

Lernen in der Hirnforschung (3.Fassung Juli 97)

Wenn man sich Gehirnvorgänge beim Lernen als „Speicherung“ vorstellt, so müssten die Lernprozesse im Anhäufen und Einschaufeln von Wissensportionen bestehen. Schulfach auf Schulfach füllt also Fach auf Fach im Hirn mit möglichst dauerhaften (und bewährten!) Gütern, ruft sie in Testarbeiten noch mal ab und hofft, dass die Güter immer dann „gebraucht“ werden, wenn sie dem „Besitzer“ zur Bewältigung seines Lebens dienen können. Das klappte zwar nie so, aber man wunderte sich und machte weiter so. Seit Jahrzehnten wissen Neurologen und Psychologen, dass dieses Bild falsch ist; wir Lehrer könnten es auch wissen, denn in populärwissenschaftlichen Berichten (u.a. in GEO, ZEIT, Spiegel oder Focus) werden die neuen Erkenntnisse seit Jahren verbreitet, und doch bleibt der Schulunterricht davon völlig unberührt.

Ein angemesseneres Bild von den Hirnvorgängen beim Lernen kann man sich erzeugen, indem man von einer wissenschaftlich haltbaren Beschreibung wie dieser ausgeht: Es „lernt das operative kognitive System den Aufbau erfolgreicher mentaler Strukturen zur Lösung ursprünglich schwieriger Probleme ... (beim) Erkennen und Verhalten“ (Klix, Lernen und Denken, S.575).

Lernen greift in die Gestaltung vorhandenen Wissens ein - wie Denken generell - , aber Lernen greift *verändernd* ein. Die mit Hirnforschung befaßten Fachwissenschaftler sehen wenig Unterschiede zwischen Denken und Lernen (vgl. Klix, S.577); ein neuropsychologischer Forschungsbericht führt zu der „Vermutung, dass im ganzen wenige mentale Operationen, einwirkend auf Strukturbildungen im Wissensbesitz, weiträumig und kompliziert aufgebaute Phänomene des Denkens zu gestalten und zu erzeugen erlauben und dabei auch neues Wissen generieren.“ (ebd.)

Hirnphysiologisch gedeutet spielen sich beim Lernen dieselben neuronalen Prozesse ab wie bei jeder „Reizverarbeitung“: Die Sinne als Wahrnehmungsorgane vermitteln dem Zentralnervensystem die Reize, die dort in elektrische und chemische Impulse umgewandelt werden; Überträgersubstanzen (Noradrenalin und Acetylcholin) regulieren die Leitfähigkeit der Nervenbahnen, damit „kritische Schwellen“ überschritten werden; eine genetisch vorgegebene (und von den bisherigen Erfahrungen weiterentwickelte) Grundverschaltung von Nervenzellen und -bahnen „fühlt sich angesprochen“ und „antwortet“ dem Reiz.

„Je besser ein Reiz den vorgegebenen Antworteigenschaften weitverzweigter Nervennetze entspricht, um so größer ist die Zahl der aktivierten Rückkopplungsschleifen und um so größer die Wahrscheinlichkeit, dass die Schwelle für adaptive Veränderungen erreicht wird.“ (Singer, S.61), vor allem aber muss sich das gesamte Gehirn während dieser Prozesse in einem aufmerksamen und wohlwollenden Zustand befinden (vgl. Singer S.63/64). All diese Interaktionen mit der Umwelt müssen den Bedürfnissen und Fähigkeiten des Gehirns in seiner jeweiligen Entwicklungsphase entsprechen und über längere Zeit ungestört verfügbar sein, damit die Lernergebnisse sich stabilisieren und zur Verhaltenssteuerung im Gedächtnis bleiben (vgl. Singer, S.64/65).

Ich nehme die komplexen Aussagen mal auseinander, um **mögliche Konsequenzen für den Unterricht** deutlich zu machen:

Lernen ist Tätigkeit, ist Arbeit unseres Gehirns.

- In diesem „kognitiven System“ hängt alles mit allem zusammen.
- Beim Lernen antwortet das Gehirn auf ansprechende Reize.
- Lernen braucht intensive Aufmerksamkeit, damit die kritischen Schwellen überschritten werden.

- Je mehr ansprechbare Erfahrungen vorhanden sind, desto mehr kann gelernt werden.
- Es werden neue Beziehungen zwischen vorhandenen Wissens-elementen geknüpft oder verstärkt.
- Lernen kann also nur gelingen, wenn das Gehirn verarbeitungsfähige Strukturen anzubieten hat.
- Die neuen Verknüpfungen arbeiten dann erfolgreich - und stabilisieren sich -, wenn sie Probleme lösen können, die vorher als schwierig eingeschätzt wurden.
- D.h. aber, dass diese Probleme bereits vorher als solche erkannt wurden.
- Es können Probleme des Erkennens sein (Was ist das eigentlich? Wie geht das? Wie kommt das? Warum ist das so? Wozu soll ich das lernen?...?) oder Probleme des Verhaltens (Wie mache ich das? Wann tu ich was wie? ...).
- Lernen aktiviert routinierte oder bisher nicht genutzte Fähigkeiten aller Bereiche, um aus neuem Miteinander etwas Neues herzustellen.
- Dabei muss es vom gesamten Gehirn, also vom übrigen Wissen, den Gefühlen, Einstellungen und Wertungen positiv gefördert werden.
- Es muss über längere Zeit verstärkt werden.

Halten wir zunächst fest:

Beim Lernen werden verfügbare Wissenspotentiale des Gehirns zu *erzeugendem Denken* aktiviert. Wissen ist immer strukturiert; Knotenpunkte dieser „Netze“ sind Begriffe, die über Verhaltenseinheiten („Scripts“) und Gedächtnisinhalten gebildet wurden und das Wissen ordnen: Begriffe von Objekten, Ereignissen, Ereignisfolgen, von Relationen. Diesen Begriffen können wir Menschen Sprache zuordnen, - also Wörter, „phrases“ oder Sätze.

Beim Lernen werden relevante Netze aktiviert, um zunächst „flüchtige mentale Strukturen“ zu bilden. „Sie sind in der Lage, Prüfprozesse über Gedächtnisinhalten zu veranlassen, durch Akzentuierung einzelner Merkmale neue Klassifizierungen zu bilden oder verschiedene Prozessschritte zu verketteten.“ (Klix, S.576). Solche flüchtigen mentalen Strukturen bestehen physisch aus Verbundsystemen, die „nachhallend“ aktiviert und durch gleiche elektrische Schwingung in Nervenbahnen eine bestimmte Neuronenverbindung vorläufig herstellen und aufrechterhalten. Allerdings nur kurzzeitig („Arbeitsgedächtnis“). Wird eine Verbindung nun immer wieder aktiviert (durch Übung, Anwendung), festigt sie sich: die Synapsen, die Verbindungsstellen zwischen Nervenbahnen, werden dicker, das Verbundsystem „funkt“ dauerhaft stabil. (Ein trainiertes Gehirn wiegt schwerer und ist viel dichter und weiter verzweigt als ein wenig genutztes, wie man aus Tieranatomien weiß.) Diese denkende Erzeugung neuer Neuronenkombinationen durch aktive Stabilisierung nennen wir umgangssprachlich „Lernen“.

