

## Dem Lernen auf der Spur

Neurobiologische Modellvorstellungen und neurodidaktische Zugänge zur Lern- und Unterrichtsgestaltung<sup>1</sup>

Was geschieht eigentlich in unserem Gehirn, wenn wir lernen? Welche gehirninterne Prozesse werden miteinander koordiniert, wenn wir etwas speichern, behalten, erinnern? Wie beeinflussen unsere Emotionen und Gefühle unsere Lernfähigkeit? Welche Rolle spielen unsere Interessen, unsere Begabungen in unterrichtlichen Lernsituationen?

Auf diese und viele andere Fragen versucht die neurobiologische Forschung Antworten zu finden. Gerade für die Fächer des naturwissenschaftlichen Lernbereichs ist es von besonderem Interesse, die Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschungsarbeit zu nutzen und sie in (neuro-)didaktische Konzepte zu überführen. Dabei wird erkennbar, dass sich auf dieser neurobiologischen Grundlage so etwas entwickelt wie ein „evidenzbasiertes“ Modell „gehirnfrendlichen Lernens und Lehrens“. Interessant ist dabei, dass sich viele der so entstehenden Anregungen mit dem decken, was wir aus der Schul- und Unterrichtsforschung über „guten Unterricht“ wissen.

In jedem Fall lohnt es sich für Lehrerinnen und Lehrer, neurobiologische Modellvorstellungen auf unterrichtliche Bedeutung zu befragen. Zehn basale Modellvorstellungen werden nachfolgend skizziert; daran angehängt werden die entsprechenden didaktisch-methodischen Überlegungen und Anregungen.

### 1. Neuronale Selbstorganisation

Unser Gehirn kann als ein weitgehend sich selbst steuerndes, mit sich selbst neuronal kommunizierendes und interagierendes System verstanden werden. Dabei ist unser Gehirn sozusagen zweigeteilt. Grundstrukturen und -verbindungen sind zwar gentechnisch weitgehend festgelegt, ihre Entwicklung und volle Funktionsfähigkeit aber sind abhängig von Umwelt- und Sinnesreizen. Die häufige Nutzung der bestehenden Verbindungen und deren Aktivierung durch Sinnesreize führen nämlich erst dazu, dass immer mehr und immer stabilere Verknüpfungen entstehen. Wolf Singer weist darauf hin, dass wir gut daran tun, „uns das Gehirn als distributiv organisiertes, hoch dynamisches System vorzustellen, das sich selbst organisiert, anstatt seine Funktionen einer zentralistischen Bewertungs- und Entscheidungsinstanz unterzuordnen; ...das ... auf der Basis seines Vorwissens unentwegt Hypothesen über die es umgebende Welt formuliert, also die Initiative hat, anstatt lediglich auf Reize zu reagieren. Insoweit entspricht die neue Sicht, mit der unser Gehirn seinesgleichen beurteilt, durchaus einer konstruktivistischen Position.“ (Singer 2002: S. 111) In der Diskussion um die Beziehungen zwischen erkenntnisphilosophischen, neurobiologischen und neurodidaktischen Zugängen vermag auch die Position von Gerhard Roth zu vermitteln. Er verweist darauf, „dass eine philosophische Erkenntnistheorie nicht ohne empirische Basis auskommen kann, genauso wenig wie empirisches Forschen ohne erkenntnistheoretische Grundlage möglich ist. Beide Bereiche bedingen sich gegenseitig, und keiner ist dem anderen vorgeordnet.“ (Roth 2001: S. 24) Das gilt auch für das Verhältnis von Neurobiologie und Didaktik. Wir lernen mit Hilfe neurobiologischer Forschungsergebnisse besser zu ver-

---

<sup>1</sup> vgl. dazu: Schirp, H. (2006): Wie lernt unser Gehirn Werte und Orientierungen? in: Herrmann, U. (Hrsg.) (2006): a.a.O.

stehen, wie unser Gehirn arbeitet und wie wir die Entwicklungsprozesse unserer Kinder und Jugendliche unterstützen können.

- Die neuronale Selbstorganisiertheit unseres Gehirns verweist darauf, dass „Wissen“ nicht einfach von den Lehrenden in die Köpfe ihrer Schülerinnen und Schüler transferiert werden kann. Das Diktum von der „Nutzlosigkeit von Belehrungen und Bekehrungen“ findet seine Begründung darin, dass Lernen ein konstruierender, selbstständiger Prozess ist, der von den bereits vorhandenen Lernerfahrungen, Verarbeitungs- und Verstehensmustern abhängt. Die Unterrichtsplanung kann dies etwa dadurch berücksichtigen, dass offene Lernsituationen hergestellt werden, in denen eigene Lernstrategien entwickelt und genutzt werden. Lernstrategien können sich dabei auf das Erlernen und Behalten von Vokabeln ebenso beziehen, wie auf die systematische Bearbeitung eines Textes, die Erarbeitung eines Sachproblems oder die Gestaltung von Teamarbeit. Man muss unterschiedliche Angebote erproben können, um herauszufinden, mit welchem Verfahren man selbst am Besten zurechtkommt.

