dadurch entstehenden hierarchischen Organisation, Strukturen einführt, die mit den eigentlich das Ziel des Textverstehens bildenden, das Denken und Handeln bestimmenden und nicht textspezifischen(!) Strukturen nicht übereinstimmen. Man beachte auch, dass Propositionen im Paradigma von Kintsch & van Dijk als Ganzes keine semantischen Rollen haben, sondern nur unterschiedslos als Repräsentationen von „Fakten“ behandelt werden und letztlich eine Kontextsequenz bilden, wie sie auch für das Satzverstehen in der Form von Abschnitt 6.4.3 gilt.

Dazu kommt, dass nicht behauptet werden kann, dass Wissensbestände im Kortex allgemein in propositionaler Form vorliegen. Das ist ausführlich in der auch von Kintsch (1998, vgl. oben Abschnitt 6.3.7) beachteten „imagery debate“ der 80er und 90er Jahre diskutiert worden; die Arbeiten von Kosslyn (z. B. Kosslyn, 1994) haben hier wesentliche Beiträge geleistet.

Unter diesen Umständen ist es vielleicht doch sinnvoll, für die Klärung der Repräsentationsform von Textinhalten zunächst die im Kortex verfügbaren Speicherprozesse zur Argumentation heranzuziehen.

Die in den vorangegangenen Kapiteln besprochenen Vorgänge können als primäre Verstehensvorgänge betrachtet werden. Sie verlaufen sozusagen „automatisch“ und synchron zu dem akustischen Input, können beim Vorliegen passender Kontextvoraussetzungen nicht (bewusst) gesteuert werden und lösen auch keine bewusst zu machenden Vorgänge aus. Das Ergebnis des Satzverstehens, wenn weitere Verarbeitungsvorgänge nicht stattfinden, besteht dann aus einer Sequenz von Wortbedeutungen mit einer durch die Syntax vermittelten Rollenzuordnung.

Wichtige weitere, als sekundär zu betrachtende Verarbeitungsvorgänge erfordern Zugriffe auf früher verankerte, sprachlich vermittelte oder auf anderen Sinneswahrnehmungen beruhende Inhalte. Man beachte z. B. die generelle Funktion von Proformen in Texten, also nicht nur die von Pronomina, sondern auch die des Substantivgebrauchs in Folgen wie *die Kirche von Audorf – die Kirche – das Gebäude – es*.

Der Zugriff auf Gedächtnisinhalte setzt generell voraus, dass brauchbare, spezifische Kontexte aktiviert sind. In den Simulationen der vorangegangenen Abschnitte sind solche Kontexte immer schon vorausgesetzt worden. Es ist angenommen worden, dass das Ergebnis eines Verstehensprozesses an einen gerade aktiven spezifischen Kontext angebunden wird. Für sekundäre Verarbeitungsvorgänge, die von Texten ausgehen, muss aber auch die Frage nach der Möglichkeit der Generierung *neuer* spezifischer Kontexte geklärt werden.

Ein gleichartiges Problem dürfte auch schon für die Ebene der bloßen Satzverarbeitung entstehen. Man könnte sich zwar die Repräsentation eines Ergebnisses des Textverstehensvorgangs so vorstellen, dass sie aus einer langen Kette von Satzbedeutungen in der Art der Strukturen besteht, wie sie im vorangegangenen Abschnitt behandelt worden sind. Die dabei angenommenen Verkettungen setzen aber eine ununterbrochene selektive Aufmerksamkeit voraus, mit der man sicherlich bei längerer Textdauer nicht rechnen kann. Beim Anhören eines längeren Vortrags wird es viele Augenblicke geben, in denen Sequenzelemente (Geräusche, visuelle Wahrnehmungen usw.)

einstreuen, die nicht zur Kontextsequenz des Textes gehören. Es sind Inkohärenzreaktionen anzunehmen, die nach einer Störung zur Wiederaufnahme einer Sequenz führen müssen.

Inkohärenzreaktionen können auch dadurch ausgelöst werden, dass Ressourcenbeschränkungen den Speicherprozess beeinträchtigen. Es ist z. B. möglich, dass in einer bestimmten Situation, also aufgrund vorangegangener Speicheraktivitäten, nicht genügend potenzielle Kontextverbindungen zur Verfügung stehen oder dass unbekannte Wörter nicht sofort verankert werden können.

