

Vorstellungen zur Sinneswahrnehmung und den zugehörigen neuronalen Prozessen

Ein Forschungsprojekt zum fächerübergreifenden Unterricht nach
dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Stefan.Sundermeier@uni-oldenburg.de

C. v. O. Universität Oldenburg, Fakultät V, Institut für Physik

AG Didaktik der Geschichte und Physik D-26111 Oldenburg

Zusammenfassung

Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion werden Schülervorstellungen von Gesetzmäßigkeiten und Begriffen denen von Fachwissenschaftlern gegenübergestellt. Gemeinsamkeiten und Unterschiede können dann in der Unterrichtssituation fruchtbar verwendet werden; dabei kann die Nähe historischer wissenschaftlicher Vorstellungen zu den Schülervorstellungen eine besondere Stellung einnehmen. In diesem Projekt wird untersucht welche Vorstellungen Schüler der Klasse elf und Wissenschaftler von Prozessen der Sinneswahrnehmung und den damit zusammenhängenden neuronalen Vorgängen haben. Die Kenntnis dieser Konzepte ist eine Voraussetzung für die Planung fächerverbindenden naturwissenschaftlichen Unterrichts, der letztlich das schulpraktische Ziel der Untersuchung ist. Durch systematisches In-Beziehung-Setzen von Schüler- und Fachwissenschaftlervorstellungen werden Leitlinien und Elemente für die Vermittlungssituation entwickelt.

Abstract

One demand on scientific school curricula is to integrate contexts which enable students to apply their knowledge in different scientific fields. The aim of this study is to compare students' conceptions of perception and the respective neuronal processes with scientists' conceptions of these processes; the similarity of historical scientific ideas to students' ideas may play a special role in the teaching process of this subject. The results of an interview study with students (grade eleven) of German grammar school and of the analysis of technical literature from former and present scientists describe the basis of the systematic comparison. The intention of this procedure is the development of guidelines and specific teaching elements for a multidisciplinary teaching unit which are shown as the starting-point for teaching experiments.

1 Einleitung

Das Sinneswahrnehmungssystem von Lebewesen und die damit verbundenen neuronalen Prozesse sind eine Grundlage, mit deren Hilfe der Organismus Informationen aus der Umwelt aufnehmen, weiterleiten und verarbeiten kann. Das Fehlen eines solchen Systems würde ihre Überlebensfähigkeit enorm reduzieren, oder wie Hagen (Schüler einer elften Klasse des Gymnasiums) es ausdrückt: *„Wenn wir keine Nerven hätten, wären wir irgendeine kohlenstoffhaltige Masse, die in der Gegend rumliegen würde, weil es unser Gehirn nicht geben würde und dementsprechend unsere Wahrnehmung und unseren Geist. Wir könnten uns nicht bewegen und wären irgendwie ein Klotz in der Landschaft.“*

Die Prozesse der Sinneswahrnehmung verlaufen im Wesentlichen auf mikroskopischer Ebene, sodass sie sich unserer direkten Erfahrung entziehen. Schüler wie Wissenschaftler nutzen zur Beschreibung dieser schwierig zugänglichen mikroskopischen Welt Metaphern, um diesen Bereich für sich selbst verstehbar zu machen. Wird diese metaphorische Übertragung nicht reflektiert, kann die damit zusammenhängende Vorstellung in der Lernsituation hinderlich sein. Diese Untersuchung soll helfen, die Vorstellungen von Schülern und Fachwissenschaftlern mithilfe des Forschungsrahmens der Didaktischen Rekonstruktion (s.u.) zu analysieren und, durch deren Vergleich, Folgerungen für eine fachübergreifende Vermittlung abzuleiten.

Das Anliegen, diese Vermittlung in einem multidisziplinären Unterricht durchzuführen, leitet sich aus dem Verständnis des Unterrichtsgegenstandes ab. „Wir können gar nicht anfangen, die Leistungen unseres Nervensystems zu betrachten, ohne von den elektrischen Potentialen über Membran der sie aufbauenden Zellen und deren gesetzmäßigen Veränderungen bei der Erregungsleitung auszugehen“ (MARKL 1996, 38). In diesem Zitat des ehemaligen Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft wird deutlich, dass eine scharfe Eingrenzung dieses Themas auf eine der Hauptdisziplinen (z.B. Biologie) wissenschaftstheoretisch nicht fundiert ist und hinsichtlich des Verständnisses der Natur wenig angemessen erscheint. Ein interdisziplinärer Zugang soll helfen, die Beschränkung dieses Themas auf einzelne Unterrichtsfächer zu überwinden. Dabei könnte auch das Interesse von Schülern hinsichtlich physikalischer Erklärungsweisen erhöht werden. Diese Annahme stützt sich auf eine Studie von Häußler (1996, 66ff), die ergab, dass das Interesse für einen Unterrichtsgegenstand sich „hauptsächlich durch den Kontext und die beschriebene Tätigkeit bestimmt und erst in zweiter Linie durch den physikalischen Inhalt“.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Moderat konstruktivistische Perspektive des Lernens

