

Reinhard Voß (Hrsg.)

Unterricht aus konstruktivistischer Sicht



Die Weiten in den Köpfen der Kinder

Claudia von Aufschnaiter/Stefan von Aufschnaiter

Über den Zusammenhang von Handeln, Wahrnehmen und Denken

Die Welten in den Köpfen von Kindern und Erwachsenen entstehen aus elementaren Bausteinen des Handelns, Wahrnehmens und Denkens. Im Beitrag wird den Fragen nachgegangen, wie Handeln und Wahrnehmen miteinander verknüpft sind und wie aus solchen Verknüpfungen Vorstellungen (Denken) über die Welt entstehen. Basierend auf neurobiologischen Annahmen, wird aufgezeigt, dass das menschliche Erleben der Welt in unterschiedlichen Zeitfenstern strukturiert wird. Es wird diskutiert, wie aus Einzelzuständen des bewussten Erlebens in Zeitfenstern von 3 Sekunden Denkprozesse und Lernen entstehen. Es wird ferner gezeigt, warum die Welten in den Köpfen von Erwachsenen häufig elaborierter als die der Kinder sind und weshalb sich dieses in manchen Handlungsfeldern (z.B. beim Umgang mit dem Computer) gerade umkehren kann. Auf der Basis der diskutierten Zusammenhänge werden abschließend Gestaltungsmöglichkeiten für die Entwicklung von nutzerfreundlichen Lernumgebungen benannt.

Prolog

Stellen Sie sich vor, Sie befänden sich in einem Ihnen vertrauten aber stockdunklen Raum. Durch Ertasten Ihrer Umgebung mit den Händen versuchen Sie, sich zu orientieren. Schließlich berühren Sie mit einer Hand einen Gegenstand. Er fühlt sich hölzern an, hat die Form einer Stuhllehne, ganz ähnlich der des Stuhles vor dem Schreibtisch Ihrer Mutter. Riecht es hier nicht auch nach deren Parfüm? Das Ergebnis des weiteren Vorantastens passt nicht zu dieser Vorstellung. Die Sitzfläche ist gepolstert, es kann also nicht der Ihnen vertraute Stuhl Ihrer Mutter sein.

Nur mit Hilfe Ihrer tastenden Hände und den dabei entstehenden Wahrnehmungen haben Sie relativ schnell die Eindrücke zu einer fast bildhaften Vorstellung, also einer »Welt-im-Kopf«, zusammengebunden und diese wieder verworfen. Aus diesem Beispiel entstehen zwei Fragen:

1. Wie sind Handeln und Wahrnehmen miteinander verknüpft?
2. Wie entstehen aus solchen Verknüpfungen Vorstellungen über die Welt (Denken) ?

1. Neurobiologische Beschreibung von Handeln und Wahrnehmen

Die Entstehung einer (jeweils situativen) Vorstellung von der Welt, aller anderen kognitiven Leistungen und natürlich auch des Lernens (also die Entwicklung von kognitiven Leistungen) beruhen auf neurobiologischen Prozessen. Deren Zusammenwirken konstituiert auf unterschiedlichen (zeitlichen) Ebenen unsere sowohl kognitive als auch affektive und psychomotorische Welt.

Was hat Wahrnehmen mit Handeln zu tun ?

Wahrnehmen und Handeln sind wie siamesische Zwillinge, jeweils zusammengekettet durch Erwartungen aufgrund bisheriger Erfahrungen des Individuums mit »ähnlichen« Umgebungen.

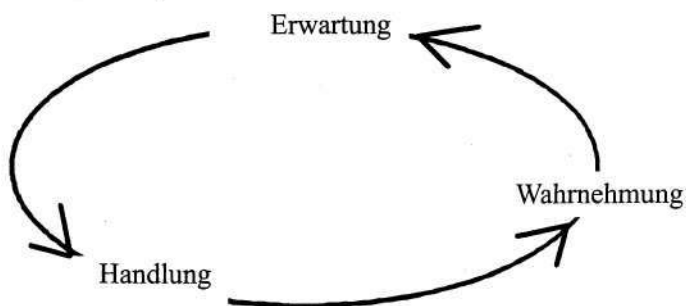


Abb. 1: Zirkulärer Zusammenhang von Wahrnehmung, Erwartung und Handlung (Zeittakt eines Durchlaufes ist ungefähr 100 Millisekunden)

In der frühen Ontogenese muss jede Handlung, die eine neue Wahrnehmung erzeugen soll, unmittelbar davor ausgeführt werden. Später werden häufig ausgeführte Handlungen oder Wahrnehmungen auch intern »simuliert« (u.a. Maturana/Varela 1987).

Handlungen sind nicht nur beim Anfassen, sondern auch beim Riechen, Schmecken, Hinhören und Hinsehen erforderlich. Dies mag z.B. für die Hände durchaus einleuchtend sein, wie aber könnte man sich Handlungen der Augen vorstellen? Die Augen führen ständig ganz besonders schnelle Bewegungen aus. Die Augen sind also Abtast-Organen wie die Hände. Aber anderes als die Hände, die zu den Gegenständen der Welt hinbewegt werden müssen, damit die Tastzellen aktiviert werden können, werden im Auge durch (den physikalischen Trick der optischen) Abbildung die Gegenstände zu den Sehzellen geholt, damit sie dort, d.h. also am Ort der Netzhaut, abgetastet werden können.

Wie aber kann man in einem stockdunklen Raum nur mit den Händen die Wahrnehmung eines visuellen Bildes oder gar eines Geruches erzeugen?