Wenn man vom Prozess des Verstehens absieht und sich mit den Bedingungen beschäftigt, die zum Abruf eines gespeicherten Textinhalts führen, trifft man ebenfalls auf das Problem der Kontextgenerierung für den erforderlichen Produktionsvorgang, der über die Rückmeldestrukturen zu einer „Ersatzwahrnehmung“ (Erinnerung) führen soll. Ein Produktionsvorgang ist in den vorangegangenen Abschnitten immer mit behandelt worden, weil der Lernprozess im Verstehen die Produktionseinrichtungen mit gewährleisten muss. Nach erfolgtem Aufbau einer Repräsentation sprachlicher Episoden ist die Situation aber dadurch verändert, dass für den Zugriff auf einen Inhalt der entsprechende Kontext gefunden bzw. hergestellt werden muss.

Das gilt ganz allgemein für Erinnerungsprozesse. Es gibt nun eine Tradition psychologischer Studien, die zeigen, dass episodische Spuren, die zunächst unzugänglich sind, über passende „Cues“ zugänglich gemacht werden können. Auffällig ist, dass als Cues am effektivsten solche Inhalte dienen, die einen erlebnishaften Kontext liefern. Einen Überblick über betreffende Arbeiten liefert z. B. Brown & Craik (2000).

Die folgenden Simulationen sollen zeigen, wie ein Vorgang auf neuronaler Ebene aussehen kann, der diese Leistung zeigt. Da es sich letztlich um einen Adressierungsvorgang handelt, kann eine Variante des Vorschlags zur Adressierung in Teil 2, „Grundlagen“, Abschnitt 2.6.1 eingesetzt werden.

Als Gedächtnisinhalt wird der Einfachheit halber das Lernergebnis der Simulation zur Architektur von Abbildung 6.4.3–2 verwendet. Wenn ein Cue ohne passenden Kontext zum Zweck der Kontextbildung angeboten wird, muss zunächst eine Inkohärenzreaktion ausgelöst werden. Es wird dem Lernergebnis für die Simulation deshalb eine Watchdogschaltung der in Abschnitt 6.2.3 beschriebenen Art hinzugefügt, die eine solche Reaktion bietet. Es ergibt sich also die Struktur der Abbildung 6.4.4–1. Die Zelle *sA* oben links in der Abbildung ist Watchdogausgang. Sie hat unterschwellige Verbindungen zu allen P-Zellen („unspezifisches prädiktives System“, vgl. Abschnitt 2.5.4).

Simulation:
[Zugriff auf episodische Inhalte 1.](#)
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die
 Leertaste gesteuert werden (ggf. festhalten).
 Mit der Option „Simulation bis Stop“ kann direkt der Beginn der
 Produktionsphase erreicht werden.

Eingabedatei:

```

      Generieren des Kontexts
      -----
AA 0 0I1 80 0I1 150

      Stop
      ----
*** 195

      Produktion
      -----
pt 195 px 195 GLE2o 235
pt 265 px 265
pt 325 px 325 GLE2o 365 GLE1 370
pt 405 px3 405 GLE2o 445 GLE1 450
.

```

Bemerkungen zum Verlauf:

Zeittakt	Kommentar
0	Es wird zunächst der Watchdog für die Überwachungsfunktion gestartet.
80 ff.	Der Input der Gedächtnisspur 0I1 führt zu einer Aktivität, die schon auf der Ebene der ersten Sequenzkontrolle scheitert.
95 ff.	Die Watchdogeinrichtung reagiert mit der Erzeugung eines Aktionspotenzials auf der Zelle <i>sA</i> , erregt alle P-Zellen unterschwellig und aktiviert alle überwachten Hierarchiespitzen für die Produktion (<i>p1</i> und <i>p3</i>).

