

Optische Täuschungen als Einstieg in die aktuelle Hirnforschung – in einem Grundkurs Biologie 13

Pädagogische Prüfungsarbeit zur zweiten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien

vorgelegt von:

Rita Bartmann

Studienreferendarin im Studienseminar
Frankfurt III für das Lehramt an Gymnasien
(Biologie und Deutsch)

1. August 2001

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Warum überhaupt das Thema Gehirn, warum aktuelle Hirnforschung in der Schule?	2
3	Warum optische Täuschungen als Einstieg?	7
4	Praxiserfahrungen	12
4.1	Vorab: Kurze Bemerkungen zur Lerngruppe	12
4.2	Einstiegsstunde	13
4.2.1	Stand des Unterrichts	13
4.2.2	Didaktische Überlegungen zur Einstiegsstunde	13
4.2.3	Lernziele	16
4.2.4	Methodische Überlegungen	18
4.2.5	Verlauf der Stunde	20
4.2.6	Reflexion	22
4.3	Die weitere Planung der Unterrichtseinheit	26
4.4	Die Synchronizitätstheorie – oder: Rückbezug von Erkenntnissen der Hirnforschung auf die optischen Täuschungen	28
4.5	Eine optische Täuschung als Klausuraufgabe	32
5	Reflexion	35
6	Ausblick	41
7	Literatur	43
8	Anhang	47

„Täuschung ist beredter stets als Wahrheit.“

(Ernst Raupach)

oder:

„Wenn das Hirn so einfach wäre,
dass wir es verstehen könnten,
dann wären wir so einfach,
dass wir es nicht könnten.“

(Emerson Pugh)

1 Einleitung

Die Idee, Ergebnisse der aktuellen Hirnforschung im Biologieunterricht der Oberstufe zu vermitteln und zu diskutieren, verdanke ich vor allem einem sehr spannenden und motivierenden Seminar, das vom HeLP Frankfurt in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt durchgeführt wurde.¹ Weil ich durch das Seminar „Gehirn und Bewusstsein“ unter anderem die Synchronizitätstheorie als einen Schwerpunkt aktueller Hirnforschung kennen gelernt habe, wird diese Theorie auch in meiner Arbeit diskutiert und die Behandlung der Synchronizitätstheorie im Unterricht dargestellt (vgl. Kapitel 4.4).

In erster Linie geht es in dieser Arbeit aber um optische Täuschungen. Es soll gezeigt werden, welche Lernprozesse sie für das Thema Gehirn in Gang setzen können und zu welchen Fragen und Vermutungen sie Anlass geben, welche „Erkenntniswege“ sie also eröffnen. Auch wird zu prüfen sein, welche Themen und Fragen nicht oder nur schwer durch optische Täuschungen erschlossen werden können.

Mein besonderes Untersuchungsinteresse an der „Leistung“ eines Einstiegs in das Thema Gehirn/aktuelle Hirnforschung mithilfe von optischen Täuschungen bringt es mit sich, dass in dieser Arbeit nicht eine gesamte Unterrichtseinheit „protokolliert“ wird, sondern statt dessen nur ausgewählte Unterrichtssequenzen, die in direktem Zusammenhang mit den optischen Täuschungen stehen, vorgestellt und diskutiert werden.² Diese ausgewählten Praxiserfahrungen (Kapitel 4) schließen sich an grundsätzliche Überlegungen, warum das Thema Gehirn/aktuelle Hirnforschung überhaupt im

¹ Seminar „Gehirn und Bewusstsein“ (Frank Abersfelder, Andrea Michael, Klaus von Wangenheim) HeLP-Kompaktseminar Nr. F2.3.3.04.1 vom 22. - 24.11.2000.

² Im Anhang ist die gesamte Unterrichtseinheit dokumentiert. Außerdem befinden sich im Anhang alle optischen Täuschungen mit dazugehöriger Kurzerklärung.

Biologieunterricht der Oberstufe seinen Platz haben sollte (Kapitel 2) und wie sich die Entscheidung für optische Täuschungen als Einstieg begründen lässt (Kapitel 3), an.

Im Rahmen der Reflexion (Kapitel 5) finden sich neben einer zusammenfassenden Beurteilung des Einstiegs und der Unterrichtseinheit noch kurze Anmerkungen zu dem Thema „Bewusstsein“, weil sich im Laufe der Einheit ergeben hat, dass hier ein Schwerpunkt der Interessen der SchülerInnen lag.

Gerne wüsste ich diese Arbeit verstanden als ein Plädoyer, sich um eine Vermittlung aktueller Forschungsergebnisse im Biologieunterricht zu bemühen. Eine zentrale Frage meines Unterrichtsvorhabens könnte man in diesem Sinne wie folgt formulieren: Wie können wissenschaftliche Ergebnisse für die Schule so aufgearbeitet werden, dass eine interessierte und motivierte Frage- und Forschungshaltung bei SchülerInnen gefördert oder überhaupt erst herbeigeführt werden kann?

2 Warum überhaupt das Thema Gehirn, warum aktuelle Hirnforschung in der Schule?³

„Das Gehirn ist nicht nur das erstaunlichste Organ, das auf der Erde entstanden ist, es ist auch dasjenige Organ, das der Forschung die meisten Rätsel aufgibt.“ (ESCHENHAGEN 1989: 11). Trotz vieler spannender und interessanter Ergebnisse im Bereich der Hirnforschung gibt es heutzutage wohl niemanden, der behaupten würde, wir seien nahe daran, dieses komplexe Organ zu verstehen. Dass es – trotz offener Fragen – lohnend ist, sich in der Schule mit dem Thema Gehirn und Ergebnissen aktueller Hirnforschung auseinander zu setzen, möchte ich mit dieser Arbeit darlegen. Gerade in einem Oberstufenkurs, in dem sehr viele SchülerInnen naturwissenschaftlich ausgesprochen interessiert sind⁴, halte ich die Berücksichtigung aktueller Forschungsergebnisse für wichtig. SchülerInnen einen Einblick in den Wissenschaftsbetrieb, der für den einen oder die andere möglicherweise einmal eine berufliche Zukunft darstellen könnte, zu ermöglichen, gehört mit zu den Aufgaben des naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Oberstufe. Ziel eines solchen Unterrichts ist vor allem das Ausbilden einer Kritikfähigkeit im Umgang mit wissenschaftlichen Ergeb-

³ Teile der Begründung für das Thema Gehirn in der Schule sind ebenso wie die Ausführungen zur Einstiegsstunde in Anlehnung an meinen Entwurf zum fünften Unterrichtsbesuch entstanden.