Im Kopf sind nur spikende Neuronen

Die auf unsere Sinnesorgane auftreffenden Reize werden von sensorischen Neuronen in der Form von Spike-Mustern kodiert. Diese Spike-Muster sind auf der neuronalen Ebene für das Gehirn, bezogen auf deren Inhalt, ununterscheidbar. Die jeweils mit den Sinnesorganen verbundenen neuronalen Netzwerke (primäre Rindenregionen) »registrieren« also Reize aus der Welt nur in Form von Spike-Mustern. Den Spike-Mustern kann das Gehirn nur deren Stärke (als Menge der Spikes pro Zeit) sowie deren kortextuelle Herkunft (von welchem Sensorium bzw. welcher Rindenregion im Gehirn kommen die Spike-Muster) entnehmen. Somit »sprechen« alle Neuronen die gleiche Sprache (»Spikes«), und keinem der Spikemuster ist anzusehen, wo es aus der Welt herkommt und welche Information es trägt (s.a. Abb. 2).

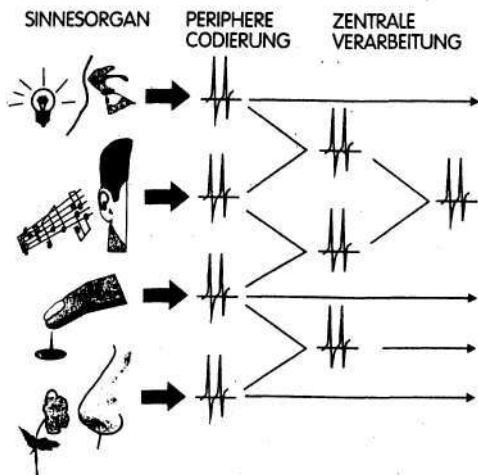


Abb. 2: Spike-Muster
(aus: Roth 1997, S. 94)

Welche Eindrücke das Gehirn zu eingehenden Reizen erzeugt, hängt ganz entscheidend von der aufgrund früherer Erfahrungen entstandenen räumlichen »Verdrahtung« der Neuronen und der zeitlichen Koinzidenz und Synchronisation von Spike-Mustern aus unterschiedlichen Bereichen des Gehirns ab. Verdrahtungen zwischen visuellen und taktilen »Bereichen« (s.u.) sind dann für die Entstehung der im Prolog beschriebenen Vorstellung »verantwortlich« (u.a. Roth 1997; Kandel u.a. 1996; Birbaumer/Schmidt 1996). Mit dieser neurobiologisch fundierten konstruktivistischen Beschreibung der Bedeutungsentstehung unterscheiden wir also zwischen Information als etwas Wissensmäßigem, das von außen kommt, und Bedeutung als etwas Wissensmäßigem, das im Kopf erzeugt wird (u.a. Foerster v. 1995; Glasersfeld v. 1997).

Wir haben hier zunächst ganz global beschrieben, wie aus Handlungen und damit verbundenen Reizen der sensorischen Oberfläche des Gehirns Eindrücke entstehen. Um jedoch im Detail nachzuvollziehen, wie das Gehirn aus inhaltsleeren Spike-Mustern Bedeutungen erzeugt, ist eine Auseinandersetzung mit der Anatomie des Gehirns (dem Zentralen Nervensystem, ZNS) hilfreich.

Neuronale Architektur des ZNS

Im ZNS gibt es mehrere Ebenen neuronaler Architektur:

- unterschiedlich »spezialisierte« Einzelneurone;
- lokale neuronale Netze;
- unterschiedlich große Bereiche vernetzter neuronaler Netze;
- subkortikale Kerne und Rindenregionen (als Großbereiche solcher Netze).

Zwischen den hier aufgeführten Einheiten bestehen vielfältige axonale Verbindungen zur Vernetzung auch räumlich weit auseinander liegender Einheiten zu Systemen. Die meisten dieser Verbindungen entstehen in der (frühen) Ontogenese als Folge je individueller Erfahrungen (Handlungs-, Wahrnehmungs- und Erwartungszyklen, s.o.).

Das Gehirn ist also ein hoch kompliziertes Gebilde, das mittels sensorischer Oberflächen und motorischer Areale »Verbindungsstellen« zur Welt hat. Dabei »realisieren« die Rindenregionen, die subkortikalen Kerne und insbesondere die lokalen neuronalen Netze jedoch immer nur hoch spezialisierte und überwiegend sehr einfache Teilfunktionen.

Bereits auf der sensorischen Oberfläche gibt es unterschiedliche Arten von Neuronen, die nur auf (elementare) Komponenten der eintreffenden Reize reagieren. Die von diesen Neuronen ausgehenden Spike-Muster werden im ZNS überwiegend getrennt in auf Teilfunktionen spezialisierten Netzwerken »verarbeitet«. Bedeutungen entstehen dabei jeweils situativ durch synchrone Aktivität zahlreicher auf passende Teilfunktionen spezialisierter neuronaler Bereiche. Elementare Teilfunktionen könnten etwa für Farben, Orientierungen von Kanten, Aufeinanderfolgen von Buchstaben (Phonemen) oder andere Merkmale von Objekten zuständig sein. Alle Individuen müssen solche Teilfunktionen in der Ontogenese durch zirkuläre Prozesse des Handelns und Wahrnehmens »lernen« als etwas, das für das individuelle Überleben nützlich und wichtig ist.

2. Der Zusammenhang von Handeln und Denken

Im letzten Abschnitt haben wir dargestellt, wie sich (neurobiologisch) der Zusammenhang zwischen Handlungen und Wahrnehmungen begründen lässt. Werden Eindrücke zu einer ganzheitlichen Vorstellung (bewusst) verbunden und werden solche Vorstellungen in Gedankengängen weiterentwickelt, z.B. beim Beantworten einer Frage oder bei *dp*: Bearbeitung eines Problems, dann wollen wir von (komplexem) »Denken« sprechen, wenngleich der Übergang zwischen der Entstehung von Eindrücken und der Entwicklung von Wissen (Denken) sicher ein fließender ist. Dabei wird schon aus der bloßen Erfahrung klar, dass sich auf einer zeitlichen Ebene solche Prozesse unterscheiden (müssen): Einzelne Eindrücke entstehen sehr schnell, während wir für die Beantwortung einer Frage oder die Bearbeitung einer Aufgabe durchaus länger brauchen können. Die zeitliche Strukturiertheit kognitiver Prozesse ist deshalb ein zentraler Aspekt, um verschiedene kognitive Leistungen zu unterscheiden.