## 2. Muster und Mustererkennung

Mit jedem Wahrnehmungs- und Verarbeitungsvorgang entstehen in den jeweils beteiligten neuronalen Strukturen Ladungsprozesse. Gleiche Inputs und Verarbeitungsprozesse führen dazu, dass auch gleiche Zellverbände angesprochen und entwickelt werden. Die Nervenzellen stellen sich sozusagen immer besser auf bestimmte Inputsignale ein - sie „lernen“. Unser Gehirn wäre nun aber völlig überfordert, wenn es alles verarbeiten und speichern würde, was über die Sinne an „Inputs“ entsteht. Um nicht „im Chaos der Sinne“ unterzugehen, hat das sich das Gehirn im Laufe der Evolution so organisiert, dass alles, was wahrgenommen wird, mit den jeweils schon bestehenden, bearbeiteten und gespeicherten Wahrnehmungen abgeglichen wird. Das bedeutet, dass dort eher etwas verarbeitet wird, wo es schon ähnliche Strukturen gibt. Auf diese Weise entstehen allmählich immer stabilere Muster und Verbindungen. Häufigere und ähnliche Inputs werden darüber hinaus auch auf einer größeren Fläche repräsentiert als etwa seltene Inputs. (vgl. Spitzer 2000: S. 95 ff) Je größer die Zahl der Repräsentanzstellen bestimmter Muster und je stärker ausgeprägt ihr neuronales Potenzial, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese Muster auch wieder aktualisiert (erinnert) und für weitere Verarbeitungsprozesse genutzt werden können.

Die Leistungsfähigkeit unserer neuronalen Potenziale und Verbindung hängt also u.a. davon ab, wie häufig wir sie benutzen und wie positiv die damit verbundenen Nutzungserfahrungen sind.

- Weil sich kognitive, emotionale und fachspezifische Muster nur langsam entwickeln, und damit sie viabel“, d.h. gangbar, tragfähig, funktional werden, müssen sie häufig in Gebrauch genommen und genutzt werden. Sie sollten dazu z.B. begrifflich benannt und ggf. sogar symbolisch gekennzeichnet werden, damit sie als wichtige „Verarbeitungsroutinen“ bewusst gemacht werden können. Solche „Muster“ und die entsprechenden „Mustererkennungsprozesse“ lassen sich sowohl für sozialinteraktive Prozesse verdeutlichen als auch für fachlich-methodische Lernverfahren. Wie diskutieren wir miteinander? Welche Formen der Kooperation wollen wir einüben? Wie lassen sich tragfähige Verfahren entwickeln, Ergebnisse darstellen? Welche Vereinbarungen haben wir für bestimmte Arbeitsweisen festgelegt (z.B. für Texterarbeitung, Durchführung von Experimenten, Ordnungsdienste in der Klasse etc.) Muster werden durch häufige Nutzung, durch Bewusstmachen und durch positive Rückmeldungen nachhaltig erlernbar.

### 3. Sinn, Bedeutung, Relevanz

Unser Gehirn verarbeitet nicht alle Sinnesreize zu Mustern. Es gewichtet sie und wählt die aus, die sich z.B. als bedeutsam, wichtig, neu oder sinnvoll identifizieren lassen; es sorgt so für den Aufbau „sinnvoller“ Wahrnehmungs- und Erinnerungsstrukturen, die zur Bewältigung von Lebenssituationen notwendig sind. Die zentrale Stelle, an der diese Gewichtung geschieht, ist der Hippocampus. In der englischsprachigen Fachliteratur wird seine Bedeutung mit „hub“, „Nabe, Radnabe“ treffend charakterisiert; damit wird verdeutlicht, dass sich alles, was mit neuronalen Lern- und Verarbeitungsprozessen zu tun hat, um diese Struktur dreht. Der Hippocampus ist zuerst einmal eine Art „Detektor von Neuigkeiten“ (Spitzer) und als solcher für die Unterscheidung von alt, bekannt, unwichtig, unbedeutend, uninteressant und neu, unbekannt, wichtig, bedeutsam, interessant etc. zuständig. Zum zweiten sorgt er aber auch dafür, dass Fakten, Ereignisse, Situationen und Neuigkeiten bewusst wahrgenommen und verarbeitet werden. Wenn der Hippocampus eine Sache als neu, als interessant, als bedeutsam und wichtig identifiziert und entsprechend gewichtet hat, bildet er „neuronale Repräsentationen“ aus, d.h. er macht sich daran, diese Zusammenhänge zu speichern.

