

Lernen mit *phase-6*. Review.

(Monika Gorin)

August 2009

Inhaltsverzeichnis

Kapitel1. Allgemeine Einführung in die Gedächtnistheorie.....	1
Das Gedächtnis	1
phase-6	1
Der Lernprozess	3
Kapitel 2. Die Funktionsweise von phase-6.....	5
Das Konzept der Speicherung der Gedächtnisinhalte	5
Die einzelnen Schritte des Programms.....	6
Erster Schritt: Triggern	6
Zweiter Schritt: Nachdenken.....	7
Dritter Schritt: Reproduzieren.....	7
Vierter Schritt: Vergleich der Antworten	7
Fünfter Schritt: Eigene Entscheidung.....	8
Kapitel 3.Fazit	9
Kapitel 4. Quellenverzeichnis.....	10

1 Kapitel. Allgemeine Einführung in die Gedächtnistheorie

1.1. Das Gedächtnis

Das Lernen und die Verarbeitung neuer und unbekannter Informationen basiert auf der Eigenschaft der Nervenzellen (Neuronen) neue Verbindungen miteinander herzustellen. Dies ist dank der besonderen Anatomie und Physiologie der Neuronen möglich. Feine Fortsätze der Nervenzellen, lange Axonen und kürzere Dendriten erlauben den Zellen einen Kontakt herzustellen, der über sog. Synaptische Verbindungen erfolgt, über diese Synapsen bilden die Zellen Netzwerke aus und tauschen ihre Informationen aus. Kommt eine bisher unbekante, noch nicht kodierte Information in das System ein, wird eine neue neuronale Verbindung hergestellt. Über die Frequenz der elektrischen Impulse die von einer Nervenzelle zu der anderen weitergegeben ist, wird eine entweder neu erworbene Information kodiert oder eine dem System (Gehirn) bekannte entsprechend modifiziert, wobei die Modifizierung entweder eine positive oder eine negative Richtung annehmen kann. Wird die gespeicherte Einheit oft durch die synaptische Verbindung weitergeleitet, kommt es zu einer Erregung und einer darauffolgenden Verstärkung neuronalen Bahnen, was eine Konsolidierung der Informationen zur Folge hat. Sie wird demzufolge „tiefer“ im Gedächtnis gespeichert, positiv modifiziert. In dem entgegengesetzten Fall, wenn die Information selten gebraucht wird, d.h. wenn der Informationsfluss in der Form elektrischen Impulsen abnimmt wird die synaptische Verbindung immer schwächer. Als Folge kann die Ablösung der synaptischen Verbindungen eintreten. Die Information wird „vergessen“

1.2. phase-6

phase-6 ist ein Lernprogramm das beliebige Inhalte wie Vokabeln, Fachtermini und Definitionen als diskrete Einheiten mithilfe vom Computer in Langzeitgedächtnis überträgt.

Das Programm ist so konzipiert, dass es gewährleistet, all die eingegebenen Inhalte zu assimilieren und ins Langzeitgedächtnis zu übertragen, vorausgesetzt der empfohlenen systemischen Vorgehensweise wird gefolgt.

Erkenntnisse aus der Gedächtnisforschung wurden verwendet um die optimalen Voraussetzung für die Beförderung der Lerninhalte ins Langzeitgedächtnis zu erschaffen. Das Speichermedium sind die Nervenzellen und deren Verbindungen untereinander. Es gibt 100 Milliarden dieser Zellen, und jede einzelne ist mit bis zu 10 000 anderen verbunden. Bereits bei der Geburt eines Menschen sind alle Nervenzellen voll entwickelt, was nicht bedeutet dass sich das Organ in einer stationären Phase befindet. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Neuronen verändern sich während des weiteren Lebens noch

ständig. Dafür verantwortlich sind verschiedene Prinzipien. Das für unsere Betrachtung interessant, ist das Prinzip das bereits 1949 vom Hebb entdeckt wurde (siehe Schwartz, 1996; Smolensky, 1989). Diesem Prinzip zufolge konkurrieren einzelnen Neuronenverbindungen um das Bestehen jeweils diejenigen Verbindungen, welche am häufigsten innerviert wurde, miteinander. Nervenzellenverbindungen die selten erregt werden, also seltener aktiv sind und dementsprechend seltener feuern, ziehen sich zurück, werden schwächer. Als Folge tritt dann der Abbau der Verbindung oder gar ganzen Zellen auf. Dadurch entsteht ein, auf die Synchronisation von sensorischen und motorischen Neuronen bezogen, hochoptimiertes Nervenfasernetz.