Zeittakt	Kommentar
98 ff.	Alle P-Zellen, die durch Lernvorgänge hierarchisch verbunden sind, feuern, ohne eine tatsächliche Produktion und Rückspiegelung zu erzeugen („Pseudoproduktion“), und hinterlassen auf den zugeordneten sequenzenbildenden Zellen Erwartungspotenziale.
150 ff.	Der erneute Input von OI1 führt aufgrund der vorhandenen Erwartungspotenziale zu einem erfolgreichen Verstehensprozess. Die dabei benutzten sequenzenbildenden Zellen erneuern ihr Erwartungspotenzial, alle anderen sequenzenbildenden Zellen verlieren es. Damit ist ein spezifischer Kontext gesetzt.
195 ff.	Die Produktion kann denselben Input verwenden, wie unter der Annahme der Vorgabe durch eine vorangegangene Ereignissequenz.

Dieses Verfahren funktioniert nicht nur für den Anfangskontext einer zusammenhängenden Gedächtnissequenz, sondern auch für Kontexte im Innern, wie die folgende Simulation zeigt.

Simulation:
[Zugriff auf episodische Inhalte 2.](#)
 Der Zeittakt ist mit ca. 1 ms definiert.
 Die Simulation sollte durch Auslösen von Einzelzyklen über die Leertaste gesteuert werden (ggf. festhalten).
 Mit der Option „Simulation bis Stop“ kann direkt der Beginn der Produktionsphase erreicht werden.

Die Eingabedaten sind jetzt:

```

Generieren des Kontexts
-----
AA 0 OI2 80 OI2 150

Stop
----
*** 195

Produktion
-----
pt 204 px 204

```

pt 260 px 260 GLE2o 310 GLE1 315
 pt 325 px3 325 GLE2o 365 GLE1 370

Es lässt sich also zeigen, dass Cues in einem biologisch realistischen Modell zur Aktivierung von passenden Gedächtnisinhalten führen können. Es kann auch nachvollzogen werden, dass Cues, die an konkrete Erlebnisse gebunden sind, einen besseren Effekt haben, als Cues, die sich auf (z. B. semantische) Merkmale von Konzepten beziehen. (Beispiel: Es wird das Konzept „Autobahn“ gesucht. Schlechterer Cue: *schnelle Straße*. Besser: *Straße, auf der es gestern zu einem Unfall gekommen ist*. Voraussetzung: Eine entsprechende episodische Spur existiert.)

Der Prozess der Verwendung von Cues kann als Schlüssel dienen für eine weitere Überlegung, die das Textverstehen betrifft. Dazu ist es sinnvoll, einen Teil der oben verwendeten Bildschirmdarstellung in einer etwas besser interpretierbaren Fassung nachzuzeichnen.

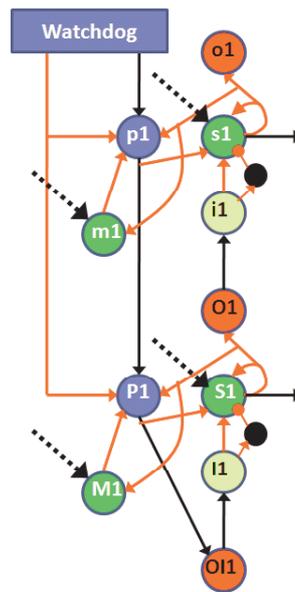


Abbildung 6.4.4–2: Architekturskizze zur Erläuterung weiterer Effekte der Verwendung von Cues. Rote Verbindungen sind unveränderlich, schwarze durch Lernvorgänge veränderbar. Die unterschiedlichen Zelltypen werden zusätzlich durch Flächenfärbung unterschieden. Weitere Erläuterungen im Text.