- Das, was für uns „Sinn macht“, wird besonders gut behalten. Sinnggebung ist aber auch ein subjektiver Wahrnehmungsprozess. Schon deswegen ist es wichtig, im Unterricht die Schülerinnen und Schüler an einer solchen Sinnkonstruktion zu beteiligen. Das kann z.B. dadurch unterstützt werden, dass
  - die Vorkenntnisse und Erfahrungen aktiviert und damit schon bekannte Zusammenhänge erkannt werden können,
  - der „Neuigkeitswert“ des Lerngegenstands bewusst gemacht wird,
  - Schülerinnen und Schüler eigen Ziele für die eigen Lernarbeit aufstellen,
  - Unterrichtsinhalte in größere Zusammenhänge eingebettet werden und die Schülerinnen und Schüler so den kontextuellen Sinn des Unterrichtsstoffes wahrnehmen können. Lehrer/-innen können dazu z.B. eine kurze, den Kern der Unterrichtsstunde verdeutlichende Zusammenfassung vorab geben („advance organiser“),
  - ganz explizit die Bedeutung des Unterrichtsinhalts, seine Anwendungsmöglichkeiten, seine wissenschaftliche, kulturelle, gesellschaftliche ... Relevanz verdeutlicht wird,
  - die kontroversen Beurteilungen, das Problematische ... zu einem Unterrichtsinhalt dargestellt werden.

### 4. Extraktion von Regeln und Ordnungsstrukturen

Der Hippocampus sorgt darüber hinaus dafür, dass wichtige Ereignisse, Neuigkeiten und Zusammenhänge in langfristige Speicherstrukturen überführt werden. Diese letztgenannte Funktion vor allem macht ihn zum Dreh- und Angelpunkt unserer Speicher- und Erinnerungsprozesse. Im Gegensatz zu unserem Kortex, der Großhirnrinde, arbeitet und „lernt“ der Hippocampus nämlich zwar schnell, aber er verfügt nur über eine relativ geringe Speicherkapazität. Unsere Großhirnrinde hat dagegen eine schier unbegrenzte Speicherkapazität, aber sie „lernt“ nur sehr langsam und eigentlich erst dadurch, dass bestimmte Informationen und Muster immer wieder, auch in neuen Zusammenhängen und unterschiedlichen Kontexten angeboten und verarbeitet werden. Genau diese Prozesse setzt der Hippocampus in Gang. Er leitet das an die deutlich größere Speichereinheit Kortex weiter, was er selbst als bedeutsam gewichtet und gespeichert hat. Hippocampus und Großhirnrinde arbeiten dabei gleichzeitig arbeitsteilig und synchron. Der Hippocampus fungiert gewissermaßen als

„Trainer und Lehrer des Kortex“. „Immer dann, wenn der Hippocampus etwas (vorläufig) gelernt hat, wird nachfolgend „off-line“ das Gelernte zum Kortex übertragen und dort weiter verarbeitet. Dies geschieht übrigens auch z.B. im Schlaf. Auf diese Weise speichert der prinzipiell sehr langsam lernende Kortex im Laufe der Zeit alles Wichtige, was zuvor eben im Hippocampus gespeichert worden war.“ (Spitzer 2002: S. 22 ff, S. 125)

- Regeln und Ordnungsstrukturen etwa werden nicht dadurch gelernt, dass man sie einmal auf- oder abschreibt oder sie auswendig lernt, sondern dadurch, dass sie sich in vielen ähnlichen Situationen als nützlich und hilfreich erweisen. Dazu bedarf es freilich entsprechend didaktisch und methodisch organisierter Lernsituationen. Wolfgang Edelstein bezeichnet diese als „entgegenkommende Verhältnisse“; in ihnen können Schülerinnen und Schüler Regeln und Ordnungsstrukturen, Heuristiken, Verfahrensschritte, Arbeitstechniken, Methoden erproben, anwenden und konkrete Erfahrungen damit machen.

