

Schon im Sommer letzten Jahres begann ich, Ausschau nach facharbeitstauglichen Themen zu halten. Da ich mit der Zeit immer sicherer wurde, mit dem Ziel beruflicher Forschungsarbeit nach Abschluss der Schule möglichst im naturwissenschaftlichen Bereich weitermachen zu wollen, war schnell klar, dass ich meine Facharbeit im Biologie-Leistungskurs schreiben wollte. Lange Zeit sympathisierte ich mit dem Thema Schlaf-forschung, Schwerpunkt luzides Träumen und Bewusstseinsveränderung. Ich nahm al-lerdings Abstand von der Idee, da die Forschungssituation zu luzidem Träumen sehr karg ist und ich meine Arbeit nicht auf größtenteils subjektive Ergebnisse stützen woll-te.

Die Entdeckung der Mnemonik, einem Gebiet das mich ähnlich fasziniert wie die Klarträumerei, kam mir deshalb sehr gelegen. Ich war mir sicher, das angeeignete Wis-sen über Merksysteme relativ einfach auf neurobiologisches Wissen übertragen zu kön-nen. Nach erster Literaturrecherche kam allerdings Ernüchterung. Ich war einigermaßen verwundert, dass nur durch vergleichsweise aufwändige Suche genügend Material zu-stande kam, und dass die Online-Enzyklopädie Wikipedia die annähernd umfassendste Quelle für Wissen über Funktion, Aufbau und Gesamtintegration einzelner Hirnareale ist. Dass dort aber jegliche Quellenangaben fehlten bedeutete mühseliges Zusammensu-chen entsprechender Quellen.

Ich war überdies sehr erstaunt, dass es bis heute keine wirklich umfassende und aktuelle Theorie zum Zustandekommen menschlicher Vorstellung vorliegt. Denn selbst das aus-führlichste Modell ist in vielerlei Hinsicht unvollständig und an einigen Stellen sogar kritikabel. Vielleicht ist das darauf zurückzuführen, dass in den letzten Jahren ein regel-rechter Hype um die Neurowissenschaften stattfand und dabei große Versprechungen gemacht wurden.

Bei der Ausarbeitung des Textes musste ich lernen, dass die Beschränkung auf die Be-trachtung unter neurobiologischen Gesichtspunkten bedeutete, sehr viel äußerst interes-santes Wissen, aufgestellte Theorien und Ideen verwerfen zu müssen, um einigermaßen beim Thema zu bleiben. Das finde ich insofern schade, als die wahre Leistungsfähigkeit modernisierter Mnemosysteme in dieser Arbeit nicht einmal ansatzweise klar wird, auch weil sie eher auf der logischen als auf der biologischen Ebene erklärbar ist.

Die schier unglaubliche Komplexität des menschlichen Gehirns machte es umständlich, eine Idee zu überprüfen und zu einer nachvollziehbaren These zu gelangen. Der krasse Grad der Vernetzung auf allen Ebenen – von einzelnen Zellen zu ganzen Arealen – warf

immer wieder Fragen bezüglich der Wichtigkeit einzelner Funktionsbereiche in der Gesamtfunktion auf.

Alles in allem war die Anfertigung der Facharbeit eine sehr interessante Erfahrung, in deren Verlauf ich eine Menge über die Funktion des Gehirns gelernt und an Faszination dazugewonnen habe.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
INHALTSVERZEICHNIS	3
EINLEITUNG	4
GESCHICHTE DER MNEMONIK	4
BASISTECHNIKEN DER MNEMONIK	4
GRUNDWISSEN NEURONALE NETZE	7
NEURONE, SYNAPSEN, POTENZIALE	7
BAHNUNG UND VERTEILUNG	7
THEORIEN ZUR MENSCHLICHEN VORSTELLUNG	8
MECHANISMEN	8
PAIVIOS MODELL DER DUALEN KODIERUNG	8
PYLYSHYNS MODELL DER PROPOSITIONALEN SPEICHERUNG	9
KOSSLYNS MATRIX-MODELL	9
ÜBERTRAGUNG AUF DIE MNEMONIK/ ERGÄNZUNG UND KRITIK	11
PRAXIS	16
QUALITÄTSSTEIGERUNG	16
MEMORIERUNGSPROZESS	16
REVISION	17
ERLERNEN DES MAJOR-SYSTEMS	18
ZUSAMMENFASSUNG	20
LITERATURVERZEICHNIS	21
ANHANG	23
SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
KONTROLLBOGEN	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

Einleitung

Geschichte der Mnemonik

Das Gedächtnis als fundamentaler Bestandteil des Menschen beschäftigt selbigen schon seit Jahrtausenden. Bereits in der Antike finden sich erste Hinweise auf den Gebrauch einer *ars memoriae*. Die Erfindung dieser Gedächtniskunst wird von übereinstimmenden antiken Quellen dem griechischen Dichter *Simeonides von Keos* zugeschrieben.¹ Es ist auch bekannt, dass römische Redner wie Cicero diese Technik nutzten, um bei der freien Rede nicht den Faden zu verlieren.

„Die Gedächtniskunst hat sich seit ihrer Entdeckung in Griechenland und ihrer Technisierung in Rom bis zu den Gedächtnistheatern der Renaissance immer wieder gewandelt und doch gleichzeitig entwickelte Strukturen bewahrt.“² Da die meisten Menschen vom Gebrauch einfacher Eselsbrücken abgesehen nie erweiterte Merkstrategien anwenden, häufig von deren Existenz überhaupt nicht wissen, erfolgt an dieser Stelle eine kurze Aufzählung der gängigen Mnemotechniken. Die genaue Bezeichnung der Techniken variiert je nach Quelle, die hier aufgeführten Beispiele bilden die Essenz der einfachen, wie auch der fortgeschrittenen Methoden.

Basistechniken der Mnemonik

In der bei Yates genannten Schrift *Ad C. Herennium libri IV* wird eine grundsätzliche Definition der sogenannten loci-Methode gegeben:

*Das künstliche Gedächtnis besteht aus Orten und Bildern – diese Grunddefinition wurde danach durch alle Zeiten hindurch wiederholt. Ein locus ist ein vom Gedächtnis leicht zu erfassender Ort[...], wie etwa ein Haus, ein Zwischenraum zwischen Säulen, eine Ecke, ein Bogen oder etwas Ähnliches. [...] Bilder sind Formen, Zeichen oder Abbilder dessen, was erinnert werden soll. So müssen wir zum Beispiel, wenn wir uns Pferde, Löwen, Adler ins Gedächtnis zurückrufen wollen, ihre Bilder an ganz bestimmten loci anbringen.*³

¹ „Außer von Cicero sind uns noch zwei weitere Beschreibungen der klassischen Mnemonik überliefert, beide ebenfalls [...] innerhalb einer Schrift zur Rhetorik und [...] im Zusammenhang mit der Behandlung des Gedächtnisses als Teils der Rhetorik: einmal in dem anonymen Text *Ad C. Herennium libri IV*, zum anderen in Quintilians *Institutio oratoria*.“ (Yates, 1990, S. 12)-

² Kiefer, 2002 Kapitel 1.4

³ Yates, 1990, S. 15

Die Loci-Methode bildet noch heute den Grundstein für die allermeisten Techniken. Dabei wird die zu memorierende Information in einzelne Bilder übersetzt, die in der Vorstellung an markanten Punkten einer zuvor festgelegten Route „abgelegt“ werden. Routen lassen sich recht einfach aus bekannten Strecken bilden, die sich durch häufigen Gebrauch fest im Gedächtnis eingebrannt haben, wie z.B. Zimmer oder Wege. Geht man anschließend in der Vorstellung die einzelnen Punkte ab, erscheint das „darauf abgelegte“ Bild.⁴

Für die Übersetzung der zu merkenden Information in ein Bild gibt es mehrere Ansätze. Wörter die für Objekte stehen bedürfen natürlich keiner weiteren Translation, da bereits bei der bewussten Wahrnehmung unbewusst ein Bild vor dem inneren Auge auftaucht. Abstrakte Wörter lassen sich in Silben zerlegen, für die dann ein vorstellbarer Begriff gefunden wird, der die Silben enthält oder irgendwie eindeutig assoziierbar ist. Die zu einem Wort gehörenden Bilder können einfach miteinander verkettet und anschließend an einem Routenpunkt abgelegt werden.⁵

Zahlen und sonstige digitale Information bedürfen jedoch eines anderen Systems zur Übersetzung. Eine Möglichkeit stellt die Assoziationsbildung dar, bei der die Zahl mit einem spontan auftauchenden Begriff verknüpft wird. So könnte beispielsweise der „Zweig“ für die Zahl 2 stehen, der „Dreizack“ für die „drei“ und so weiter. Dies bietet sich gerade im niedrigen Zahlenbereich von 0 – 9 an. Um größere Zahlen zu memorieren, werden die entsprechenden Bilder hintereinander gereiht. Für längere Zahlenfolgen wie Telefonnummern bieten sich allerdings erweiterte Systeme an, weil sonst sehr lange Bilderketten entstehen; da mit jedem weiteren Kettenglied die Fehleranfälligkeit steigt, leuchtet der Hang zu Kürze ein.