⁴ Vgl. die kurze Beschreibung der Lerngruppe unter 4.1.

nissen. Dazu gehört sicherlich auch, dass die Erklärungen zum Gehirn, die mithilfe der aktuellen Hirnforschung möglich sind, als Erklärungsmodelle oder Theorien (und nicht als absolute „Wahrheiten“) verstanden werden dürfen.⁵

Eine Beschäftigung mit dem Thema Gehirn im Biologieunterricht ist aus vielerlei Gründen zu fordern:

- Das Gehirn ist das Organ schlechthin, das eine Unterscheidung von Mensch und Tier möglich macht,
- das Gehirn ist Voraussetzung für unsere kulturelle Entwicklung (und Speicher unseres kulturellen Gedächtnisses),
- es ist Träger von Wahrnehmungen, Vorstellungen, Denken und Gefühlen,
- es steuert unser Verhalten (unabhängig davon, ob Prozesse von bewusster Wahrnehmung begleitet sind oder nicht),
- es reguliert lebenserhaltende Funktionen wie Schlafen und Wachen, den Kreislauf, Blutdruck, die Verdauung und Atmung,
- und es steuert den Hormonhaushalt (vgl. ROTH 1989: 2).

Eine Einheit zum Thema Gehirn wird bei weitem nicht alle Fragen beantworten können, die SchülerInnen zu diesem Thema haben. Vielleicht bietet aber gerade Unterricht zum Gehirn die Chance, als LehrerIn – zusammen mit SchülerInnen – über Grenzen des Unterrichts zu reflektieren und gemeinsam die Einsicht zu gewinnen, dass es für die diffizilen Probleme rund um das Gehirn keine einfachen Lösungen geben kann.⁶ Offene Fragen sollten ausgehalten werden, und der Unterricht sollte, wie es die moderne Hirnforschung vorlebt, so weit wie möglich interdisziplinär sein und neben Erkenntnissen der Biologie auch die der Chemie, Medizin, Psychologie, Psychiatrie, Philosophie, Neurolinguistik und Neuroinformatik berücksichtigen.

Ziel der Einheit zum Gehirn ist es, den SchülerInnen nicht nur die Steuerzentrale unseres Körpers vorzustellen und mit ihnen die Arbeitsweise des Gehirns zu erarbeiten, sondern ihnen auch Einsichten in Lernprozesse und Funktionen des Gedächtnisses zu ermöglichen, sie über ihr eigenes Lernverhalten reflektieren und möglicherweise be-

⁵ Wobei dies (sicher in unterschiedlichem Maße) für alle Erklärungen im naturwissenschaftlichen Unterricht zutrifft.

⁶ Vgl. ESCHENHAGEN 1989: S.11. Eschenhagen glaubt, dass gerade ein Unterricht, in dem offen über die Schwierigkeiten des Themas gesprochen wird und der die Grenzen des eigenen Wissens thematisiert, dazu führen könnte, dass „der eine oder andere Schüler ein dauerhaftes Interesse für das Thema entwickelt“ (ebd.).

gründete „Gebrauchsanweisungen für ihr Gehirn“ aufstellen zu lassen.⁷ Eine Unterrichtseinheit zum Gehirn könnte dazu beitragen, sich dem hoch gesteckten Ziel anzunähern, das Spitzer in dem Vorwort zu seinem Buch „Geist im Netz“ formuliert: „Wenn wir uns selbst besser verstehen, so bringt dies mit sich, daß wir mit uns selbst (und den anderen) besser umgehen.“ (SPITZER 2000: 2).

Neben der Relevanz des Themas Gehirn für jeden Einzelnen soll auch die gesellschaftliche Relevanz nicht unerwähnt bleiben. Die Hirnforschung wird heute als „Zauberschlüssel“ bezeichnet, mit deren Hilfe ein „Bild des neuen Menschen“ entworfen werden könne (VON THADDEN 2001). Wie dieses neue Bild des Menschen aussehen wird, welche Auswirkungen Erkenntnisse der Hirnforschung auf Fragen nach Freiheit, Schuld und Verantwortung des Menschen haben könnten, sind Fragen, die wir während der Unterrichtseinheit zum Gehirn diskutiert haben und die die SchülerInnen hoffentlich auch in Zukunft kompetent verfolgen und in deren Diskussion sie sich aktiv einbringen können.

Der Hessische Rahmenplan Gymnasiale Oberstufe fordert im Rahmen des Inhaltsbereiches „Verhaltensbiologie“ die Beschäftigung mit der Nerven- und Sinnesphysiologie und mit dem Gehirn. Dabei „sollten die Ergebnisse aus der Neurophysiologie, Endokrinologie und Hirnforschung berücksichtigt werden“ (HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 1994: 29). Als verbindliche Inhalte sind unter anderem auch „Lernvorgänge“ und Anwendungsbeispiele aus den Bereichen „Schmerz, Psychotherapie, Medikamente und Gifte“ vorgesehen (HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 1994: 30). Die Biologiefachkonferenz der Altkönigschule hat entschieden, den Schwerpunkt des Kurshalbjahres 13/I auf die Nerven- und Sinnesphysiologie zu legen. Beim Thema Gehirn können die SchülerInnen zeigen, ob sie die bisher erarbeiteten Grundlagen zur Informationsverarbeitung in einen komplexeren Zusammenhang einbringen können. Sicherlich werden sie (und ich) es auch aushalten müssen, dass in einer Einheit zum Thema Gehirn Fragen unbeantwortet bleiben. Die (wenn auch mitunter vielleicht spekulative) Diskussion über eigene Vermutungen und Erwartungen, über Notwendigkeiten und Möglichkeiten sind ebenso wie Informationen über den derzeitigen For-