(4 Bilder Nr.1)

Physisch wird diese Stabilisierung – besonders in jungen Jahren – gestützt von der Myelinisierung der Nervenbahnen: Genutzte Neuronenverbindungen werden mehr und mehr von einer grauen Myelinschicht umgeben (dies Myelin macht die hellgraue Farbe des Gehirns aus, deshalb sprechen wir von den „grauen Zellen“). Wie Jahresringe eines Baumes bildet sich ein Myelinmantel um die Nervenbahnen und schützt sie vor Störungen, macht damit allerdings das Gelernte auch zunehmend resistenter gegen Veränderungen. Weil die Myelinisierung von den unteren, inneren Bereichen des Cortex nach außen fortschreitet, behalten wir früh Gelerntes dauerhafter; je später im Leben wir etwas lernen, desto eher kann es vergessen, aber auch desto leichter kann es verändert werden (Pulvermüller/ Schumann 1994).

Meist baut das Gehirn gleichzeitig mehrere neue Strukturmuster parallel auf und bearbeitet sie auch gleichzeitig oder nacheinander (seriell). Im Fokus der Aufmerksamkeit kann allerdings immer nur 1 Ereignis stehen, es wird uns „bewusst“.

Aber nur explizit Erfahrenes können wir uns bewusst machen. Hirnforscher unterscheiden *deklarative* und *prozedurale Tätigkeiten im Gehirn*:

Deklarativ werden Erfahrungen durch explizites Lernen und Verarbeiten erworben: sie kann ich mir bewusst vor Augen führen, mit Wörtern oder Satzphrasen benennen.

Prozedural funktionieren entweder genetisch programmierte, also angeborene Hirntätigkeiten oder aber die in vielen Situationen und über längere Zeit erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten, die wir implizit, unbemerkt mitgelernt haben (wie Gehen, Schuhezubinden, Sätze bilden, Fahrradfahren oder den „heimlichen Lehrplan“ der Schule...).

Beide Lernweisen unterscheiden sich physisch in den Prozessen an den Synapsen (vgl. Kandel/ Hawkins S.54). Wichtiger für uns jedoch ist, dass ein Beschreibenkönnen der prozeduralen Prozesse nicht zu ihrer Verbesserung führt, - wie das etwa von Grammatiklehrern seit Jahrhunderten behauptet wird! Wohl aber führt ein Überführen der prozeduralen Fähigkeiten in deklarative zu bewussteren Entscheidungen! (vgl. Knobloch)

Lernen durch Bearbeiten verfügbaren Wissens

Es ist für Laien vermutlich sehr schwer, sich vom Speichermodell zu verabschieden und zu begreifen, dass Kenntnisse und Fähigkeiten nicht in „gefüllten Nervenzellen“ in bestimmten Abteilungen des Gehirns „liegen“, sondern in aktiven bzw. aktivierbaren Netzen zusammenschalteter und zusammenschwingender Nerven und Nervenzellen bestehen. Diese aktiven Netze sind „verschleift“ mit anderen Netzen, und einige ihrer Bahnen verlaufen immer durchs *limbische System* (zwischen Hirnstamm und Cortex), wo die Lerninhalte emotional verstärkt oder eingeschränkt werden.

Ebenso müssen wir nach den Ergebnissen der Hirnforschung begreifen, dass Lernen hauptsächlich durch Bearbeiten bereits verfügbaren Wissens geschieht; das kann heißen:

- ausgebaut, entfaltet, quantitativ und qualitativ verändert;
- in veränderte Hierarchien oder Beziehungsverhältnisse eingeordnet,
- mit neuen Relevanz - Akzenten versehen,
- in andere Repräsentationsformen „umgeschrieben“ (Karmiloff-Smith)
prozedurales Wissen > deklaratives Wissen,
bildliche > sprachliche Vorstellungen ...
- mit neuem/ differenzierteren Wortschatz belegt
- in Einzelmerkmalen als falsch, unbrauchbar ... zurückgedrängt,
- mit neuen/anderen Nutzungsmöglichkeiten/ - situationen verknüpft, im Denken, im Handeln,
- oder aber Kenntnisse werden als Problemlösungsschemata für neue Situationen nutzbar (Transfer).

Aus unserer Erfahrung wissen wir, dass die Lernformen entwicklungsabhängig sind, dass Repräsentationsformen - auch einander widersprechende! - nebeneinander existieren und in verschiedenen Situationen genutzt werden (Waldmann, S.334).

Für den Transfer, den wir uns ja in der Schule ganz besonders wünschen, ist es wichtig zu wissen, dass er zwar nicht neu gelernt, wohl aber trainiert werden muss: Motivierend zunächst dadurch, dass den Schülern ihre eigenen Kenntnisse als „generative Fähigkeiten“ bewusst werden: Sie sind nicht mein „Besitz“, sondern mit ihnen erzeuge ich neue Lösungsmöglichkeiten für neue Aufgaben und Probleme. Trainiert werden muss vor allem das Sehen von Analogien, und zwar weniger nach dem oberflächlichen Erscheinungsbild (ein S sieht wie eine Schlange aus), sondern vor allem nach der Struktur (wie ich ein Spielzeug auseinandernehme und wieder zusammensetze, so kann ich auch Sätze analysieren). Aufgrund von Oberflächen-

strukturen gelingen Transfers zwar leichter spontan assoziativ, doch für neue Problemlösungen brauchen wir vor allem strukturelle (systemische) Analogien. Es ist ein wichtiges Merkmal geistiger Beweglichkeit, strukturelle Analogien zu sehen und entsprechende Übertragungsprozesse zu wagen.

Hirnprozesse erzeugen Bedeutungen

So „organisch“ das Gehirn bei physiologischer Betrachtungsweise arbeiten mag, erstaunlich und unerklärlich bleibt dennoch, dass es mit seiner Tätigkeit „Bedeutungen“ erzeugt, Gedanken, Erlebnisse, Erinnerungen...

Wir schauten in den Sternenhimmel; nach und nach bemerkten wir, daß sich drei von den hunderten Lichtpunkte gleich bewegten. Als einer sagte „Ein Flugzeug!“, nickten wir: „Ach ja!“ - Ein Experiment: In einem völlig dunklen Raum ist nichts zu sehen außer drei sich rhythmisch bewegenden Lichtpunkten; es vergeht keine Sekunde, da ist uns allen klar: da geht ein Mensch, dem drei Lichtquellen um den Unterarm geschnallt sind: Bei sieben Lichtpunkten können wir auch Mann und Frau unterscheiden.

Wir nehmen nicht das wahr, was wir sehen/hören, sondern das, was wir aus dem Gesehenen/Gehörten machen. Der Biologe Maturana sagt: „Die Welt, die wir sehen, ist nicht die Welt schlechthin, sondern eine Welt, die wir zusammen mit anderen hervorbringen.“(S.269). Geist ist der lebenden Materie immanent als Prozeß der Selbstorganisation; jedes Lebewesen erzeugt seine Welt, in der es lebt, indem es sie lebt.

Wie schwer fällt es uns, von solchen liebgewonnenen Vorstellungen uns zu trennen wie der Wahrnehmung als Abbildung! Doch im Gehirn kommen keine Bilder oder Klänge an, sondern nur Nervenimpulse zum Auslösen chemischer Prozesse. „Die Signale, die dem Gehirn zugeführt werden, sagen also nicht blau, heiß, cis, au usw., sondern „Klick, Klick, Klick“ Die Erregungszustände einer Nervenzelle kodieren nur die Intensität, aber nicht die Natur der Erregungsursache.“(von Förster, S.139)

Was das Klick bedeuten soll, was die Erregungsursache also für uns *sein* soll, das sagt das Gehirn nach Vorerfahrungen, also nach einem Vergleich des Neuen mit Bekanntem. Und so beschreibt der Biologe „Wahrnehmung als Veränderung von Verhaltensdispositionen durch Sinnesreize“(Heisenberg). In jedem Lebewesen treffen Sinnesreize auf Verhaltensoptionen, von denen sie bewertet werden auf mögliche Folgen hin: fressbar, weglaufen, angreifen Erst mit dieser Konstitution des Eindrucks zu etwas Bestimmtem ist etwas wahrgenommen. Und da alle Wahrnehmungen in Handlungen stattfinden, nimmt niemand etwas „an sich“ wahr, sondern entwirft die Bedeutung des Wahrgenommenen auf Zukunft hin, nach der Leitfrage: Wozu soll dies so sein?(Luria, S.9) Daraus entsteht die inhaltlich bekannte „Welt“ des Lebewesens: seine Welt ist das „Wahrscheinlichkeitsfeld der Verhaltensoptionen“(Heisenberg, S.43.)