Die sogenannte „Major-Methode“ ist ein solches erweitertes System. Hier ordnet man den Ziffern Konsonanten zu und generiert Bilder auf Basis dieser Zuordnung. Ordnet man per exemplum der Ziffer „3“ den Konsonant „M“ zu, könnte das Bild etwa eine „Maus“, „Mütze“ oder „Mumie“ sein. Um sich längere Zahlenfolgen schnell einprägen zu können, bietet es sich an, für jede ein- und zweistellige Zahlenkombination ein festes Bild zu lernen. Die Zahlenfolge würde folglich in Zweiblöcke zerlegt und übersetzt, was die Anzahl der zu memorierenden Bilder bereits halbierte.⁶

⁴ Europäische Gesellschaft zur Förderung des Gedächtnisses e. V., 2011

⁵ Europäische Gesellschaft zur Förderung des Gedächtnisses e. V., 2011

⁶ Europäische Gesellschaft zur Förderung des Gedächtnisses e. V., 2011

Richtig angewandt kann ein normaler Mensch mithilfe dieser Techniken Merkleistungen vollbringen, die wahrhaft wundersam anmuten. So gab der Weltrekordhalter im sogenannten π -Sport, der Chinese Chao Lu, die ersten 67890 Ziffern der Zahl π korrekt wieder.⁷ Das erscheint den meisten Menschen ein Ding der Unmöglichkeit zu sein, tatsächlich steckt dahinter lediglich simple Technik und großer Zeitaufwand.

Mnemo-Systeme nutzen, wie klar wird, hauptsächlich Bilder in der menschlichen Vorstellung. Um für die Funktionsweise der Gedächtniskunst auf neuronaler Ebene ein Verständnis zu entwickeln, muss also ergründet werden, welche Funktionsareale des menschlichen Gehirns notwendig sind, Vorstellungen zu erschaffen und im Langzeitgedächtnis zu speichern. Hierzu sollen bekannte Theorien zur menschlichen Vorstellung vorgestellt und um eigene Ideen ergänzt werden. Zuvor muss aber rudimentär erklärt werden, in welcher Form Information im Gehirn überhaupt vorliegt. Auf der erarbeiteten Wissensbasis soll ein Übertrag zur praktischen Anwendung erreicht werden, um den Einsatz von Mnemotechniken effizienter zu machen.

⁷ Guinness World Records, 2012

Grundwissen Neuronale Netze

Neurone, Synapsen, Potenziale

Das Gehirn ist ein hochgradig komplexes System untereinander verknüpfter spezialisierter Nervenzellen, sogenannter *Neurone*. Es umfasst etwa 85 bis 100 Milliarden Nervenzellen, die insgesamt schätzungsweise 100 Billionen synaptische Verbindungen zueinander ausbilden.^{8 9} „Synapsen sind besondere spezialisierte Kontaktstellen zwischen Neuronen, an denen eine Signalweitergabe stattfindet. Ein typisches Neuron kann an der Ausbildung von zwischen 1000 und 10000 Synapsen beteiligt sei.“¹⁰

Durch Ionenströme, die durch abertausende selektiv-permeable Ionenkanäle in der elektrisch-isolierenden Zellwand eines Neurons diffundieren und die Zelle dadurch polarisieren, kann die Zelle lokal verschiedene *Membranpotenziale* ausbilden. Diese Potenziale breiten sich entlang der Zellmembran aus.¹¹

Vereinfacht gesagt können die Neurone über die Synapsen mit hoher Frequenz¹² Signale an andere Neurone weitergeben¹³. Das aus dieser Fähigkeit resultierende parallele „Feuern“ reziprok verbundener Neuronen organisiert sich zu Mustern, in denen Information transportiert wird. Diese Information kann kognitive Inhalte wie „Wahrnehmungsobjekte, Gedanken, Handlungspläne, reaktivierte Erinnerungen“¹⁴ etc. repräsentieren.

Bahnung und Verteilung

Eine weitere für das Verständnis neuronaler Netzwerke wichtige Eigenschaft von Neuronen ist der Vorgang der *Bahnung*: “Je häufiger ein Signalweg innerhalb des Netzwerkes genutzt wird, umso mehr steigt die Leistungsfähigkeit der Signalübertragung zwischen den beteiligten Zellen.“¹⁵ In der Praxis bedeutet dies, dass Neurone bei Aktivität Synapsen verbessern und auch neu ausbilden, während inaktive Synapsen zurückgebildet werden. Je höher der Reiz, desto länger währt die Bindung. Dieses Wissen ist gerade für das Verständnis von Lern- und Merkprozessen wichtig, folglich auch für die Ausführung von mnemonischen Techniken.

⁸ Vgl. Schroedel, 2005, S. 62

⁹ Schleim, 2012, S. 40

¹⁰ Reichert, 2000, S. 18

¹¹ Vgl. Reichert, 2000, S. 20-38

¹² Die maximale Frequenz von Aktionspotenzialen beträgt bis auf seltene Ausnahmen etwa 500 Hz (Vgl. Reichert, 2000, S. 50).

¹³ Vgl. Schroedel, 2005, S. 22-28

¹⁴ Metzinger, 2011, S. 103

¹⁵ Schroedel, 2005, S. 81

Das Gehirn ist in verschiedene Areale aufgeteilt, die jeweils auf eine bestimmte Aufgabe spezialisiert sind.¹⁶ Die meisten kognitiven Inhalte bestehen aus verschiedenen Informationen, woraus folgt, „dass Repräsentationen komplexer kognitiver Inhalte [...] ebenfalls eine verteilte Struktur besitzen müssen“¹⁷. Die Information in verschiedenen Hirnarealen wird also integriert (was nach einer gängigen These durch die Synchronizität der Signale angezeigt ist¹⁸) und in dieser Form bewusst wahrgenommen.

