

Henning Scheich

## **Lern- und Gedächtnisforschung**

Schulentwicklung mit Hilfe der Neurobiologie?

Dieser Beitrag befasst sich mit Untersuchungen zu Lern- und Gedächtnisproblemen in dem Kontext von Alltagslernen, das heißt also Lernen von Informations- und Problemlösungsstrategien, wie sie sowohl im tierischen wie im humanen Alltag vorkommen. In Bezug auf den schulischen Kontext stelle ich mir vor, dass der Versuch, der in der Schule stattfindet, in äußerst komprimierter Form das gesamte menschliche Wissen in Kinderköpfe zu bringen, diese Systeme bis an die Grenzen fordert. Deshalb ist es relevant zu beobachten, unter welchen extremen Bedingungen diese Systeme noch vernünftig arbeiten und wie man es erreicht, dass sie unter diesen Bedingungen auch optimal funktionieren.

Zunächst geht es um das Thema „Lernen in unreifen Gehirnen“. Erst am Ende der Pubertät sind Gehirne völlig ausgereift. Bis zu diesem Zeitpunkt sind alle Lernprozesse nicht nur Abspeicherungsprozesse, sondern auch Strukturierungsprozesse des Gehirns. Des Weiteren werde ich die Problematik der „Übertragung vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis“ sowie das Belohnungssystem bei Problemlösungsstrategien darstellen. Nachdem kurz auf das Lernen im sozialen Kontext eingegangen wurde, behandelt der Beitrag abschließend das kategoriale Lernen, also die Frage, wie man multiple Erfahrungen sozusagen konzeptionell ordnet und was das Gehirn dabei tut.

## **Informationsübertragung im Gehirn**

Die Nervenzellen im Gehirn sind miteinander über Synapsen verbunden. Diese Synapsen sind das Kernstück von Lernprozessen. Eine Nervenzelle besteht aus dem Zellkörper, seinem Kern sowie dem darin enthaltenen genetischen Material. Lernprozesse involvieren auch dieses genetische Material. Beim Lernen kommt es zur Genaktivierung. Nervenzellen besitzen zwei Typen von Ausläufern. Der eine Typ besitzt hochverzweigte Ausläufer, diese nennt man Dendritenbäumchen. Das ist sozusagen die Antenne eines Neurons, also die Empfangsstruktur, die Informationen aufnimmt. Umgekehrt gibt es eine Sendestruktur, über die die Information weiter läuft, das

Axon. Die Informationsverarbeitung dieser Nervenzellen geschieht elektrisch, das heißt elektrische Aktivitäten werden von den Dendriten aufgenommen, summiert, subtrahiert oder anders verarbeitet, laufen über Zellmembranen der Nervenzelle und weiter über das Axon zu den Synapsen und durch diese zu anderen Nervenzellen, von denen die Information weiter übertragen wird.

In den Synapsen wird der elektrische Impuls umgewandelt. Es kommt zur Ausschüttung von Neurotransmittern, die den synaptischen Spalt durchwandern. Auf der anderen Seite des Spaltes befinden sich Rezeptoren, die auf die entsprechenden Neurotransmitter passen. Das heißt, die Umsetzung der elektrischen Energie geschieht so, dass es durch den elektrischen Impuls zu einer Ausschüttung von kleinen Bläschen kommt, die die Neurotransmitter enthalten. Die Rezeptoren auf der anderen Seite des Spaltes passen wie Schlüssel und Schloss zueinander. Durch das Binden der Neurotransmitter an die Rezeptoren kommt es zum Öffnen von Poren, durch die wiederum ein Einstrom von Ionen ermöglicht wird. Hierdurch wird wieder ein elektrischer Strom generiert.

Eine Nervenzelle besitzt nun aber nicht nur eine Synapse. Im menschlichen Kontext besitzt eine Zelle bis zu 10.000 Synapsen, die Eingänge von ganz verschiedenen Zellen bekommen. Alle diese kleinen Ströme, die hierbei generiert werden, werden gesammelt, verrechnet und wieder weiter verschaltet.