Zeitliche Strukturiertheit kognitiver Prozesse

Seit etwa 20 Jahren wird die Hypothese vertreten, dass die zeitliche Synchronisation neuronaler Aktivität der lokalen Netze eine zentrale Rolle bei der Wissenserzeugung spielt. Die Synchronisation zu zunehmend ausgedehnteren und komplexeren Spike-Mustern erfolgt dabei in unterschiedlichen Zeitfenstern, wobei besonderes wichtig zu sein scheint, dass spezifische lokale Netze jeweils im richtigen Zeitfenster »feuern«, bestimmte Teilfunktionen also im richtigen Zeitpunkt aktiviert werden, z.B. also beim Hören oder Aussprechen des Wortes »aber« der Laut >ber< zeitlich früher als der Laut >ber< »erscheint«. Bedeutung oder Wissen entsteht so aus dem »Zusammenbasteln« zahlreicher unterschiedlicher Teilfunktionen in genügend komplexen Spike-Mustern. »Wichtige« Zeitfenster stellen dabei die in Tabelle 1 aufgelisteten zeitlichen Grenzwerte dar.

Tab. 1: Zeitschwellen kognitiver Aktivität (u.a. Pöppel 1997; Roth 1997)	
Fusionsschwelle Zwei (akustische) Reize werden als getrennt wahrgenommen	mind. 3 Millisekunden
Ordnungsschwelle Zwei Reize werden als aufeinander folgend wahrgenommen	mind. 30 Millisekunden
Bewusstseinsschwelle (Kognitive) Ereignisse können bewusst erlebt werden	mind. 300 Millisekunden
Gegenwartsfenster Bewusste Prozesse werden als gegenwärtig erlebt	höchstens 3 Sekunden

Für Denken im Zusammenhang mit Handeln und Wahrnehmen sind primär bewusste oder bewusstseinsfähige kognitive Prozesse interessant, ganz unabhängig davon, dass in den 300 Millisekunden, die vor dem jeweils bewussten Erleben einer Bedeutung liegen, schon sehr viele vorbewusste Teilaspekte (z.B. das syntaktisch »richtige« Aufeinanderfolgen zweier Worte) dieser Bedeutung erzeugt wurden. Für bewusste bzw. bewusstseinsfähige Leistungen liegt das jeweilige Zeitfenster zwischen 300 Millisekunden und 3 Sekunden. In diesen Zeitfenstern wurden schon mehrere der in Abbildung 1 beschriebenen zirkulären Prozesse des Handelns, Wahrnehmens und Erwartens durchlaufen, deren einzelne Auflösung wir bewusst nicht erleben können. Die von uns erlebten Handlungen und Wahrnehmungen stellen somit immer eine Integration über viele elementare Prozesse dar, d.h., erlebte Handlungen (z.B. das Greifen nach einem Stuhl) setzen sich aus vielen (nicht bewussten) Teilhandlungen (sequenzierter Armbewegungen und damit verbundener Erwartungen und Wahrnehmungen der Lage des Armes im Raum) zusammen. Ähnliches gilt auch für das Entstehen von bewussten Wahrnehmungen, die ebenso wie die erlebten Handlungen schon immer »ganzheitlich« und nicht mehr elementar sind.

Einzelzustände des bewussten Erlebens

Das (bewusste) Handeln, Wahrnehmen und Denken von Menschen setzt sich nach Pöppel (u.a. 1997) und Damasio (u.a. 1997) aus Einzelzuständen zusammen, bei denen das in Tabelle 1 zuletzt genannte Zeitfenster eine zentrale Rolle spielt: Neuronale Aktivität im Zusammenhang mit Handeln, Wahrnehmen und Denken wird in Zeitfenstern von bis zu 3 Sekunden integriert. Diese Integration wird vom Individuum als Gegenwart erlebt. Nur in diesem Zeitfenster können kognitive Aktivitäten zu »Vorstellungsbildern« zusammengebunden (gedacht) werden. In solchen Zeitfenstern werden auch gut trainierte kognitive Einzel-Leistungen realisiert (z.B. das Erfassen einer Gedichtzeile, das Greifen einer Tasse oder das Erinnern einer vertrauten Telefonnummer). Das subjektive Erleben in einem Zeitraum von bis zu 3 Sekunden kann somit als Einzelzustand des Bewusstseins beschrieben werden.

Es folgt also, dass Einzelzustände des bewusst erlebten Denkens im Zusammenhang mit Handeln und Wahrnehmen Zeitauern von bis zu 3 Sekunden haben. Handlungs- und Denkprozesse, die länger als 3 Sekunden dauern, müssen dann Folgen solcher Einzelzustände sein.

Folgen von Vorstellungsbildern bzw. Bedeutungen

Nach dem im letzten Abschnitt Dargestellten setzt sich menschliches Handeln, Wahrnehmen und Denken aus Einzelzuständen bzw. Vorstellungsbildern zusammen. Dies scheint zunächst nicht zu unserer Erfahrung zu passen, dass uns unser Leben eher kontinuierlich denn als diskontinuierlich erscheint. Wie in einem Film, dessen Einzelbildauflösung unserem Erleben nicht zugänglich ist, werden die Einzelzustände (Vorstellungsbilder) über längere Zeiträume als Folgen von Vorstellungsbildern bzw. Folgen von Bedeutungen entwickelt. Dabei werden Folgen von Bedeutungen als kontinuierlich erlebt, wenn wesentliche Anteile aus vorangegangenen Bedeutungen in jeweils folgende Bedeutungen »übernommen« werden. Diskontinuitäten entstehen, wenn von einem zum nächsten Vorstellungsbild wesentliche Anteile der Bedeutung wechseln (u.a. Pöppel 1997)

Als Beispiel einer Folge von Bedeutungen bzw. Vorstellungsbildern soll der Beginn eines Gedichtes von Schiller benutzt werden:

Die Bürgschaft

Zu Dionys, dem Tyrannen, schlich

Damon, den Dolch im Gewande:

Ihn schlugen die Häscher in Bande,

»Was wolltest du mit dem Dolche? Sprich!«

Entgegnet ihm finster der Wüterich.