„What fires together, wires together“ (Hebb, 1949)

Je häufiger ein Neuron A gleichzeitig mit einem Neuron B aktiv ist, umso stärker und bevorzugter werden die beiden Neuronen aufeinander reagieren. Dies hat Hebb anhand von Veränderungen der synaptischen Übertragung zwischen Neuronen nachgewiesen. Hebb gilt als Entdecker der synaptischen Plastizität, welche die neurophysiologische Grundlage vom Lernen und Gedächtnis darstellt.

Nur durch das Prinzip der Assoziation funktional und physikalisch miteinander verbundenen Neuronen, das die gesamte Lebensspanne eines biologischen Systems, wie eines Menschen, andauert, ist ein immerwährendes Lernen gewährleistet. Es ist ein hochkomplexer und durchaus aktiver Prozess. Stets werden Nervenfaserverbindungen neu miteinander verschaltet oder die bestehende Verschaltung wird reorganisiert. Das Gehirn besitzt dadurch einen Lernmechanismus ohne dass es irgendeine expliziten Anweisungen benötigt (siehe Hinton, 1992).

Explizites (deklaratives) Wissen wie Fakten, Ereignisse, oder Vokabeln wird nach folgenden Prinzipien gespeichert: Enkodierung – Konsolidierung – Speicherung – Abruf.

Enkodierung beschreibt ein Prozess bei dem die neuankommenden Informationen aufgenommen und prozessiert werden. Der Ausmaß und die Art der Enkodierung sind die kritischen Größen bei der Determinierung, wie gut eine gelernte Information später „erinnert“ wird. Deswegen muss die Lerneinheit gründlich und tief kodiert werden. Die Kodierung erfolgt systematisch und wird oft an das schon vorhandene Wissen assoziativ oder integrativ gekoppelt. Motivation des Lernenden verstärkt die Enkodierung der Informationen.

Konsolidierung beschreibt den Prozess der Modifikation der Informationen und damit die Bildung einer dauerhaften Gedächtnisspur (*structural trace*), um sie stabil für das Langzeitgedächtnis zu machen (siehe Birbaumer & Schmidt, 1991). Dieser Prozess involviert entsprechende Genexpression und Synthese von neuen Proteinen, die strukturelle Änderungen der Neuronen und deren Verbindungen hervorrufen und somit den Gedächtnisspeicher stabil machen.

Speicherung nennt die Mechanismen die zur Beibehaltung des Gedächtnisinhaltes führen. Eine markante Eigenschaft des Langzeitgedächtnisses ist deren beinahe unbegrenzte Kapazität, wogegen das Kurzzeitgedächtnis sehr limitierte Kapazität besitzt.

Abruf beschreibt diejenigen Prozesse, die erlauben das Abrufen und Benutzen der gespeicherten Informationen. Verschiedene Informationen, die separat voneinander in unterschiedlichen Speicherregionen gespeichert werden, werden zusammen gebracht (siehe Schwartz, 1994; Squire & Kandel, 1996)

1.3. Der Lernprozess

Ein Lernstoff kann nicht schlagartig in einem einzigen Schritt ins Gedächtnis eingespeichert werden. Der Lernprozess verläuft in mehreren Schritten. Der Lerninhalt, dem die Aufmerksamkeit geschenkt wird, gelang zuerst über ein sensorisches Register in einen Kurzzeitgedächtnis (KZG). Die Informationen im Register werden sehr kurz gehalten, ca. 0,5 sec (siehe Sperling, 1963). Das KZG hat eine begrenzte Kapazität, die Informationen liegen dort in einer instabilen Form vor und werden ca. 30-60 sec gehalten. Im KZG wird der Inhalt ziemlich unverändert mit allen begleitenden Informationen anderen Sinnesmodalitäten erhalten (wie Geruch oder zusätzliche Akustische Reize aus der Umgebung). Danach wird entschieden ob die Informationen ins Langzeitgedächtnis (LGZ) gelangen sollen oder verworfen werden (siehe Atkinson & Shiffrin, 1965, 1971).