Ein schwerwiegender Kritikpunkt an der Art, wie Wissen in der Schule vermittelt wird und erworben werden soll, ist die geringe Anwendbarkeit. Das daraus entstehende „träge“ Wissen wird nicht in Vorwissen integriert, folglich zu wenig oder nicht vernetzt. Eine zentrale Ursache ist hierfür die fehlende Einbettung des Lernens in authentische Kontexte. Nach dem Ansatz eines moderaten Konstruktivismus ist Lernen jedoch als ein aktiver Prozess anzusehen, in dem sich Lernende ihr Wissen selbst konstruieren. Dabei werden neue Erkenntnisse an vorhandenes Wissen angeknüpft, so wie es auch die neurologischen Befunde zum Lernen nahelegen (SINGER 2002, 746). Daraus resultiert, dass die Lehrkraft dem Schüler nur Konzepte vorschlagen kann, die Letzterer aktiv mit seinem bisherigen Wissen in Beziehung setzen muss. Es müssen Situationen geschaffen werden, die den Lernern eine Konstruktion von Wissen ermöglichen. Nach dieser Theorie ist es notwendig, auf das Vorwissen der Schüler einzugehen und die Unterrichtseinheit am Wissensstand der Schüler anknüpfend zu planen (DUIT 1995, 906ff).

Auch wenn, wie hier dargestellt, beim Lernen als von einem vom Individuum selbst gesteuerten Prozess ausgegangen wird, ergeben sich aus diesem Ansatz einige Probleme, wie z.B. eine Überforderung und Desorientierung gerade von lernschwächeren Schülern bei mangelnder Unterstützung und Anleitung. So ist es möglich, dass die Leistungsaufspaltung zwischen den Schülern verstärkt wird (REINMANN & MANDL 2006, 635). Nach Reinmann und Mandl (2006, 636ff) sollte bei der Unterrichtsplanung eine Balance zwischen instruktionistischen und konstruktivistischen Anteilen angestrebt werden.

2.2 Der dieser Arbeit zugrunde liegende Lernbegriff

In der Naturwissenschaftsdidaktik hat sich in den letzten 20 Jahren aus den Annahmen des moderat konstruktivistischen Verständnisses von Lernen die Meinung etabliert, dass in Lernsituationen Gelegenheiten zum Konzeptwechsel („conceptual change“) geschaffen werden müssen. Hier lassen sich z.B. kognitivistische oder kontextualistische Ansätze unterscheiden. In dieser Arbeit werden die kontextualistischen/situationistischen Ansätze (CARAVITA 1994, 109) betont, bei denen das Problem der Wissensvermittlung in der *adäquaten Kontextualisierung* der verschiedenen Wissensstrukturen liegt. Hilfreich für das Lernen ist es, dem Lerner zu verdeutlichen, in welchem Kontext welche Konzepte sinnvoll angewendet werden können. Der Lernende wird unterstützt, die

verschiedenen Kontexte zu unterscheiden und das Wissen, welches in dem Kontext thematisiert wird (z.B. der Potenzialbegriff an biologischen Membranen im Kontext „der menschliche Körper“), zu erkennen. Der hier beschriebene kontextualistische Ansatz ist ein wesentlicher Aspekt der Cognitive-Flexibility-Theorie. Hierin wird versucht, unterschiedliche Perspektiven in die Lernumgebung, in der das Wissen erworben wird, zu integrieren (SPIRO ET AL. 1992, 125) und Lernen in komplexen Wissensgebieten zu fördern.

2.3 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Die Aussagen aus Interviews und Texten werden unter Anwendung der kognitionslinguistischen Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens analysiert, um aus ihnen Vorstellungen zu rekonstruieren. In dieser Theorie werden die drei Aspekte Erfahrung, Sprache und Denken miteinander ins Verhältnis gesetzt. Somit lässt sich folgern, dass Vorstellungen aus der Sprache ableitbar sind.

Nach Lakoff und Johnson (2004, 11) werden Erfahrungen, die direkt aus der Wahrnehmung in der physischen und sozialen Umwelt entstehen, von den Individuen gesammelt. Erfahrungen bilden demnach die Basis des Verständnisses. Lakoff und Johnson unterscheiden „Basis-Begriffe“ (z.B. Hund, Baum, Mutter), deren Bedeutung man aus direkten Erfahrungen verstehen kann, und kinästhetische Schemata, die z.B. aus der Orientierung des eigenen Körpers im Raum erwachsen (z.B. oben-unten-Schema). Ein weiterer Aspekt der Theorie ist die Unterscheidung zwischen dem „Ursprungsbereich“, in dem man direkte Erfahrungen sammeln kann (z.B. durch Begegnung mit einem Hund), und einem „Zielbereich“, der unserer Erfahrung nicht direkt zugänglich ist (z.B. Informationsleitung in Nerven) und in dem man durch eine metaphorische Projektion aus dem Ursprungsbereich Verständnis erlangen kann.

Durch die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens können ausgehend von den Grundannahmen sprachliche Äußerungen aus Bereichen wie den neuronalen Prozessen der Sinneswahrnehmung, in denen direkte Erfahrungen unmöglich sind, auf deren metaphorischen Gehalt analysiert und gedeutet werden.