## 5. Implizite und explizite Verarbeitungsprozesse

Vieles, was wir lernen, lernen wir ganz bewusst, vieles aber lernen wir auch eher unbewusst im Laufe unserer Entwicklung. Verhaltensweisen, Gewohnheiten, unsere Einstellungen etc. haben wir ja überwiegend nicht explizit gelernt, sondern implizit, unbewusst durch Imitation oder durch Orientierung an Modellen, die wir in Familie, Schule, Umfeld vorfinden. Solche impliziten Lernergebnisse sind gerade deswegen häufig so stabil, weil sie sich über längere Zeiträume ganz allmählich durch viele ähnliche Inputs entwickelt haben und somit eine extrem starke neuronale Repräsentanz aufweisen. Die jüngsten Forschungen zum Phänomen der „Spiegelneuronen“ zeigen, dass z.B. in sozialen Situationen beim Betrachter häufig die gleichen neuronalen Cluster und Verbindungen aktiviert werden wie bei der Person, deren Verhalten gerade beobachtet wird. Wahrnehmungen wie Mitgefühl oder Mitleid lassen sich z.B. als Ergebnisse der Wirkung von Spiegelneuronen verstehen. Das aber gilt nicht nur für soziale Prozesse, sondern für viele Formen von Vorbildern, an denen sich unser Handeln implizit orientiert.

- Implizites Lernen benötigt Vor-Bilder, Vor-Machen, Vor-Leben. Wo sich solche „Vor-Gaben“ erkennbar bewähren, werden sie auch übernommen und in das eigene Repertoire überführt. Das didaktische Modell des Lernens durch Beobachtung, Nachahmung und ggf. Übernahme etwa im Sinne eines „Experten-Novize“ Schemas findet sich im Konzept „Cognitive Apprenticeship“ wieder.
  - Lehrerinnen und Lehrer können und sollten bestimmte Verfahrensschritte „vor-machen“, sie genau beobachten und dann von den Schülerinnen und Schülern selbst nachvollziehen lassen.
  - Gruppen oder einzelne Schülerinnen und Schüler, die spezifische Kompetenzen bereits (erworben) haben, dienen als Beobachtungsobjekte für andere, die sich etwas „abschauen“ können.
  - Nicht alles muss/kann/sollte dabei 1:1 übernommen werden; nachdem man sieht, wie andere die Sache angehen, sollten auch eigene Varianten dazu entwickelt werden können.
  - Jüngere Schülerinnen und Schüler können dabei besonders gut von älteren lernen und sich an deren Verhaltens- und Arbeitsweisen orientieren.

## 6. Episodisches und deklaratives Lernen

Unser Gehirn bewertet und gewichtet die Vielzahl der über unsere Sinne einströmenden Eindrücke, bearbeitet und sortiert sie und speichert sie vernetzend in diversen Gedächtnissen. Der Plural wird hier deswegen gewählt, weil sich die Gedächtnisformen und die damit zusammenhängenden neuronalen Strukturen voneinander unterscheiden. Bezogen auf die Inhalte unterscheidet man z.B. ein deklaratives (explizites Wissen) und ein nicht-deklaratives (implizites Können) Gedächtnis.

Das deklarative Gedächtnis lässt sich noch einmal unterteilen in ein semantisches und ein episodisches Gedächtnis. In unserem semantischen Gedächtnis werden z.B. Fakten, Kenntnisse, unser Sachwissen von der Welt, Sprache, Denkkonzepte, Regeln, Zeit- und Raumbegiffe, mathematische Lösungszugänge u.Ä gespeichert. Über dieses Weltwissen verfügen wir auch unabhängig von den konkreten Lernkontexten, in denen wir dieses Wissen erworben haben. In unserem episodischen Gedächtnis werden dagegen vor allem unsere autobiographischen Erlebnisse, Ereignisse und Erfahrungen sowie deren situative und zeitliche Einbindungen gespeichert. Sowohl das semantische wie das episodische Gedächtnis beziehen sich also auf ganz bestimmte „Inhalte“; das semantische eben auf bestimmte Fakten und abstraktes Wissen, das episodische vor allem auf bildhafte Vorstellungen, Erfahrungen und damit verbundene Emotionen.

- Wir erinnern Sachverhalte deutlich besser, wenn wir sie in den unterschiedlichen „Gedächtnissen“ bearbeitet und gespeichert haben. Je intensiver wir unterschiedliche neuronale Verarbeitungszentren und Gedächtnisse schon während des Erarbeitungsprozesses benutzen, desto mehr Zugänge zum Erinnern stehen anschließend zur Verfügung. Für die Unterrichtsgestaltung ist es also sinnvoll,
  - Faktenwissen durch Geschichten, Anekdoten, Bilder und Bezüge zu anderen Lebensbereichen und -situationen zu „illustrieren“ und so in unterschiedliche Kontexte einzubauen,
  - die Schülerinnen und Schüler dazu zu animieren, eigene bildliche Vorstellungen von Unterrichtsergebnissen zu entwickeln,
  - eigene Mind Maps, Veranschaulichungen, Strukturskizzen, „Eselsbrücken“ und Übersichten zu erstellen,
  - unterschiedliche Lebens- und Alltagssituationen (er)finden zu lassen, in denen die Unterrichtsergebnisse eine Rolle spielen (könnten),
  - ganz bewusst auch emotionale Beurteilungen zu artikulieren und mit in den Verstehens- und Behaltensprozess zu integrieren.