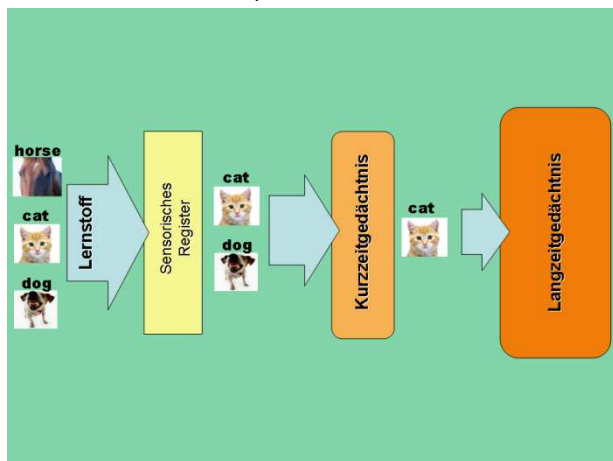


Abb. 1: Speichermodell nach Atkinson & Shiffrin

Die Grundfunktion des Langzeitgedächtnisses ist, um mit Klix (1977) zu sprechen, "... in der zeitstabilen und störresistenten Einlagerung von Informationen, die aus äußeren oder inneren Rezeptorregionen in zentralen Abschnitten des Nervensystems eintreffen", zu sehen. Für diese dauerhaften "Einlagerungen" von Gedächtnisinhalten in der Großhirnrinde (Cortex) werden die Veränderungen als entscheidend angesehen, die sowohl zwischen den einzelnen Neuronen (interzellulär) als auch innerhalb einer Nervenzelle (intrazellulär) stattfinden. Auf dem Weg ins Langzeitgedächtnis durchlaufen die zu lernende Informationen

eine erhebliche Umstrukturierung. Alle begleitenden Störungen, die für den Kern der Information unwesentlich sind, werden verworfen, wie z.B. zusätzliche akustische Reize aus der Umgebung die beim Vokabellernen mitgespeichert wurden. Demzufolge bedeutet die Umformung des Gedächtnisinhaltes, die zur Speicherung ins Langzeitgedächtnis führt, einen Verlust an Informationen. Nur der Kern der Information wird gespeichert, z.B. eine Vokabel.