Wissen als Verhaltensoptionen! Ist das nicht ein wichtiger Gedanke für Lehrende? Sie orientieren doch das Lernen immer auch an Zielen und definieren Leistungen, in denen die Schüler ihre veränderte Leistungsfähigkeit dokumentieren sollen! Aber ist denn die Klassenarbeit das *Ziel* des Lernens? Wenn man Schüler befragt, behaupten sie das, oft mit einem Gesicht, das sagt: „Was sonst?“

Hier liegt also ein wichtiger Impuls der Hirnforschung für die Lehrpraxis: In welchen für sie sinnvollen Verhaltensweisen sollen Schüler das Gelernte für sich und anderen anwenden? Zumindest wollen und müssen sie sagen können: **Was weiß ich dann, wenn ich das weiß?**

Den Prozeß der Aneignung einer Kultur durch Heranwachsende beschreibt Charles Lumsden mit dem Begriff des „scanning“: Der Scanner beim Computer, der Texte „einliest“, bildet sie nicht wie ein Kopierer ab; vielmehr segmentiert er den einzulesenden Text und baut ihn wieder auf *nach eigenem Programm*. So schluckt das Gehirn nicht wie ein Nürnberger Trichter kulturelle Originale (Wörter, Bilder, Geschichten ...) und speichert sie. Im Gehirn

muß sich das Individuum seine Kultur „einkörpern“, also in das eigene sinnlich - kognitiv - emotionale System übersetzen.

Sinnesreize werden also zunächst so zurechtgemacht, dass die spezialisierten Rezeptionsneuronen sie auffassen können. Dabei sei daran erinnert, dass wir in der Psychologie seit Piaget zwei Prozesse des Zurechtmachens unterscheiden: In der *Assimilation* wird das Wahrgenommene reduziert auf die Formate vorhandener Kategorien, in der *Akkomodation* werden die aufnehmenden Kategorien so verändert, dass sie zum Neuen passen. Hirnforscher unterscheiden hierbei die Phasen

- der Bildung von „Elementarereignissen“ (Zerlegung des Reizes in Farben, Bewegungen, Kanten, Laute...),
- der Konstantisierung (die in Helligkeit, Größe, Form, Bewegungsrichtung wechselnden Gestalten müssen vereinheitlicht werden),
- der parallelen Verarbeitung der elementaren Merkmale zu einem Gesamteindruck.

Die Strukturen und Prozesse dazu sind entweder angeboren und damit genetisch geprägt, in früher Prägung entstanden (beide also unbewusst) oder aber gelernt und bewusstseinsfähig. Wenn auch „Verschaltungen“ zwischen den Neuronen bis zum 3. Lebensmonat physisch weitgehend ausgelegt sind, so werden doch nur die *aktivierten* Bahnen und Kontakte genutzt, die anderen sterben ab. Nur eine „funktionelle Architektur“ (Singer) ist genetisch angelegt, also Dispositionen, bestimmte Fähigkeitsbereiche auszubilden. Diese werden durch Lern- und Vergessensprozesse „modifiziert“, d.h. zum einen: in arbeits- und kooperationsfähige Teilsysteme gegliedert, zum anderen: inhaltlich bestimmt, und schließlich: auf bestimmte Handlungsweisen hin angelegt.

Die weiteren Schritte der Verarbeitung können detailliert beschrieben werden:

- Neuronenensembles schaffen durch synchrone Erregung „Gestalten“,
- Gelerntes erhält „Bedeutung für mich und andere“, Verhaltenskonsequenzen werden deutlich, auch Bewertungen, die weitere Erwartungen und Handlungen steuern werden;
- dies alles geschieht „kontextsensitiv“, d.h. Erfahrungen werden von den Lernsituationen entscheidend beeinflusst.
- *Welche* Kategorien es jedoch dabei bildet, welche Erfahrungen es macht und behält, welche Strukturen und Operationen es ausbildet, hängt wegen der Mitarbeit des Gedächtnisses von den interaktiven Handlungen und Bedingungen seines Lebenslaufs ab.

(Bild Dreieck)

Gestaltbildung

Entscheidend ist dabei, daß die Aktivitäten verschiedener Hirnbereiche integriert werden. Kommen Eindrücke gleichzeitig an, antwortet das Gehirn darauf, indem es die Tätigkeit bestimmter Neuronen koordiniert. Mental gesagt: wir entdecken eine kohärente Eigenschaft in einem Eindruck und nehmen etwas als etwas Bestimmtes wahr. Neuronal beschrieben: Das Kohärenzkriterium bei Nervenzellen liegt im Schwingungsgrad ihrer Bahnung: „Neuronen, die zusammen eine Figur repräsentieren, bilden ein *Ensemble*, das sich aufgrund der Phasenkohärenz der oszillatorischen Antworten von anderen, ebenfalls aktiven Nervenzellen abgrenzt. Es lassen sich auf diese Weise mehrere Ensembles gleichzeitig aktivieren, ohne daß sich diese miteinander vermischen.“(Singer 1991, S.113f.) Das neuronale Substrat für einen bestimmten Gedächtnisinhalt sind also in der Regel gleichzeitige Veränderungen zahlreicher neuronaler Verbindungen in weitverzweigten, aber miteinander in Wechselwirkung stehenden Hirnrindenarealen (vgl. Singer, a.a.O., S.123.)

„Gestaltet“ wird solch ein Ensemble also vom Gehirn selbst. Der Prozeß der Geistestätigkeit und -bildung kann als dauerndes Frage - Antwort - Spiel begriffen werden, bei dem das Gehirn die Initiative hat. Entscheidendes Kriterium für die Aufnahme von Eindrücken ist

das der „Verhaltensrelevanz“ (Singer); die Reize müssen „bedeutsam“ sein bzw. dazu gemacht werden. Hier aber liegt noch ein großes Geheimnis. „Relevanz“ kann die Hirnforschung nicht selbst untersuchen, höchstens die Auswirkungen von Entscheidungen nach Kriterien, die ein Mensch für relevant bei einer bestimmten Aufgabe hält. Diese Entscheidungen hängen ab von Dispositionen, die wir *Einstellung, moralische Haltung, Weltbild, Emotionalität, Intentionalität* ... nennen. Beim Kind kann eine Entscheidungsbasis von Situation zu Situation wechseln, vom Erwachsenen wird eine durchgehende Identität erwartet.

Man kann nicht oft und dringend genug auf die maßgebliche Rolle des limbischen Systems beim Lernen aufmerksam machen: Alle Eindrücke durchlaufen dieses zentrale Hirnorgan, hier werden sie emotional und motivational eingeschätzt und daraufhin ihre weitere Verarbeitung veranlaßt. Von hier aus lenken unsere Bedürfnisse, Wünsche, Fragen, Sorgen, Lüste... unser Lernen. Ist das limbische System - besonders der Hippocampus - zerstört, kann neue Information überhaupt nicht mehr aufgenommen werden. Zu jeder „Gestalt“ gehören also notwendigerweise auch Gefühle und Bewertungen dazu.