3 Das Projekt im Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Die Didaktische Rekonstruktion bildet einen theoretischen Rahmen für Forschungsarbeiten mit der Frage, „wie bestimmte Inhaltsbereiche sinnvoll und fruchtbar unterrichtet werden können“ (GROPENGIEBER 1997, 14). In diesem Rahmen wird eine Basis für die Planung und Durchführung von Unterricht geschaffen, bei der Fachwissenschaftler- und Schülervorstellungen verglichen

werden. Ziel ist es, die Gegenstände des Schulunterrichts nicht einfach aus dem Wissenschaftsbereich zu entnehmen, sondern durch Berücksichtigung pädagogischer Zielsetzungen zu definieren. Es wird nicht von einer allgemeingültigen „Sachstruktur“ der Fachwissenschaft ausgegangen, sondern die Alltagsvorstellungen werden im Kontext der persönlichen Überzeugung der Schüler gesehen, die für diese „dieselbe Kohärenz und Stimmigkeit besitzen wie die wissenschaftlichen Konzepte innerhalb des jeweiligen Faches“ (KATTMANN 1996, 3).

Die Didaktische Rekonstruktion erfolgt also in drei Schritten: Analyse von *Fachwissenschaftlerperspektiven*, Erhebung und Analyse von *Lernerperspektiven* und Vornahme der *didaktischen Strukturierung*.

Aus der Themenwahl „Sinneswahrnehmung und die zugehörigen neuronalen Prozesse“ und unter Berücksichtigung dieses Modells und den beschriebenen theoretischen Grundlagen dieses Projekts lassen sich die folgenden Forschungsfragen entwickeln.

- Welche Vorstellungen haben Fachwissenschaftler (historisch/gegenwärtig) und Schüler zur Sinneswahrnehmung?

Der Begriff der Sinneswahrnehmung wird hier weiter ausdifferenziert: der *Prozess*, die *Organe* und die *Orte* der Sinneswahrnehmung, *epistemologische Aspekte* und *physikalische Aspekte* der Sinneswahrnehmung. Diese Frage kann somit weiter unterteilt werden in:

- Welche Vorstellungen sind zur Morphologie und Struktur des Sinneswahrnehmungssystems zu rekonstruieren?
- Welche Vorstellungen haben Fachwissenschaftler (historisch/gegenwärtig) und Schüler zu den Prozessen der Sinneswahrnehmung?
- Welche Vorstellungen sind zu epistemologischen Aspekten der Sinneswahrnehmung zu rekonstruieren?
- Welche Vorstellungen haben Fachwissenschaftler (historisch/gegenwärtig) und Schüler zu physikalischen Aspekten der Sinneswahrnehmung?

4 Methodik

Die Methode der Analyse von Vorstellungen ist an der konstruktivistischen Sichtweise (s.o.) orientiert, in der Vorstellungen für das jeweilige Individuum inhaltliche Kohärenz besitzen. Von dieser Annahme ausgehend wird eine qualitative Vorgehensweise bei der Erhebung und Analyse gewählt, um die individuell konstruierten, unterschiedlichen Vorstellungen und deren Qualität möglichst tiefgehend zu erfassen.

Die im Folgenden vorgestellten Untersuchungsgegenstände wurden mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2003), modifiziert nach Gropengießer (1997), behandelt. Dabei wurden die von Mayring vorgeschlagenen Schritte *Zusammenfassung*, *Explikation* und *Strukturierung* des Materials durchlaufen, mit dem Ziel, die Vorstellungen der Fachwissenschaftler und Schüler auf die Ebene von Konzepten zu bringen, um diese miteinander vergleichen zu können.

4.1 Untersuchungsgegenstand und Analyse der Fachwissenschaftlervorstellungen

Um die unterschiedlichen Erklärungen der Sinneswahrnehmung im menschlichen Körper im 18. und 19. Jahrhundert zu untersuchen und wichtige Zeitpunkte von Konzeptwechseln in der Geschichte zu identifizieren, werden historische Quellen von drei in dieser Periode forschenden Wissenschaftlern untersucht. Es handelt sich um Herman Boerhaave (1668-1738), Luigi Galvani (1732-1798) und Hermann v. Helmholtz (1821-1894). Der Auswahl dieser Personen lag einerseits die Vorannahme zugrunde, dass die wissenschaftlichen Vorstellungen des Prozesses der Sinneswahrnehmung im 20. Jahrhundert auf einer mikroskopischen Ebene präsentiert werden und diese somit nur wenige Ansätze für eine Vermittlungssituation bieten würden. Andererseits konnte durch die Beschränkung auf diese Periode die Veränderung und der konzeptuelle Wechsel der Vorstellungen hinsichtlich des Prozesses der Sinneswahrnehmung untersucht werden, die gerade in wissenschaftsgeschichtlicher Hinsicht dieses Zeitraums bedeutsam sind (darauf wird an dieser Stelle nicht eingegangen).

Auf der Seite der gegenwärtigen fachwissenschaftlichen Vorstellungen wurden zwei Werke ausgewählt und analysiert: „Lehrbuch der Physiologie“ von Klinker/Silbernagl und „Physiologie des Menschen“ von Schmidt/Lang/Thews. Die hier vorliegenden Vorstellungen spiegeln den aktuellen Forschungsstand wider.