Diese Umsetzung von elektrischer in chemische Energie ist deshalb so interessant, weil hierdurch die Möglichkeit gegeben wird, durch hochkomplizierte intrazelluläre Prozesse die Informationsweiterleitung zu modifizieren.

Das heißt, in einer Synapse können die Signale durch viele verschiedene Enzyme und Botenstoffe verändert werden. Somit erhält die Synapse die Möglichkeit, sehr genau zu bestimmen, welche Informationen sie durchlässt und welche nicht. Kann sie diese Signalübertragung auf Dauer chemisch – molekular verändern, dann bezeichnet man dieses als Gedächtnis.

Das Gedächtnis besteht darin, dass die 10.000 Synapsen, die auf so einem Neuron sitzen, durch elektrische Erfahrungen differenziert angesprochen werden können. Es ist also eine differenzierte Modifikation der Eingänge, die dazu führt, dass diese Stelle, wenn verschiedene Erfahrungen hier einlaufen, am Schluss ein besonderes Bild gibt und das eben auch speichert. Aber sie speichert es nicht im Zellkörper, sondern sie speichert es eben bereits an den Eingängen, den Synapsen. Das ist das Prinzip.

## **Übertragung vom Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis**

Diese Speicherung, also die differenzierte Veränderung der synaptischen Übertragung an ein Neuron oder an viele Neurone, es sind immer viele Neurone involviert bei jeder Kleinigkeit, die man lernt, ist elektrisch und das charakterisiert das Kurzzeitgedächtnis.

Das Kurzzeitgedächtnis steht uns zur freien Verfügung. Man kann sich z. B. eine Weile eine Telefonnummer merken, aber sie ist meistens wieder weg, wenn man sich anderen Dingen zuwendet, insbesondere ähnlichen Dingen. Das bedeutet, wenn ich mir etwas anderes merke, wird eine andere Information überspeichert. Diese neue Information verändert dieses Gefüge wiederum elektrisch und das kann nicht miteinander koexistieren. Die Synapse oder dieses Ensemble von Synapsen können sich nur auf eine Konfiguration von Übertragung einstellen. Die Löschung dieses Kurzzeitgedächtnisses erfolgt demnach durch Überspeicherung.

Bei der Langzeitgedächtnisbildung geht von dem Rezeptor, der momentan kurzzeitgedächtnisrelevant ist, ein Signal an den Kern der Zelle aus. Dieser Kern enthält Befehle für die Synthese bestimmter Proteine und anderer Stoffe, die später für Umbauprozesse an den Synapsen gebraucht werden. Dieser Lernprozess involviert also immer die Gene der Zelle und führt zu einer Genaktivierung und Proteinsynthese, also Synthese von Stoffen, die später für den Umbau gebraucht werden. Dieser Prozess ist willkürlich bewusst nicht zugänglich, d.h. wir haben keinen direkten Zugriff auf unsere Langzeitgedächtnisbildung.

## **Lernprozesse am unfertigen Gehirn**

Bei Lernprozessen an unfertigen Gehirnen, also Schülergehirn oder kindliches Gehirn, sind die Umbauprozesse massiv. Sie sind im Erwachsenenalter überhaupt nicht mehr so massiv. Hirne werden immer mit dem gesamten Satz von Nervenzellen geboren. Diese Nervenzellen bilden zur Verarbeitung von Informationen Verbindungen untereinander, das heißt sie werden durch Synapsen miteinander verbunden. Es kommt zu einer hohen Synapsendichte, deren Verbindungen aber nicht immer sinnvoll sind, da sie zufällig geknüpft werden.

Wichtig ist es zu diesem Zeitpunkt, seine Mutter oder ein Modell seiner Mutter kennen zu lernen. Vergleicht man das Neuron eines Tieres mit Muttererfahrung mit dem

Neuron eines Tieres ohne Muttererfahrung, stellt man fest, dass das Neuron mit Muttererfahrung weniger Verzweigungen aufweist als das ohne Muttererfahrung. Bei der Darbietung der Mutter werden ein Großteil dieser zufällig geknüpften Verbindungen aufgegeben. Nur die sinnvollen Verbindungen werden beibehalten. Dieser Prozess vollzieht sich sehr zeitig.