Das Gehirn verändert sich beim Lernen

Das menschliche Zentralnervensystem ist gegliedert in Subsysteme, die genetisch oder nach Umlernprozessen bestimmt sind für bestimmte Aufgaben (sehen, Begriffsbildung, gefühlsmäßig bewerten, Aufmerksamkeit usw.). Das Gehirn besteht aus 100 Milliarden wiederum spezialisierten Neuronen, die über Nervenfasern und Synapsen miteinander verbunden sind. Angelegt sind bis zu 10 000 Verbindungen pro Zelle, aktiviert werden bei einem Eindruck nur jeweils 1 - 2 Kontakte pro Neuron. Keine Zelle speichert 1 Information; vielmehr trägt jedes Neuron zur Bildung etlicher Informationen bei (etwa die rote Farbe, die Schrägheit der Linie); jede mentale Entität wird von einer spezifischen Neuronengruppe erzeugt und erhalten.

„Bedeutsame mentale Phänomene wie Begriffe und Schemata verlangen die Mitwirkung vieler Subsysteme ... Das Gehirn erzeugt z.B. den Begriff HUND mit Hilfe einer verteilten Konstellation von Mikrosystemen (Neuronen), deren Elemente über die visuellen, auditorischen, affektiven und viele andere Subsysteme verteilt sind (Iran-Nejad/Homeifar, S.232). Jeder Eindruck nutzt die angelegte Struktur des Zentralnervensystems, aber er beeinflusst diese auch: er verstärkt bestimmte Verbindungen, läßt andere absterben, er verändert aktivierte Neuronen in ihrer Substanz und Synapsen in ihrer Arbeitsweise.

Damit es zur geistigen Tätigkeit kommen kann, sind zwei wichtige Voraussetzungen zu erfüllen: das Gehirn muß „eingeschaltet“ werden, und die Fülle der Eindrücke muß radikal reduziert werden (man schätzt 1000:1). Die „Formatio reticularis“ ist eine basale funktionale Einheit, die Wachheit und Spannungszustand des Gehirns in Abhängigkeit von aktuellen Erfordernissen reguliert; sie verbindet sensorische, muskuläre, limbische (Fühlen) Funktionen mit kortikalen (Denken)(Vgl. Luria, S.43, Flor S.51). Sie hilft uns auch, unsere Aufmerksamkeit auf einen ausgewählten Fokus zu konzentrieren. So zum Lernen vorbereitet können Neuronen - Schaltkreise gebildet werden und interagieren: Vom basalen Vorderhirn her wirken Einflüsse mit, die einen Eindruck mit Aufmerksamkeit belegen, von den zentralen Bewertungszentren im Hirnstamm gehen die notwendigen gefühls- und einstellungsbestimmten (etwa moralischen) Verstärkungen aus, die erst einen Reiz die „Schwellen“ zu den Erfahrungsbereichen übertreten lassen. Zugleich überprüfen „Neuigkeits- und Relevanzdetektoren“ den Eindruck auf seine Wichtigkeit, indem sie das Neue mit früheren Erfahrungen vergleichen. Erst mit der Unterstützung durch diese zusätzlichen Signale wird ein Reiz (z.B. etwas Gelesenes) *verstehend* wahrgenommen, zunächst im Rahmen des Kurzzeitgedächtnisses nur mit elektrischen Impulsen. Nach weiterer Verarbeitung (Integration in bestehende Wissensbereiche, Einschätzung der Zukunftsaussichten, Bewertung ...) kann die Information dann im

Rahmen des Langzeitgedächtnisses durch chemische Reaktionen in Neuronen dauerhaft erhalten werden.

„Der Selektionsprozeß, der letztlich für die erfahrungsabhängige Optimierung der Hirnarchitektur verantwortlich ist, beruht somit nicht nur auf lokalen Vergleichsoperationen, sondern wird von global organisierten Kontrollsystemen beeinflusst. Die Entscheidung, ob lokale Aktivierungsmuster zu bleibenden Verhaltensänderungen führen, wird also von je einer Vielzahl von anderen Hirnstrukturen mitbestimmt.“(Singer 1991, S.108) Das bedeutet auch: Gesteuert wird Lernen immer von internen Stimuli, - denn externe müssen in jedem Fall in interne umgesetzt werden. Ein Fremdimpuls wirkt also erst dann, wenn ein Gehirn ihn sich zu eigen macht und daraufhin selbst Impulse gibt; man wird dies *interessegeleitetes Lernen* nennen können.

(Bild Synapsen), Nr.3)

Die entscheidende Arbeit wird in den *Synapsen* geleistet: das sind Kontaktstellen in Nervenbahnen zwischen Nervenzellen. Synapsen sind entweder starr, unveränderlich in ihrer Arbeitsweise und bilden fest verdrahtete Netzwerke (z.B. Reflex); oder aber es sind plastische Synapsen, deren Übertragungseigenschaften sich je nach Aktivierung ändern und die sich an der Bildung neuronaler Netze beteiligen je nach Art der einlaufenden Reizmuster. Durch wiederholte Aktivierung bilden sich inhaltlich bestimmte Schemata, mit denen wir dann gedanklich umgehen können. Die geistig - körperliche Ontogenese stellt eine Spezifizierung phylogenetisch „bewährter“ Mechanismen dar. Dabei sind einige Fähigkeitsbereiche „plastisch“ nur bis zu bestimmten Altersstufen; wer etwa seine Sprachfähigkeit nicht bis zur Pubertät entfaltet hat, wird nie mehr eine Sprache vollständig lernen können. Vorher jedoch ist das Gehirn so flexibel, daß es auch radikale Verletzungen der linksseitigen Sprachzentren unter Nutzung anderer (auch rechtsseitiger) Hirnbereiche ausgleichen kann.

Wir sahen schon, dass solche Stimuli durch Wiederholung und Übung gelernter Inhalte angeregt werden können. Nun gibt es aber auch Erfahrungen, die nur auf 1 Erlebnis zurückgehen und doch lebenslang deutlich erinnert werden. Bei emotional stark bewegenden Ereignissen werden *Modulationssysteme* aktiviert (etwa durch Hormone), die die Stabilisierung der Erfahrung verstärken, - oder aber schwächen („Amnesie“, „Verdrängung“). In der Neurobiologie spricht man von *gesteigerten* bzw. *verminderten Inputs* (vgl. Martinez, S.676). Biochemiker vermuten, dass auf diese Weise Intensität, Dauer und Relevanz einer Erfahrung mitgestaltet werden, ja, dass Modulationssysteme „Farben“ von Gestimmtheiten, Gefühle und Empfindungen als eigene Informationen zu den Erinnerungen hinzufügen, die also dann deren affektiven Gehalte ausmachen. Ihre Mitwirkung scheint stark vom körperlichen Zustand des Lernenden abzuhängen: von seiner Stimmung, Gelassenheit, Unruhe; insbesondere Stress „beschädigt“ Erinnerungen (ebd.).

Ein reflektierendes Gedächtnis

(Bild Hase/ Ente)

Ich „sehe“ einen Hasen, wenn ich sage: „Das ist ein Hase.“; ich sehe eine Ente, wenn ich sage: „Das ist eine Ente.“ D.h.: Ich nehme erst dann etwas wahr, wenn dem nervösen Eindruck eine Bedeutung zugewiesen werden kann. Aber ich weiß auch: ich sehe den Hasen in einer bestimmten Situation, in einem Handlungszusammenhang, den bewerte ich mit Gefühlen, Einstellungen ..