4.2 Erhebungs- und Analysemethoden der Schülervorstellungen

Zur Untersuchung der Schülerperspektiven wurden zwölf Einzelinterviews mit Schülern der elften Klasse zweier Gymnasien in Niedersachsen durchgeführt. Die Auswahl der Interviewpartner kann wie von Kelle und Kluge (1999, 38ff) vorgeschlagen als eine Mischung aus einem „theoretical sampling“ und einem „selective sampling“ bezeichnet werden. Dabei wurden die Merkmale *Alter*, *Klassenstufe* und *Geschlecht* selektiv vom Autor festgelegt. Die Auswahl der Klassenstufe bei dieser Untersuchung soll ermöglichen, *vorunterrichtliche* Vorstellungen zu erheben. Da das Thema Sinneswahrnehmung und deren neuronal-

le Prozesse in der gymnasialen Oberstufe Unterrichtsgegenstand ist, wird die elfte Jahrgangsstufe zur Erhebung ausgewählt. Die Anzahl der Interviews wird nach dem Prinzip der empirischen Sättigung der Daten bestimmt (theoretical sampling), bei dem die grundlegenden Vorstellungen von Schülern erhoben werden sollen, sodass durch zusätzliche Erhebungen nur wenig neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Zur Erhebung der Daten werden offene, leitfadengestützte Interviews durchgeführt (MAYRING 2003). In der Interviewsituation wird versucht, durch unterschiedliche Interventionen, wie Fragen, Durchführung von kleinen Versuchen (z.B. zur Beeinflussbarkeit der Sinneswahrnehmung) und Vervollständigung von Skizzen (innerhalb derer z.B. in einer Abbildung eines Körperumriss der Nervenverlauf im menschlichen Körper darzustellen war) Gesprächsanreize zu schaffen, die weitere Interventionen und Nachfragen des Interviewers ermöglichen.

Die aufgezeichneten Interviews werden mittels festgelegter Regeln transkribiert und in weiteren Schritten für die Analyse vorbereitet. Die Reduktion des Textkörpers wurde computergestützt mit der Analysesoftware ATLAS.ti durchgeführt. Durch Mitglieder der Arbeitsgruppe Physikdidaktik und des Promotionsstudienganges „Didaktische Rekonstruktion“ sowie mit der Hilfe von universitätsexternen Wissenschaftlern der fachdidaktischen Lehr- und Lernforschung wurden einzelne Schritte der Datenauswertung auf intersubjektive Nachvollziehbarkeit überprüft, um ein hohes Maß an Objektivität und Reliabilität zu erzielen (BORTZ & DÖRING 2002, 326f).

5 Ergebnisse

Die Vorstellungen von Schülern und Fachwissenschaftlern wurden mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse analysiert. Die folgende Kategorisierung wurde deduktiv vorgenommen: *Morphologie und Struktur des Sinneswahrnehmungssystems*, *Prozess der Sinneswahrnehmung*, *epistemologische Aspekte der Sinneswahrnehmung* und *physikalische Aspekte der Sinneswahrnehmung*.

In der folgenden Ergebnisdarstellung werden Konzepte von Fachwissenschaftlern und Schülern zu zwei Vergleichsgegenständen (wahrnehmungsvermittelnde Entität, Geschwindigkeit der wahrnehmungsvermittelnden Entität) vorgestellt, die einzig in den Kategorien *Prozess der Sinneswahrnehmung* bzw. *physikalische Aspekte der Sinneswahrnehmung* rekonstruiert wurden.

5.1 Konzepte zum Prozess der Sinneswahrnehmung

Alle Schüler haben die Vorstellung, dass sich die wahrnehmungsvermittelnde Entität kontinuierlich den Nerv entlang zum Gehirn ausbreitet. Zwar stellen sich die Schüler unterschiedliche Mechanismen vor, die die Wahrnehmung vermitteln; gemein ist den Äußerungen jedoch, dass sie in diesem für sie nicht direkt erfahrbaren Bereich Begriffe aus unterschiedlichen erfahrbaren Bereichen einbringen (Licht, elektrisch geladene Teilchen, Blitze, Körperchen oder Stoffe). Diese Vorstellungen können in zwei Kategorien unterteilt werden: Vorstellungen, die auf ein physikalisches Phänomen zurückzuführen sind (Licht, Blitz, geladene Teilchen) und verkörperte Vorstellungen wie Körperchen oder Stoffe, die dann die Information transportieren (Denise spricht von Objekten wie Blutkörperchen, die die Informationen weiter geben) oder in denen die Informationen weitergegeben werden (Hagen und Tobias). Die metaphorische Beschreibung dieses Prozesses hilft den Schülern, Verständnis zu erlangen und wirkt kompensatorisch im Hinblick auf die fehlende unmittelbare Erfahrung. Nur wenige Schüler verwenden zur Beschreibung dieses Prozesses den Begriff der Zelle, obwohl der Zellbegriff in ihrem Biologieunterricht bereits Vermittlungsgegenstand gewesen ist. Einige Beispiele:

Signalweitergabe durch Blitze: Im Körper weitergegebene Signale sind in elektrischer Form verschlüsselt, wie beim Morsen, und springen mit kleinen Blitzen zwischen den Nerven über. (Anne)

Informationsweitergabe durch Impuls in Flüssigkeit: Informationen werden im Körper durch einen gelben elektrischen Impuls in einer Art Flüssigkeit im Nervensystem weitergeleitet. (Christian)

Nachrichtenweitergabe durch Bewegung: In den Nerven wird eine Nachricht weitergeschickt, indem sich die Nerven bewegen; es wird ein Stoff losgeschickt (weitergeleitet wie eine Kettenreaktion). (Katrin)