»Die Stadt vom Tyrannen befreien!«

»Das sollst du am Kreuze bereuen.«

Zum verstehenden Lesen jeder Zeile des Gedichtes werden bis zu 3 Sekunden benötigt. Pöppel (1997) weist in diesem Zusammenhang daraufhin, dass in schriftlosen Gesellschaften kulturelles Wissen nur in Epen mit Versmaßen von jeweils 3 Sekunden Dauer sicher von Generation zu Generation weitergegeben wurde.

Zusätzlich zu den in Tabelle 1 dargestellten limitierenden Zeitfenstern haben wir in einer Reihe von empirischen Untersuchungen herausgefunden, dass die hier beschriebenen Folgen von inhaltlich zusammenhängenden Bedeutungen ebenfalls einer zeitlichen Begrenzung unterliegen (u.a. Aufschnaiter, S. v. 2001; Aufschnaiter, S. v./Aufschnaiter, C. v./Schoster 2000): Nach spätestens 30 Sekunden ändert sich die Orientierung einer Tätigkeit oder beginnt ein neuer Gedankengang, so wie bei einem Gedicht nach spätestens 10 Versen eine neue Strophe beginnt.

Exkurs: Sprechen und Denken

Wir haben in den letzten Abschnitten erläutert, wie aus zirkulären Verkettungen von Handlungen, Wahrnehmungen und Erwartungen auf kleinen Zeitskalen (vgl. Abb. 1) neurobiologisch Einzelzustände des bewussten Erlebens, Handelns, Wahrnehmens und Denkens entstehen. Während Handeln (z.B. greifen oder gehen) und selbst Wahrnehmen (riechen, fühlen, schmecken) noch in gewissem Sinne vorstellbar sind, lässt sich nicht so leicht beschreiben, wie man sich Denken vorstellen könnte. Nach Dörner (1996) gehen wir davon aus, dass Denken (vor allem) inneres Sprechen ist. Dörner weist dabei darauf hin, dass eine solche Annahme über das Denken der Erfahrung eines jeden entspricht: »... jeder erlebt sich selbst als in der Sprache denkend. Er weiß, dass er, wenn er unbeobachtet ist, vor sich hin plappert, u.U. ziemlich laut. Eine einfache Methode, das Denken fast gänzlich zu unterbinden, besteht darin, dass man Personen das innere Sprechen verbietet oder den Apparat der Sprachproduktion sonst irgendwie lahm legt. (...) Den kann man z.B. lahm legen, indem man Versuchspersonen auffordert, ständig >eins - zwei, eins - zwei< halblaut oder leise vor sich hinzusprechen. Machen Sie das mal und denken Sie dabei!« (Dörner 1996, S. 36)

Während sehr einfache kognitive Leistungen (z.B. die Entwicklung von Vorstellungsbildern auf der Basis von Ähnlichkeitsbeziehungen oder Teil-Ganzes-Assoziationen) noch ohne (inneres) Sprechen vorstellbar sind, lassen sich höhere kognitive Leistungen ohne die Verwendung von Sprache (auch in gestischer Form, also z.B. Gebärdensprache) nicht mehr modellieren. Das Denken wird also aus unserer Sicht vor allem durch die sprachliche Verknüpfung von Bedeutungen erzeugt, z.B. also als inneres Fragen des »Wie geht denn das?«, Beschreibungen von Situationen und deren Entwicklung aber natürlich auch, z.B. in der Physik, über die Formulierung von Regeln und Gesetzmäßigkeiten. (Wie könnte ein »es ist immer so« ohne Sprache zu denken sein?)

Erlebenswelten in den Köpfen Erwachsener stehen also unter einem relativ »strengen« zeitlichen Regime. In Abhängigkeit von bisherigen Erfahrungen werden in

den jeweiligen Zeitfenstern (von 3 Millisekunden bis 30 Sekunden) eine mehr oder weniger große Anzahl unterschiedlicher Aspekte (Teilfunktionen) des Handelns, Wahrnehmens und Denkens (Sprechens) zusammengebastelt. Sehr häufig (so ein Ergebnis unserer Untersuchungen) startet ein neuer Bedeutungsentwicklungsprozess mit tatsächlich ausgeführten, in Gesten »simulierten« oder mittels Sprache erinnerten Handlungen. Nur auf der Grundlage hoher Vertrautheit mit konkreten Ausschnitten der Umwelt gelingt es Erwachsenen innerhalb eines einzelnen Gedankens (innerhalb von 3 Sekunden) oder innerhalb eines Gedankenganges (mit einer Dauer von maximal 30 Sekunden) eine Frage zu beantworten, eine Aufgabe zu lösen oder einen Sachverhalt zu (er)klären.