⁷ Nur ein Beispiel für eine mögliche Gebrauchsanweisung sei an dieser Stelle genannt: Forschungsergebnisse belegen die Bedeutung ausreichenden Schlafes für das Lernen (und für die physische Gesundheit des Gehirns). In einer der folgenden Stunden werden die SchülerInnen die prinzipielle Gleichartigkeit der Lernprozesse bei explizitem und implizitem Wissen erarbeiten und feststellen, dass der Hippocampus als Trainer des Kortex fungiert und insbesondere im Schlaf für die nötigen Wiederholungen

schungsstand in hohem Maße geeignet, naturwissenschaftliches Denken „im eigenen Kopf“ nachzuvollziehen, naturwissenschaftliches Denken zu schulen.⁸

Das Thema „Gehirn“ stößt bei SchülerInnen der Oberstufe⁹ auf großes Interesse. So haben meine SchülerInnen beispielsweise bei der Erstellung eines Themen- und Fragenkatalogs zu Beginn der Einheit „Nerven- und Sinnesphysiologie“ schon einige Fragen zum Gehirn genannt. Auch wurde bei der Erarbeitung der Leistungen der Sinnesorgane immer wieder deutlich, dass wir nicht alle Sinneseindrücke allein auf der Basis der Sinnesrezeptoren erklären können, sondern dass immer auch „Verrechnungs- und Interpretationsleistungen“ des Gehirns hinzukommen. Das Gehirn weist den Signalen, die von den Sinnesorganen bestimmten Gehirnteilen zugeleitet werden, nach gehirnspezifischen Prinzipien Bedeutung zu. Wahrnehmung ist keine bloße Abbildung der Wirklichkeit, sondern ein Akt der Konstruktion von Ordnung. Das Gehirn ist ein aktives, Hypothesen formulierendes und Lösungen suchendes, konstruktives Organ. Wahrnehmung ist demnach die Bestätigung einer Hypothese, die das Gehirn aufgrund seines Vorwissens generiert (und die durch die einlaufenden Signale verifiziert wird).

Neuere Ergebnisse der Hirnforschung zeigen, dass das Gehirn nicht hierarchisch organisiert ist, dass es kein „Zentrum“ für den letztendlichen Auswertungsprozess gibt. Vielmehr ist das Gehirn ein extrem dezentral organisiertes System, das in spezialisierten Zellen, die sich temporär zusammenschließen, getrennte Wahrnehmungsaspekte (z.B. Form, Farbe, eine bestimmte Lage, eine bestimmte Bewegung) verarbeitet. Der „Zusammenschluss“ der verschiedenen Aspekte einer Wahrnehmung erfolgt, so die derzeit diskutierte Hypothese, indem die vielen Zellen, die sich mit den unterschiedlichsten Aspekten eines Objektes beschäftigen, in ihrer Aktivität synchronisiert werden und im gleichen Rhythmus Aktionspotentiale erzeugen: Nervenzellen schließen sich, so könnte man sagen, zeitweilig zu einem „synchron schwingenden Ensemble“ zusammen.¹⁰

sorgt, um „Gedächtnis“ zu ermöglichen. Fehlender Schlaf verhindert diese wichtige Tätigkeit des Hippocampus (vgl. SPITZER 2000: 220ff.; GRAF 1998).

⁸ Weil ich mir durchaus vorstellen kann, dass einige der SchülerInnen über die Möglichkeit eines naturwissenschaftlichen Studiums nachdenken (vgl. Lerngruppenbeschreibung), halte ich es für wichtig, sie auch über aktuelle Forschungsfragen zu informieren und ihnen etwas darüber zu vermitteln, auf welchen Wegen, naturwissenschaftliche Erkenntnisse (auch heutzutage) zustande kommen. Sehr gerne würde ich mit den SchülerInnen das Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt besuchen, um ihnen eine mögliche Perspektive der Erkenntnisgewinnung im Bereich des Gehirns „vor Ort“ zu zeigen.

⁹ Nicht nur OberstufenschülerInnen interessieren sich für das Gehirn: Meinem Eindruck nach hat Eschenhagen Recht, wenn er behauptet, SchülerInnen der verschiedenen Altersklassen seien an bestimmten Aspekten des Themas Gehirn „zum Teil brennend“ interessiert (ESCHENHAGEN 1989: S.11).

¹⁰ Vgl. hierzu Kapitel 4.4 dieser Arbeit.

Neben der Überprüfung dieser Theorie, der sogenannten Synchronizitätstheorie, liegt ein weiterer Schwerpunkt der Gehirnforschung auf der Untersuchung der Plastizität, der Veränderbarkeit des Gehirns. Das Gehirn ist ein äußerst anpassungsfähiges, lernfähiges, sich selbst beständig optimierendes System. Informationen werden in einem dreidimensionalen neuronalen Netz durch äußerst komplexe Verknüpfungen gespeichert. Zu einer Speicherung („Langzeitpotenzierung“) kann es kommen, wenn Nervenzellen gleichzeitig aktiv sind und sich der Kontakt zwischen ihnen verstärkt. Vieles spricht dafür, dass der Koinzidenzdetektor, der die Gleichzeitigkeit der Aktivität zweier Nervenzellen bemerkt, der NMDA-Rezeptorkanal ist, der immer dann, wenn das postsynaptische Neuron depolarisiert ist (= Aktivität des postsynaptischen Neurons) und gleichzeitig präsynaptischer Transmitter gebunden wird (= Aktivität des präsynaptischen Neurons) Calciumionen in das postsynaptische Neuron einschleust und damit eine Reaktionsfolge auslöst, die letztlich zu einer Verbesserung des Kontaktes zwischen den beiden Neuronen führt.¹¹

Damit sind die zwei Schwerpunkte beschrieben, die ich in der Unterrichtseinheit zum Gehirn gesetzt habe:

- die Synchronizitätstheorie
- die Langzeitpotenzierung.