Nachrichtenleitung wie im Telefonkabel: Nachrichten vom Finger werden wie in einem Telefonkabel zum Gehirn geleitet. (Bernd)

Datenleitung durch Stoffe: Im Leiter Nerv ist eine Mischung aus Stoffen, die man im Körper findet, enthalten, durch die Impulse Daten transportieren können. (Hagen)

Informationsleitung durch elektrischen Impuls: Durch Berührungen der Haut geben Nervenzellen einen elektrischen Impuls (kleinen Stromstoß, kleinen Schlag) ab, der ins Gehirn fließt. (Alexander)

Informationsleitung durch Lichtimpulse: Die Informationen der Tastnerven werden mit Lichtstrahlen auf den Leiter gefädelt, laufen wie Perlen da drauf lang und rauschen hoch zum Gehirn. (Friedrich)

Signalleitung durch elektrische Teilchen: Die am Rezeptor entstehenden Signale in Form elektrisch geladener Teilchen wandern vom Rezeptor aus von Zelle zu Zelle ins Gehirn. (Tobias)

Signalleitung durch Stoffe: Zwischen den Zellen entstehende Stoffe wandern von Zelle zu Zelle bis zum Gehirn. (Tobias)

Informationsleitung durch Impulse: Die Informationen aus den kleinen Dingen in den Nerven werden in Impulsen durch die Nerven geleitet; dabei wird Energie verbraucht. (Denise)

Informationsleitung durch Körperchen: Die Informationen aus den kleinen Dingen in den Nerven werden durch kleine Körperchen geleitet, die in den Nervenbahnen wandern; dabei wird Energie verbraucht. (Denise)

Die Vorstellungen von Boerhaave, Galvani und Helmholtz lassen sich ebenfalls in zwei Kategorien unterteilen. Boerhaaves Vorstellung eines dünnen Wesens liegt die Fluidumstheorie des 16. und 17. Jahrhunderts zugrunde (WHITTAKER 1951-1953), bei der das vermittelnde Agens einen nicht näher fassbaren Charakter besitzt. Diese Fluidumstheorie behielt auch für Galvani ihren Reiz und wurde durch die von ihm angestellten Versuche um eine elektrische Eigenschaft erweitert. Beide Vorstellungen gleichen sich darin, dass die wahrnehmungsvermittelnde Entität als nichtmateriell betrachtet wird. Elektrische Eigenschaften besitzen auch die von Helmholtz vorgeschlagenen elektromotorischen Molekel, diese sind jedoch für ihn „wägbare“ oder „ponderabel“, im Gegensatz zum zuvor genannten Fluidum. Die Vorstellung solcher Teilchen geht auf die sehr mechanistischen Vorstellungen des jungen Helmholtz und auf deren Übertragung von der Physik auf die Physiologie zurück.

Lebensgeister: Durch die Nerven wird ein dünnes Wesen bewegt, das das Hervorbringen tierischer Handlungen bewirkt. (Boerhaave)

Nervenaufgaben: Nerven leiten das elektrische Nervenfluidum in sich, das von den Nerven ausgehend zu den Muskeln fließt und Kontraktionen bewirkt. (Galvani)

Reizungsfortleitung Molekellageänderung: In einer eine Reizung fortleitenden Nervenstrecke geht eine physikalische Veränderung vor, mit der Lageänderung stromdurchflossener elektromotorischer Molekel, die ein Glied im Mechanismus der Reizung bilden. Das Agens ist mit der Elektrizität identisch. (Helmholtz)

Die Konzepte der modernen Fachwissenschaftler zum Thema der wahrnehmungsvermittelnden Entität und den damit verbundenen Prozessen sind sehr komplex. In ihrem Mittelpunkt steht der Fluss verschiedener Ionen, die zu Veränderungen des vorherrschenden Membranpotenzials führen.

Informationsleitung durch Membranpotenzialsänderung: Informationen der Sinnesorgane werden über Änderung des Membranpotenzials, die in Folgen von Aktionspotenzialen umcodiert werden, durch sich verzweigende Nervenfasern in den Körper geleitet. (Schmidt/Lang/Thews)

Nachrichtenübermittlung durch Membranpotenziale: Im Nervensystem dienen das Membranpotenzial und die Änderung desselbigen zur Nachrichtenübermittlung, um im gesamten Nervensystem Botschaften rasch und zum Teil über lange Strecken elektrisch zu vermitteln. (Klinke/Silbernagl)

5.2 Konzepte zur Geschwindigkeit der wahrnehmungsvermittelnden Entität

Spricht man mit Schülern über die Geschwindigkeit, die die wahrnehmungsvermittelnde Entität hat, so wird diese als sehr hoch eingeschätzt. Einige Schüler ziehen als Referenzgeschwindigkeit die Lichtgeschwindigkeit heran, auch wenn sie zuvor über Schallgeschwindigkeit oder Geschwindigkeit von Autos gesprochen haben. Schüler greifen bei der Erklärung dieses Phänomens auf die Erfahrung mit ihren eigenen Sinnen zurück, in der sie die Berührung eines Objektes zeitgleich bemerken. Dies wird durch das Konzept „instantane Übermittlung“ von Denise deutlich. Eine solch hohe Geschwindigkeit kennen sie sonst nur vom Licht oder der Elektrizität. Es scheint für viele unmöglich, dass man diese Geschwindigkeit messen kann. Die Schüler sehen dabei das Hauptproblem in der Zeitmessung.