3. Welten in den Köpfen von Kindern und Erwachsenen

Alle (bisher beschriebenen) Fähigkeiten (des Handelns, Wahrnehmens und Denkens) müssen nach der Geburt aus einer bis dahin entstandenen Basis sehr elementarer (vorgeburtlich entstandener) Teilfunktionen erst entwickelt werden. Säuglinge sind zunächst damit beschäftigt, sich neue motorische Teilfähigkeiten zu erschließen und diese in vielfältiger Weise mit überwiegend neu entstehenden Möglichkeiten des zunehmend differenzierten Wahrnehmens zu verknüpfen. (In der Vojta-Diagnostik der motorischen Ontogenese werden diese Entwicklungsprozesse sehr detailliert beschrieben u.a. Huter-Becker/Dölken 2005, S. 74-112.) Ein für Menschen sehr wichtiges Handlungsfeld ist dabei die Entfaltung des Sprechens als hochdifferenziertes Handlungsrepertoire und die zunehmende Verknüpfung von Wahrnehmungen der »Reaktion« der sozialen Umgebung auf eigene Sprechlaute. So entwickelt jedes Kleinkind individuell z.B. zunehmend differenziertere Erwartungen der Reaktionen seiner Mutter auf eigene sprachliche Produktionen.

Bis zum vierten Lebensjahr entstehen parallel zu der sich ausdifferenzierenderen Nutzung der Sprache als Werkzeug für die Produktion von Bedeutungen beim Sprechen und Denken grundlegende Teilfunktionen zur schnellen Beurteilung der syntaktischen Richtigkeit der Aufeinanderfolge von Worten. Dabei benötigen solche Produktions- und Prüfprozesse zunächst 400-600 Millisekunden und haben eine hohe Fehlerrate, werden jedoch zunehmend schneller und weniger fehlerhaft, bis sie mit ungefähr 10 Jahren den für Erwachsene in ihrer Muttersprache typischen zeitlichen Grenzwert von 200 Millisekunden erreichen (u.a. Friederici 1997).

Entwicklung von komplexen kognitiven Leistungen

Die Erzeugung von Bedeutungen ist zunächst sehr eng an konkrete Objekte und eigenes Handeln mit solchen Objekten gebunden. Worte werden dabei als Namen für Objekte und Wortverbindungen zur Benennung von und zum (inneren) Sprechen über Handlungen gelernt und genutzt. Voraussetzung für die Entstehung konzeptu-

eilen Wissens (objektübergreifender Eigenschaften) selbst in einem sehr engen Inhaltsbereich, wie z.B. der Funktion von Geschirr und Besteck, ist der sehr häufige und variantenreiche Umgang mit unterschiedlichen Gegenständen (kleine und große Löffel, die sich unterschiedlich anfühlen und unterschiedlich aussehen) und unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten für verschiedene Objektklassen (Löffel für Suppe, Messer zum Schneiden).

Kinder und Jugendliche müssen sich eine für Erwachsene unvorstellbar große Zahl neuer Objekte und Handlungsmöglichkeiten selbst erschließen, dafür sprachliche Benennungen und Beschreibungen (nach-)erfinden und jeweils durch mehrfache Wiederholungen »schnelle« Routinen der Konstruktion von handlungs- und wahrnehmungsnahen Bedeutungen entwickeln, bevor sie Abstraktionen vom konkreten Tun selbst sprechen (und damit denken) sowie entsprechende Beschreibungen anderer verstehen können. Als Voraussetzung für konzeptuelles Denken reicht es dabei keineswegs aus, die Gegenstände einmal angefasst und wenige Handlungen z.B. des Lehrers mit diesen Gegenständen »beobachtet« zu haben, weil dadurch keine eigenen, schnellen und variantenreichen Routinen des Handelns, Wahrnehmens und Denkens (darüber Sprechens) entstehen können. Solche Routinen sind aber nach unseren empirischen Befunden unverzichtbare Voraussetzungen für konzeptuelles Denken in den jeweiligen Inhaltsbereichen.

Es muss also über konkretes Tun das Darüber-Sprechen (Denken) von jedem Individuum selbst entwickelt werden. Aus vielfältigen Versprachlichungen können dann abstrakte Vorstellungen (Generalisierungen im Hinblick auf Objekt- und Situationsklassen) entstehen. Solche abstrakten Vorstellungen sind nach unserer Erfahrung zunächst statisch, d.h., es werden für Objekt- bzw. Situationsklassen spezifische Eigenschaften entwickelt (aus dem mehrfachen Erleben der eigenen Großmütter und den Erzählungen anderer Kinder über die Großmütter wird »abgeleitet«, dass alle Kinder Großmütter haben) und mit anderen Eigenschaften verknüpft (alle Kinder müssen zwei Großmütter haben, weil das die Mütter beider Eltern sind). Varianzen in den statisch-abstrakten Vorstellungen entwickeln Menschen erst dann, wenn sie durch vielfältiges Versprachlichen dieser Konzeptualisierungen in verschiedenen Zusammenhängen zunächst eher massive Unterschiede entdecken (manche Kinder kennen ihre Großmütter kaum, während andere jeden Werktag von ihnen betreut werden) und dabei langsam entwickeln, dass spezifische Zusammenhänge dynamisch aufeinander wirken (Großmütter können sehr unterschiedliche Funktionen im Familienverbund haben, die wiederum von der je individuellen Familienlage abhängen). Solche dynamisch-abstrakten Vorstellungen stellen nach den Ergebnissen unserer umfangreichen empirischen Lernprozess-Studien ganz besonders bei Lernenden jeden Alters, aber auch bei Lehrenden eher die Ausnahme denn den Regelfall von (spontanen) Denkprozessen dar.