Theorien zur menschlichen Vorstellung

Mechanismen

Für die Mnemonik unabdinglich ist die menschliche Vorstellungskraft, genauer, die visuelle Vorstellung. Damit ist eine innere Repräsentation gemeint, nicht etwa kreative Prozesse. Aktuell ist noch nicht endgültig erwiesen, welche Mechanismen im Gehirn hier eine Rolle spielen. Obgleich schon antike Philosophen sich mit der Vorstellungskraft auseinandersetzten und die frühe psychologische Forschung sich dem Thema widmete, blieben die Ergebnisse zunächst recht oberflächlich. Erst nach einer Episode des Behaviorismus kam die Forschung zu den „geistigen Bildern“ mit der dualen Kodierungstheorie Allan Paivios gegen Ende der 1960er Jahre wieder in Schwung.¹⁹

Paivios Modell der dualen Kodierung

Bei Raspotnig heißt es zu Paivios Modell:

*Paivio postuliert, daß Information anhand zweier parallel arbeitender Systeme gespeichert und verarbeitet wird. Diese zwei symbolischen Systeme, ein verbales und ein visuelles, existieren selbständig und arbeiten relativ unabhängig voneinander. [...] Die Wahrscheinlichkeit, daß eine Information verbal und visuell kodiert wird, steigt mit dem Konkretheitsgrad der Information, d.h. je konkreter die Information, desto eher ist eine duale Kodierung möglich.*²⁰

Paivio vertrat die Ansicht, dass die der Vorstellung zugrundeliegenden Prozesse analog zu denen der Wahrnehmung ablaufen. Demnach sei der Verarbeitungsmechanismus annähernd gleich oder zumindest recht ähnlich, lediglich die Quelle aus der die visuellen Inhalte gespeist werden sei eine andere. Der von Paivio vertretene Ansatz wird mo-

¹⁶ Vgl. Reichert, 2000, S. 9ff

¹⁷ Metzinger, 2011, S. 103

¹⁸ Vgl. Metzinger, 2011, S. 103f

¹⁹ Vgl. Raspotnig, 1996, S. 20-30

²⁰ Raspotnig, 1996, S. 31f

dal genannt, weil ihm zufolge für die Vorstellung die gleichen Strukturen verantwortlich sind, wie für die periphere visuelle Wahrnehmung.²¹

Pylyshyns Modell der Propositionalen Speicherung

Dem gegenüber positionierte sich 1973 der Computerwissenschaftler Xenon Pylyshyn mit einem anderen Ansatz. Die betreffende Information sei im Gehirn in propositionaler Form²² gespeichert, und die als Vorstellung wahrgenommenen Bilder stellten „lediglich ein epiphänomenales Nebenprodukt der Informationsveranstaltung“²³ dar. Die eigentliche Verarbeitung laufe unbewusst ab und finde in einem einheitlichen, propositionalem und abstrakten Format statt. Pylyshyns Modell ist „von amodaler Natur, da sie [die Propositionen, Anmerkung des Autors] in ihrer Repräsentation frei von jeder Bindung an eine Sinnesmodalität sind.“²⁴

Kosslyns Matrix-Modell

Der Forscher Stephen Kosslyn integrierte sowohl modale als auch amodale Aspekte der Theorien in sein „Matrix-Modell“, welches er mit vielen Experimentalbefunden zu belegen suchte und erweiterte.

„In seinem Modell erreichte Kosslyn (a) eine Verbindung zwischen Vorstellungsbildern und Gedächtnisprozessen sowie (b) eine Kombination der modalen und amodalen Ansätze, indem er Vorstellungen als modale Bilder bzw. Assoziationen definierte, die auf amodale Repräsentationen im Unterbewußten des Langzeitgedächtnisses zurückgehen.“²⁵

Kosslyn unterscheidet dabei zwischen zwei Vorstellungsdimensionen: Der visuellen Vorstellung und der akustisch-verbalen Vorstellung. Erstere gründe sich hauptsächlich auf propositionale Gedächtnisinhalte, Letztere habe primär assoziative Qualitäten, da sie in Kategorien gespeicherte Information aus früherer Wahrnehmung anspreche. Die Wahrnehmung beider Dimensionen komme aber auf analogem Weg zustande.

Anhand folgender Grafik sollen die Grundkomponenten seines Modelles erklärt werden.

²¹ Vgl. Raspotnig, 1996, S. 31ff

²² „Diese Propositionen sind ‚Aussagen über bestimmte Merkmale von Erkenntnisobjekten, ausgedrückt in Relationen und Elementen, die durch die Relationen verknüpft werden.‘“ (Raspotnig, 1996, S. 34).

²³ (Ebd.)

²⁴ Raspotnig, 1996, S. 34

²⁵ Raspotnig, 1996, S. 38

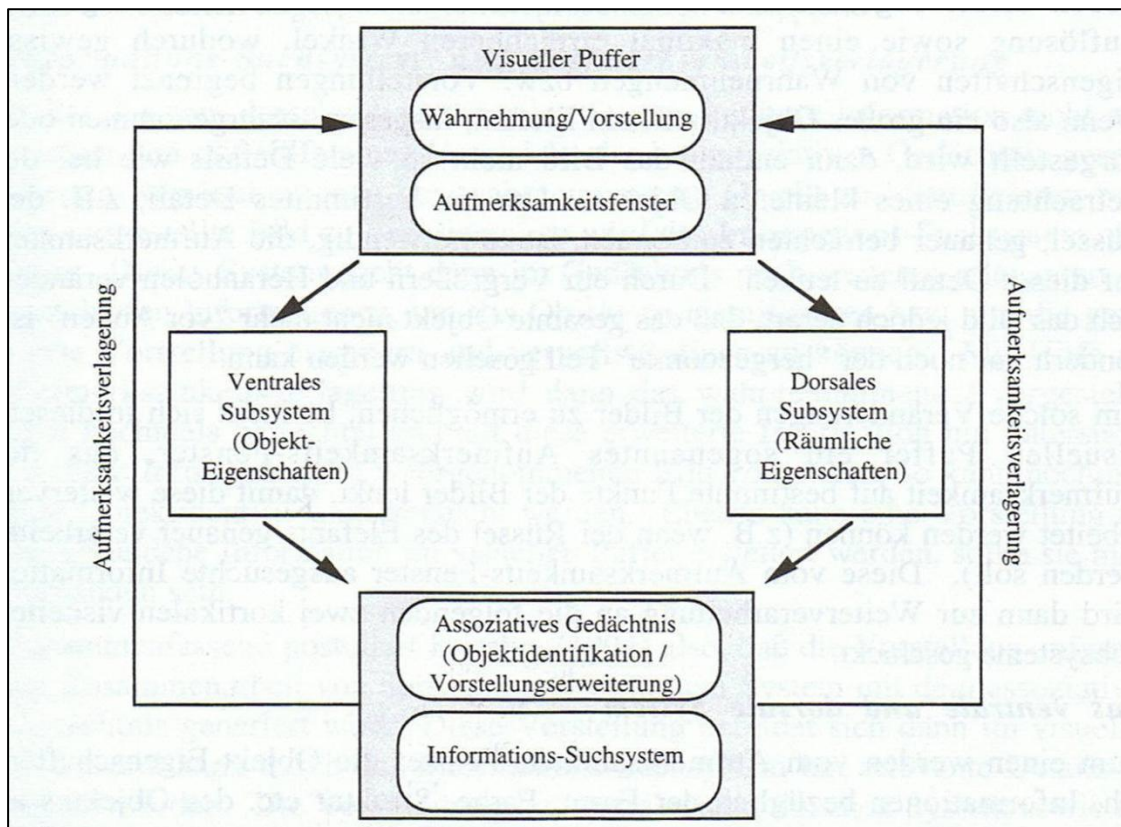


Abbildung 1: Kosslyns Vorstellungstheorie (1994)²⁶

Kosslyn postuliert einen Repräsentationsraum, in dem sich die vorgestellten Bilder befinden, den sogenannten *visuellen Puffer*. Dieser sei Teil des Kurzzeitgedächtnisses und im Occipitallappen lokalisiert.²⁷ Das visuelle Kurzzeitgedächtnis weist die Eigenschaft auf, Bilder für wenige Sekunden abrufbar zu machen.²⁸ Hier wird die Information nicht durch synaptische Bindung zwischen Neuronen gespeichert, sondern durch zirkulierende Aktionspotenziale, die sich nach und nach abschwächen.²⁹ Dadurch dass in diesem Areal keine langhaltende Synapsenbindung vorliegt, wäre gleichzeitig das stetige Verblassen der Vorstellungsbilder erklärt, denn die Aktionspotenziale müssten sich selbst am Leben erhalten, nehmen nach kurzer Zeit ohne externen Impuls jedoch ab. So erreicht das Postsynaptische Potenzial nicht mehr die nötige Aktivitätsschwelle um ein neues Aktionspotenzial auszulösen³⁰. Kosslyn stützt dadurch weiter sein Modell der analogen Verarbeitung: Das schnelle Verblassen der Bilder in der Vorstellung resultiere

²⁶ Raspotnig, 1996, S. 43

²⁷ Vgl. Raspotnig, 1996, S. 44

²⁸ „**Visual short term memory** (VSTM) is a memory system that stores visual information for a few seconds so that it can be used in the service of ongoing cognitive tasks.” (Luck, 2007).