Da ich mit dieser Arbeit der Frage nachgehen möchte, ob der von mir gewählte Einstieg über optische Täuschungen sinnvoll ist und welche Chancen und Schwierigkeiten er mit sich bringt, habe ich entschieden, mich im Rahmen dieser Arbeit auf den ersten Schwerpunkt zu beschränken. Wie noch zu zeigen ist, ließ sich die Synchronizitätstheorie sehr sinnvoll aus dem Einstieg entwickeln – und wieder auf die optischen Täuschungen rückbeziehen. Auch wenn sicherlich bei manchen optischen Täuschungen ein „Lerneffekt“ zu beobachten ist (beispielsweise können manche Fleckenbilder durch Erinnerung, d.h. durch Lernen, bei einem zweiten oder dritten Ansehen sehr viel schneller erkannt werden), haben wir das Thema Lernen und die Langzeitpotenzierung nicht im Zusammenhang mit den optischen Täuschungen bearbeitet, weshalb es auch nicht Thema dieser Arbeit sein wird.

¹¹ Dass bei dieser „Bahnung“ oder Langzeitpotenzierung auch ein rückwärtsgerichteter Botenstoff vom postsynaptischen Neuron an das präsynaptische Neuron gesandt wird (und sich ein Aktionspotential sozusagen nicht nur in eine Richtung, sondern auch „rückwärts“ auswirkt), ist ein spannendes Ergebnis der modernen Hirnforschung. – An dieser Stelle werden wir das „Schulbuchwissen“ berichtigen müssen.

3 Warum optische Täuschungen als Einstieg?

Dem Einstieg in eine Stunde, vor allem aber dem Einstieg in ein neues Thema gebührt besondere Aufmerksamkeit. Der Einstieg sollte „die Schülerinnen und Schüler für das Thema und das Thema den Schülerinnen und Schülern erschließen“ (GREVING; PARADIES 1996: 15). Die didaktische Eigenständigkeit des Unterrichtseinstiegs und die Erfordernis einer besonderen Aktivität von Lehrenden und SchülerInnen in dieser Unterrichtsphase belegen Greving und Paradies mit den vielfältigen Aufgaben, die der Einstieg in ein neues Thema zu leisten hat. Er sollte unter anderem neugierig machen, Interesse am Thema wecken, eine Fragehaltung bei den SchülerInnen hervorrufen, zum Kern der Sache führen, die SchülerInnen für das, was und wie sie selbst lernen wollen, verantwortlich machen und sie möglichst den Lernweg aktiv mitgestalten lassen (vgl. GREVING; PARADIES 1996: 17f.). Alle genannten Aufgaben lassen sich zusammenfassen in dem Ziel, durch den Unterrichtseinstieg bei den SchülerInnen eine Lernbereitschaft zu erzeugen. Wenn ein Einstieg Erstaunen verursacht, Interesse weckt, Spaß macht und eine hohe eigene Aktivität verlangt, sind die besten Voraussetzungen für einen positiven Lernprozess gelegt: „Was Erstaunen, Wißbegier und Neugier erregt, wird am besten gelernt. Lernen mit Freude, Spaß und Interesse begünstigen den Erkenntnisprozeß.“ (SCHMIDKUNZ; LINDEMANN 1999: 13).

Dass ein Unterrichtseinstieg Aktivität bei möglichst allen SchülerInnen hervorrufen sollte, belegen Untersuchungen: „Wer nicht von Beginn an aktiv eingebunden wird, hat später kaum noch eine Chance und schon gar keine Motivation, sich selber zu beteiligen.“ (GREVING; PARADIES 1996: 19).

Wie ist nun eine Aktivität möglichst aller SchülerInnen herzustellen, und wie lässt sich das Thema Gehirn – interessant, neugierig machend und mit Spaß – in ihren Fragehorizont rücken?

Optische Täuschungen¹² sind aus verschiedenen Gründen geeignet, die hoch gesetzten Ziele eines Einstiegs in das Thema Gehirn zu erfüllen. Zum einen sind optische Täuschungen sehr eindrucksvoll und motivierend für die Beschäftigung mit dem doch sehr komplexen Thema Gehirn. Sie sind rätselhaft, widersetzen sich unserem „gesunden Menschenverstand“ und machen neugierig auf mögliche Erklärungen. Anhand von optischen Täuschungen können SchülerInnen am eigenen Leib (d.h. mit den eige-

¹² Sergio Neuenschwander vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt hat mich darauf hingewiesen, dass der Ausdruck „visuelle Illusionen“ besser beschreibe, was bei angeblich „optischen

nen Augen und dem eigenen Gehirn) „unmögliche“ Seherfahrungen machen, wodurch scheinbare Selbstverständlichkeiten (*Wir sehen, weil unser Auge die Wirklichkeit auf der Netzhaut abbildet.*) nachhaltig erschüttert werden können. Zum anderen ist zu erwarten, dass die SchülerInnen selbst einige optische Täuschungen kennen und sie somit eigene Beispiele einbringen, mit denen wir uns im Unterricht beschäftigen werden und der Unterricht so zu „ihrem Unterricht“ werden könnte.