Die Abbildung 6.4.4–2 gibt den linken Rand der Architektur von Abbildung 6.4.4–1 wieder, in einer Form, die feste, durch Lernvorgänge nicht beeinflusste (rot) und Lernvorgängen unterliegende Verbindungen (schwarz) unterscheidet. Die Darstellung ist außerdem insofern realistischer als die der Simulationsbildschirme, als pro Zelle jeweils ein ggf. verzweigtes Axon gezeichnet ist. Die Adressierung über einen Cue verwendet die gestrichelt eingezeichneten Kontextverbindungen nicht. Die betroffenen sequenzenbildenden Zellen feuern also, obwohl sie ihr Erwartungspotenzial nur indirekt über P-Zellen erhalten. Man kann annehmen, dass funktionslose Verbindungen, die prinzipiell Lernprozessen unterliegen, mehr oder weniger rasch abgebaut werden. Sequenzenbildende Zellen, die keine aktiven Kontextverbindungen mehr haben, verlieren ihre Lernsperre und können wieder in neue Kontexte eingebunden werden. Inhalte, von denen solche Kontexte ausgehen, sind aber dann nicht mehr solche, die aus dem ursprünglichen Satzverstehensprozess stammen, sondern solche, die einen neuen inhaltlichen Zusammenhang schaffen. Das kann zum Aufbau von Wissenssystemen führen. Was als „semantisches Gedächtnis“ bezeichnet worden ist, entsteht nicht dadurch, dass der Speicher gewechselt wird, sondern dass ein Inhalt aus dem bisherigen Kontext herausfällt. Wie in den Abschnitten 6.2.5 und 6.4.2 schon ausgeführt, kann das semantische Gedächtnis also nicht als eigenes Gedächtnissystem betrachtet werden.

Eine andere Möglichkeit, vergleichbare Zusammenhänge herzustellen, besteht in Vorgängen, die als Re-Enkodierung bezeichnet worden sind. Einige der vom Input aus aktivierten Großmuttereinheiten werden im Satzverstehensprozess durch fehlenden Kontext blockiert. Bei Wiederholung dieser Großmuttereinheiten durch einen Cue-basierten Adressierungsprozess können sie aufgrund eines neuen Kontexts ggf. erfolgreich aktiviert werden.

Alle beschriebenen, mit Inkohärenzreaktionen verbundenen Verarbeitungsprozesse setzen das Ergebnis des Satzverstehens voraus und sind von daher als sekundäre Prozesse zu verstehen. Weitere sekundäre Prozesse können recht komplex werden und allgemein an Formen des Denkens erinnern. Dazu gehört die Verarbeitung von Pronomina. Ein Beispiel liefert der folgende Märchenanfang:

„Der Froschkönig oder der eiserne Heinrich

In den alten Zeiten, wo das Wünschen noch geholfen hat, lebte ein König, dessen Töchter waren alle schön; aber die jüngste war so schön, daß die Sonne selber, die doch so vieles gesehen hat, sich verwunderte, sooft sie ihr ins Gesicht schien. Nahe bei dem Schlosse des Königs lag ein großer dunkler Wald, und in dem Walde unter einer alten Linde war ein Brunnen: wenn nun der

Tag recht heiß war, so ging das Königskind hinaus in den Wald und setzte sich an den Rand des kühlen Brunnens: und wenn sie Langeweile hatte, so nahm sie eine goldene Kugel, warf sie in die Höhe und fing sie wieder; und das war ihr liebstes Spielwerk.“

Es handelt sich sicherlich um einen einfachen Text. Bei näherer Analyse zeigt sich allerdings, dass für ein genaues Verständnis, das alle Informationen nach Art einer Propositionenliste enthalten würde, recht komplizierte Verarbeitungsvorgänge notwendig wären. Man beachte die Abfolge von Proformen in der zweiten Texthälfte (durch Unterstreichung hervorgehoben): Die Proform *das Königskind* bezieht sich auf die jüngste Tochter, könnte aber auch ein männliches Kind der Königsfamilie meinen. Die ersten beiden Vorkommen von *sie* referieren auf dieselbe Person, die folgenden auf die Kugel, *das* bezieht sich auf den Vorgang des Kugelwerfens, nicht die übrigen Ereignisse am Brunnen, und *ihr* bezieht sich auf die Tochter, nicht die Kugel, was prinzipiell, solange man nicht gängiges Weltwissen heranzieht, auch möglich wäre. Insgesamt ist in großem Umfang die Herstellung von Beziehungen zu früher vermittelten Inhalten erforderlich.