Wie schon erwähnt, beruht das Langzeitgedächtnis auf der Synthese neuer Proteine und der Ausbildung neuer synaptischen Verbindungen. Eine sehr wichtige Station für die Speicherung expliziter Gedächtnisinhalte ist bei Menschen der Hippocampus, eine anatomische Struktur im Gehirn. Es ist eine Eingangsstruktur für Gedächtnisinhalte und eine Durchgangsstation. Es liegen Hinweise vor, dass Neuronen in dieser Struktur genau jene Plastizität aufweisen, die man für die Bildung expliziter Erinnerungen fördern musste. Der Hippocampus besitzt drei wichtige afferente Verbindungswege (ankommende) und unterschiedliche Neuronentypen. Wenn an der synaptischen Verbindung eine präsynaptische Reaktion hochfrequenter ankommt, d.h. die Aktivität der Nervenzelle die das Signal über die synaptische Kontakte an die weitere Nervenzelle leitet steigt, wird das Signal an der postsynaptischen Seite der Verbindung (also an der verbundenen weiteren Nervenzelle) auch erheblich erhöht. Diese Steigerung des Signals hält mehrere Minuten an. Es tritt sog. LTP auf (Langzeitpotenzierung, *long-term potentiation*). Diese elektrochemische Signalverstärkung an den Synapsen der Nervenzellen verursacht biochemische Veränderungen in den Zellen selbst. Über mehrere Schritte der Signalkaskade in den Nervenzellen, gelangt ein internes chemisches potenziertes Signal, der durch die LTP in Gang gesetzt wurde, zu dem Zellkern. Dort wird die transkriptionelle Maschinerie der DNA angetrieben um die Gene für bestimmte Strukturen abzulesen, die eine morphologische Änderung der Nervenzellen zur Folge haben. Gene werden transkribiert und die Proteine werden synthetisiert, die z.B. für die bessere Leitfähigkeit oder Kapazität verantwortlich sind und somit für die Schnelligkeit und Effizienz der Signalweiterleitung durch die Nervenbahnen. Es werden neue synaptische Verbindungen geknüpft. Zuerst wird das Gerüst der Zelle verändert indem vermehrt die Gene für das Skelett der Zelle (Cytoskelett) transkribiert werden. Es führt zur Oberflächenänderungen an den Nervenzellen. Es kommt zur Ausbildung von pilzförmigen Ausstülpungen der Zellmembran, die keine starren Strukturen sind, sondern vielmehr auf die reizreiche Stimulation mit morphologischen Änderungen reagieren. Diese dendritischen Dornen werden *Spines* genannt, sie sind extrem klein (in sub- μm Bereich). Deren Form (Dicke und Länge) ist an die Plastizität des Gehirns und somit an das Lernen gekoppelt (siehe Harris & Stevens, 1989; Harris & Jensen, 1992). Sie verhelfen den Nervenzellen zueinander zu finden indem sie die erste Kontaktstelle binden. *Spines* spielen auch eine wichtige Rolle bei der Herstellung der synaptischen Verbindungen zwischen

zwei Neuronen. Die Effektivität der Nervenverbindungen wird gesteigert. Die nächsten ankommenden Signale können somit viel effizienter weitergeleitet werden, was bessere Speicherung und Abrufung der Gedächtnisinhalte unter anderem zur Folge hat.

So ein verstärktes Signal kann in den Cortex weitergeleitet werden. Die entsprechenden Cortexstrukturen zeigen nicht so eine starke Aktivierungsbereitschaft wie die Strukturen im Hippocampus, sie sind jedoch für die endgültige Speicherung der Gedächtnisinhalte von entscheidender Bedeutung. Die Informationen im Cortex werden viel langsamer gespeichert. Die Zellen der Großhirnrinde reagieren viel träger auf die Intensität der Feuerrate als die Zellen des Hippocampus. Demzufolge findet im Cortex ein langsames Lernen statt, wobei die gespeicherten Inhalte dafür viel beständiger sind und werden nicht so schnell modifiziert. Die Aktivierung des Cortex für die effektive Speicherung der Gedächtnisinhalte geht mit vielfachem Wiederholen einher (siehe Merzenich, 1988; Hawkins & Kandel, 1993; Dudai, 1989).

2 Kapitel . Die Funktionsweise von phase-6.

phase-6 ist entwickelt worden, um Lerninhalte ins Langzeitgedächtnis abzuspeichern. Das Konzept erschafft die nötigen Bedingungen um die Inhalte effektiv ins Kurzzeitgedächtnis zu befördern und dann später durch notwendige Wiederholung die Lerneinheiten zu festigen und in einer sicheren und beständigen Form im Cortex abzuspeichern, wo sie dann immer abrufbar sind.