²⁹ „Whereas long term memory representations are stored by means of long lasting changes in synaptic connections, VSTM representations are stored by means of sustained firing of action potentials. This can be observed directly in monkeys by recording the activity of individual neurons in VSTM tasks. When a monkey has been shown a to-be-remembered stimulus, neurons in specific areas will begin to fire and will continue to fire during the delay interval.” (Luck, 2007).

³⁰ Reichert, 2000, S. 45-50

aus der Tatsache, dass sich ein Bild aus peripherer Wahrnehmung mit jeder Augenbewegung verändern können müsse. Da die sowohl bei der Vorstellung als auch der peripheren Wahrnehmung die gleiche Struktur zur Erzeugung der Repräsentation genutzt werde, verhielten sich beide gleich, folgert Kosslyn.³¹

Für den visuellen Puffer ist bei Kosslyn des Weiteren ein *Aufmerksamkeitsfenster* festgelegt, in dem Details einer visuellen Repräsentation dargestellt würden, während sich im gesamten visuellen Puffer nur ein detailarmes Bild befinde.

Der im Fokus der Aufmerksamkeit stehende Inhalt wird laut Kosslyn von zwei Subsystemen, dem ventralen und dem dorsalen, getrennt weiterverarbeitet³². Das *ventrale Subsystem* ist nach aktuellem Stand verantwortlich für die Verarbeitung von Objekteigenschaften und das Erkennen dieser, also äußerer Attribute wie „Form, Farbe, Struktur etc. des Objektes“³³, während das *dorsale Subsystem* für die räumliche Positionierung und zuständig ist.³⁴

Anschließend werde durch einen Abgleich mit assoziativen Gedächtnis eine Objektklassifikation vorgenommen. Das assoziative Gedächtnis lokalisiert Kosslyn konform zum aktuellen Forschungsstand³⁵ im Temporallappen. Sei dort keine Identifikation möglich, werde im restlichen Gedächtnis danach gesucht. Die so aufbereitete Information werde dann wieder in den „visuellen Puffer“ geschickt, die dortige Repräsentation so aktualisiert.³⁶

Übertragung auf die Mnemonik/ Ergänzung und Kritik

Ich selbst sympathisiere aus verschiedenen Gründen mit Kosslyns Modell. Zuerst lässt sich sagen, dass es derzeit die am weitesten entwickelte und empirisch bestgestützte Theorie ist.

Dass Information im Langzeitgedächtnis in propositionaler Form vorliegt halte ich für sehr wahrscheinlich, weil schon bei der Betrachtung von einfachen Neuronenverbänden mit ihren dynamisch polarisierten Zellen klar wird, dass diese nicht wie binäre Computer funktionieren können. Die exorbitante Menge an Erinnerungen bei vergleichsweise

³¹ Raspotnig, 1996, S. 44

³² (Ebd.)

³³ (Ebd.)

³⁴ Vgl. Nanay, 2008, S. 975

³⁵ “The cortical areas include the association areas in the prefrontal, parietal, and temporal cortex plus the cingulum and retrosplenial areas, each of which also play distinct roles in complex aspects of perception, movement, emotion, and cognition.” (Eichenbaum, 2008).

³⁶ Raspotnig, 1996, S. 45

wenig Zellen³⁷ spricht genauso dafür, wie die dynamische Beeinflussung verschiedener Hirnareale.

Die für die Mnemonik so wichtige Fähigkeit zur Assoziationsbildung passt ebenfalls zu einem propositionalen Langzeitgedächtnis. Meine These hierzu ist, dass bei Vorliegen einer Repräsentation nicht nur alle direkt zugrundeliegenden Nervenzellen aktiviert werden, sondern indirekt auch alle damit verbundenen, also irgendwie assoziierbaren Zellen und damit Gedächtnisinhalte bzw. Hirnfunktionen. Je nach Qualität der Verbindung wären einige Schlüsse naheliegender als andere, weil es zu einer stärkeren Aktivierung käme. Diese indirekt angesprochenen nachgeschalteten Zellen würden aber nicht aktiv, weil das postsynaptische Potenzial nicht stark genug wäre, um Aktionspotenziale auszulösen.³⁸

Ich bin weiterhin der Überzeugung, dass Vorstellung analog ablaufen kann, betrachte aber gleichzeitig die von Pylyshyn vorgestellte propositionale Vorstellung als genauso möglich. Hierfür gibt es nach meiner Sicht verschiedene Anhaltspunkte.

Nach hunderten von Selbstbeobachtungen in der hypnagogen Phase³⁹ in den letzten eineinhalb Jahren kann ich sagen, dass es möglich ist, sich gezielt in einen tranceartigen Zustand zu versetzen, in dem ausgehend von sehr wenig wahrgenommener Sinnesinformation gezielt Sinneseindrücke hervorgerufen werden können. Hierbei bemerkte ich, dass es einen sehr abrupten Übergang in der visuellen Wahrnehmung gibt: Vor dem inneren Auge erzeugte Bilder erscheinen plötzlich wie mit den physischen Augen gesehen.⁴⁰ Hierzu lassen sich außerdem Klarträume⁴¹ erwähnen, in denen sich die wahrgenommene Realität teilweise nicht von der Wachrealität unterscheiden lässt. Mit genügend Konzentration und Übung gelingt dieser ruckartige Übergang auch im Wachzustand, allerdings ist die Sicht meiner Erfahrung nach von geringerer Stabilität.

³⁷ Das Gehirn hat etwa 10^{11} Neurone (s. oben), während eine herkömmliche Festplatte mit 1 Terabyte Speicherkapazität bereits 10^{12} Bits belegt. Beim Gehirn entfallen gleichzeitig große Teile für komplexe Steuerungsfunktionen.

³⁸ Vgl. Reichert, 2000, S. 83

³⁹ **Hypnagogie:** Geht der Körper vom Wachzustand zum Schlaf über, schwindet nach und nach die eingehende Sinnesinformation. In dieser normalerweise nicht bewusst erlebten sogenannten hypnagogen Phase kommt es häufig zu falschen Sinneseindrücken visueller, auditiver, taktiler, vestibulärer oder multisensorischer Art (Nishino, 2011).

⁴⁰ Ich meine aber kein typisches Abschweifen der Gedanken samt plötzlichem „Wiederkommen in die Realität“, das jeder schon erlebt haben dürfte, denn hierbei ist keine bewusst steuernde Instanz mehr gegeben, man schweift ja gerade ab.

⁴¹ „Ein **Klartraum** (oft synonym zu **„luzider Traum“**) ist ein Traum, in dem sich der Träumer darüber im Klaren ist, dass er träumt, und dementsprechend das Traumgeschehen willentlich beeinflussen oder sogar aktiv deuten kann.“ (Klartraum-Wiki, 2012).