Außerdem knüpfen optische Täuschungen an Bekanntes an. Das Auge des Menschen wurde im Unterricht ausführlich besprochen; die SchülerInnen können ihre Kenntnisse in einem neuen Zusammenhang einbringen und selbst erkennen, dass unsere Sehfähigkeit keinesfalls auf der Ebene der Lichtsinneszellen in der Netzhaut zu erklären ist, sondern dass Funktionen des Gehirns hinzukommen müssen, um das Abbild, das wir von unserer Umwelt haben, zu erklären. „Der Mensch verdankt es lediglich seiner Einbildungskraft, daß er ‚richtig‘ sieht. In Wirklichkeit ist das menschliche Auge, optisch gesehen, eine Fehlkonstruktion. [...] Die Randverzerrungen sind schlimmer als bei einem Drei-Mark-Kinderfernrohr, gerade Linien erscheinen krumm, und die Konturen verschwimmen unter regenbogenartigen Farbrändern. Aber der Mensch [...] bemerkt von den Unzulänglichkeiten des eigenen optischen ‚Geräts‘ nicht das geringste. Nervensysteme korrigieren die Fehler so vollendet, daß uns die Umwelt fotografisch makellos erscheint.“ (DRÖSCHER 1991: 11). Besonders eindrucksvolle Beispiele für die Unzulänglichkeiten des „optischen Gerätes“ Auge und die Korrektur- bzw. eben „Überkorrekturleistungen“ des Gehirns sind die sogenannten optischen Täuschungen.

Die Entscheidung für die optischen Täuschungen als Ausgangspunkt für das Thema Gehirn halte ich auch insofern für sinnvoll, als der Mensch sich vor allem mit den Augen orientiert. Das Auge ist nicht nur unser wohl wichtigstes, sondern auch das am besten untersuchte Sinnesorgan¹³, zudem weiß man über die Verarbeitung visueller Reize am meisten.

Optische Täuschungen lassen sich in verschiedene Gruppen unterteilen. Mir erscheint es vor allem wichtig, die Täuschungen, die auf eine „Leistung“ des Gehirns zurückzuführen sind, von denen, die mit dem „optischen Apparat“ Auge zu erklären sind, zu

Täuschungen“ passiere. Da in der gesamten deutschsprachigen Literatur aber der Ausdruck optische Täuschungen benutzt wird, werde auch ich ihn beibehalten.

¹³ Auch in der vorangegangenen Gruppenarbeit zu den Sinnesorganen hat sich gezeigt, dass wir für die Präsentation der Gruppe „Auge“ die meiste Zeit benötigt haben und auch besonders viele Ergebnisse erarbeitet wurden.

unterscheiden.¹⁴ Die erste Gruppe, die in einer Unterrichtseinheit zum Gehirn zum Einsatz kommen sollte, lässt sich noch wie folgt unterteilen (siehe nächste Seite).¹⁵

Optische Täuschung	Beispiel
Wechselbilder 1 (Kippbilder)	Necker-Würfel
Wechselbilder 2 (Figur-Hintergrund-Phänomene)	Vase-Gesichter-Bild
„Fleckenbilder“	Pferdebild
„Illusionäre Konturen“	Kanisza-Dreieck
Geometrische Täuschungen („falsche“ Vergleiche, Strecken- und Größentäuschungen) und Sonderform: „falsche“ Spirale	Müller-Lyer-Täuschung, Fraser-Täuschung
Unmögliche geometrische Figuren	unmögliche Treppe
Sonstige Phänomene	Schattenbilder; binokulare Rivalität; Farbkonstanz; Drehende Spirale und Blick auf eine Blüte; Korrektur des Blinden Flecks

Tabelle 1: Klassifizierung optischer Täuschungen¹⁶

Die in der Tabelle 1 genannten optischen Täuschungen verraten uns viel über die Art unseres Sehens. „Unsere Gesichtswahrnehmung [stellt] in Wirklichkeit eine Hypothese, eine Deutung der Welt dar“ (NØRRETRANDERS 1994: 273). Wir sehen nicht, was wir wahrnehmen, sondern was wir wahrzunehmen glauben. Was unserem Bewusstsein präsentiert wird, wurde, ohne dass uns dies bewusst ist, schon aussortiert, ergänzt und bearbeitet; wir sehen also eine Interpretation, eine Simulation, eine Hypothese, eine Deutung. Von besonderer Bedeutung ist, dass wir diesen Vorgang nicht willentlich beeinflussen können. Über die Art, wie das Gehirn mit unseren Wahrnehmungen umgeht, haben wir keine Entscheidungsfreiheit (vgl. NØRRETRANDERS 1994: 274). Das Sehen ist also nicht primär das Ergebnis von Mitteilungen der Netzhaut (selbst diese Mitteilungen sind nicht bloße Wiedergabe der Lichtmenge, die ein Rezeptor aufgenommen hat, sondern schon das Ergebnis von Verrechnung und Vergleich), sondern das Resultat einer umfassenden internen Bearbeitung, die Daten von außen mit inneren Aktivitäten und Modellen korreliert (vgl. NØRRETRANDERS 1994: 292).

¹⁴ Vgl. die Unterteilung im Anhang „Erklärungen zu optischen Täuschungen“.

¹⁵ Gentil unterteilt optische Täuschungen nur in drei Gruppen: 1. räumlich-perspektivische Täuschungen; 2. geometrisch-optische Täuschungen; 3. Rätselhaftes Schriften, Ergänzung und Begrenzung von Flächen, versteckte und umschlagende Figuren (GENTIL 1962).

Normalerweise bemerken wir nicht, dass unsere Wahrnehmungen auf komplexen Vergleichs- und Interpretationsleistungen unseres Gehirns beruhen. Optische Täuschungen sind „die Sonderfälle, die uns sagen, daß jedes Sehen und Erleben auf einer Vielzahl von Entscheidungen, Zurückweisungen und Deutungen beruht, die bereits stattgefunden haben, ehe wir uns des Wahrgenommenen bewußt werden. Wir erleben die Welt nicht als rohe Daten. Wenn das Bewußtsein die Welt erlebt, sind die Dinge durch das unbewußte Aussortieren von Sinnesdaten längst gedeutet worden.“ (NØRRETRANDERS 1994: 275).