Geschwindigkeitsmessung der Impulsleitung: Die Strecke des Impulses von der Hand zum Gehirn kann man messen. Die vom Impuls für die Strecke benötigte Zeit ist nicht messbar und somit auch nicht die Geschwindigkeit. (Alexander)

Instantane Übermittlung: Das Anfassen eines Objektes wird zum Zeitpunkt der Berührung sofort bemerkt. Es ist nicht bemerkbar, dass man es erst nicht weiß. (Friedrich)

Geschwindigkeitsmessung der Informationsleitung: Zur Messung der Geschwindigkeit der Informationsleitung misst man die Strecke der Nervenstränge von der Hand zum Gehirn und misst die Dauer der Lichtimpulsleitung im Nanosekundenbereich vom Impuls am Tastnerv bis zur Reaktion. (Friedrich)

Geschwindigkeit der Informationsleitung: Die Geschwindigkeit eines Signals vom Finger ins Gehirn ist dicht an der Lichtgeschwindigkeit. (Tobias)

Geschwindigkeitsmessung der Informationsleitung: Um die Geschwindigkeit eines Signals vom Finger zum Gehirn zu erhalten, benötigt man die Entfernung zwischen den Orten und die Zeitdauer, die im Bruchteil einer Sekunde liegt. (Tobias)

Instantane Übermittlung: Die Geschwindigkeit, mit der Informationen durch die Nerven gehen, ist total rasant schnell und nicht messbar. Das Anfassen eines Objektes wird zum Zeitpunkt der Berührung sofort bemerkt. (Denise)

Boerhaave und Galvani haben keine Vorstellung von der Geschwindigkeit, mit der das Agens durch die Nerven fließt. Für sie ist diese sehr hoch. Diese Vorstellung wurde auch von den Zeitgenossen von Helmholtz vertreten; sie beschrieben die Schwierigkeit, solche kurzen Zeitintervalle zu messen. Helmholtz gelang diese Messung 1850 und führte ihn zu einem Geschwindigkeitswert von 60 m/s. Er selbst erkannte, dass die Wahrnehmung der Geschwindigkeit so sehr erhöht erscheint, da die Strecke, die in den Nerven durchlaufen wird, sehr gering ist. Sein Vergleich der Nervenstrecken beim Menschen und beim Wal führt zu einer Wahrnehmungsverzögerung (im Falle einer Verletzung) von einer Sekunde.

Geschwindigkeit der Bewegung: Die Empfindung und Bewegung im Nerven erfolgen schnell. (Boerhaave)

Geschwindigkeit des tierischen Elektrizitätsflusses: Das elektrische Nervenfluidum eilt frei und sehr schnell durch die Nerven. (Galvani)

Fortpflanzungsgeschwindigkeit: Die Reizung in den menschlichen Nerven von einem auf das Hautende empfindender Nerven gemachten Eindruck pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 60 m/s zum Gehirn fort. (Helmholtz)

Die Vorstellungen der modernen Fachwissenschaftler und ihre Beschreibung dieses Phänomens beschränken sich auf die Erläuterung des mikroskopischen Prozesses. Zum Verständnis der Entstehung der Höhe der Geschwindigkeit muss die Struktur der Nerven nachvollzogen werden.

Nervenleitgeschwindigkeit: Durch das Springen der Aktionspotenziale an der markhaltigen Faser eines Axons kann eine Nervenleitgeschwindigkeit bis zu 120 m/s erreicht werden. (Klinke/Silbernagl)

6 Vergleich der Vorstellungen und Folgerungen für die Vermittlung

6.1 Leitlinie „Wahrnehmungsvermittelnde Entität“

Das komplexe Thema des Prozesses der Sinneswahrnehmung und die damit verbundenen Strukturen zu lehren bzw. zu lernen und dabei zwischen den Alltagsvorstellungen der Schüler und den Vorstellungen der Fachwissenschaftler

zu vermitteln, stellt eine didaktische Herausforderung dar, wie die folgenden Vergleiche zeigen.

Im Vergleich der historischen Fachwissenschaftler- mit den Schülervorstellungen fällt auf, dass die Unterscheidung in zwei Kategorien von wahrnehmungsvermittelnden Entitäten (materiell und nicht materiell) in beiden Bereichen zu finden ist. Die nicht materiellen Konzepte der Schüler basieren aus der heutigen Sicht auf physikalischen Phänomenen (Licht, Elektrizität), ähnlich wie die Fluidumstheorie des 18. Jahrhunderts. Aus Sicht der Schüler könnte diese Theorie wenig verständlich sein, da sie sehr unklare Aussagen über den substantiellen Charakter dieses Fluidums gibt. Die Vorstellung von elektromotorischen, wägbaren Teilchen hat im Vergleich mit den Vorstellungen des elektrischen Stromes eine Übereinstimmung im physikalischen Charakter, der elektrischen Wirkung beider Vorstellungen und scheint hinsichtlich ihrer Komplexität für einige Schüler nachvollziehbar.