Piaget hat auf der Grundlage zahlreicher interview-basierter Einzelstudien primär in je spezifischen Inhaltsbereichen die Altersabhängigkeit kognitiver Entwicklung vom konkreten Tun zum abstrahierenden Denken theoretisch modelliert und dabei angenommen, dass das von seinen Probanden in einem Inhaltsbereich erreichte kog-

nitive Niveau auch auf andere Bereiche »übertragen« werden kann (u.a. Piaget 1991). Wir sind aufgrund umfangreicher video-basierter Lernprozess-Studien mit Probanden im Alter zwischen etwa 13 und 30 Jahren zu der Überzeugung gelangt, dass für jedes Individuum unabhängig vom Alter kognitive Entwicklung in jedem Inhaltsbereich beim konkreten Tun »starten« muss und dass das Erreichen höherer Niveaus des konzeptualisierenden Denkens nur auf der Grundlage sehr umfangreicher Erfahrungen und dabei entstehender flexibler und schneller Routinen des Handelns, Wahrnehmens und Denkens (Sprechens) gelingen kann (u.a. Aufschnaiter, S. v. 2001; Aufschnaiter, C. v./Aufschnaiter, S. v. 2003).

Die Welten in den Köpfen von Kindern und Erwachsenen unterscheiden sich also primär dadurch, dass beide auf einem unterschiedlichen Fundus von Erfahrungen mit »der Welt da draußen« beruhen. Solche Erfahrungen und damit verknüpfte Fähigkeiten entstehen aus Viabilitätstests je situativ erzeugter Erwartungen darüber, was unmittelbar anschließendes Tun oder Sprechen bewirken wird und damit verknüpften Wahrnehmungen bezüglich der erwarteten Wirkungen. Die zirkuläre und schon bezogen auf Teilfunktionen hochkomplexe Dynamik solcher Viabilitätsprüfungen und deren zeitliche Strukturiertheit haben wir in den letzten beiden Kapiteln zu beschreiben versucht.

Lernen

Bei der Darstellung der Entwicklung von kognitiven Leistungen haben wir bereits im letzten Abschnitt implizit dargestellt, woran sich erfolgte Lernprozesse festmachen lassen. Lernen entsteht vor allem an den oben aufgeführten »Übergängen«:

- vom Handeln zum Denken über Konkretes;
- vom Denken über Konkretes zum Denken über stabil Abstraktes (Konzeptuelles);
- vom Denken über stabil Abstraktes zum Denken über variabel Abstraktes.

Zudem findet Lernen auch dann statt, wenn innerhalb dieser einzelnen »Ebenen« des Handelns- und Denkens:

- bisher unthematische Elemente (erstmalig) entdeckt werden,
- vom Erstmaligem zum Wiederholten mit Routinebildung übergegangen wird (es geht schneller und gelingt [besser]).
- von einzelnen Elementen zu Kombinationen unterschiedlicher und zunehmend zahlreicheren Elementen übergegangen wird.

Wir möchten an dieser Stelle darauf hinweisen, dass sich Lernen selbst nicht beobachten und damit auch nicht beschreiben lässt. Lernen ist ein Prozess der Weiterentwicklung neuronaler Strukturen, die Wissen (situativ) hervorbringen. Erfolgtes Lernen lässt sich aus veränderten Denk- und Handlungsmustern erschließen (s.o.), in welcher Weise sich (davor) Strukturen entwickelt bzw. verändert haben, lässt sich jedoch nicht darstellen. Damit ist es auch nicht möglich, die strukturelle Weiterent-

wicklung, das Lernen selbst also, zu bestimmen oder gar zu beeinflussen. Nur individuelles Handeln in entsprechend geeigneten Lernumgebungen (s. Kapitel 4) kann Lernen zur Folge haben, wie dieses abläuft und welches Ergebnis dabei entsteht, ist jedoch nicht (eindeutig) vorhersagbar. Eine solche Position unterscheidet somit zwischen aktuellen Handlungen (Denken, Sprechen) und Lernen als Veränderung von Handlungsmöglichkeiten. Mit den Begriffen »Lernhandlungen«, »Lernaktivitäten« oder »selbst organisiertes Lernen« kann also immer nur selbst Handeln oder selbst organisierte Aktivität gemeint sein.

Zum Umgang von Kindern mit »neuen Medien«

Welten in den Köpfen von Kindern können in Teilbereichen durchaus »reichhaltiger« sein als die von Erwachsenen, sofern Kinder in diesen Teilbereichen über einen größeren Fundus von konkreten Erfahrungen verfügen, weil sie die entsprechenden »Lern«-Umgebungen häufiger (und mit größerer Intensität) als Erwachsene aufsuchen. Es kann dann vorkommen, dass z.B. Eltern oder Lehrer/innen nicht »verstehen«, was Kinder bzw. Schüler/innen ihnen erklären. Welten, zu denen Kinder oft mehr als Erwachsene »wissen« finden sich z.B. in Bereichen der neuen Medien und damit verbundenen Techniken. Gerade Computer, Game Boy o.Ä. ermöglichen vielfältige Handlungen, in denen es zunächst gar nicht auf konzeptuelles Wissen ankommt bzw. ein solches Wissen zum erfolgreichen Handeln nicht gefordert wird. Stattdessen folgen auf konkrete Handlungen sofort Wahrnehmungen, die mittels verknüpften Erwartungen zu Handlungsvarianzen führen. Die technische Realisierung von medialen Systemen führt also zu einer direkten Rückkopplung zwischen Handlungen und den »Ergebnissen« der Handlungen. Gerade diese in kurzen Zeitfenstern stattfindende Verknüpfung von Handlung, Wahrnehmung und Erwartung (s. auch Abb. 1) ermöglicht dem kognitiven System eine optimale Anpassung der Aktionen. Die den Programmen zugrunde liegenden Strukturen und deren zunehmende Vereinheitlichung macht es am PC arbeitenden und spielenden Personen (Kindern) zudem besonders leicht, aus einer Vielzahl von Handlungen in unterschiedlichen Kontexten (Programmen) die diesen Kontexten unterliegenden Gemeinsamkeiten auf einer abstrakten Ebene (statisch) zu erfassen (alle Programme werden mit dem Kreuz oben rechts in der Ecke geschlossen).