Nicht zuletzt soll erwähnt werden, dass sich auch die meisten Schulbücher¹⁷ die Chance zunutze machen, die Leistung des Gehirns für den Sehvorgang mithilfe optischer Täuschungen zu verdeutlichen:

- Im Themenheft Informationsverarbeitung für die Sekundarstufe II des Schroedel-Verlags finden sich zahlreiche optische Täuschungen, durch die die Verarbeitungsleistung des Gehirns belegt wird (SCHROEDEL INFORMATIONSVERARBEITUNG: 57ff.).
- Das Klett-Themenheft Neurobiologie und Verhalten widmet sich in einem Kapitel dem Thema „Sehen mit Auge und Gehirn“ und stellt neben einem Text über visuelle Störungen aufgrund eines Schlaganfalls¹⁸ auch optische Täuschungen vor, mit denen die „Auswertungsleistung“¹⁹ des Gehirns verdeutlicht werden kann. Dass bei der Verarbeitung visueller Wahrnehmungen in der Großhirnrinde nur 20 % der Erregungen aus den Lichtsinneszellen der Netzhaut stammen, beweise, dass „das Bild, das in unser Bewusstsein gelangt, [...] nicht ein Bild [ist], wie es eine Kamera aufnehmen würde, sondern ein mit vielen Erfahrungen und zusätzlichen Informationen ausgestattetes Bild“ (KLETT OBERSTUFE NEUROBIOLOGIE UND VERHALTEN: 41).
- Klett Natura 3 stellt nicht nur im Rahmen des Kapitels „Bau und Funktion des Nervensystems“ einige optische Täuschungen vor, die zu Recht als „Täuschungen des Gehirns“ (KLETT NATURA 3: 232) bezeichnet werden, sondern bietet auf einer

¹⁶ Erklärungen und Beispiele finden sich im Anhang.

¹⁷ Eines der wenigen Schulbücher, in dem ich keine optische Täuschung entdeckt habe, ist das Buch „Biologie heute Sekundarstufe II“ vom Schroedel-Verlag.

¹⁸ Vgl. „Kopie K“ im Anhang. (Das gleiche Fallbeispiel einer Frau mit einem intakten Gesichtsfeld, die jegliche Form der Bewegungswahrnehmung verloren hat, findet sich auch in KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL 1996: 406.)

¹⁹ Die Tätigkeit des Gehirns als „Auswertung“ zu beschreiben, ist meines Erachtens nicht günstig. Der Vorgang einer „Auswertung“ erinnert zu sehr an die Vorstellung von einem hierarchisch organisierten Gehirn, an dessen oberster Stelle alle Daten zusammenlaufen und ausgewertet werden.

- eigenen „Praktikumsseite“ vielfältige Aufgaben zu optischen Täuschungen an, anhand derer SchülerInnen Leistungen des Gehirns selbst entdecken können (ebd.: 233).
- Das Oberstufenbiologiebuch Vita nova vom C.C. Buchner Verlag belegt die „enge Zusammenarbeit zwischen den Augen und dem Gehirn, die es uns [erst] erlaubt, unsere Umgebung als klare, dreidimensionale, farbige Bildeindrücke zu interpretieren“ mit verschiedenen optischen Täuschungen (C.C. BUCHNER: 230, 231, 237, 239, 260).
 - Im Biologie Oberstufengesamtband des Cornelsen Verlags finden sich nicht nur Abbildungen verschiedener optischer Täuschungen (CORNELSEN BIOLOGIE OBERSTUFE: 431, 437), sondern auch ein besonders schöner Arbeitsauftrag: Die SchülerInnen sollen eigene Beispiele für optische Täuschungen nennen und versuchen zu erklären, wie diese zustande kommen (CORNELSEN BIOLOGIE OBERSTUFE: 431).
 - Auch in Biologiebüchern für die Mittelstufe finden sich häufig optische Täuschungen, die belegen, dass „Sehen und Wahrnehmen zweierlei [sind]“ (CORNELSEN BIOLOGIE 7-10: 16). Zwei Bücher seien beispielhaft erwähnt: Zum einen zeigt Klett Natura 2 mit einigen Beispielen, dass Sehen ein Vorgang ist, „bei dem Auge und Gehirn zusammenarbeiten“ (KLETT NATURA 2: 243). So wird thematisiert, dass wir in manchen Fällen nur das wahrnehmen, was wir sehen wollen (alte/junge Frau) und dass manche optische Täuschungen dadurch zustande kommen, dass für den Sehvorgang Erfahrungswissen mitberücksichtigt werde (Frauen im Flur-Täuschung) und dass unser Auge und Gehirn nicht in der Lage seien, Flächen unabhängig voneinander zu vergleichen (geometrische Täuschungen). Zum anderen finden sich in Cornelsen Biologie 7-10 sehr viele Beispiele und Arbeitsaufträge, die die „Gemeinschaftsleistung Sehen“ und die wichtige Rolle von Erfahrungen beim Sehen belegen (CORNESEN BIOLOGIE 7-10: 13ff.).

Gleichermaßen haben optische Täuschungen in den meisten Veröffentlichungen zu Ergebnissen der modernen Hirnforschung und zu den Themen Gehirn und Bewusstsein ihren Platz.²⁰

Bleibt nun zu prüfen, ob ihnen ein solcher Platz auch in einer Unterrichtseinheit in einem Biologiegrundkurs zu Recht gebührt – und welche Lehr- und Lernprozesse sie er-

²⁰ Beispielsweise sei auf LOGOTHETIS 2000, SINGER 1998, ZANKER 1994, ZEKI 1992 verwiesen.

möglichen: Optische Täuschungen bildeten den Einstieg in die Unterrichtseinheit zum Gehirn, sie haben uns geholfen, unsere weitere Arbeit zu strukturieren, dienten uns dazu, die Informationen, die wir erarbeitet haben, „anzuwenden“, und waren nicht zuletzt Teil der Klausur am Ende der Einheit. Im folgenden Kapitel werden diese Praxiserfahrungen dargestellt und reflektiert.