Untersuchungen an menschlichen Totgeburten ergaben, dass alle Neurone bei der Geburt schon da sind und es fiel auch auf, dass diese Synapsen nach der Geburt in dieser ersten Periode unmäßig entwickelt werden und dass in den ersten Monaten plötzlich ein dramatischer Abbruch dieser Synapsendichte auftritt. Zuerst hielt man das für pathologisch. Aber das ist ganz normal. Es ist wichtig sogar, denn nichts ist schlimmer für ein Gehirn als Krauses an Verbindungen zu haben - viel schlimmer als ein Defizit. Nur das, was Sinn macht, bleibt übrig.

Lernprozesse sind immer Aufbau- und Abbauprozesse, auch später noch. Aber die Abbauprozesse sind bei diesen ersten Erfahrungen enorm. Die übrigen Synapsen arbeiten nun wesentlich effektiver als zuvor, das bedeutet, man reduziert auf das Wesentliche aber das hat mehr Power.

Die Lernprozesse aktivieren also diese Synapsen, stellen sie zunächst mal elektrisch / chemisch um und dann kommt es über Genaktivierung zu Bauprozessen, auf die wir eigentlich keinen richtigen Einfluss mehr haben. Dieser Prozess läuft unbewußt im Hintergrund ab und zieht sich über eine lange Zeit hin.

Wenden wir uns nun wieder dem Kurzzeitgedächtnis zu. Wir haben ein Kurzzeitgedächtnis, das alle Erfahrungen, die wir machen, insbesondere in der Schule, sozusagen kurzzeitig speichert. Diese hintereinander geschalteten Erfahrungen lösen biochemische Prozesse aus, die sich letztendlich alle überlagern. Das heißt, während sich das Kurzzeitgedächtnis immer punktuell zu einer Zeit mit einer ganz bestimmten Sache auseinandersetzt, muss sich die Umsetzung ins Langzeitgedächtnis als Parallelprozess gleichzeitig abwickeln und das hat seine Grenzen. Diese Systeme kommen damit nicht gut zurecht.

Wenn über den ganzen Tag konstant Informationen angeboten werden und möglicherweise die gleichen Systeme involvieren, das visuelle System, bestimmte kognitive Systeme, wo alle diese Prozesse ablaufen, und an den selben Neuronen zum Teil ablaufen, das lässt sich dann nicht mehr trennen.

Und diese Neurone wissen dann nicht mehr, was sie an welchen Synapsen richtig verankern sollen. Welche Synapsen sollen denn jetzt umgebaut werden?

Bei einer wirklichen Informationsflut, der ein Kind den ganzen Tag ausgesetzt ist, muss durch diese Überlagerung ein Problem entstehen. Durch eine Verteilung der Lernprozesse über den Tag können wir die Verankerung von Informationen im Langzeitgedächtnis fördern. Der Lernprozess muss von Pausen unterbrochen werden. Die Pausen können durchaus andere Informationen betreffen, es muss nicht Stille oder Meditation herrschen, aber es sollte keine hochkomprimierte Informationsflut sein, auch wenn es andere Systeme betrifft. Nur so können die im Hintergrund laufenden Abspeicherungsprozesse möglichst ungestört in Gang kommen.