Im Vergleich der Schülervorstellungen mit den modernen Fachwissenschaftlervorstellungen besteht eine Differenz zwischen dem Fluss der Lichter, Blitze, elektrischen Teilchen und Körperchen in Richtung des Nervs und der Ionenflussrichtung in erster Linie senkrecht zum Nervenverlauf. Die mit dem Ionenstrom verbundene Veränderung des so genannten Membranpotenzials ist aus Sicht der Schüler, auf Grund der sehr komplexen Wechselwirkungen von Ionenfluss, spannungsabhängigen Veränderungen der intramembranösen Ionenkanäle und dem Auf- und Abbau der Potenzialdifferenzen über der Membran, schwer nachzuvollziehen. Zum Verständnis der wissenschaftlichen Konzepte der Informationsweiterleitung ist also ein mikroskopisches Verständnis der Zelle notwendig. Da die Zelltheorie für die Schüler bereits Unterrichtsthema war, wird deutlich, dass eine einfache Konfrontation derselben mit den Vorstellungen der Wissenschaftler wenig lernförderlich ist. Vielmehr muss den Schülern eine Situation präsentiert werden, die sie zum Umdenken von denen von ihnen vorgestellten vermittelnden Entitäten zu einer den fachwissenschaftlichen Konzepten näheren Sichtweisen anregt. Hilfreich könnte im Falle der wahrnehmungsvermittelnden Entität ein Abstandnehmen von der Ionenwanderung durch die Membran als Ausgangspunkt für die Vermittlung sein. Anstelle dieses Konzeptes könnte die Ausbreitung des Membranpotenzials entlang der Zelle thematisiert werden. Das Konzept der Potenzialdifferenz steht in größerer Nähe zu den von Schülern angeführten physikalischen Phänomenen (wie Blitze und Lichter) und ähnelt dem von den Schülern angenommenen kontinuierlichen Fluss in Richtung der Nerven. In diesem Zusammenhang sollten in der

Vermittlung der Begriff des Potenzials und die damit verbundenen physikalischen Begriffe und Theorien thematisiert werden.

In einem weiteren Schritt kann der wechselseitige Vergleich der Vorstellungen und Konzepte, wie ihn die didaktische Strukturierung vorsieht, als eine Methode im Unterricht eingesetzt werden, um die Entstehung des Membranpotenzials näher zu untersuchen. Dabei werden den Schülern Texte, die die Konzepte von Tobias und Helmholtz zur elektrischen vermittelten Entität beschreiben und beinhalten, zur Verfügung gestellt (SUNDERMEIER 2006, 79f) und ihnen die Aufgabe gestellt, diese hinsichtlich des Begriffs des Membranpotenzials kritisch zu hinterfragen. Diese beiden Konzepte sind besonders geeignet, um eine Konzepterweiterung zu erlangen, da sie die Wanderung von elektrischen Teilchen (Tobias), aber auch die „wägbaren Teilchen“, die sich in den Nerven ausrichten (Helmholtz), ansprechen, sich jedoch in der Wirkung der elektrischen Teilchen unterscheiden; bei Tobias wird die Elektrizität durch den Fluss der Teilchen vermittelt und bei Helmholtz durch die Ausrichtung dieser. Diese unterschiedlichen, aber für Schüler nachvollziehbaren Konzepte haben mit der fachwissenschaftlichen Vorstellung der Ionenwanderung den teilchenhaften Charakter der vermittelnden Entität im Nerven gemein. Die von Tobias oder Helmholtz vorgenommene Übertragung der Erfahrungen aus der Physik zur Klärung dieses Phänomens und die verkörperte Darstellung dieser Konzepte steht dabei qualitativ auf einer höheren Abstraktionsstufe als z.B. die metaphorische Übertragung der Begriffe Körperchen, Blitze oder Licht. Die Übertragung des Schrittes der didaktischen Strukturierung in die Vermittlungssituation soll helfen, einerseits die eigenen Vorstellungen zu hinterfragen und andererseits sich durch einen kritisch reflektierten Aushandlungsprozess den fachwissenschaftlichen Vorstellungen zu nähern und ein Umdenken bzgl. der eigenen Vorstellung zu einer neuen Definition der wahrnehmungsvermittelnden Entität zu fördern.

In einem nächsten Schritt der Vermittlung kann die Neuronenmembran näher thematisiert werden. Es ist jedoch fraglich, inwieweit die komplexen Wechselwirkungen von Ionenströmen und Membran auch unter didaktischer Reduktion zu einem Umdenken der Schüler führen können. Viel eher besteht hier die Gefahr einer Vermischung lebensweltlicher und fachwissenschaftlicher Konzepte. Wie in neuerer Literatur immer wieder herausgestellt wird, können sich die Erklärungsmodelle der Schüler hartnäckig halten und existieren weiter parallel zu den fachwissenschaftlichen (siehe auch SUNDERMEIER 2006, 34ff). Aus diesem Grund ist es wünschenswert, mit den Schülern die Domänenabhängigkeit der Konzepte zu thematisieren, so wie es Spiro in der *Cognitive-*

Flexibility-Theorie (1992) und Caravita und Halldén (1994) vorschlagen, und das Thema Membranpotenzial und dessen Entstehung in den Physik- und Chemieunterricht zu integrieren.