Zum „Eindruck“ hinzu komponiere ich Aspekte meiner Erfahrungskonstitution, implizite Mitwahrnehmungen und Hinzugedachtes, aus denen insgesamt eine Situation, ein Text verständlich wird. Das alles zusammen macht einen Erfahrungskomplex aus; beim Kleinkind wirkt dieser noch als ganzer, beim Aufwachsen wird das Kind lernen, rationale, emotionale und Wertkomponenten abzutrennen.

Führt Lernen zu Veränderungen in den Verschaltungen, so kann „Gedächtnis“ definiert werden als „das Anhalten dieser Veränderungen über die Zeit sowie ihr Wirksamwerden zu einem späteren Zeitpunkt.“ (Menzel, S.510). Zugangsbahnen und Aufrufbahnen zum Gedächtnis müssen im Gehirn verschieden sein; das weiß man aus den Folgen von Schlaganfällen: entweder ist die Fähigkeit sich zu erinnern verloren oder aber die Fähigkeit, sich neue Erfahrungen zu merken.

Gedächtnis bildet sich in folgenden Phasen:

- a) das Aufnehmen des zu Lernenden (sensorisch, motorisch); die dazu kurzzeitig aktivierten Bahnungen im Gehirn bilden jeweils ein „Arbeitsgedächtnis“; je mehr vorgefertigte Netze aufnahmebereit sind, umso leichter gelingt das Lernen;
- b) das Kurzzeitgedächtnis ; stimulusspezifische Erregung, Erarbeitung des neu zu Lernenden mit anderen Erfahrungen, Gefühlen und Bewertungen; es besteht aus dem Teil des Gehirns, der aufgabenbezogen über eine Zeit von bis zu 30 Minuten gemeinsam aktiv ist; es ist sehr störanfällig und hat eine geringe Kapazität;
- c) die Konsolidierung durch Wiederaktivierung;
- d) Langzeitgedächtnis; sein „Ort“ hängt von den beteiligten sensorischen und motorischen Systemen ab und davon, ob die Inhalte prozedural oder deklarativ gelernt werden; es ist ziemlich resistent gegen Störungen und hat eine große Kapazität; prozedurale Gedächtnisinhalte sind zäher und schlechter durch neue Erfahrungen zu ersetzen, deklarativ explizit Gelerntes kann flexibler integriert und produktiv in neuen Situationen genutzt werden;
- e) zur Verhaltenssteuerung wird ein Teil des latenten Gedächtnisses als „Arbeitsgedächtnis“ aktiviert: ein kurzfristiges Verbundsystem unter Führung der „zentralen Kontrolle“ im präfrontalen Kortex (hinter der Stirn), das ausgewählte Sprachphrasen zu „artikulatorischen Schleifen“ und visuelle Vorstellungen zu einem „sensorischen Skizzenblock“ zusammenschaltet und interagieren läßt;
- f) Abrufen und Auslesen: intentional, aus Handlungsinteressen oder von neuen Wahrnehmungen ausgelöst; parallel geschaltet arbeitet eine Kontrolle, ob es „paßt“;
- g) durch häufiges Aufrufen werden auch deklarative bewusste Erfahrungen mehr und mehr automatisiert und prozedural nutzbar.

Fassen wir zusammen: Inhaltlich können wir zunächst grob drei Arten von Veränderungen der Gehirnstrukturen durch Lernen unterscheiden:

1. das Hinzufügen neuen Wissens durch Bahnung neuer Neuronenverbindungen
2. das Reorganisieren vorhandener Kenntnisse durch Wiederaktivierung und erneute Nutzung
3. das Verbessern vorhandener Verarbeitungsprozeduren

In Lernprozessen wirken meist Selbstorganisation und Fremdorganisation zusammen: entweder lösen neuartige Umweltbedingungen Lernprozesse aus oder eben Lehrer. Qualitativ können wir nun Lernprozesse unterscheiden, die zielen auf

- Gewöhnung, Automatisierung, Ritualisierung
- Assoziation, Verbindung vorhandener Netze, mehr Komplexität, mit neuen Nutzungsmöglichkeiten verknüpft
- Klassifikation, Einordnen von Neuem und Bekanntem in Systeme
- Neubewertung nach Qualität, Relevanz, ethischen Richtlinien
- Eroberung neuer Kenntnissfelder, „Horizontenerweiterung“, Modellierungen
- Differenziertere Versprachlichung
- Eliminierung als falsch, unbrauchbar...

In jedem Fall stellt das Langzeitgedächtnis ansprechbare Netze zur Verfügung, aus denen jetzt im Arbeitsgedächtnis Strukturen gebildet werden, die das zu Lernende erarbeiten können. Dies wird gestaltet von den konstituierenden Wahrnehmungen, den beteiligten Gefühlen, den aufnehmenden Inhaltsbereichen und der sinngebenden Aufmerksamkeit des Lernenden; es wird aber nur behalten, wenn er gleich mit den neuen Kenntnissen „umgeht“, also selbst etwas damit tut: es sich wieder und wieder vergegenwärtigt, es anwendet, es in Zweifel zieht, es fasziniert betrachtet ...

Die Fähigkeit des Menschen, sich „beim Denken zuzusehen“, ermöglicht eine ungeheure Vielfalt und Kreativität im Umgang mit Gelerntem: Auf jeden Aspekt des Erfahrenen kann er reflektieren: auf das Wahrnehmbare, das Kategorisierbare, das Versprachlichte, die Gefühlsprägung und Bewertung; aus solcher Reflexion kann er jeden Aspekt mental beeinflussen. Er kann intentional, aber auch nach Traummustern mit den Erfahrungen umgehen: Rational, in Tagträumen oder poetisch kann man sie von ihrer Handlungsgebundenheit befreien und in Imaginationen neu kombinieren. Oder man ordnet sie rational - logisch nach theoretischen Modellen zu hypothetischen, abstrakten Entwürfen; oder aber man reflektiert die Wertsysteme selbst, stellt sie in Frage und konstruiert verallgemeinerbare Normen, nach ethisch - politischen Prinzipien. Auch nichtbewusst überwachen wir übers „Monitoring“ die Verständlichkeit und Regelhaftigkeit von Formulierungen; zugleich setzen wir die miterlebte Interaktion ins Verhältnis zu uns selbst, vor allem zur Zukunft: Werde ich dazu stehen können?

Sprache lernen

Bei der Erforschung der sprachlichen Tätigkeiten des Menschen ist von Anfang an eine Vorstellung leitend gewesen, die bis heute weitergeschleppt wird – mit starken Konsequenzen: die Unterscheidung zwischen

- einem genutzten, alles ermöglichenden **Potential** von Zeichen oder Symbolen, die über lange Zeit identisch bleiben, und

- der Aktivierung, der **Nutzung** von Teilen dieses Potentials.

Das Potential definierte man als „Sprachbesitz“ oder „Sprachkompetenz“, formal als „Grammatik + Lexikon“; es ist der individuelle Anteil an einer in Gemeinschaften geltenden „Sprache“. Die Nutzungen kann man mit den „Gebrauchsformen“ des Sprechens, Schreibens, Verstehens und Reflektierens unterscheiden.

Beim „Lernen einer Sprache“ geschieht das Wunder, dass aus vielen besonderen, individuellen Äußerungen die allgemeinen Sinnelemente und Strukturen herausanalysiert und behalten werden, so dass sie selbst wieder in neuen Situationen genutzt werden können. In Nutzungen wird ein Potential aufgebaut und verändert.