### **Belohnungssystem bei Problemlösungsstrategien**

Um Strategielernen zu untersuchen eignet sich die Shuttlebox. Um ein bestimmtes Verhalten zu erzeugen, erhält ein Tier bestimmte Informationen und muss diese umsetzen. Ist das Tier an diese Box gewöhnt, präsentiert man ihm einen visuellen oder akustischen Reiz und setzt anschließend den Boden etwas unter Strom. Dieser „footshock“ wird von der Maus als unangenehm empfunden, deshalb hüpfte sie über eine, in der Box befindliche, Hürde auf die andere Seite. Sie macht die Erfahrung, dass es auf dieser Seite nicht mehr kribbelt. Bei der nächsten Darbietung des Reizes erkennt die Maus zwar noch nicht den Zusammenhang zum Einsatz des Stromes, entwickelt aber schon die Strategie, möglichst früh zu springen, wenn der „footshock“ kommt. Im Folgenden springt die Maus immer früher und macht die Erfahrung, dass sie bei einem Sprung, sobald der Reiz geboten wird, den Fußschock ganz vermeidet. Sie hat also zwei Strategien entwickelt: 1. Strategie: Fluchtverbesserung, 2. Strategie: Schadensvermeidung oder Problemvermeidung.

Bietet man der Maus nun einen anderen zweiten Reiz, generalisiert sie und springt auch sofort, setzt man den Strom beim zweiten Reiz aber auf der anderen Seite ein, lernt das Tier sehr schnell, dass es auf diesen Reiz hin sitzen bleiben muss. Die Gehirnregionen, die bei diesen Lernprozessen eine Rolle spielen, liegen im Frontalen Kontext, hier befinden sich auch die kognitiven Zentren.

Um herauszufinden, welche Neurotransmitter bei solchen Lernprozessen ausgeschüttet werden, implantiert man eine Sonde in das Gehirn, die misst, welche Transmitter von den Neuronen ausgeschüttet werden.

In diesen Versuchen wurde Dopamin gemessen. Das Dopamin stieg in der Phase, in der das Tier versuchte, seine Strategie auszuarbeiten. Nach kurzer Zeit hörte dieser Dopaminausstoß schon wieder auf. Dopamin hat mehrere Effekte. Es dient dazu,

im Sinne eine „Feed back“, die Motivation aufrecht zu erhalten und es führt zu einer Ausschüttung von Opiaten. Das Gehirn gibt sich also selbst eine „innere Belohnung“, bringt sich sogar in gute Stimmung, wenn es etwas gelöst hat und speichert es auch noch ab. Des Weiteren ist das Dopamin wichtig für die Übertragung von Informationen vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis. Dieses System kann allerdings in zweifacher Hinsicht frustriert werden. Zum einem wenn man die Dinge zu einfach macht, in diesem Fall kommt es zu einem so geringen Dopaminausstoß, dass man diesen Wert fast vernachlässigen kann. Zum anderen wenn man verhindert, dass die Tiere eine wirkliche Strategie finden. In diesem Fall tendieren die Tiere häufig dazu, zunächst aggressiv zu werden und danach passiv. Sie geraten in eine Lethargie, aus der sie nur schwer wieder heraus kommen, selbst bei Erfolgserlebnissen. Diese Lethargie überträgt sich auch auf andere Verhaltensweisen. Man spricht nun von „erlernter Hilflosigkeit“.

### **Lernen im sozialen Kontext**

Bei Lernprozessen stellt sich heraus, dass sie in einem sozialen Kontext optimal verlaufen und zwar unabhängig davon ob jetzt das, was da gelernt werden soll, sozialer Natur ist oder nicht. Das gilt also auch für Sachinformation. Es scheint irgendeinen Zusammenhang zu geben, den wir aber noch nicht genauer charakterisiert haben, dass unfertige, also sich entwickelnde Gehirne, am besten Sachinformation in einem Kommunikationsprozess aufnehmen können. Und das ist ja immer ein sozialer Prozess.

Ein Beispiel: Es gibt die so genannten „kartoffelwaschenden Affen“, das ist eine Makakenart einer Affenkolonieinsel in Japan. Dort haben die Affen eine Erfindung gemacht, dass sie das Futter mal kurz ins Meerwasser tauchen: Ob sie es waschen oder es wegen der schmackhaften Salzbrühe tun, bleibt ungeklärt. Wenn man das zurück- und weiter verfolgt, stellt man fest, dass diese interessante Handlung, nur materlinial weiter gegeben wird. Diese Handlung ist also keineswegs beliebig in einer Gruppe übertragbar, sondern sie wird immer von Müttern an ihre Kinder in einem ganz bestimmten Alter weitergegeben.