Für den Memorierungsprozess ist diese Technik natürlich von enormem Vorteil, da die Objekte in dieser Form der Vorstellung wesentlich deutlicher zu sehen sind als nur vor dem inneren Auge. Aus eigener Erfahrung kann ich sagen, dass sich ein so memoriertes Bild auch vor dem normalen inneren Auge besser „abrufen“ lässt. Da diese Fähigkeit nicht nur von Mensch zu Mensch verschieden, sondern überdies erlern- und verbesserbar zu sein scheint, muss sich ein neuronales Korrelat dazu finden lassen. Dazu sei kurz der Aufbau des visuellen Systems im Gehirn umrissen:

Die periphere visuelle Information wird durch von der Netzhaut über die sogenannte Sehbahn in den im Thalamus lokalisierten *Corpus Geniculatum laterale* geleitet, und von dort aus in den Occipitallappen, wo die Informationen zur Verarbeitung in den *primären visuellen Cortex* geleitet werden.⁴² Nach Verarbeitung im *primären und sekundären visuellen Cortex* gelangt die Information in die sekundären und tertiären Assoziationszentren des *unspezifischen Cortexes*, wo eine Gesamtintegration stattfindet, ohne die ein Verbleiben im Langzeitgedächtnis ausgeschlossen wäre.^{43 44}

Da dem Thalamus wichtige Aufgaben bei der Reizfilterung zukommen⁴⁵, vermute ich, dass der *Corpus Geniculatum laterale* für die Fähigkeit der direkten Visualisierung hauptverantwortlich ist. Dass eine „emotionale Beeinflussung“ des lateralen Geniculatum durch das limbische System vorliegt⁴⁶ spricht ebenfalls dafür, da mir die Reproduktion des Phänomens ja erst unter Aufbietung großen Interesses und vieler Konzentration gelang. Des Weiteren sei die *Formatio Reticularis* erwähnt, die ebenfalls über Zugänge von der Sehbahn verfügt und „maßgebend für den Bewußtseins- und Wachzustand, [und] die Akzentuierung von Sinneswahrnehmungen“⁴⁷ ist.

Das *Aufmerksamkeitsfenster* betreffend lässt sich folgendes sagen: Dass beim Bild des Auges ebenfalls nur in einem kleinen Bereich Details wahrgenommen werden können, nämlich innerhalb des gelben Flecks⁴⁸, für den eine neuro-topographische Entsprechung gefunden ist⁴⁹, spricht ebenfalls dafür, dass die Vorstellung analog zustande kommt, da auch hier nur im Bereich der Aufmerksamkeit Details wahrgenommen werden.

⁴² Vgl. Reichert, 2000, S. 12; Hubel, 1988, S. 46-47

⁴³ Vgl. Spektrum Akademischer Verlag, 2012; Wikimedia Foundation, 2012

⁴⁴ Vgl. Schroedel, 2005, S. 70

⁴⁵ Vgl. Schroedel, 2005, S. 112

⁴⁶ Vgl. Schroedel, 2005, S. 112

⁴⁷ Uni Düsseldorf, 2003

⁴⁸ Vitaelab, 2012

⁴⁹ Reichert, 2000, S. 13

Gegen Pylyshyns Sichtweise aus unbewussten propositionalen Verarbeitungen resultierender, rein epiphänomenaler Bilder spricht meiner Meinung, dass sich bei intensiver Übung innerhalb kurzer Zeit die Qualität der gewöhnlichen⁵⁰ visuellen Vorstellung verbessern lässt. Allerdings denke ich, dass solche epiphänomenale visuelle Vorstellung bei gewöhnlichen Denkprozessen entsteht, dabei aber unbewusst bleibt. Viele Menschen werden beispielsweise beim Hören des Wortes „Wasser“ unbewusst ein vages Bild eines Ozeanes vor dem inneren Auge haben. Ich halte also durchaus für wahrscheinlich, dass bei der Aktivierung propositionaler Information innere Bilder als Epiphänomen entstehen, diese allerdings auf analogem Wege zustande kommen. Hierbei frage ich mich, warum die vom Auge kommenden Signale durch die Vorstellung nicht überlagert bzw. überhaupt verändert werden. Am logischsten erscheint mir die Erklärung, dass die Codierung aus der Erinnerung abgerufener Information eine andere ist, als die von der Netzhaut kommender.

Während Kosslyn in seinem Modell lediglich visuelle und akustisch-verbale Vorstellungen berücksichtigt, halte ich die Erwähnung der motorischen Vorstellung für wichtig. Ausgehend von einer geistigen Repräsentation des Körpers⁵¹ denke ich, dass diese Komponente gerade bei der Manipulation von Objekten in der Vorstellung zum Tragen kommt, etwa wenn bei der Loci-Methode ein Objekt in der Vorstellung an einem Ort abgelegt, gedreht oder ineinandergesteckt wird. Bei der Ausübung dieser Techniken bemerkte ich, dass ich Objekte unbewusst mit einem vorgestellten Körper bewegte.

Die in der Loci-Methode ausgewählten Orte zeichnen sich dadurch aus, dass sie fest im Gedächtnis sitzen und somit eine sichere Basis für die in Bildern codierte Information ist. Dass diese Routen so gut erinnert werden, liegt womöglich auch an den *ortssensitiven Zellen*. Der Mediziner Manfred Spitzer berichtet von einer relativ kleinen Struktur im Hippocampus von Mäusen. Diese reagierten in spezifischer Weise, je nachdem wo im Testaufbau sich das Versuchstier gerade befand. Mithilfe von implantierten Elektroden konnte abgelesen werden, dass die aktivierten Zellen im Schlaf erneut aktiviert wurden, was zur These führte, dass diese Information im Schlaf dauerhaft im Langzeitgedächtnis verankert werde.⁵² Diese Forschungsergebnisse lassen sich auf den Menschen übertragen: Hält er sich wiederholt an den gleichen Orten auf, aktiviert dies im-

⁵⁰ Soll heißen „nur“ vor dem inneren Auge befindlich.

⁵¹ Gemeint ist das PSM der Selbstmodell-Theorie (Vgl. Metzinger, 2011, S. 16-22).

⁵² Vgl. Spitzer, 2003, S. 149-151

mer die gleichen ortssensitiven Zellen, wodurch der die Orte besonders gründlich im Gedächtnis verankert werden.

Ich halte es für naheliegend, dass sich der von Kosslyn postulierte Repräsentationsraum tatsächlich etwas anders gestaltet. Natürlich muss es bei einer analogen Generierung der jeweiligen Vorstellung ein Areal im Gehirn geben, an dem diese konkret stattfindet. Ich bin also ebenfalls der Meinung, dass der visuelle Puffer durch das visuelle Kurzzeitgedächtnis gebildet wird. Allerdings muss es für die auditive, semantische, taktil-vestibuläre und motorische Vorstellung somit entsprechende Bereiche geben. Da diese in der Vorstellung als einheitlich wahrgenommen werden, genau wie normaler Wahrnehmung, gehe ich von einem virtuellen Repräsentationsraum aus, dessen biologisches Korrelat verschiedene, über das Gehirn verteilte, aber integrierte „Puffernetzwerke“ sind. Die Integration findet möglicherweise über die bei Metzinger erwähnten synchronen Oszillationen⁵³ statt, was mit der momentanen Theorie zur Bewusstwerdung konform wäre.