2.1. Das Konzept der Speicherung der Lerninhalte

Im ersten Schritt wird eine Lerneinheit eingegeben. Im Eingabefenster tippt der Benutzer den Inhalt ein. In der einen Spalte befindet sich das Bekannte und in der anderen Spalte das Unbekannte. In einem alternativen Fall beim Erwerb einer Einheit eines beispielweisen Verlages, wird die Lerneinheit nicht eingegeben sondern befindet sich in phase-0 und muss einmalig „aktiviert“ werden. Folglich wird die richtige Antwort kopiert was dem Eingabeprozess äquivalent ist Demzufolge ist die erste Sinnesmodalität, die an dieser initiierenden Handlung des Lernprozesses beteiligt ist, das Sehvermögen. Die Fotorezeptoren der Retina im Auge reagieren auf die visuellen Reize, die an das Eintippen beispielweise einer Vokabel gekoppelt sind und leiten die Informationen entlang der beiden Sehnerven. Die Informationen werden durch die Frequenz der Erregung der Nervenzellen sog. Feuerrate wiedergegeben. So kodierte Informationen werden zuerst getrennt, dann aber ab dem Chiasma opticum zusammen in den Thalamus geleitet. Thalamus bilden den

größten Teil des Mittelhirns und besteht aus mehreren Kernen, die eine dichte Ansammlung von Nervenzellen darstellen. Von dort aus werden die weiteren Informationen zu der Großhirnrinde (Cortex) geleitet. In dem Fall von visuellen Reizen ziehen sich die visuellen Nervenbahnen vom Thalamus Richtung den okzipitalen Lappen des Gehirns, das sich im hinteren Gehirnteil befindet. Dort, in der primären visuellen Großhirnrinde, werden die ersten visuellen Reize verarbeitet. Von dort, werden die unprozessierte visuelle Reize über zwei Nervenbahnen (*pathways*) zu anderen Teilen des Gehirns weitergeleitet, vorwiegend in den parietalen Cortex und in den temporalen Cortex (siehe Gregory, 1978; Marr, 1982). Obwohl das Gehirn Regionen besitzt, die bevorzugt Informationen bestimmter Modalitäten speichert (z.B. visuelle oder akustische Reize), sind die kodierten Abbildungen der Sinnesmodalitäten keinesfalls in starr abgegrenzten Bereichen gespeichert, auch wenn die Anhäufung der Informationen eines Typs in jeweiligen Gehirnregionen stärker repräsentiert ist. Vielmehr sind die Informationen in diskreten Einheiten über die gesamte Großhirnrinde verteilt. Das hat eine wichtige Auswirkung auf die Verteilung und Abrufung der Gedächtnisinhalte (siehe Churchland, 1997).

2.2. Die einzelnen Schritte des Programms

2.2.1. Erster Schritt: Triggern

Lernen ist kein einheitlicher Vorgang, es erfolgt in mindestens zwei Hauptformen. Impliziertes Lernen kommt in sehr vielen Bereichen vor, ist oft verdeckt und reflektorisch, bedarf keiner besonderen Aufmerksamkeit. So werden beispielweise bestimmte Sinneseindrücke memoriert, Assoziationen zwischen einzelnen Eindrücken und Gedächtnisinhalten aufgebaut oder motorische Feinabstimmungen durchgeführt (vgl. Churchland, 1997). Die klassische Konditionierung oder Habituation sind die bekanntesten Formen des implizierten Lernens. Dagegen setzt explizites Lernen bewusste Aufmerksamkeit des Lernenden voraus. Beide Formen des Lernens sind in der Lage bestimmte Inhalte ins Langzeitgedächtnis zu überführen.

Nachdem die einzelnen Lerneinheiten eingegeben wurden, erfolgt ein weiterer Schritt, der nicht zwangsläufig zeitlich gleich der Eingabe erfolgen muss. Es ist die Abfrage. Das Programm generiert eine nach dem Zufallsprinzip basierende Abfragereihenfolge. Der Benutzer versucht die richtige Antwort einzugeben. Die Informationen die sich im Kurzzeitgedächtnis befinden, werden mit unterschiedlicher Intensität dort gespeichert. Die ist wiederum von dem schon vorhandenen Wissen, von persönlichen Präferenzen, von dem Konzentrationsgrad abhängig ist, welcher die Speicherung (Eintippen der Lerneinheiten) begleitete. Die Fokussierung und das Konzentrationslevel steigern die Aktivität der Neuronen in verschiedenen Gehirnregionen, in welchen die Informationen gespeichert wurden. Die

Feuerrate wird erhöht was wiederum zu der Ausbildung der synaptischen Verbindungen zwischen Neuronen führt, die bei der Kodierung der gespeicherten Einheiten beteiligt sind. Je stärker und hochfrequenter die Aktivität zwischen zweier Neuronen ist, desto stärker und stabiler wird deren Verbindung. Die Informationen an deren Speicherung diese Neurone beteiligt sind, werden dadurch gründlicher kodiert.