## 7. Interaktion und Kommunikation

Unser Gehirn, unsere neuronalen Netzwerke, unsere kognitiven und emotiven Vernetzungen werden besonders aktiv, wenn sie mit Entscheidungssituationen konfrontiert werden, zu denen es unterschiedliche Meinungen, Beobachtungen, Begründungen, Erfahrungen ... gibt. In der Auseinandersetzung mit neuen, ggf. auch kontroversen Wahrnehmungen werden wir gezwungen, eigene Wahrnehmungen zu reaktivieren, sie zu begründen, zu verteidigen, ggf. aber auch - etwa im Lichte neuer, besserer Erkenntnisse - zu revidieren, also umzulernen - ein besonders schwieriger und anstrengender Prozess. In dem Maße, in dem wir etwa in Lernsituationen in Interaktions- und Kommunikationsprozesse mit unseren Mitschülern einbezogen sind und aktiv daran teilnehmen, fördern wir nicht nur soziale, sondern gleichzeitig auch neuronale Interaktions-, Kommunikations- und Vernetzungsprozesse in unserem Gehirn. Besonders wichtig dabei ist, dass wir mit Hilfe unserer Sprache uns und

anderen über unsere Gedanken Klarheit verschaffen. Gleichzeitig geht es aber auch darum, die versprochenen Gedanken anderer zu verstehen.

- Unser Gehirn ist ein soziales Gehirn. Soziale Interaktion und Kommunikation gehören zu den effektivsten Bestandteilen „gehirnfreundlicher“ Lernarrangements. Sie unterstützen dabei die eigene Wahrnehmungsfähigkeit, die Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand und dem gesamten Prozess des Verstehens und Erinnerns. Unterrichtlich kann dies dadurch gefördert werden, dass
  - in kurzen Abständen kleine kommunikative Vergewisserungsphasen eingebaut werden, z.B. durch kurze Besprechung mit dem Nachbarn, dem Nachbartisch (think-pair-share),
  - ganz gezielt kontroverse Einschätzungen, Wahrnehmungen, Positionen ... verdeutlicht werden,
  - Gruppen eigene Lösungswege „modellhaft“ erläutern und darstellen,
  - Gruppen von unterschiedlichen Perspektiven ein Problem angehen und die Gruppenergebnisse zirkulieren und ergänzt werden („place mat-Verfahren“),
  - Personen, Experten, Positionen ganz neue Aspekte, kontroverse Einschätzungen etc. zur Sprache bringen,
  - unterschiedliche Ergebnisse zusammengeführt, Gemeinsamkeiten formuliert und konsensfähige Positionen entwickelt werden,
  - in Form von „Sandwich-Verfahren“ Instruktions- und Interaktionsphasen einander abwechseln.

## 8. Emotion und Kognition

Die neurobiologische Forschung der vergangenen Jahre hat auch zu einem neuen Verständnis vom Zusammenwirken kognitiver und emotiver Prozesse geführt. Es wird dabei zunehmend erkennbar, dass emotionale Zugänge für unsere Urteils-, Entscheidungs- und Handlungsprozesse viel bedeutsamer und im wörtlichen Sinne entscheidender sind als wir das bisher angenommen haben. Negative Gefühle z.B. verändern regelrecht unsere kognitiven Stile. Wir können dann zwar immer noch Aufgaben bewältigen, die einfache Lösungsroutinen erfordern, aber wir sind deutlich blockiert, wenn es um Aufgaben geht, deren Lösung Kreativität, Assoziativität und divergentes Denken erfordern. Das gilt auch und gerade für soziale Handlungskontexte. Wer unter Stress steht, der wird sich leicht in seiner Situation ‚festfahren‘, ‚verrennen‘, der ist ‚engeengt‘ und kommt ‚aus seinem gedanklichen Käfig nicht heraus‘. (Vgl. Spitzer 2002: S. 164 f)

Mit Hilfe unserer Emotionen können wir aber auch neue und tragfähige Zugänge zum Verstehen von Situationen herstellen und damit häufig schnelle und sinnvolle Verstehensprozesse organisieren. „Emotionen helfen uns beim Zurechtfinden in einer komplizierten und immer komplizierter werdenden Welt. Unser Körper signalisiert Freude oder Unbehagen lange bevor wir merken, warum.“ (Spitzer 2002: S. 171, vgl. auch Damasio 1995) In diesem Sinne gibt es eben nicht nur „emotionale Intelligenz“, es gibt auch „intelligente Emotionen“.