Deutlich weniger leicht und schnell werden von Kindern solche Konzeptualisierungen »entdeckt«, die das Funktionieren des Systems an sich beschreiben (wie werden E-Mail-Verbindungen über Server-Client-Verbindungen hergestellt, Bits und Bytes intern im Rechner verwaltet usw.). Hier entwickeln Kinder zwar oft beim Umgang mit dem PC ein angemessenes »Benennungsrepertoire«, können die damit verbundenen Konzeptualisierungen jedoch überwiegend nicht (umfassend) beschreiben bzw. für ihr eigenes Handeln nutzen. Hier haben häufig die Erwachsenen schnelleren Zugang zu den damit verbundenen Beschreibungen, da diese auf Erfahrungen bezogen werden, die die meisten Erwachsenen bereits in vielfältiger Hinsicht gemacht

haben (z.B. bei Mathematisierungen, die notwendig sind, um Übertragungsraten rechnen und nachvollziehen zu können).

Kinderwelten im Bereich der »neuen Medien« sind also vor allem deshalb häufig elaborierter als die der Erwachsenen, weil Kinder solche medialen Umgebungen häufiger und intensiver aufsuchen als Erwachsene und dort durch eigenes Agieren unabhängig von (komplizierten) Instruktionen sich bewährende Handlungsrouninen und darauf bezogenes Sprechen (Denken) entwickeln können. Dass Kindern dies nicht immer gelingt, fällt besonders in solchen Situationen auf, in denen das System sprachliche (schriftliche) Rückmeldungen über seinen Zustand gibt (Fehlermeldungen, Sicherheitsabfragen etc.), deren Inhalt gerade jüngere Kinder im Grundschulalter meistens nicht »verstehen« und nicht für weiteres viables Handeln nutzen können.

4. Konsequenzen für Schule und Unterricht

Lehrer/innen haben in ihren Fächern einen großen Fundus konkreter Erfahrungen, die in den vielen Jahren der eigenen Ausbildung und beruflicher Tätigkeit (6-13 Jahre Fachunterricht während der Schulzeit, 7-8 Jahre Fachstudium und Referendariat und bis zu 30 Jahre berufliche Tätigkeit) akkumuliert wurden. Sie erleben aber häufig nicht, welche konkreten und schnellen Handlungs- und Denkroutinen die Grundlage ihrer konzeptuellen Konstruktionen im Unterricht sind und verstehen dann nicht, warum ihre Schüler/innen ihnen (ohne diese Fähigkeit) gedanklich nicht folgen können. Gerade weil es Lehrer/innen so schwer fällt nachzuvollziehen, weshalb ihre Angebote von Schülern häufig nicht in der intendierten Weise genutzt werden (können), kommt es auf eine genau durchdachte Strukturierung der Angebote an. Hier sehen wir die Hauptverantwortung von Lehrenden: Während Lernen ein individueller Prozess der Entwicklung kognitiver Fähigkeiten ist, der von außen (und auch vom Individuum selbst) nicht intentional steuerbar ist (s.o.), liegt die Bereitstellung von Angeboten, die auf den jeweiligen Entwicklungsstand des Lernenden abgestimmt sind und damit kognitive Weiterentwicklung optimal befördern (jedoch nicht bestimmen!) in der Hand der Lehrenden (u.a. Aufschnaiter, S. v. 2001). Untersuchungen insbesondere zur Wirkung von Lernangeboten sowie zur Verbesserung der Strukturierung unterrichtlicher Angebote haben in den letzten 15 Jahren den Schwerpunkt unserer Forschungsarbeit ausgemacht (s. u.a. auch Aufschnaiter, C. v./Aufschnaiter, S. v. 2001, 2003).

Strukturierung unterrichtlicher Angebote

Wie haben im vorliegenden Beitrag zunächst erläutert, welche neurobiologischen Prozesse auf kleinen Zeitskalen (im Bereich von Millisekunden bis Sekunden) zur Entstehung von (höheren) kognitiven Leistungen führen. Auf diese Prozesse lässt sich

im Unterricht kein Einfluss nehmen, sie bestimmen jedoch, wie Schüler/innen unterrichtliche Angebote nutzen. Wir haben anschließend in Kapitel 3 dargestellt, wie sich die Denk- und Handlungsprozesse von Kindern, Jugendlichen und natürlich auch von Erwachsenen entwickeln, wie sich also Lernen beschreiben lässt. Unterrichtliche Angebote sollen vor allem diese Prozesse optimal unterstützen und beziehen sich somit auf Zeitskalen im Bereich von Minuten, Stunden, Wochen, Monaten und sogar Jahren.

Aus unserer Sicht ist für die Strukturierung von Unterricht zentral, dass Handlungsangebote *immer* zuerst kommen. Dabei müssen die an Schüler/innen herangetragenen Aufgaben in ihrer zeitlichen und inhaltlichen Strukturierung möglichst gut zu den bisherigen Erfahrungen und Fähigkeiten der Schüler/innen passen, es gilt also, die individuelle »Denklogik« vor eine Sachlogik zu stellen. Nur so können Schüler/innen auf der Grundlage bisheriger Handlungserfahrung zunehmend variantenreicher selbst handeln, die Wirkungen ihres Handelns selbst wahrnehmen (entdecken) und dabei im Handeln und Wahrnehmen immer sicherer werden. Die Aufgabe von Lehrern ist in dieser Phase besonders das Vormachen und nicht das Beschreiben oder gar Erklären von »neuen« Handlungsweisen, damit Schüler/innen diese in ihr bestehendes Handlungsrepertoire integrieren und routinisieren können.

Nur auf der Basis vielfältiger eigener Handlungserfahrungen kann bei Schülern das Sprechen und Denken über das eigene Tun »von selbst« entstehen. Nur so können Schüler/innen den Übergang vom konkreten Handeln zum Denken (Sprechen) über die eigenen Erfahrungen (intuitiv) finden und variantenreich im Hinblick auf Handlungsmöglichkeiten und Wirkungen des Sprechens darüber werden. In solchen Phasen sind Schüler/innen zunehmend besser in der Lage, Beschreibungen zu entdecken (zu verstehen) und diese für die Entwicklung eigener Handlungs- und Denkprozesse im entsprechenden Inhaltsbereich zu nutzen.