2.2.2. Zweiter Schritt: Reproduzieren

Das selbständige eintippen der Lerneinheiten ist ein weiterer wichtiger Schritt beim Lernprozess. Es erfordert vom Benutzer ein gewisses Maß an Fokussierung und Konzentration. Es wird genau überprüft ob das Einge tippte tatsächlich korrekt und fehlerfrei eingegeben wird, da sich die weiterfolgende Abfrage genau an das eingespeicherte Version des Inhalts orientiert. Konzentration steigert die Wahrscheinlichkeit der Speicherung der eingegebenen bzw. erlernten Inhalte, indem es die neuronalen Bahnen stärkt.

Bei der Abfrage erscheinen ein Fenster mit der Frage und ein leeres Fenster für die Antwort. Die muss vom Benutzer selbständig eingegeben werden.

Wenn die gefragte Lerneinheit wiedergegeben werden kann, verstärken sich schon vorhandene neuronale Verbindungen, die Information wird stabiler und somit erfolgt der erste Schritt auf dem Weg ins Langzeitgedächtnis. Die vorher gespeichert visuelle Reize werden mithilfe von der Motorik (Bewegung der Finger auf der Tastatur) wiedergegeben. Dadurch entsteht eine zusätzliche Querverbindung zwischen den Bereichen im Cortex die in dem bestimmten Kontext der Lerneinheit direkte oder indirekte Verbindungen eingehen. Der Bereich in dem die Lerneinheit subsymbolisch und verteilt repräsentiert ist, wird vergrößert. Diese verteilte Repräsentation im Gehirn erleichtert wesentlich das Zurückgreifen auf die gespeicherte Information, steigert die Abruferfolgsrate.

2.2.3. Dritter Schritt: Vergleich der Antworten.

Nachdem die Lerneinheit vom Benutzer ins Programm eingetippt wurde, erfolgt der Vergleich der Antwort mit der früher eingegebenen oder vom Verlag vorgegebenen Referenzeinheit (= „Richtige Antwort“). Wenn die Antwort vom Benutzer korrekt angegeben wurde, wird sie nicht farblich unterstrichen. Im Falle von falscher Wiedergabe, wird die richtige Antwort angezeigt, um den Benutzer auf die korrekte Schreibweise aufmerksam zu machen. Der Unterschied wird im Gehirn schneller kodiert, die korrekte Version der Lerneinheit wird gespeichert. Die neuronalen Verbindungen im Gehirn werden gestärkt.

Wenn der gefragte Lerninhalt falsch angegeben wurde, muss sie vom Benutzer erneut eingegeben werden. Die erneuten visuellen Reize, gebunden an den aktiven Aufmerksamkeitszustand des Benutzers, entweder stärken die zu schwache neuronale

Verbindung oder sie tragen zu der Ausbildung neuer synaptischen Verbindungen bei. Die Aufmerksamkeit (Benutzer wiederholt die Lerneinheit in deren korrekten Form) erhöht die Feuerrate der Neuronen, die synaptischen Verbindungen werden stärker, die Impulsübertragung wird erhöht, es tritt ein neuronaler Lerneffekt auf.