4 Praxiserfahrungen

4.1 Vorab: Kurze Bemerkungen zur Lerngruppe

Der Grundkurs Biologie 13 ist mir gut vertraut. Ich habe ihn im Dezember 1999 (als Grundkurs 12) von Frau Michael übernommen und ein Halbjahr lang bedarfsdeckend unterrichtet; von den Sommerferien bis zum Abitur der SchülerInnen war ich im Team mit Frau Michael in diesem Kurs eingesetzt.

Der Kurs ist sicherlich in mancherlei Hinsicht kein „typischer“ Biologie-Grundkurs: Zum einen besuchen alle Schülerinnen und Schüler dieses Kurses den Chemie-Leistungskurs (bei Frau Michael), was sich sehr positiv auf den Biologieunterricht auswirkt: Die SchülerInnen verfügen über ein zunehmend breiteres und tiefer gehendes chemisches Wissen und schrecken auch im Biologieunterricht vor chemischen Formeln und chemischen und naturwissenschaftlichen Zusammenhängen nicht zurück. Sie sind, so mein Eindruck, alle an naturwissenschaftlichen Fragen sehr interessiert. Aus Gesprächen weiß ich, dass sich sehr viele der SchülerInnen entschlossen haben, nach dem Abitur ein naturwissenschaftliches Studium zu beginnen. Dies ist mit ein Grund dafür, warum es mir (und Frau Michael) wichtig ist, mit ihnen auch immer wieder an aktuellen Forschungsfragen zu arbeiten.²¹

Zum anderen sind die SchülerInnen an einen forschend-entwickelnden Unterricht gewöhnt und lassen sich gerne auch auf komplexe, „interdisziplinäre“ Problemstellungen ein. Ganz selbstverständlich kommen sie der Aufforderung nach, zu zweit Vermutungen zu sammeln, wie ein bestimmtes Problem gelöst werden könnte. Sie disku-

²¹ Ich weiß aus Gesprächen mit den SchülerInnen, dass sie es sehr spannend finden, aktuelle Themen zu bearbeiten – und dass sie richtig stolz waren, mitunter schon Ergebnisse erarbeitet zu haben, die in ihren Biologiebüchern noch anders (d.h. auf einem mittlerweile überholten Stand) oder gar nicht enthalten sind.

tieren engagiert in Zweiergruppen; auch die stilleren SchülerInnen können sich in solchen Unterrichtsphasen gut einbringen. Besonders beeindruckt bin ich davon, dass es häufig gar nicht nötig ist, als Lehrende Probleme vorzustellen, sondern dass statt dessen die SchülerInnen selbst Probleme entdecken²², formulieren und so den Fortgang des Unterrichts strukturieren. Die SchülerInnen sind an selbstständiges Arbeiten gewöhnt; auch gelingt es ihnen gut, die Arbeit in einer Kleingruppe zu organisieren und zu beachtlichen Ergebnissen zu kommen. Gerade in Gruppenarbeiten bringen sich auch die stilleren SchülerInnen engagiert ein (und übernehmen sogar Teile der Ergebnispräsentation).

In dem Kurs werden acht Schülerinnen und sechs Schüler unterrichtet. Das Leistungsniveau des Kurses ist für einen Grundkurs sehr hoch.

4.2 Einstiegsstunde

4.2.1 *Stand des Unterrichts*

Im Anschluss an die Einheit „Nervenphysiologie“ haben sich die SchülerInnen ausführlich in Gruppenarbeit mit den verschiedenen Sinnesorganen beschäftigt und ihre Ergebnisse dem Kurs präsentiert.

Vorkenntnisse, die ich für meine Unterrichtseinheit voraussetzen kann, betreffen die Nervenphysiologie (die SchülerInnen kennen den Bau und die Funktion von Nervenzellen) und die Sinnesphysiologie (der Bau und die Funktion der verschiedenen Sinnesorgane ist den SchülerInnen bekannt, das Auge war im Bereich der Sinnesphysiologie ein Schwerpunktthema).

4.2.2 *Didaktische Überlegungen zur Einstiegsstunde*

Das Gehirn „stellt ein in jeder Hinsicht schwer zugängliches Gebilde dar“ (ESCHENHAGEN 1989: S.11). Besonderes Augenmerk ist deshalb sicherlich auf den Einstieg in das Thema Gehirn zu legen. Ich habe mich gegen den „klassischen Weg“ entschieden, der ausgehend von der Anatomie des Gehirns und der Beschreibung der Gehirnhemisphären und der Hirnteile die Funktion des Gehirns erarbeitet²³ – und

²² So erwarte ich auch für heute, dass mein Impuls am Stundenbeginn ausreicht, damit die SchülerInnen unser neues Thema „Gehirn“ selbst „erschließen“ und das Problem der heutigen (und folgenden) Stunde benennen können: *Wie verarbeitet das Gehirn Eindrücke der Augen?* (o.ä.).

²³ Einen solchermaßen klassischen Unterricht zum Gehirn skizziert ESCHENHAGEN: „Man versucht, die das Gehirn wie kein anderes Organ kennzeichnende Dynamik in den Griff zu bekommen, Ordnung in das scheinbare Chaos zu bringen. Das einzelne Neuron wird exakt beschrieben, die „Felder“ der Großhirnrinde werden erarbeitet, das Gedächtnis wird in Kurz- und Langzeitgedächtnis eingeteilt; die Schü-

möchte statt dessen mithilfe von optischen Täuschungen Rückschlüsse auf die Arbeits- oder Funktionsweise des Gehirns ermöglichen.