Nun sind Gefühle nicht nur auf Lerngegenstände bezogen, sondern auch auf Lernkontexte. Wir lernen immer und überall auch die jeweils bestehenden emotionalen Anteile einer Situation mit. Motivationale Antriebe, Begeisterung, Unwohlsein, Lernfreude und Lernängste entstehen z.B. auch durch die, die mit uns in Lernsituationen agieren. Das gilt für die Lernenden ebenso wie für die Lehrenden.

Und schließlich lässt sich das Verhältnis von Emotion und Kognition selbst als wichtiger Lernzusammenhang thematisieren. Unsere Gefühle können uns nämlich ebenso zu denken geben, wie umgekehrt unsere rationalen Entscheidungen und Begründungen bei uns oft auch ungute Gefühle hinterlassen können. „Bindungsgefühle“ wie Freundschaft und Solidarität sind überindividuell ausgeprägte „emotionale tools“, die z.B. die Stabilität von Gruppen sichern. „Ablösegefühle“ wie Freiheitsdrang, Suche nach Selbstständigkeit, die sich z.B. besonders stark in Pubertätsphasen artikulieren, sind wichtige emotionale Voraussetzungen für die Entwicklung eigener Formen der Lebensbewältigung. „Wertaffine Gefühle“ wie Scham, Empörung, Schadenfreude ... verweisen darauf, dass wir häufig vor-rationalen Bewertungsmustern unterliegen. Dabei bewerten wir unsere Gefühle oft selbst wieder „gefühlsmäßig“; wir reagieren z.B. mit Schadenfreude auf den Patzer einer Person und schämen uns vielleicht kurz darauf, dass wir Schadenfreude empfunden haben (vgl. Schirp 2000: S. 177 ff.).

- Da wir immer und überall emotionale Kontexte mitlernen und Gelerntes auch immer wieder mit den mitgelernten emotionalen Anteilen erinnern, ist es für die Unterrichtsgestaltung wichtig,
  - ein Unterrichtsklima und eine Schumatmosphäre herzustellen, in der Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar wahrnehmen können, dass sie mit ihren Fähigkeiten, Voraussetzung, Einstellungen ... ernst genommen werden und dass Lehrerinnen und Lehrer an ihrer Lernentwicklung interessiert sind,
  - Gefühle zur Sprache zu bringen; „Gefühle geben zu denken“, den Schülerinnen und Schülern ebenso wie den Lehrerinnen und Lehrern. Zu vielen Unterrichtsgegenständen bringen Schülerinnen und Schüler bewusst oder unbewusst emotional bestimmte Einstellungsmuster mit. Diese sollten ganz bewusst artikuliert werden können; das dient letztlich auch der sach- und fachspezifischen Klärung,
  - den Schülerinnen und Schülern dabei zu helfen, mit Arbeitsstress und Leistungsdruck (Prüfungsangst) umzugehen. Das reicht von Entspannungsübungen bis zum Aufzeigen von erfolgversprechenden Arbeits-, Übungs- und Behaltensstrategien,
  - erfolgreiche Lernprozesse auch als solche zu bewerten und mit entsprechenden „emotionalen Markern“ zu versehen. Positive Rückmeldungen, das Verdeutlichen von Lern- und Kompetenzzuwächsen sind entscheidende Voraussetzungen für eine stabile Lernmotivation und für die Lust am Weiterlernen.

## 9. Plastizität und Differenzierung

Unter neuronaler Plastizität versteht man die Fähigkeit des zentralen Nervensystems sich durch interne Veränderungsprozesse und auf Grund externer Bedingungen strukturell und funktionell auf veränderte Anforderungen einzustellen. Unsere Wahrnehmungsfähigkeit, unsere Aufnahmefähigkeit, unser Sprach- und Sprechvermögen werden etwa im Laufe der kindlichen Entwicklung immer differenzierter und umfangreicher.

Es vergrößert sich dabei in den ersten Lebensjahren nicht unbedingt die Anzahl der Neuronen, es wächst vielmehr die Synapsendichte. Aber auch ganze neuronale Bündel und Verbindungen werden teilweise neu strukturiert und konturiert. Nicht umsonst spricht man z.B. davon, dass etwa in der Phase der Pubertät unser Gehirn eine Art „neuronale Baustelle“ ist.