Komplexe Prozesse dieser Art sind zeitaufwendig und können nicht während des Satzverstehens stattfinden, um sofort eine entsprechende vollständige Textrepräsentation aufzubauen. Sie würden bestenfalls zur Folge haben, dass zwar einzelne Textteile entsprechend bearbeitet werden könnten, dabei aber größere Strecken des Textes verloren gingen. Das gilt nicht für das Verstehen schriftlicher Texte, bei denen man sich beliebig lange mit einem einzelnen Satz beschäftigen kann. Ein wirklich realistischer Vorgang dürfte auch das nicht sein und er würde wahrscheinlich auch zu Repräsentationen führen, die letztlich nicht ordnungsgemäß „propositional“ wären. Auch ein Psychologe, der die Aufgabe hat, zu einem Text eine Textbasis als Propositionenliste zu erstellen, verfügt am Ende nicht über eine Gedächtnisstruktur, die dieser Liste entspricht.

Die etwas vage und wenig detaillierte Repräsentation, die sich aus dem Satzverstehen direkt ergibt, könnte aufgrund der dadurch angeregten sekundären Prozesse ausreichen, um zu einem brauchbaren Verständnis eines Textes zu kommen, jedenfalls so weit das durch eine einmalige akustische Darbietung (!) möglich ist. Makroregeln im Zuschnitt des Paradigmas von Kintsch & van Dijk, die dazu dienen sollen, die Informationsverluste bei Inhaltswiedergaben durch Versuchspersonen zu erklären, operieren jedenfalls nicht auf einer kompletten propositionalen Basis, sondern sind wahrscheinlich schlicht und einfach überflüssig.

Unbefriedigend ist sicherlich, dass so viele gängige Vorstellungen über das Textverstehen sich angesichts der hier zugrundegelegten Prinzipien der Speicherung im Kortex als nicht haltbar erweisen. Um die dargestellte Position zu verfestigen, wird im folgenden Kapitel noch einmal auf die architektonischen Grundlagen und ihre Geltung auch für andersartige Verarbeitungsvorgänge eingegangen.

6.5 Komplexe Zusammenhänge

6.5.1 Lernen und Gedächtnis

Die Gegenstände dieses Teils 6, „Gedächtnisformen, Textverstehen“ betreffen in sehr grundsätzlicher Weise das Verhalten in der Zeit. Gleichzeitigkeit, Dauer und Abfolge sind allgemein bestimmende zeitliche Konzepte. Die Zeit *als Kontinuum* ist mit Bezug auf den Kortex nur auf naturwissenschaftlicher Ebene relevant, z. B. wenn es um Signallaufzeiten geht, also nicht als Größe, die informationsverarbeitende Prozesse oberhalb der Physik charakterisiert. Aufeinanderfolgende Ereignisse, deren Abstand unterhalb einer Grenze von 50 ms liegen, sind für den Kortex nicht unterscheidbar (Fenster der Gleichzeitigkeit, siehe Abschnitt 6.2.1). Das ergibt sich aus Bedingungen der für den Konzepterwerb erforderlichen Lernprozesse und kann aus der Wahrnehmung sprachlicher Phänomene geschlossen werden.

Mit solchen Überlegungen ist aber nicht nur eine Aussage über Gedächtnisphänomene verbunden, sondern auch über die in Prozessen zu erwartenden Verarbeitungsgeschwindigkeiten. Frequenzen von mehr als 20 Impulsen pro Sekunde können nicht eine Abfolge(!) von Verarbeitungsschritten (unter der Annahme eines Verarbeitungsschritts pro Impuls) bilden. Das impliziert eine Limitierung der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Natürlich muss bei der Abschätzung der Verarbeitungskapazität insgesamt auch die extreme Möglichkeit der Parallelverarbeitung im Kortex berücksichtigt werden. Parallelverarbeitung meint Prozesse innerhalb des Fensters der Gleichzeitigkeit. Die Obergrenze der Frequenz betrifft also aufeinanderfolgende Verarbeitungsschritte, die in der Weise inhaltlich voneinander abhängig sind, dass sie nicht gleichzeitig möglich sind. Es sind in dieser Hinsicht keine deutlich sprachspezifischen Unterschiede bekannt, so dass man von Eigenschaften ausgehen muss, die nicht Lernprozessen unterliegen, und feste Werte haben.