Obwohl beide Kategorien unmittelbar zusammenhängen, das Potential nur als genutztes bewusst sein kann, trotzdem entwickelten sich für beide seit der griechischen Antike jeweils eigene Wissenschaften mit eigenen Theorien:

Zuerst als Grammatik - Rhetorik mit je eigenen Traditionen, dann

als langue - parole oder

als Sprache - Sprachgebrauch, besonders in der Sprachdidaktik; zugleich

als Grammatik - Pragmatik, besonders in der Linguistik. oder

als Sprach- - Kommunikationswissenschaften.

Dieselbe Unterscheidung erscheint auch in der gegenwärtigen Diskussion der Frage, was dem Menschen angeboren ist, damit er sprechen und verstehen lernen kann. In den letzten dreißig Jahren dominierte in Forschung und Lehre das Konzept einer angeborenen

Universalgrammatik,

das ist eine „Tiefen-Syntax“ mit sehr allgemeinen Kategorien (wie etwa „Kopf“) und Operationen (wie z.B. Rechts- oder Links-Verzweigungen), die jeder beim Sprechenlernen zu einer muttersprachlichen Grammatik ausbaut, indem er die vorgegebenen Parameter sprachspezifisch besetzt. (Z.B. in jedem Satz gibt es ein „Kopf-Glied“, von dem die anderen Satzglieder abhängen („Prädikat“); an welcher Stelle im Satz es steht, ist aber sprachspezifisch.). Als Ziel der Beschreibung wird hier die Ausarbeitung von Grammatiken gesehen, wobei jeweils von den Kommunikationsbedingungen abgesehen wird (Gedächtnis, Umwelt, Intention ...).

Die andere Richtung erforscht, wie Sprache erlernt, gebraucht und im Gehirn repräsentiert wird, und zwar jeweils unter Einbezug aller faktischen Bedingungen der einzelnen Menschen. Diese Forschungsrichtung wird betrieben von den

- Konnektionisten,

das sind Neurologen und Informatiker, die mit Computern sog. neuronale Netzwerke nachbilden, um das tatsächliche biologische Funktionieren eines menschlichen Gehirns immer adäquater zu erforschen.

Beide Forschungsrichtungen nutzen zur Beschreibung der entstehenden Sprachstrukturen das Modell der Fillmoreschen „Kasusgrammatik“: der Satz wird dabei als Handlung verstanden mit den Kategorien action, actor, goal, instrument ... Im Streit der Chomsky – Schule mit der Piaget - Schule¹ in der Frage, ob eine solche Grundstruktur als „Universalgrammatik“ angeboren ist oder durch motorische Tätigkeiten und deren Schematisierung im 1.Lebensjahr erworben wird, wird Piagets Hypothese immer plausibler und wahrscheinlicher. Demnach baut das Kind bis zum 2.Lebensjahr Handlungsstrukturen auf, mit denen es dann – u.a. auch – sprechen lernt und seine syntaktische Kompetenz strukturiert.

In der Linguistik dominiert nach wie vor Chomskys Ansatz, während Piagets Konzept in der Sprach- und Neuropsychologie sehr erfolgreich weiter ausgestaltet und abgesichert wird. Hervorzuheben sind hierbei insbesondere die klinischen Forschungen J.S.Bruners² und die neurologischen Untersuchungen Patricia M.Greenfields³, die nachwies, dass

¹ dokumentiert in: M.Piatellei-Palmarini (Hg.), Language and Learning, London 1980.

² siehe z.B. J.S.Bruner, Acts of Meaning, Cambridge (Mass.) 1990.

³ siehe z.B. P.A.Greenfield, Language, Tools and Brain, in: Behavioral and Brain Sciences 4/1991, S.531 – 588.

dasselbe Hirnareal, das zunächst für das Erlernen der intentionalen Körpermotorik zuständig ist, ab dem 2.Lebensjahr auch das Erlernen der Syntax steuert.

Und diese Richtung wird eben auch von den Konnektionisten unterstützt; sie sagen: Wir können nicht einfach die entscheidenden Merkmale vernachlässigen, die die sprachlichen Fähigkeiten gerade aus ihren Gebrauchsweisen und der Arbeitsweise der beteiligten Hirnareale erhalten. Sie stimmen mit den Universalgrammatikern in der Voraussetzung überein: Das Wunder ist, dass die Kinder aus richtigen und falschen Angeboten ihrer Umwelt, aus schludrig gesprochenen und verkürzten Sprachfetzen eine „richtige“ Grammatik aufbauen. Während aber nun die Chomsky – Jünger daraus folgern, dass dieses Wunder nur mit einer angeborenen Universalgrammatik vollbracht werden kann, sagen die Konnektionisten: Das muss nicht sein, das kann nämlich auch nach den Prinzipien des Wahrscheinlichkeitslernens klappen! Sie wollen keine Grammatik als Endergebnis haben, sondern Antworten auf die Frage:

Wie lernen Netzwerke, Aufgaben wie das Verstehen und das Äußern auszuführen, und zwar

- unter natürlichen Bedingungen („noisy input)
- beim Aufgabenlösen
- unter paralleler Verarbeitung multipler Bedingungen und Regeln.⁴

Konnektionisten gehen davon aus, dass angeborene oder pränatale oder erstjährige Fähigkeiten sich auch auswirken können als Vorlieben oder Sensivitäten gegenüber bestimmten Typen von Informationen, die in Ereignissen inhärent sind. „Die Hirnorganisation und die Lernweisen bestimmen, wie Sprache gelernt wird, aber die Prinzipien, die Erwerb, Repräsentation und Gebrauch der Sprache regieren, sind nicht spezifisch für diese Art von Wissen.“(a.a.O., S.1603) Wie schon gesagt, lernt das Kind eine Sprache oder mehrere mit denselben Lernfähigkeiten, die es auch für andere Lernprozesse einsetzt. Sprache ist nicht etwas Isoliertes, etwas gegenüber allen Fähigkeiten Besonderes, sondern Sprache ist eine spezifische Umgangsform mit den anderen Kenntnissen.

Ich will versuchen, in aller Kürze die Sichtweise der „probabilistic constraints perspective“ zu beschreiben: In dieser Perspektive lernt das Kind die Zwänge oder Bedingungen seiner Geistestätigkeiten nach den Prinzipien der Wahrscheinlichkeit. Ein neuronales Netzwerk besteht aus Neuronen und ihren gewichteten Verbindungen in den Nervenbahnen: Je dicker eine Bahn ist, desto wahrscheinlicher wird sie wieder aktiviert. Interpretiert jemand einen gehörten Satz richtig (d.h. er hat auch die Regeln richtig angewendet), so wird das dafür aktivierte Netz wieder verstärkt; ist jedoch die Reaktion negativ, wird das Netz in seiner Gewichtung probeweise verändert: Das Gehirn passt sich wieder der Sprache näher an (Assimilation).

Bis zum 2.Lebensjahr hat das Netzwerk basale Handlungsstrukturen sensomotorisch gelernt; dieses Netz unterlegt es nun auch gehörten Äußerungen und konstruiert über bestätigte bzw. abgelehnte Wahrscheinlichkeiten seine spezifische muttersprachliche Grammatik. Sprechlernen ist in dieser Perspektive eine Entdeckungsprozedur.⁵

Dieser Erklärungsansatz scheint für uns Lehrer besonders hilfreich zu sein, weil er uns erkennen läßt, dass Kinder besser sprechen lernen durch Ausprobieren, durch Fehler, durch Bestätigung, durch Eigenaktivität, durch variierendes Üben, durch Spaß und Interesse, durch sinnvolle Aufgaben in Handlungszusammenhängen, insgesamt also durch Ernstgenommenwerden und durch Anerkennen ihrer persönlichen Lernweise.