Veränderungsprozesse geschehen zum einen dadurch, dass die neuronalen Strukturen und Verbindungen durch entwicklungsabhängige neuro-chemische Prozesse (Myelinisierung) selbst immer „feiner“ werden. Damit im Zusammenhang stehen aber die jeweiligen

Lebenssituationen und Herausforderungen, die selbst wieder die Entwicklung und Anpassung neuronaler Strukturen evozieren. Inzwischen wird zunehmend deutlich, dass nicht nur einzelne Nervenzellen sich in Abhängigkeit von neuen Gebrauchsmustern verändern können (synaptische Plastizität), sondern dass auch ganze Hirnareale sich neuen Herausforderungen anpassen können (kortikale Plastizität). Neuronale Plastizität lässt sich mit der Anfertigung eines indianischen Totempfahles vergleichen. In einen dicken Baumstamm werden über die Jahre hinweg immer neue Linien, Figuren und figurale Muster eingeschnitzt. Dabei fällt natürlich viel unbenötigtes Material weg. Am Ende des gesamten Bearbeitungsprozesses ist dann ein hochkomplexer, konturierter mit zahlreichen Linien und Mustern übersäter, aber im Vergleich zum unbehauenen Stamm viel kleinerer Pfahl entstanden (vgl. Calvin 1995: S. 165 ff). Wie bei der Erstellung eines Totempfahles erhält unser Gehirn seine Konturen dadurch, dass wegfällt, was nicht gebraucht wird und nur das übrig bleibt, was an Nervenzellen und -verbindungen tatsächlich genutzt wird.

Bei besonders tief eingeritzten Linien im Totempfahl wird es außerdem schwierig, sie mit neuen Linien zu überdecken. Das wäre etwa eine Metapher für „Umlernen“, was unserem Gehirn ungewöhnlich schwer fällt. Aus eigener Erfahrung wissen wir, wie schwer es ist, Routinen, liebgewordene Gewohnheiten, Vorurteile und feste Meinungen zu ändern und zu revidieren.

- Die Modellvorstellung einer lebenslangen neuronalen Plastizität unseres Gehirns verweist darauf, wie wichtig es für unterrichtliche Gestaltungsprozesse ist,
  - variantenreiche, abwechslungsreiche Angebote an Lerninhalten und Arbeitsweisen zu machen,
  - Prozesse der kognitiven und emotiven Auseinandersetzung zu schaffen, also
    - fachbezogene Problemkonstellationen herzustellen, die für die Schülerinnen und Schüler gleichzeitig „Aufforderungscharakter“ und „Widerstand“ besitzen,
  - Schülerinnen und Schüler mit zunehmend komplexer werdenden Aufgabenstellungen, Anforderungen, Erklärungsmustern zu konfrontieren, um herauszufinden, ob und in welchem Maße sie komplexer werdende Zusammenhänge schon verstehen (Progression),
  - den Schülerinnen und Schülern dabei zu helfen, eigene Lernfortschritte wahrzunehmen und zu dokumentieren z.B. in Form von Portfolios, Lerntagebüchern, längerfristigen Ergebnisdokumentation,
  - den Schülerinnen und Schülern Lernvergleiche zu ermöglichen. „Was kann ich heute besser, mache ich anders ... als noch vor einem Jahr? Wie sehe ich das Problem nach der Unterrichtseinheit? Was hat sich an meiner Einstellung verändert? Welche neuen Begründungen, Kenntnisse, Wissensbestände ... sind besonders wichtig?“
  - Die vier A: **A**nregungen, **A**nreize, **A**nforderungen und **A**ufgaben umreißen Möglichkeiten, Lernarrangements im Sinne einer inneren Differenzierung so zu gestalten, dass Lernentwicklungen erkennbar werden.

## 10 Periodizität und Entwicklung

Unter Periodizität wird die Abfolge von Phasen verstanden, die für neuronale Entwicklungsprozesse bedeutsam sind. Im Kontext von Lernen wird z.B. erkennbar, dass es „neuronale Fenster“, also lernsensible Phasen gibt, in denen Kinder z.B. besonders schnell und

nachhaltig etwas lernen, weil bestimmte Hirnareale durch Reifungs- und Differenzierungsprozesse ausgebaut werden. In solchen lernsensiblen Phasen entstehen neue Verbindungen besonders rasch. Werden diese „neuronalen Fenster“ aber nicht benutzt, verkümmern sie. Da sich solche „windows of opportunity“ entwicklungsbedingt auch wieder schließen können, ist es wichtig, bestehende Entwicklungschancen zu kennen und zu nutzen.