2.2.4. Vierter Schritt: eigene Entscheidung

Nach dem Vergleich der eingegebenen Inhalte mit der Referenz, erfolgt die Entscheidung über die Richtigkeit der reproduzierten Lerneinheiten. Das Programm übernimmt die Entscheidung nicht, es erfolgt zwar eine mechanistische Kontrolle der Inhalte durch das Programm, jedoch kein mechanistisches endgültiges Ergebnis. Der Benutzer hat somit die Möglichkeit, die Antwort genau auf die Inhalte zu überprüfen und sie ggf. trotz der Warnung des Programms, als richtig einzustufen. Dadurch besitzt der Benutzer selbst die Kontrolle über den Fortschritt des Lernens und über die Gewichtung der gemachten Fehler. Das ist ein wichtiger Punkt beim Lernprozess, es stellt den Benutzer über das Hilfsmedium, er bewertet selbst die Richtigkeit der Antworten. Es ist ein starker Motivationsschub, dass sowohl das Erfolgserlebnis tiefer und stärker spüren lässt, als auch den Misserfolg „erträglicher“ macht, weil die Fehler nur durch eigene Entscheidung zu Fehler werden. Es besteht kein Täuschungsbedarf weil der gemachte Fehler zu keinem Erfolgserlebnis umgewandelt werden kann. Die gemachten und anerkannten Fehler steigern die Eigenmotivation bei der nächsten Abfrage weniger, womöglich keine Fehler zu machen.

Die einzelnen Schritte werden bei jedem Starten des Programms wiederholt. Der Lerneffekt basiert jedoch nicht ausschließlich auf diesen fünf groben Schritten, sondern der Erfolg der Übertragung jeweiligen Lerneinheiten ins Langzeitgedächtnis liegt in der Wiederholung. Wie erwähnt, liegt die Konsolidierung der Gedächtnisinhalte in deren ständigen Wiederholung. Auf diesem Wege werden die Inhalte ins Langzeitgedächtnis im Cortex übertragen und dort in einer sicheren und beständigen Form verwahrt. Die Inhalte sich stabil und abrufbar.

Durch bewusste Wiederholung kann man dem Gedächtnis helfen die Informationen besser zu speichern. Das wurde schon von Ebbinghaus (1885) beobachtet und nachgewiesen.

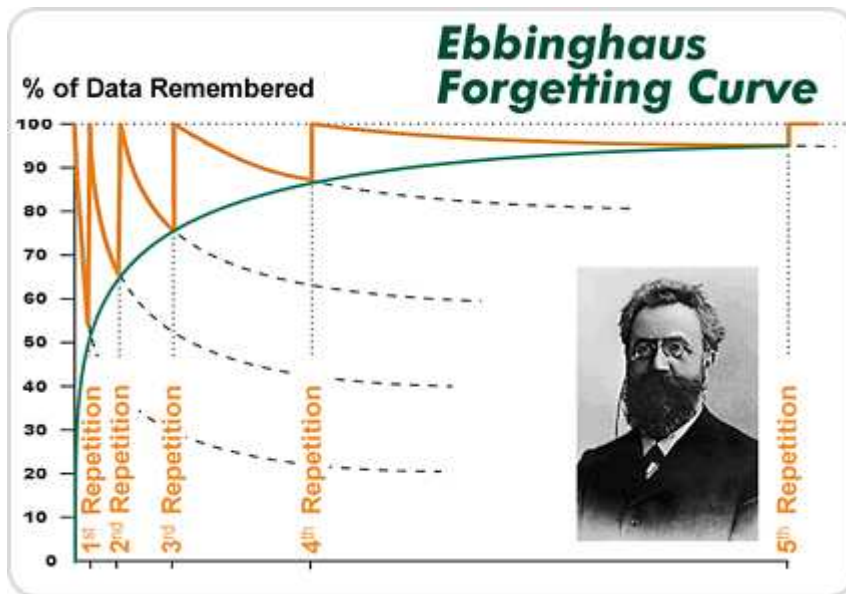


Abb.2: Vergessenskurve adaptiert nach Ebbinghaus (1885).

Seine Kurve veranschaulicht dass die Behaltensleistung mit der Zeit deutlich abnimmt. Vor allem in der ersten Zeit nach dem Lernen ist die negative Steigung der Kurve besonders steil, die Vergessensrate somit besonders hoch. Das ist die Zeit die dem Kurzzeitgedächtnis entspricht. Mit der zeit pendelt sich die Behaltensleistung ein und sinkt deutlich langsamer.