Dieser Erklärungsansatz wird ebenfalls unterstützt von einem anderen Strang psychologischer und neurologischer Erkenntnisse, nämlich denen über

⁴ Vgl. zum Folgenden:

⁵ teilt mit, dass er eine Dissertation in Kalifornien kenne. nach der bereits ein Computer – Netzwerk gelernt hat, aus einer Fülle normaler Äußerungen Verben mit ihren Argumentstrukturen zu erlernen, also etwa Verbalphrasen wie: jemandem eine Frage stellen. Der Autor betont aber auch immer wieder, wie sehr man in dieser Arbeitsweise noch am Anfang stehe.

deklarative und prozedurale Gedächtnisleistungen

Unter den Basisqualifikationen haben wir WISSEN und KÖNNEN unterschieden⁶, seit Gilbert Ryles Buch „The Concept of Mind“⁷ von 1969 werden Geistestätigkeiten grundsätzlich nach „knowing that“ und „knowing how“ unterschieden. Unabhängig davon entstand in der Sprachpsychologie und in der Neurologie die Unterscheidung von deklarativem und prozeduralem Wissen⁸. Deklaratives Wissen ist (richtiges oder falsches) Faktenwissen, das man sich – meist sprachlich – bewußt machen kann. Prozedurale Fähigkeiten wirken unbewußt zusammen, wenn wir komplexe (Sprach-)Handlungen samt ihrer Motorik ausführen; diese müssen wir nicht bewußt kontrollieren; wir können sie nicht über Introspektion kennenlernen, sondern nur über alltagspraktische Vermutungen oder wissenschaftliche Beschreibungsmodelle. „Faktenwissen kann durch Mitteilung unmittelbar erworben werden, während Fähigkeiten graduell und durch Übung zustande kommen.“⁹.

In der Neurologie ist es strittig, ob deklarative und prozedurale Prozesse in verschiedenen Nervennetzen behalten werden oder ob alle Wissensbestände in Umgangsformen eingebunden sind; wahrscheinlich gibt es beides: allgemeine, leicht übertragbare Fähigkeiten und auch inhaltsgebundene Prozeduren (wie etwa in der Mathematik).

Schulunterricht soll nach einer gängigen Vorstellung oft prozedurales Wissen bewußt machen und dadurch planbar, beherrschbar, etwa in einem grammatikgeleiteten Aufsatzunterricht. Dass das nie klappte, wissen Lehrer; aber warum es nicht klappen konnte verstanden sie nicht. Jetzt wird es erklärbar: Prozedurales Wissen – wie etwa unsere Fähigkeit, richtige Sätze zu formulieren – sind der Introspektion nicht zugänglich. Nicht der beste Forscher kann sich oder anderen dabei zusehen, wie sie Sätze bauen und grammatische Regeln befolgen. Laien oder Wissenschaftler können aber versuchen, die ungekannten Prozeduren zu verstehen, indem sie über Ausgangsbedingungen, Zwischenstationen und Produkte auf die ablaufenden Prozeduren schließen. Sie bilden Hypothesen und kommen über bestätigte Erfahrungen zu Alltagswissen über ihr Können, oder aber sie kommen über Forschungen zu theoretischen Beschreibungsmodellen („Grammatiken“). Beide Kenntnisse müssen nicht richtig sein, denn ihr Können funktioniert unabhängig von diesem Wissen.

Oswald/ Gadenne nennen das deklarative Wissen, das als alltagspraktische Annahme oder als wissenschaftliche Theorie über Prozeduren modelliert wird, *hypothetisches Handlungswissen*¹⁰. Es ist ja nicht durch direkte Erforschung erkannt, sondern über theoretische Konstruktion modelliert worden¹¹. Hypothetisches Wissen ist auf keinen Fall dasselbe wie die eigene Fähigkeit, die es beschreiben will; deshalb läßt sich eben grammatische Belehrung nicht unmittelbar in Verbesserung der sprachlichen Fähigkeiten umsetzen. Es ist ein eigenes, zusätzliches Wissen über ein Beschreibungsmodell, es ist theoretisches Wissen und muss auch theoretisch gelernt werden. Das heißt, dass wir den Schülern den hypothetischen Charakter grammatischer Beschreibungsmodelle bewußt machen müssen; dann können wir angemessen, nämlich operational und konstruktiv, erprobend mit den Modellen umgehen¹¹.

Einige Folgen für den Unterricht

⁶ Vgl. W. Ingendahl, Schlüsselqualifikationen als Basis zukünftiger Kompetenzen, in: Schulmagazin 5 – 10, 9/97, S.4 – 11.,

⁷ G. Ryle, Der Begriff des Geistes, Stuttgart 1969.

⁸ Vgl. v.a. die Übersichts-Darstellung von M. Oswald/ V. Gadenne, Wissen, Können und künstliche Intelligenz, in: Sprache und Kognition 3, 1984, S.173-184.

⁹ ebd. S.175.

¹⁰ ebd. S.181.

¹¹ Vgl. W. Ingendahl, Sprachreflexion statt Grammatikunterricht, in: Wirkendes Wort 2/1997, S.272 – 291.

Jeder wird bei der Lektüre hirnpfysiologischer Erkenntnisse an anderen Stellen stutzen, aufmerken, sich spontan Konsequenzen für seinen Unterricht vorstellen. Das ist auch gut so. Deshalb sollten sich Lehrergruppen zusammensetzen und eine Reihe für sie relevanter Folgerungen ableiten und besprechen. Deshalb will ich nur einige Anregungen zum Konsequenzziehen in Stichworten zum Abschluß notieren:¹²

(das Folgende evtl. als „Kasten“ oder unterlegt hervorheben)

1. Pädagogisch:

- Veränderung der Lehrerrolle: nicht mehr Wissenseintrichter, sondern Organisator von Lernprozessen und von psychosozialen Prozessen der Veränderung jungen Lebens;
- die Verhältnisse von Nähe und Distanz sind neu zu überdenken;
- pädagogische Probleme können nicht mehr institutionell verdrängt werden, sondern sind in den Unterrichtsprozessen zu bearbeiten

2. Didaktisch:

- Es ist illusorisch, den von allen Störeinflüssen gereinigten Lehrstoff isolieren zu können. Das Gehirn arbeitet assoziativ; so ist das Herstellen von Querverbindungen und Beziehungen zu Bekanntem oder Vermuteten nicht unerwünscht, sondern wichtige Lernarbeit;

- Unterrichtsmaterialien sollten nicht so „fremd“ sein („Schulbücher“ und vorgefertigte „Arbeitshefte“ und „-blätter“), sondern aus eigener Erfahrung von Schülern und Lehrern in die Klasse mitgebracht. Auch der Lehrer erzählt von seinen persönlichen Beziehungen zum Stoff, was ihn daran interessiert, fasziniert... Davon kann eine persönlich/ emotional geprägte Auseinandersetzung der Schüler mit dem Lernangebot ausgehen. Es kann ein kommunikatives Klima entstehen, versuchsweises Umgehen; Alternativen kommen in den Blick, Kritik traut sich hervor ...

- Alles neu zu Lernende muss bei jedem Schüler an Bekanntem festgemacht werden, denn Lernen besteht in der Veränderung und Bereicherung dieses Bekanntem.