6.2 Leitlinie „Hohe Geschwindigkeiten“

Hier liegt das Problem in der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler, dass die für die Informationsübertragung benötigte Zeitspanne so klein ist, dass sie als nicht messbar erscheint. Es wird deutlich, dass die Schüler nur unklare Vorstellungen von der Größenordnung von Geschwindigkeiten haben (Friedrich meinte, dass das Zeitintervall im Nanosekundenbereich läge; daraus ergibt sich eine Übertragungsgeschwindigkeit größer als die Lichtgeschwindigkeit). Die Messungen von Helmholtz sind aus Sicht der Schüler nur schwer nachzuvollziehen, da diese mit den Mitteln der heutigen Technik eine Messung der Geschwindigkeit ganz anders durchführen würden. Interessant könnte an dieser Stelle der Wal-Mensch-Vergleich für die Schüler sein, bei dem Strecken und Laufzeiten mit einander in Beziehung gesetzt werden müssen.

Die von den Schülern vorgeschlagenen Messmethoden können nur zum Teil oder müssen in anderer Form im Unterricht durchgeführt werden. Die Schüler sollen einen Einblick in die Messung von Prozessen in ihrem Körper erhalten, wie sie in der Medizin in aktuellen Forschungsfeldern durchgeführt werden. Eine anschließende Betrachtung der Lichtgeschwindigkeit und ihrer Messung soll den Schülern helfen, eine bessere Einschätzung der Größenordnung von Geschwindigkeiten zu bekommen.

7 Fazit

Es wurde gezeigt, wie einige Vorstellungen der Schüler und Fachwissenschaftler zu einem fachübergreifenden Aspekt wie den Prozessen der Sinneswahrnehmung in didaktische Leitlinien umgesetzt werden können. Die erhobenen und untersuchten Schülervorstellungen und die daraus durch den Vergleich mit den Fachwissenschaftlerkonzepten gezogenen Folgerungen sollen in einem nächsten Schritt in Vermittlungsexperimenten untersucht werden. Dabei wird der Lernprozess analysiert und die Ergebnisse dieser Analyse werden zur Weiterentwicklung der vorgeschlagenen Folgerungen für den Unterricht eingesetzt.

Zitierte Literatur

BORTZ, J. & N. DÖRING (2002): *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. 3. überarbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

- CARAVITA, S., & O. HALLDÉN (1994): Re-framing the problem of the conceptual change: Learning and Instruction, 4, 89-111.
- DUIT, R. (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. Zeitschrift für Pädagogik 341 (6), 905-923.
- DUIT, R., H. GROPEGIEßER & U. KATTMANN (2005): Towards science education research that is relevant for improving practise: The model of educational reconstruction. Developing standards in research on science education, 1-9.
- EBERHARD, J. P. (1754). Herman Boerhaavs Physiologie. Uebersetzt und mit Zusätzen vermehrt. Regnerische Buchhandlung, Halle im Magdeburgischen.
- GALVANI, A. (1894). Abhandlung über die Kräfte der Electricität bei der Muskelbewegung: (1791) / von Aloisius Galvani. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig.
- GROPEGIEßER, H. (1997): Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Carl von Ossietzky-Universität, Zentrum für Pädag. Berufspraxis, Oldenburg.
- HÄUBLER, P. ET. AL. (1996): Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Physikunterricht. Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften, 2 (3), 57-69.
- HELMHOLTZ, H. V. (1883). Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann von Helmholtz. Zweiter Band. J. A. Barth. Leipzig.
- KATTMANN, U. & H. GROPEGIEßER (1996): Modellierung der Didaktischen Rekonstruktion. In: DUIT, R. & C. RHÖNECK (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. IPN, Kiel.
- KELLE, U. & S. KLUGE (1999): Vom Einzelfall zum Typus: Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung. Leske+Budrich, Opladen.
- KLINKE, R. & S. SILBERNAGL (2003): Lehrbuch der Physiologie. Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- LAKOFF, G. & M. JOHNSON (2004): Leben in Metaphern. Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern. 4. Auflage. Carl-Auer-Systeme, Heidelberg.
- MARKL, H. (1996): Physik des Lebendigen. In: HOFFMANN, D. & H. LÜBBIG: Hermann von Helmholtz (1821-1894) - Berliner Kolloquium zum 100. Todestag. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
- MAYRING, P. (2003): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 8. Auflage. Beltz Verlag, Weinheim.
- REINMANN, G. & H. MANDL (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: KRAPP A. & B. WEIDEMANN (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. 5. vollständig überarbeitete Auflage. Beltz Verlag, Weinheim, Basel.
- ROTHSCHUH, K. E. (1953). Geschichte der Physiologie. Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- SCHMIDT, R., F. LANG & G. THEWS (2005): Physiologie des Menschen. Springer Medizin Verlag, Heidelberg.
- SINGER, W. (2002): Der Beobachter im Gehirn. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main.
- SPIRO, R. J., FELTOVICH, P. J. & CLOUGH, M. P. (1992). Cognitive Flexibility, Constructivism and Hypertext: Random access instruction for advances knowledge acquisition in ill-structured domains. In: DUFFY, T. M. & JONASSEN, D. H. (Hrsg): constructivism and technology of instruction: A conversation. Erlbaum: Hilldale, N. J.
- SUNDERMEIER, S. (2006): Was Schüler über Blut denken. Interviews und Fachliche Vorstellungen zu einem Humanbiologischen Begriff. Oldenburger Vordrucke 540. Didaktisches Zentrum, Oldenburg.
- WHITTAKER, E. T. (1951-1953): A History of the Theories of Aether and Electricity. 2 Vols. Nelson, London.