Wenn man die Simulationen in diesem Teil 6 genauer betrachtet, wird deutlich, dass die der Zeitverarbeitung zugrundeliegenden Zellparameter, wenn man sie mit den Voraussetzungen vergleicht, die für Lexikon und Syntax gelten, wenig verändert sind. Wenig auffällig sind auch die Veränderungen in der Verschaltung der verschiedenen Zelltypen. Ein bestimmtes Grundmuster ist offenbar für alle Bereiche der kortikalen Verarbeitung anzunehmen. Die Gleichartigkeit gilt allerdings nicht für die Lernraten, das heißt für die Anzahl der Erregungen, die zur Verankerung einer funktionsfähigen Verbindung erforderlich sind. Hier gibt es einen wesentlichen Unterschied zwischen Großmuttereinheiten, deren Erregung sofort zu funktionsgerechten Verbindungen führt und Großmuttereinheiten, die sich wesentlich träger verhalten. Textverstehen ist offenbar auf das Vorhandensein von Großmuttereinheiten des ersten Typs angewiesen, für den Aufbau von Wissensbeständen wie der sprachlichen Kompetenz gilt das nicht, bzw. es ist im Gegenteil ein trägeres Verhalten von Vorteil.

Es kann nun hier überlegt werden, ob es sinnvoll ist, für das Textverstehen (wegen der in Abschnitt 6.4 entstandenen Schwierigkeiten) ein, was die zeitlichen Parameter und die Lernraten angeht, von anderen Vorgängen abweichendes Verarbeitungsprinzip vorzusehen, das es ermöglichen würde, durch Annahme einer größeren Verarbeitungsleistung die in Abschnitt 6.4 beschriebenen Schwierigkeiten zu umgehen. Die Konsequenz wäre aber, dass nicht nur ein eigenständiges(?) Modul für das Textverstehen angenommen werden müsste, sondern auch die Schnittstellen zu Lexikon, Syntax und Phonologie betroffen wären. Dabei ist mit Pufferstrukturen zu rechnen, wahrscheinlich auch mit einer Unterscheidung von Arbeitsgedächtnis und Kurzzeitgedächtnis. Beides verändert grundsätzlich die Auffassung von den Eigenschaften der neuronalen Datenverarbeitung mit Konsequenzen für alle Bereiche..

6.5.2 Mentale Modelle

Kintsch & van Dijk unterscheiden in den „Strategies of discourse comprehension“ (1983) zwei Repräsentationsebenen für Ergebnisse des Textverstehensprozesses. Die „Textbasis“, die hierarchische Strukturen von Propositionen und Oberflächeninformationen über den Text enthält, und das „Situationsmodell“. Die Begründung ist einfach (Kintsch & van Dijk, 1983: 336 ff.):

„The point is simply that, as far as memory is concerned, the purpose of discourse comprehension is not usually memory for the discourse, but memory for what the discourse is about.“

Das Situationsmodell repräsentiert also den Gegenstand des Textes („... what the discourse is about“). Das mentale Modell muss Funktionen gewährleisten, die der Textbasis nicht zukommen. Nach Kintsch & van Dijk (1983: 338–342) stichwortartig zusammengefasst:

- Referenz und Koreferenz in einer zusammenhängenden (kohärenten) modellhaften Struktur.
- Die Aufnahme von Parametern für die Charakterisierung des Bezugs auf eine möglicher Welt und von Zeit und Ort.
- Abstraktion eines referenzierten Gegenstands gegenüber speziellen Sprecherperspektiven, um zu verhindern, dass Sprecherperspektiven den Gegenstand (die Referenz) verändern.
- Die Anpassung an eine Adressatengruppe.
- Realisierung einer kanonischen Form bei einer Textwiedergabe anstelle des eigentlichen Textinhalts.
- Integration von Informationen unterschiedlicher Modalitäten.
- Unterstützung von Problemlösung.
- Erweiterung und Veränderung durch weitere Texte.
- Unterstützung von Lernvorgängen.