Des Weiteren ist bei frei lebenden Schimpansen beobachtet worden, dass es Nüsse knackende Schimpansengruppen gibt. Dieses Nüsse knacken ist sehr interessant, weil es ein äußerst komplizierter Gebrauch von Werkzeug ist. Es ist kompliziert und dauert Monate, bis diese einzelne Schritte perfektioniert werden. Auch diese Hand-

lung geschieht unter der Anleitung der Mutter. Kommt die Mutter abhanden, stockt dieser Prozess und wird nicht weiter verfolgt. Es stellt sich heraus, dass sehr komplizierte Handlungsschemata, die in gewisser Weise auch Einsicht erfordern, an die Grenzen der Kapazität solcher Tiere gehen. Planhandlungen können nur dann richtig funktionieren, wenn sie sozusagen in einem Kommunikationsprozess unter sozialer Anleitung abgeschlossen werden. Dieses gilt für viele Dinge bei Tieren und auch beim Menschen.

Untersuchungen zur Sprachentwicklung zeigen, dass unabhängig vom Vokabular, das ja unterschiedlich sein kann, Kinder eine erhebliche Sprachkompetenz in einem bestimmten Alter entwickeln, wenn man unter Sprachkompetenz nicht die Größe des Wortschatzes versteht, sondern wie ein Kind altersgemäß mit Sprache die Welt bewältigen und Dinge bewegen kann.

Die Steuerung der eigenen Existenz ist sehr ähnlich, wenn man betrachtet, dass diese Kinder alle so wahnsinnige unterschiedliche Begabungen haben sollen, beispielsweise für Mathematik, Naturwissenschaften usw. Dabei fällt auf, dass der Erwerb der Muttersprache der optimalste Sozialprozess ist, der jemals in einem Leben stattfindet. In keiner Phase ist der Lernprozess so sozial interaktiv wie beim Erwerb der Muttersprache.

## **Kognitives Lernen**

Der Mensch ist ein kategoriales Wesen, das heißt unser junges Gehirn versucht sofort nach der Geburt, Ordnung in diese Welt zu bringen. Z. B. macht ein Kind irgendwann die Erfahrung mit einem Apfel - dem ersten Apfel. Am nächsten Tag sieht das Kind einen Apfel und der sieht plötzlich anders aus, rot und nicht grün und hat eine etwas andere Form, ist aber auch ein Apfel. Diese Erkenntnis erfolgt unbewusst. Das Kind hört nur das Wort Apfel und nimmt es auf. Nach einer Weile kann es Äpfel erkennen, egal wie sie dann aussehen und auch gut von Birnen unterscheiden. Es hat sozusagen ein ersten Schritt in die Welt der Kategorien gemacht. Wenn wir Welterfahrungen machen, bilden wir Kategorien und können diese auch später wieder umsetzen. Wir können alles irgendwie klassifizieren, unterklassifizieren, überklassifizieren, alles kategorisieren. Unsere Sprache ist natürlich auch kategorial, jedes Wort, jedes Substantiv, jedes Verb sind Kategorien.

Auch Tiere können Kategorien bilden und neue Dinge korrekt in solche Kategorien einordnen. Es ist der große Vorteil von Kategorien, dass man jede neue Erfahrung

daraufhin untersuchen kann, ob sie irgendeine Kategorie passt. Gebildet werden Kategorien durch multiple Erfahrungen. Das ist auch wichtig für den Schulbereich, man braucht exemplarische Erfahrungen, um Kategorien zu bilden und kann sie dann dazu benutzen, die Kategorien selbst zu finden. Sie müssen einem nicht gesagt werden, das Gehirn findet selbst Kategorien und selbst das Gehirn der Mäuse findet Kategorien.

Prof. Dr. Henning Scheich  
Leibniz-Institut für Neurobiologie  
Zentrum für Lern- und Gedächtnisforschung  
Brenneckestraße 6  
39110 Magdeburg