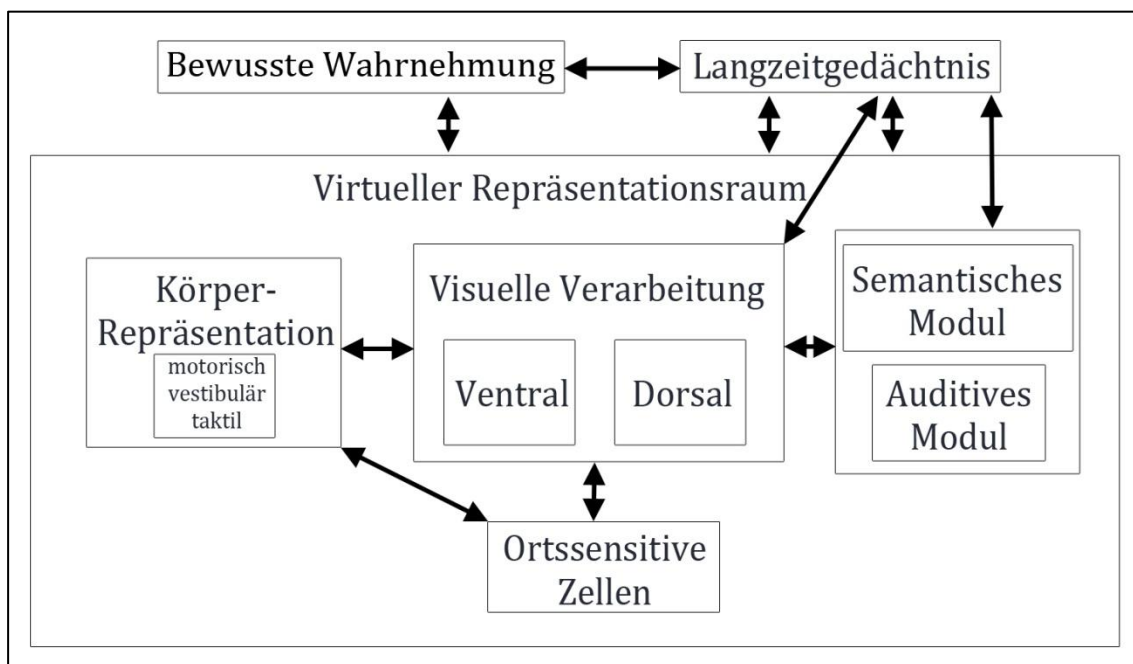


Abbildung 2: Erweiterte Vorstellungstheorie

⁵³ Vgl. Metzinger, 2011, S. 103-104

Praxis

Qualitätssteigerung

Es ist natürlich naheliegend, dass eine hohe Stabilität und Qualität⁵⁴ der visuellen Vorstellung für die Mnemonik von Vorteil ist. Diese sollte sich bei stetiger Übung und Anwendung der Techniken verbessern, da sich das Gehirn ja an seine Anforderungen anpasst. Ich mache darüber hinaus zwei Vorschläge, um schnelleren Fortschritt zu erzielen. Trägt man ihnen auf sich ein Bild vorzustellen, schließen viele Menschen instinktiv die Augen. Diesen Automatismus betrachte ich für die Zwecke der Mnemonik als äußerst unsinnig. Die Augen schließen zu müssen, während man z.B. im Straßenverkehr eine zuvor memorierte Verkehrsrouten abrufen, ist nicht nur unpraktisch sondern auch verantwortungslos. Aber vor allem auf Basis meiner Erweiterung von Kosslyn's Theorie ergibt es wenig Sinn. Da mit genügend nach innen gerichteter Aufmerksamkeit ein Übergang auf primär innere Bilder möglich zu sein scheint, liegt es nahe, immer mit geöffneten Augenlidern zu visualisieren. Die beanspruchten neuronalen Strukturen sollten ihre Signalwege und Integration mit der Zeit dadurch schneller verbessern. Der zweite Vorschlag ist, in gezielten Übungen bei stetiger Augenbewegung zu visualisieren. Repräsentationen im visuellen Kurzzeitgedächtnis können trotz Augenbewegungen, Zwinkern und anderen Störfaktoren bestehen⁵⁵, woraus ich folge, dass eine deutliche Verbesserung der Stabilität und Qualität der visuellen Vorstellung erreicht werden kann, wenn absichtlich mit mehr Störfaktoren visualisiert wird. Im Grunde genommen stellt das von den Augen kommende Bild ja auch eine Störquelle dar. Dieses Prinzip lässt sich leicht auf die auditive Vorstellung übertragen. Man könnte z.B. versuchen, innerlich eine Melodie oder einen Dialog „zu hören“, während man einer ablenkenden Geräuschquelle ausgesetzt ist oder bei eingeschalteter Musik ein Buch lesen.

Memorierungsprozess

Meiner Erfahrung nach lassen sich Bilder besser erinnern, wenn sie in der Vorstellung so groß sind, dass sie den überwiegenden Teil des vorgestellten Raumes einnehmen. Ich empfehle daher, sich kleine Gegenstände bei der Memorierung überdimensional groß vorzustellen. Ich möchte kurz einen möglichen Erklärungsansatz für diese Größenabhängigkeit der Erinnerung versuchen.

⁵⁴ Damit sind die Attribute Schärfe, Detailreichtum, Größe, Farbigkeit und Kontrolliertheit der Objektbewegung gemeint.

⁵⁵ "VSTM representations can survive eye movements, eye blinks, and other visual interruptions, and they may play an important role in maintaining continuity across these interruptions." (Luck, 2007)

Bei Reichert heißt es: „Visuelle kortikale Felder können lokalisiert werden, die kartographisch die Retina und damit das visuelle Umfeld abbilden.“⁵⁶ Ausgehend von einem modalen Ansatz liegt nahe, dass kortikalen Felder mit dem bei Kosslyn genannten Repräsentationsraum übereinstimmen, also Teil des visuellen Kurzzeitgedächtnisses sind. Demnach müsste ein in der Vorstellung mehr Platz einnehmendes Bild auch in diesen Feldern ebenfalls mehr Fläche und damit Zellen beanspruchen. Ob daraus folgt, dass auch mehr Bereiche im Langzeitgedächtnis aktiviert werden, sei dahingestellt. Gerade bei einem propositionalen Langzeitgedächtnis ist diese Idee nicht völlig überzeugend. Möglicherweise ist schlicht der Impuls größer, oder der Erklärungsansatz ist falsch.

Revision

Eine regelmäßige Revision aller memorierten Bilder auf allen inneren Routen aktiviert die zugrundeliegenden Neuronen und die verbindenden Synapsen, somit kann eine dauerhafte Festigung dieser Inhalte erreicht werden. Die eingangs gegebene Information im Hinterkopf behaltend, wonach inaktive Synapsen zurückgebildet werden, während aktive Synapsen stetig verbessert werden, lässt sich folgern, dass ein Bild umso länger erinnert werden kann, je häufiger es aktiviert wird. Einer Studie⁵⁷ zufolge sind Synapsen im Langzeitgedächtnis erst nach ca. 24 Stunden vollständig ausgebildet und funktionsfähig⁵⁸, woraus ich schließe, dass innerhalb von 24 Stunden nach der ersten Memorierung eines Bildes dieses am besten mehrfach abgerufen wird, um bis zu vollständigen Ausbildung der synaptischen Verbindung genug Reiz zu geben und dadurch das Bild sicher im Langzeitgedächtnis zu festigen. Hierfür spricht außerdem, dass während des Schlafes im Gehirn eine Reorganisation der Synapsen abläuft, bei der einerseits benötigte Synapsen gefestigt, andererseits nicht mehr benötigte Synapsen abgebaut werden.⁵⁹ Da der natürliche Schlaf-Wach-Zyklus etwa 24 Stunden umfasst, deckt sich die Stundenangabe hiermit. Sinnvoll erscheint dann außerdem eine vollständige Revision aller memorierten Bilder direkt vor dem Schlaf.

Die genaue Dauer bis zum Abbau der für die Speicherung eines Bildes verantwortlichen Synapsen bei nicht erfolgter Reaktivierung ist mir nicht bekannt. Eine Studie zum Protein *SynCAM1*, ohne das neu entstandene Synapsen relativ direkt wieder abgebaut werden⁶⁰, kommt zu dem Schluss, dass nach ca. zwei Wochen eine Veränderung bei der Ex-

⁵⁶ Reichert, 2000, S. 13

⁵⁷ Nägerl, Köstinger, Anderson, C., & Bonhoeffer, 2007

⁵⁸ Vgl. Science ORF, 2007

⁵⁹ Vgl. Czichos, 2011

⁶⁰ Vgl. biotechnologie.de, 2010

pression des Proteins stattfindet, die seine Wirksamkeit herabsetzt.⁶¹ Daher vermute ich, dass bei einmaligem Memorieren eines Bildes dieses mindestens zwei Wochen erinnerbar bleibt. Im Selbstversuch erinnerte ich ein memoriertes und nach 24 Stunden einmalig aktiviertes Bild auch zwei Monate später problemlos. In meiner Vorstellung legte ich verschiedene zufällig gewählte Objekte (einen Metallring, einen Stift, ein Auto, eine Partitur, eine Tastatur, einen Schlüssel, ein Megaphon, ein Nilpferd und eine Teekanne) auf einer Route ab. Nach 24 Stunden ging ich die Route in der Vorstellung einmal ab. Anschließend ging ich im Abstand von jeweils einer Woche zum nächsten Routenpunkt, um die gespeicherten Bilder nicht durch ein Abrufen zu festigen. Dabei konnten alle Objekte problemlos abgerufen werden, selbst trotz neunwöchiger Inaktivierung. Hierzu müssten genauere Forschungen angestellt werden, wobei eine repräsentative empirische Studie wahrscheinlich genauer wäre als eine rein neurologische Herangehensweise, bedenkt man die Verschiedenheit unterschiedlicher Gehirne und den jeweiligen Aufwand.