(Konzeptuelle) Erklärungen sollten immer nur dann gegeben werden, wenn diese von Schülern explizit eingefordert werden. Nach unserer Erfahrung entsteht ein solcher Bedarf erst, wenn Schüler/innen eigene Erklärungsversuche (auf einer abstrakten Ebene) bereits selbst (gedanklich) erprobt haben. Der Versuch, (konzeptuelle) Erklärungen zu einem früheren Zeitpunkt an Lernende heranzutragen, führt nach unseren empirischen Befunden entweder zum schlichten »Nicht-Verstehen« (und Nicht-Nutzen) dieser Erklärung oder zur Entwicklung von sprachlichen »Nachahmungsmustern«, die jedoch inhaltlich nicht in der gleichen Weise mit Bedeutungen »gefüllt« werden, wie von der Lehrkraft intendiert.

Immer dann und nur dann, wenn Unterricht sich auf Inhaltliches bezieht, zu dem Schüler/innen, gleich welchen Alters, umfangreiche Erfahrungen außerhalb des Unterrichts bereits gemacht haben, und die Lernangebote sich direkt darauf beziehen, besteht die Chance, dass konzeptuelles Wissen in diesem Inhaltsbereich von den Schülern verstanden und »erworben« werden kann. Oder umgekehrt ausgedrückt: Immer, wenn Unterricht sich auf für Schüler/innen neue inhaltliche Domänen bezieht, muss eigenes konkretes Handeln mit den die Domäne konstituierenden Gegenständen den Unterricht über lange Zeiträume bestimmen.

Epilog

Ausgehend von einer konkreten Situation, die Sie so oder so ähnlich sicher selbst schon (mehrfach) erlebt haben und sich deshalb gedanklich gut vorstellen konnten, haben wir Sie mit diesem Beitrag - hoffentlich - zum Denken (Sprechen) über das menschliche Denken angeregt. Konstruktivistisch gesehen können wir nicht wissen, ob Sie uns so verstanden haben wie wir, genau genommen jede/r Autor/in für sich, es gerne »wollten«. Wir haben aber versucht, eine (sprachliche) Umgebung bereitzustellen, die Ihnen vielfältige und viable Konstruktionen zum und über das Denken ermöglicht. Dies kann uns nur dann gelingen, wenn das von uns Dargestellte gut zu Ihren bisherigen Erfahrungen passt, Sie also ggf. schon einiges über das Gehirn (das ZNS) »wissen«. Vielleicht aber hat Sie dieser Beitrag (auch) ermuntert, weitere Anregungen zum Denken über das Denken erhalten zu wollen. Dies würde uns freuen, und wir empfehlen als weitere Literatur besonders Roth (1997) und Damasio (1997).

Literatur

- Aufschnaiter, C. v./Aufschnaiter, S. v. (2001): Eine neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht. Was fachdidaktische Lernprozess-Forschung zur Weiterentwicklung von Aufgaben beitragen kann. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) 54. Jg., Heft 7, S. 409-416.
- Aufschnaiter, C. v./Aufschnaiter, S. v. (2003): Theoretical framework and empirical evidence on students' cognitive processes in three dimensions of content, complexity, and time. In: Journal of Research in Science Teaching 40. Jg., Heft 7, S. 616-648.
- Aufschnaiter, S. v. (2001): Wissensentwicklung und Lernen am Beispiel Physikunterricht. In: Meixner, J./Müller, K. (Hrsg.): Konstruktivistische Schulpraxis. Beispiele für den Unterricht. Neuwied/Kriftel, S. 249-271.
- Aufschnaiter, S. v./Aufschnaiter, C. v./Schoster, A. (2000): Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physikaufgaben. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 6, S. 37-57.
- Birbaumer, N./Schmidt, R.F. (1996): Biologische Psychologie. Berlin/Heidelberg/New York.
- Damasio, A.R. (1997): Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn, München.
- Dörner, D. (1996): Über die Gefahren und die Überflüssigkeit der Annahme eines »propositionalen« Gedächtnisses. Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Lehrstuhl Psychologie II, Memorandum Nr. 22.
- Foerster, H. v. (1995): Das Konstruieren einer Wirklichkeit. In: Watzlawick, P. (Hrsg.): Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus, München/Zürich, S. 39-60.
- Glaserfeld, E. v. (199Z): Radikaler Konstruktivismus: Ideen, Ergebnisse, Probleme. Frankfurt a.M.
- Huter-Becker, A./Dölken, M. (2005): Physiotherapie in der Pädiatrie. Stuttgart/New York.
- Kandel, E.R./Schwartz, J.H./Jessell, T.M. (Hrsg.) (1996): Neurowissenschaften. Eine Einführung. Heidelberg/Berlin/New York.
- Maturana, H.R./Varela, J. (1987): Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens. Bern/München/Wien.
- Friederici, A.D. (1997): Menschliche Sprachverarbeitung und ihre neuronalen Grundlagen. In: Meier, H./Ploog, D. (Hrsg.): Der Mensch und sein Gehirn. Die Folgen der Evolution. München, S. 137-156.

- Piaget, J. (1991): *Meine Theorie der geistigen Entwicklung*, Herausgegeben von R. Fatke. Frankfurt a.M.
- Pöppel, E. (1997): *Zeitlose Zeiten: Das Gehirn als paradoxe Zeitmaschine*. In: Meier, H./Ploog, D. (Hrsg.): *Der Mensch und sein Gehirn. Die Folgen der Evolution*. München, S. 67-98.
- Roth, G. (1997): *Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen*. Frankfurt a.M.