Das bedeutet z.B. für das Erlernen abstrakter Begriffe und Termini: Die Kinder erzählen von realen Erfahrungen; vergleichbare werden zusammengestellt, Gemeinsamkeiten und Unterschiede benannt; diese werden zu Begriffen der nächsten Abstraktionsebene gebündelt. Erst jetzt können wissenschaftliche Termini angeschlossen werden.¹³

3.-Methodisch:

- Eine ideale Organisationsform für den Unterricht ist die „angeleitete Projektarbeit“, - nach einer Handlungs-Verlaufsstruktur und mit „emotionalen Inseln“, also Lernphasen, die viel Spaß und Lust auf mehr machen;

- Die starre Stundenordnung ist aufzulösen, denn Lernen braucht seine Zeit; Zwanzig-Minuten-Einheiten sind ideal zum Planen und Lernen;

- Wiederholung und Übung gehören immer mit dazu, aber nicht drillmäßig, sondern in kreativen Variationen, als Problemlösungen.

3. In den einzelnen Lernprozessen:

- Das Lernangebot muss „ansprechend“ sein, so dass der Lernende „antworten“ kann.

¹² Viele der im folgenden genannten Einsichten haben „gute Lehrer“ immer schon gehabt und praktiziert, sicherlich. Überraschend aber fiel mir auf, dass die meisten der durch die Neurowissenschaften erhärteten Einsichten sich auch wiederfanden in pädagogischen Leistungen, die Oskar Negt in seinem Buch „Kindheit und Schule in einer Welt der Umbrüche“ (Göttingen, Steidl 1997) als übertragbar von Alternativschulen auf Regelschulen nennt.

¹³ Bevor also etwa die Kinder Adjektive als „Eigenschaftswörter“ kennenlernen, müssen sie den Begriff „Eigenschaft“ kennen und richtig anwenden können.

- Das Problem, das im Lernprozeß gelöst werden soll, muss der Lernende selbständig als seins formulieren können,
 - es sollte mit Gefühlen und positiven Stimmungen umstellt sein.
 - Gelernt wird nur in den Phasen ununterbrochener Aufmerksamkeit. Wer „wegdriftet“, sollte Zeit bekommen, wieder zurückzukommen.
 - Da Lernarbeit immer im Anknüpfen des Neuen an das Alte besteht, muss mit diesem „Knoten“ umgegangen werden, er muss „bewegt“ werden, - möglichst handlungsorientiert, also im Wissen um den Sinn des Gelernten, um das, „was das alles soll“, um mögliche Ziele. Wenn das Gelernte wieder aktiviert wird, dann möglichst um damit interessantes Wissen, Fragen, Geschichten ... zu erzeugen.
 - Jedes Gelernte kann in verschiedenen sprachlichen Fassungen formuliert werden, in anderer Gewichtung, anderer Beleuchtung, unter anderer Ansicht, in neuen Zusammenhängen..
 - Gelerntes kann in andere Medien übersetzt werden: in Töne, Bilder, Comics, Zeichnungen, Diagramme, Formeln, Cluster, Texte/ Gattungen ...
 - Reflexiv werde ich mir darüber klar, dass ich das Gelernte „selbst gemacht“ habe!
 - Metakognitiv kann man das Gelernte in Frage stellen, ihm probeweise widersprechen, ihm kontrastive Erfahrungen gegenüberstellen, seine Relevanz diskutieren: Wieso soll das für mich/ uns wichtig sein/ werden?
 - Metareflexiv kann man prozedurale Fähigkeiten beschreiben (etwa als „Grammatik“); dadurch entsteht aber neben der eigenen Sprachkompetenz nur ein Beschreibungswissen, das die Fähigkeiten nicht automatisch verbessert.
- Gemeinsam wäre zu überlegen, was man mit dem Gelernten anstellen kann. wofür man es brauchen, wen man damit informieren könnte, welche Gefühle man wohl damit erzeugt: Begeisterung oder Abwehr?
- Dies können Sie, lieber Leser, sich auch jetzt nach der Lektüre dieses Aufsatzes fragen, auch, worin die Gründe für Ihre Begeisterung oder Abwehr liegen mögen. Und wenn Sie das alles schon wußten, dann teilen sie doch bitte in dieser Zeitschrift mit, wie sie mit diesem Wissen unterrichtet haben.

Literaturverzeichnis

- Babinsky, R./Markowitsch, H.J., Lernen in neuronalen Strukturen, in: siehe Klix, S. 1-84.
- Emrich, H.M., Konstruktivismus: Imagination, Traum und Emotionen, in: Schmidt, Kognition (s.d.), S.76-96.
- Flohr, H., Die physiologischen Bedingungen des phänomenalen Bewusstseins, in: Forum für interdisziplinäre Forschung 1/1992, S.49-55.
- Förster, H. von, Erkenntnistheorien und Selbstorganisation, in: Schmidt, S.J.(Hg.), Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S.133-158.
- Heisenberg, M., Gedanken zu einer biologischen Theorie der Wahrnehmung, in: Forum für interdisziplinäre Forschung 1/1992, S.41-48.
- Iran - Nejad, A./Homeifar, A., Assoziative und nicht-assoziative Theorien des verteilten Lernens und Erinnerns, in: Schmidt, s.d., S.206-249.
- Kandel/ Hawkins, The Biological Basis of Learning and Individuality, in: Scientific American 9/1992, S.52-60.
- Karmiloff - Smith, A., Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive science, Cambridge (Mass.)1992.
- Klix, F., Lernen und Denken, in: Hoffmann/ Kintsch (Hg.), Enzyklopädie der Psychologie, Bd.7: Kognition: Lernen, Göttingen 1996, S.529-582).
- Knobloch, C., Sprache und Sprechfähigkeit, Tübingen 1994.
- Lumsden, C.J., Gene - Culture - Coevolution, in: de Kerckhove/Derrick (Eds.), The Alphabet and the Brain, Berlin 1988, S. 17 - 37.

- Luria, A.R., Das Gehirn in Aktion, Reinbek 1992.
- Martinez, J.L., Learning and Memory, in: R.Dulbecco (Ed.), Encyclopädia of Human Biology, IV, San Diego 1991, S.673-679.
- Maturana, H.R., Erkennen, Braunschweig/ Wiesbaden 1982.
- Menzel, R., Neuronale Plastizität, Lernen und Gedächtnis, in: siehe Roth 1996, S.485-518.
- Oswald/ Gadenne, Wissen, Können und künstliche Intelligenz, in: Sprache und Kognition 3,1984, S.173 – 184.
- Pulvermüller, F./ Schumann, J, Neurobiological mechanisms of language acquisition, in: Language learning 4/1994, S.681 – 734.
- Roth, G., Kognition: Die Entstehung von Bedeutung im Gehirn, in: Krohn/Küppers (Hg.), Emergenz: Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung, Frankfurt 1992, S.104-133.
- Roth, G./Menzel, R., Neuronale Grundlagen kognitiver Leistungen, in: Dudel/ Menzel/ Schmidt (Hg.), Neurowissenschaft, Berlin 1996, S.539-560
- Ryle, G., Der Begriff des Geistes, Stuttgart 1969.
- Schmidt, S.J. (Hg.), Gedächtnis, Frankfurt 1991.
- Schmidt, S.J. (Hg.), Kognition und Gesellschaft, Frankfurt 1992.
- Singer, W., Die Entwicklung kognitiver Strukturen - ein selbstreferentieller Lernprozeß, in: Schmidt, Gedächtnis (s.u.), S.96-126.
- Singer, W., Hirnentwicklung und Umwelt, in: ders. (Hg.), Gehirn und Kognition, Heidelberg 1990, S.50-65, hier S.61.
- Waldmann, M.R., Wissensgeleitetes Lernen, in:siehe Klix, S. 321-345.