Erlernen des Major-Systems

Das für die Major-Methode elementare Code-System muss natürlich ins Langzeitgedächtnis übergehen, um nicht vergessen zu werden. Wieder davon ausgehend, dass durch die Verknüpfung mit möglichst vielen Funktionsbereichen des Gehirns eine festere Verbindung zu mehr Zellen entsteht und somit eine größere Sicherheit, mache ich einen Vorschlag für die konkrete Vorgehensweise beim Erlernen des Code-Systems:

Das Bild sollte vor dem inneren Auge erschaffen werden und dabei farbig und in möglichst vielen Details gesehen werden. Gleichzeitig sollte man innerlich wiederholt die zugehörige Zahl sagen. Außerdem stelle man sich vor, wie man die Zahl vor oder hinter dem Bild in die Luft schreibt. Über mehrere Tage sollte dies mehrfach täglich und mit äußerster Konzentration durchgeführt werden⁶².

Dieses Vorgehen dürfte zu einer besonders guten Integration der betreffenden visuellen, auditiven, semantischen und motorischen Module führen.

Damit bei der Nutzung dieser Bildercodes aber nicht jedes Mal eine umständliche Dekodierung ablaufen muss, sollte die Übersetzung von Bild zu Information und umgekehrt zu einem automatisierten, unbewusst ablaufenden Mechanismus werden. Dafür spielt eine Hirnstruktur namens *Striatum* eine Rolle. Sie ist für die Bildung des proze-

⁶¹ Vgl. Biederer, 2002, Properties of SynCAM

⁶² Vgl. Wolf, 2012, S. 63 Zeilen 45-51

duralen impliziten Wissens, also dem „Erlernen fester Routinen“ mitverantwortlich. Dieses „entsteht, wenn im Gedächtnis allmählich ein Reiz fest mit einer bestimmten Reaktion verknüpft wird“⁶³. Daraus lässt sich allerdings keine Übung ableiten, nur die Empfehlung zu häufiger Nutzung des Systems.

⁶³ Wolf, 2012, S. 65

Zusammenfassung

Nach einer sehr knappen Aufzählung der für das Verständnis wichtigen Grundfunktionen neuronaler Netze wurden verschiedene Theorien über Mechanismen zur visuellen Vorstellung im menschlichen Gehirn vorgestellt. Kosslyns Vorstellungstheorie wurde dabei am ausführlichsten dargestellt, da ich sie am überzeugendsten finde, unter anderem aufgrund eigener Erfahrungen mit Visualisierung, die mir mit dieser Theorie am besten erklärbar erscheinen. Dabei wurde auch eine Bestimmung einiger der für das vorgestellte Phänomen verantwortlichen neuronalen Korrelate versucht, mit dem Ergebnis, dass ein Zusammenspiel des *Corpus Geniculatum laterale* im Thalamus, der *Formatio Reticularis* und des visuellen Cortexes unter Einfluss des limbischen Systems dafür verantwortlich zu sein scheint.

Die Theorie Kosslyns wurde außerdem um weitere Dimensionen der Vorstellung ergänzt, nämlich der taktilen, vestibulären und motorischen. Dabei wurde die These einer Integration aller Sinnesvorstellungen in einem virtuellen Repräsentationsraum aufgestellt.

Für die konkrete Übung der mnemonischen Fähigkeiten machte ich Vorschläge, wie die Qualität der Vorstellung verbessert werden kann, bei gleichzeitiger Möglichkeit zur positiven Beeinflussung der eigenen Konzentration. Unter Verwendung des Grundwissens in Bezug auf die vorgestellte Theorie wurden überdies Ratschläge zur Revision des Gedächtnisses gegeben, wobei nur ungefähre, nichtrepräsentative Zeitspannen genannt werden konnten. Es wurde auch der Einfluss des Schlafes auf das Gedächtnis angesprochen.

Die Verankerung des Major-Systems im Gedächtnis betreffend wurde eine Fundierung versucht, sowie zur schnellen Automatisierung des Dekodierungsprozesses, was zu entscheidenden Vorteilen in der praktischen Anwendung führen soll. Für die gute Erinnerbarkeit der Routenpunkte bei der Loci-Methode wurde des Weiteren eine Erklärung gefunden.

Literaturverzeichnis

Biederer, T. (2002, August 30). *SynCAM, a Synaptic Adhesion Molecule That Drives Synapse Assembly*. Retrieved März 21, 2012, from Science:
<http://www.sciencemag.org/content/297/5586/1525.full>

biotechnologie.de. (2010, Dezember 14). *Lern-Protein regelt Abbau von Synapsen*. Retrieved März 21, 2012, from biotechnologie.de:
<http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/root,did%3D119368.html%3FlistBlId%3D74462>

Czichos, J. (2011, Oktober 10). *Schlafmangel beeinflusst Neuerschaltung von Hirnzellen in der Jugend*. Retrieved März 22, 2012, from Wissenschaft aktuell: http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Schlafmangel_beeinflusst_Neuerschaltung_von_Hirnzellen_in_der_Jugend1771015587988.html

Eichenbaum, H. (2008). *Memory*. Retrieved März 20, 2012, from Scholarpedia.org:
<http://www.scholarpedia.org/article/Memory>

Europäische Gesellschaft zur Förderung des Gedächtnisses e. V. (2011, Mai 26). *Begriffe Einprägen*. Retrieved März 18, 2012, from MemoryXL:
<http://www.memoryxl.de/gedaechnistraining/tipps-der-meister/begriffe-einpraegen.html>

Europäische Gesellschaft zur Förderung des Gedächtnisses e. V. (2011, Mai 31). *Grundlagen Gedächtnistraining*. Retrieved März 18, 2012, from Memory XL:
<http://www.memoryxl.de/gedaechnistraining/tipps-der-meister/grundlagen-gedaechnistraining.html>

Europäische Gesellschaft zur Förderung des Gedächtnisses e. V. (2011, Mai 25). *Zahlen Merken*. Retrieved März 18, 2012, from MemoryXL:
<http://www.memoryxl.de/gedaechnistraining/tipps-der-meister/zahlen-merken.html>

Guinness World Records. (2012). Retrieved März 4, 2012, from Guinness World Records:
<http://www.guinnessworldrecords.com/records-1/most-pi-places-memorised/>

Hubel, D. H. (1988). *Eye, Brain and Vision*. Scientific American Library.

Kiefer, J. (2002). *Gedächtnis als kulturwissenschaftliches und literaturtheoretisches Problem*. Retrieved Februar 25, 2012, from Lehrerwissen Online:
<http://www.lehrerwissen.de/textem/texte/essays/jens/memory/kap1.htm>

Klartraum-Wiki. (2012, Januar 13). *Klartraum*. Retrieved März 19, 2012, from Klartraum-Wiki:
<http://www.klartraum-wiki.de/wiki/Klartraum>

Luck, S. J. (2007). *Visual short term memory*. Retrieved März 07, 2012, from Scholarpedia.org:
http://www.scholarpedia.org/article/Visual_short_term_memory

Metzinger, T. (2011). *Der Ego Tunnel*. Berlin: BvT Berliner Taschenbuch Verlags GmbH.