- Für einzelne Lernentwicklungen liegen zwar Phasen- und Stufenmodelle vor, die etwa verdeutlichen, wie sich Raumvorstellungen, sprachliche Differenzierung, motorische Fähigkeiten, mathematisch-operative Denkmuster oder moral-kognitive Urteils- und Begründungsstrukturen verändern. Aber solche Phasen- und Stufenmodelle sind noch zu „grob“, um daraus im Vorhinein eindeutige methodische Instrumente zur individuellen Lernförderung entwickeln zu können. Hier sind vielmehr die Lehrerinnen und Lehrer mit ihren „diagnostischen“ Fähigkeiten gefragt. Sie müssen wahrnehmen, ob und wie Lernentwicklungen verlaufen, wo z.B. Schülerinnen und Schüler hinter altersgemäßen Kompetenzerwartungen zurückbleiben und woran das etwa liegen könnte. Für solche, auf die Wahrnehmung von Lernentwicklung zielenden „diagnostischen“ Prozesse, haben sich u.a. die folgenden unterrichtlichen Arrangements als erfolgreich erwiesen:
  - Stationenlernen und damit verbunden die Beobachtung, welche unterschiedlichen Lernzugänge von Schülerinnen und Schüler an den einzelnen Lernstationen besser oder schlechter wahrgenommen werden, was Schülerinnen und Schüler schon gut beherrschen und wo sie noch erkennbare Schwierigkeiten haben.
  - Benchmarks: Welche Aufgaben sollten **alle** Schülerinnen und Schüler am Ende einer Unterrichtseinheit können? Wer erreicht sie nicht? Wer hat wo welche Schwierigkeiten damit?
  - Transfer: Können Schülerinnen und Schüler Ergebnisse auf eine neue Situation übertragen, anwenden, erweitern?
  - Präsentation: Können Schülerinnen und Schüler mit eigenen Worten, mit eigenen Darstellungsformen ... das, was sie verstanden haben, anderen mitteilen?

Den Lehrerinnen und Lehrer geben solche und weitere Formen der Beobachtung von individuellen Lernentwicklungen wichtige Hinweise für die weitere Gestaltung ihres Unterrichts. Neurobiologische und darauf basierende neurodidaktische Überlegungen werden sicherlich Unterricht, Lehren und Lernen nicht revolutionieren. Sie helfen jedoch - evidenzbasiert und naturwissenschaftlich begründet - dabei, Lehren und Lernen unter dem Aspekt der „Gehirnfreundlichkeit“ wieder genauer zu betrachten. Daraus lassen sich einerseits „alte“ und vertraute methodische Gestaltungsformen neu begründen und vielleicht auch reanimieren; andererseits legen neurowissenschaftliche Ergebnisse es aber auch nahe, über „neue“ unterrichtliche Gestaltungsformen nachzudenken.

In Zeiten, in denen im Sinne einer „Outputorientierung“ der Überprüfbarkeit schulischer Ergebnisse ein besonderer Stellenwert zugemessen wird, sollten Überlegungen zur schülergerechten Lernförderung und zu einer entsprechenden Unterrichtsgestaltung nicht weniger wichtig genommen werden.

**Literatur:**

- Calvin, W. H.** (1995): Die Symphonie des Denkens. Wie Bewusstsein entsteht, München: dtv
- Damasio, A.R.** (1995): Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn, München: List
- Damasio, A.R.** (1999): Ich fühle, also bin ich. Die Entschlüsselung des Bewusstseins, München: List
- Goleman, D.** (1996): Emotional Intelligence. Why it can matter more than IQ, New York: Bantam Books
- Fletcher, M.** (2001): Teaching for Success. The Brain friendly Revolution in Action, Hythe, Kent: English Experience
- Herrmann, U.**(Hrsg.) (2006): Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, Weinheim und Basel: (Beltz),
- Ratey, J. J.** (2001): Das menschliche Gehirn. Eine Gebrauchsanweisung, Düsseldorf und Zürich: Walter
- Roth, G.** (2001): Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen, Frankfurt am Main: Suhrkamp
- Schirp, H.** (2003): Neurowissenschaften und Lernen. Was können neurobiologische Forschungsergebnisse zur Unterrichtsgestaltung beitragen? In: Die Deutsche Schule, Heft 3, S.304-316
- Schirp, H.** (2004): Wie lernt unser Gehirn Wertorientierungen? In: Symposion „Erziehungskultur und soziales Lernen“, Bönen: Kettler, S. 8-22
- Schirp, H.** (2006): Wie lernt unser Gehirn Werte und Orientierungen? in: Herrmann, U. (Hrsg.) (2006): Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, Weinheim und Basel: (Beltz), S.200-214
- Singer, W.** (2002): Der Beobachter im Gehirn. Essays zur Hirnforschung, Frankfurt: Suhrkamp TBW
- Spitzer, M.** (2000): Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln, Heidelberg u. Berlin: Spektrum
- Spitzer, M.** (2002) :Lernen: Gehirnforschung und die Schule des Lebens, Heidelberg u. Berlin: Spektrum
- Spitzer, M.** (2004) :Selbstbestimmen. Gehirnforschung und die Frage: Was sollen wir tun?, Heidelberg u. Berlin 2004: Spektrum