Es fällt auf, dass die genannten Leistungen sich auf unterschiedliche Phasen des Umgangs mit Texten beziehen, nicht nur das Textverstehen, sondern auch Voraussetzungen der Textproduktion, der Produktion von Textwiedergaben und des nicht-sprachlichen Umgangs mit Textinhalten. Das kann nicht bedeuten, dass während des Textverstehensprozesses bei einer akustischen Darbietung des Textes entsprechende Informationen in stabiler Weise festgehalten werden. Es ist anzunehmen, dass eine Ableitung solcher Informationen mindestens zusätzlich auch an spätere Verarbeitungsprozesse gebunden ist. Die Bildung eines Situationsmodells ist so gesehen nicht ein Vorgang, der die Verarbeitung des Textes unmittelbar bei der Textdarbietung zusätzlich belastet, sondern entspricht offenbar den Vorgängen, die den Aufbau von Wissensbeständen leisten.

Textverstehen ist nicht ein die Textdarbietung vollständig begleitender Prozess. Es kann viel Zeit vergehen, ehe man einen Text (ggf. also aus der Erinnerung) verstanden hat, und was bei einer Wiedergabe des Textinhalts

produziert wird, ist von vielerlei Faktoren abhängig, auch von den Bedingungen, die zum Zeitpunkt der Wiedergabe(!), nicht zum Zeitpunkt der Textdarbietung gelten.

6.5.3 Persönlichkeit und kollektives Gedächtnis

Es gibt in der psychologischen Literatur, beeinflusst durch verschiedene Schulbildungen, unterschiedliche Definitionen für Persönlichkeit. Vielleicht kann man wegen ihrer Allgemeinheit die jüngere Definition von Asendorpf als Kompromissform akzeptieren (Asendorpf, 2005: 15):

„Die Persönlichkeit eines Menschen umfasst die Gesamtheit aller überdauernden individuellen Besonderheiten im Erleben und Verhalten.“

Erleben ist Perzeption, Verhalten ist Produktion. Dass die Wahrnehmung individuell ist, ergibt sich aus den vorhandenen Gedächtnisspuren, die durch die Lebensgeschichte bedingt sind. Zwischen Erleben und Verhalten vermitteln ebenfalls Gedächtnisinhalte (Ausnahmen sind z. B. angeborene Reflexe wie Lidreflex und andere motorische Effekte, die ohne Mitwirkung des Kortex entstehen). Das versteht sich nicht im Sinne eines automatischen Zusammenhangs und nicht so, dass immer an *äußeres* Verhalten zu denken ist. Vorstellungen und darauf aufbauende Verarbeitungsprozesse sind im Verlauf des Verhaltens in vielen Fällen als Zwischenstufen wesentlich.

Wenn Persönlichkeit charakterisiert wird, kann das durch Überprüfung der Ausprägung von „Faktoren“ geschehen. In der Psychologie hat ein Fünf-Faktoren-Modell (Big Five) besondere Popularität erlangt. Die fünf Faktoren sind: Extraversion, emotionale Labilität, Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit (vgl. Laux, 2008, Kap. 10). Eine Gefahr dieses Ansatzes besteht darin, dass man damit gewissermaßen „atomare“, bestimmte Verhaltensweisen verursachende Bestandteile der individuellen Persönlichkeit zu erfassen meint. Die Existenz solcher atomarer Ursachen für Verhalten ist, wenn man davon ausgeht, dass Gedächtnisspuren in vielen Details grundsätzlich das Verhalten bestimmen, nicht wahrscheinlich, jedenfalls ist unklar, wie ein entsprechender Mechanismus aussehen könnte. Es kann sich also nur um ein vereinfachendes Beschreibungsverfahren für spezielle Zwecke der Fachkommunikation handeln.

Manchmal wird in historischer Literatur von kollektivem Gedächtnis gesprochen. Es entsteht durch Tradierung von Information, auch in historischen

Zeiträumen, und kann als Menge gemeinsamer Inhalte in verschiedenen Personengruppen verstanden werden, die vergleichbare Verhaltensweisen bei den Gruppenmitgliedern auslösen. Obwohl solche kollektiven Gedächtnisinhalte von großer Bedeutung sein können, bleibt doch aufs Ganze gesehen die Individualität der Einzelperson auf Grund der individuellen Lebensgeschichte erhalten.

Gedächtnis ist nicht eine zusätzliche Begleiterscheinung anderer Phänomene, sondern eine wesentliche Basis der menschlichen Existenz.