- Nägerl, U. V., Köstinger, G., Anderson, J. C., C., M. K., & Bonhoeffer, T. (2007). *Protracted Synaptogenesis after Activity-Dependent Spinogenesis in Hippocampal Neurons*.
<http://www.jneurosci.org/content/27/30/8149.full>.
- Nanay, B. (2008, Juli 17). *Picture Perception and the Two Visual Subsystems*. New York.
- Nishino, S. (2011, Oktober 21). *Narcolepsy*. Retrieved März 19, 2012, from Scholarpedia.org:
http://www.scholarpedia.org/article/Narcolepsy#Hypnagogic_or_hypnopompic_hallucinations
- Rasputnig, M. A. (1996). *Visuelle Vorstellungen (Imagery) und Gefühlsmanagement*. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH - Europäischer Verlag der Wissenschaften.
- Reichert, H. (2000). *Neurobiologie*. Stuttgart: Thieme.
- Schleim, S. (2012, März). Die 7 größten Neuronmythen. *Gehirn und Geist* (4/2012), pp. 38-43.
- Schroedel. (2005). *Neurobiologie - Neurophysiologie und Verhalten*. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage.
- Science ORF. (2007, August 13). *Synapsenbildung erst nach 24 Stunden dauerhaft*. Retrieved Februar 27, 2012, from ScienceORF.at: <http://sciencev1.orf.at/news/149102.html>
- Spektrum Akademischer Verlag. (2012, März 20). *Lexikon der Neurowissenschaft - Assoziationscortex*. Retrieved März 20, 2012, from Wissenschaft Online:
<http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/neuro/952>
- Spitzer, M. (2003). *Nervensachen: Perspektiven zu Geist, Gehirn und Gesellschaft*. Stuttgart: Schattauer Verlag.
- Uni Düsseldorf. (2003, Juni 3). *Formatio Reticularis*. Retrieved März 20, 2012, from Universität Düsseldorf: http://www.uni-duesseldorf.de/MedFak/mai/zns/theorie/HHU/Na_Q/_8-www-1.htm
- Vitaelab. (2012). *Gelber Fleck*. Retrieved März 24, 2012, from Vitaelab:
<http://www.vitaelab.de/Gesundheitslexikon/Gelber-Fleck>
- Wikimedia Foundation. (2012, Januar 5). *Funktionelle Einteilung des Assoziationskortex'*. Retrieved März 6, 2012, from Wikipedia.org:
http://de.wikipedia.org/wiki/Assoziationskortex#Funktionelle_Einteilung
- Wolf, C. (2012, Januar). Der Autopilot im Kopf. (S. d. mbH, Ed.) *Gehirn und Geist* (1-2/2012), pp. 63-66.
- Yates, F. A. (1990). *Gedächtnis und Erinnern - Mnemonik von Aristoteles bis Shakespear*. Weinheim: VCH, Acta Humaniora.

Anhang

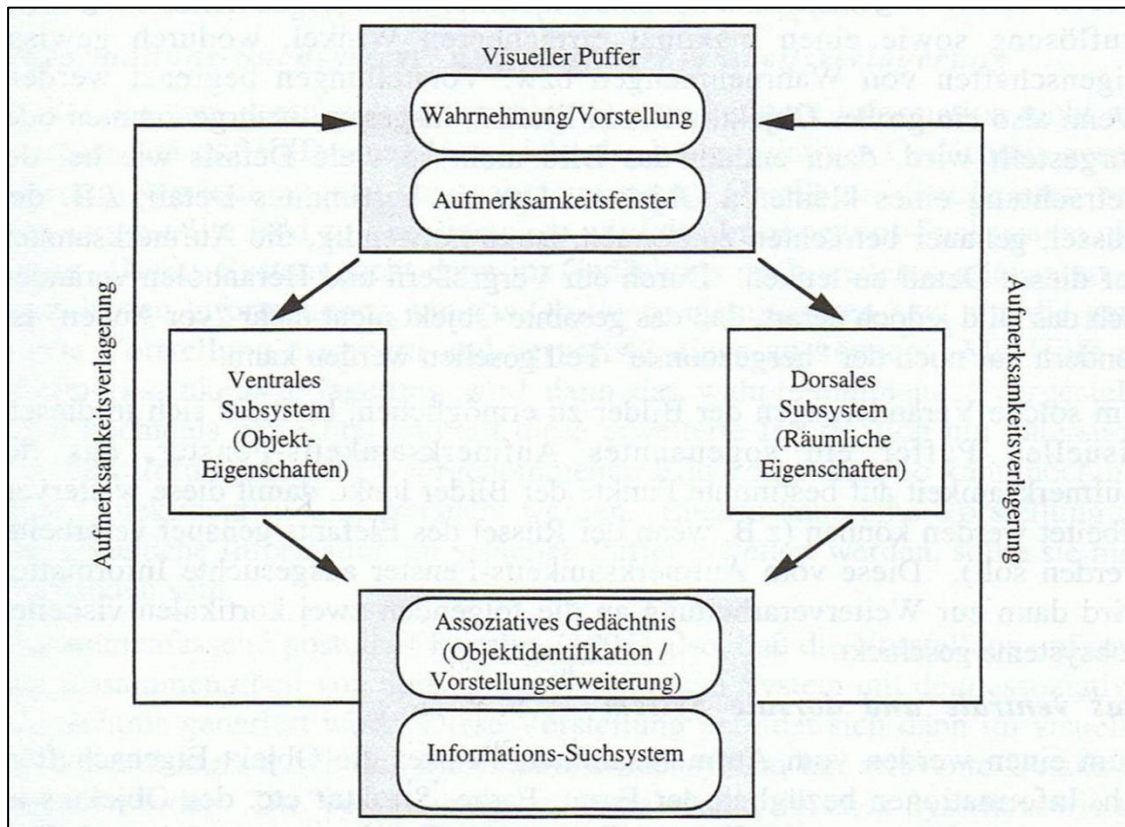


Abbildung 3: Kosslyn's Vorstellungstheorie (1994)⁶⁴

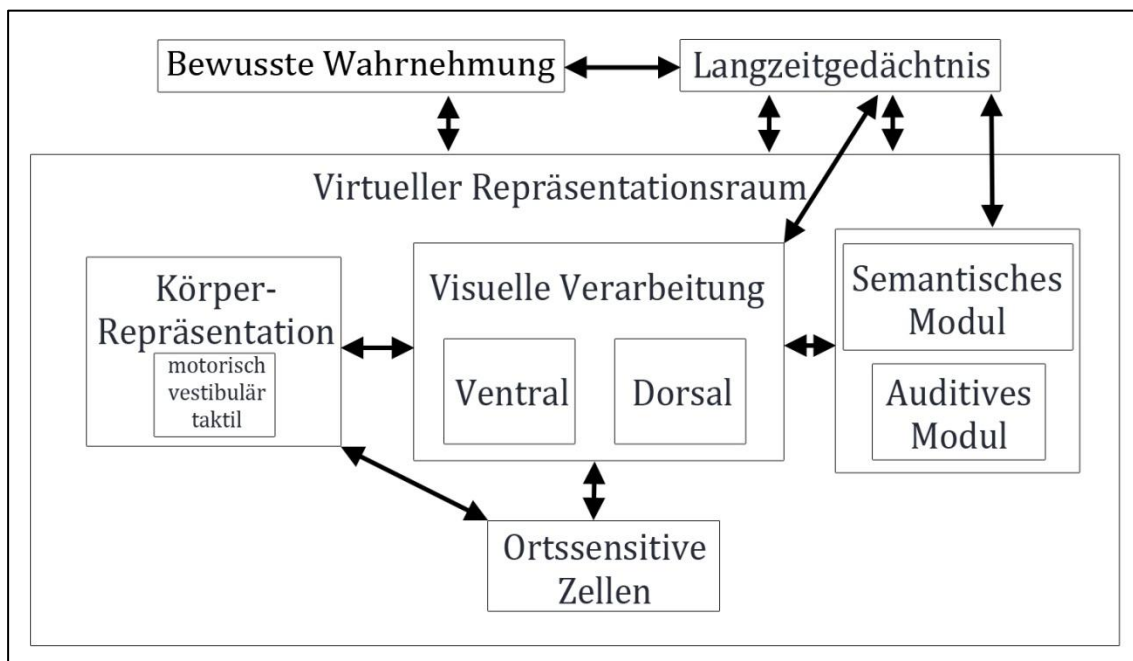


Abbildung 4: Erweiterte Vorstellungstheorie

⁶⁴ Raspotnig, 1996, S. 43