Im Jahre 1988 erkannte Dempster dass durch zeitlich verteiltes Lernen oder Üben bessere langfristige Behaltenserfolge erzielt werden als bei massierten Lernen oder Üben. Diese Tendenz wurde Spacing-Effekt (*spacing effect*) genannt. Die Informationen werden besser beibehalten, wenn die einzelnen Wiederholungen über die Zeit verteilt sind. Das Programm Phase6 erstreckt die automatische Abfrage über sechs Stufen. Die Intervalle zwischen den einzelnen Phasen wachsen exponentiell. Es ist wichtig um den Resultaten der Vergessenskurve entgegenzuwirken. Die wachsenden Abstände zwischen den jeweiligen Abfragen verstärken den Spacing-Effekt und ermöglichen somit die Verstärkung der synaptischen Verbindungen was einen langfristigen Lerneffekt zur Folge hat.

3 Kapitel . Fazit

phase-6 ist ein Lernprogramm das nach den wissenschaftlichen Prinzipien aus den Neurowissenschaften konzipiert wurde. Die einzelnen Schritte des Programms, die im vorherigen Kapitel diskutiert wurden, sprechen verschiedene Sinnesmodalitäten an, was zu einer verstärkten und breitliegenden Kodierung der Informationen führt. Die exponentiell wachsenden Abstände, deren Konzept sich auf der Ebbinghaus Theorie und dem Spacing-Effekt stützt, tragen zu einer langfristigen und festen Speicherung der Lerneinheiten bei, was zu einem besseren Lerneffekt führt. Die moderne dennoch schlichte Oberfläche und viele

nützliche Funktionen des Programms beeinflussen auf positive Art und Weise die Eigenmotivation des Lernenden.

4 Quellenverzeichnis:

Atkinson RC, Schiffrin RM. 1971. The control of short term memory. *Sci Am* 225(2):82-90.

Migaud M, Charlesworth P, Dempster M, Webster LC, Watabe AM, Makhinson M, He Y, Ramsay MF, Morris RG, Morrison JH, O'Dell TJ, Grant SG. 1998 Enhanced long-term potentiation and impaired learning in mice with mutant postsynaptic density-95 protein. *Nature*. Dec 3;396(6710):433-9

Dudai Y. 1989. *The Neurobiology of Memory: Concepts, Findings, Trends*. Oxford: Oxford Univ. Press.

Hawkins RD, Kandel ER, Spiegelbaum SA. 1993. Learning to modulate transmitter release: themes and variations in synaptic plasticity. *Annu Rev Neurosci* 16:625-665

Hebb DO. 1949. *The Organization of behavior: A neuropsychological Theory*. New York: Wiley.

Hinton GE. 1992. How neural networks learn from experience. *Sci Am* 1992 Sep;267(3):144-51.

Keisler A, Willingham DT. 2007. Non-declarative sequence learning does not show savings in relearning. *Hum Mov Sci*. Apr; 26(2):247-56.

Merzenich MM, Recanzone EG, Jenkins WM, Allard TT, Nudo RJ. 1998. Cortical representational plasticity. In: PR Rakic, WR Singer (eds). *Neurobiology of Neocortex*, pp. 41-67. New York: Wiley.

Schwartz B, Robbins SJ. 1994. *Psychology of Learning and Behaviour*. 4th ed. New York: Norton.

Sperling G, 1963. A model for visual memory tasks. *Hum Factors* Feb;5:19-31.

Squire LR, Kandel ER. 1999. *Memory: mind to molecules*. New York: Sci Am Lib1.

Stevens C, Wang Y. 1994. Changes in reliability of synaptic function as a mechanism for plasticity. *Nature* 371:704-707.

Wilsaan M, Joiner and Maurice A. 2008. Long-Term Retention Explained by a Model of Short-Term Learning in the Adaptive Control of Reaching. *J Neurophysiol* 100:2948-2955

Wixted J, Carpenter SK. 2006. The Wickelgren Power Law and the Ebbinghaus Saving Functions. *Psychol Sci.* Feb; 18(2):133-4.