Mit einer besonderen optischen Täuschung starten wir in die neue Unterrichtseinheit: Zu Beginn der Stunde soll den SchülerInnen ein optisches Phänomen vorgestellt werden, das ihnen eine Verarbeitungsleistung des Gehirns direkt „vor Augen führt“. Die Animation, die mir ein Mitarbeiter des Max-Planck-Institutes für Hirnforschung zur Verfügung gestellt hat²⁴, erscheint mir für diesen Zweck in besonderem Maße geeignet zu sein: Zu sehen sind zum einen sich dynamisch von rechts nach links sowie gegenläufig von links nach rechts bewegende Balken, zum anderen aber ein sich relativ statisch von unten nach oben schiebendes Rautenmuster.²⁵

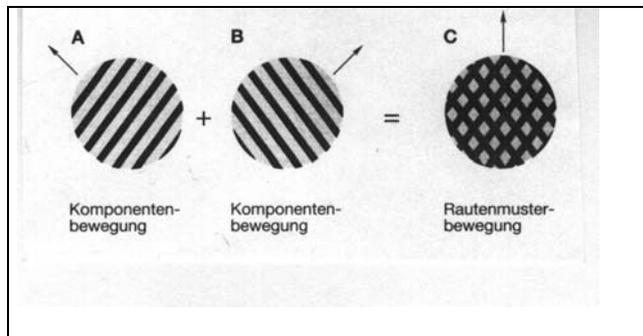


Abb. 1:

Animation aus dem MPI Balkenbewegung vs. Rautenmusterbewegung (Abbildung entnommen aus KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL 1996: 454)

Der wechselnde Seheindruck, der sich beim Ansehen der Animation einstellt, lässt sich nicht wie bei anderen optischen Täuschungen durch die Konzentration der Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Aspekt lenken,²⁶ sondern „springt“ von selbst hin und her.²⁷ Ich erwarte, dass die präsentierte Animation, die sicherlich keine/r meiner SchülerInnen kennt, die also für sie ein „neues“, unbekanntes Phänomen darstellt, Spannung und Interesse bei den SchülerInnen hervorruft. Auch kann ich mir vorstellen, dass von einer Animation, die zur Zeit tatsächlich im Rahmen der Hirnforschung bei Versuchen eingesetzt wird, eine besondere Motivation ausgeht.

ler lernen etwas über die riesige Anzahl von Nervenzellen und ihre Verknüpfungen, über Aktionspotentiale und Neurotransmitter. Aber all diese Kenntnisse reichen nicht zur Beantwortung ihrer Fragen aus.“ (ESCHENHAGEN 1989: S.11)

²⁴ An dieser Stelle ein ganz herzliches Danke schön an Sergio Neuenschwander!

²⁵ Vgl. Erklärung im Anhang, S. 6.

²⁶ Bei einem Bild wie dem berühmten „Zwei-Gesichter-Vase-Bild“ lässt sich der Seheindruck lenken, indem man sich entweder auf die weiße Fläche konzentriert (und damit die Vase sieht) bzw. auf die schwarzen Flächen (wodurch man die beiden Gesichter erkennt).

²⁷ Die (mögliche) Vermutung der SchülerInnen, der Wechsel des Seheindruckes komme durch eine Veränderung der Animation zustande, würde ich durch eine „Lehrerinformation“ entkräften: Die Animation ändert sich nicht, es werden immer die gleichen Bildfolgen auf dem Bildschirm präsentiert.

Ich gehe davon aus, dass die SchülerInnen nach der Beschreibung des Seheindrucks selbst benennen können, womit wir uns im folgenden zu beschäftigen haben (*mit den Verarbeitungsleistungen des Gehirns*), und dass sie weitere optische Täuschungen kennen, die sie vorstellen sollen. Aus den genannten optischen Täuschungen sollen sie anschließend Rückschlüsse auf die vermutete Arbeitsweise des Gehirns ziehen.

Ausgangspunkt unserer Überlegungen ist also die Funktion, die Arbeitsweise des Gehirns. Wenn die SchülerInnen selbst Überlegungen angestellt haben, welche „Sehleistungen“ das Gehirn vollbringt, sind sie, so hoffe ich, in der Lage, anatomische und physiologische Besonderheiten zu fordern oder zumindest diese besser einschätzen, beurteilen zu können. Ein möglicher „Irrweg“, den die SchülerInnen einschlagen könnten, besteht darin, dass sie hierarchisch organisierte Strukturen und ein allen Strukturen übergeordnetes „Verrechnungszentrum“ fordern (sie sozusagen das Gehirn als relativ passives Filterorgan modulieren, das alle ankommenden Reize nur „verrechnet“). Als ein mögliches Modell würde ich diese Forderung durchaus erst einmal stehen lassen, um ihr an späterer Stelle kontrastierend das Gegenmodell eines distributiven, temporär verknüpfenden, aktiv Hypothesen formulierenden Systems entgegen zu stellen.

Um das Prinzip des problemorientierten, forschend-entwickelnden Unterrichts²⁸ ernst zu nehmen und um außerdem der Komplexität und Vielschichtigkeit des Themas Gehirn gerecht zu werden, halte ich es für nötig, nicht einen einzigen klar formulierten Stundenverlauf zu planen, sondern an möglichst vielen Stellen die Vorschläge und Ideen der SchülerInnen zum Ausgangspunkt weiterer Überlegungen zu machen. Idealerweise sollen die Fragen und Ideen der SchülerInnen „Leitlinien“ für die heutige Stunde und für die gesamte Einheit sein (vgl. BERCK 1999: 41). Die Entscheidung, die SchülerInnen über den Verlauf der Stunde und die Strukturierung der Einheit mitentscheiden zu lassen, bringt es mit sich, dass ich für die heutige Stunde nur ein „grobes Feld“ abstecken kann, auf dem uns verschiedene Wege zu einem Ziel bringen werden. So könnten uns zum einen schon die Phänomene, die die SchülerInnen als Beispiele für deutliche Unterschiede zwischen „Wahrnehmung und Wirklichkeit“ nennen, in andere Richtungen leiten, als ich sie mir vorstelle. Zum anderen kann ich nicht ausschließen, dass die SchülerInnen bei der Deutung der Phänomene völlig überras-

²⁸ Da für mich die Entscheidung für einen problemorientierten, forschend-entwickelnden Unterricht in erster Linie eine didaktische Entscheidung ist, erörtere ich die mit dieser Entscheidung in direktem Zusammenhang stehenden Konsequenzen im Rahmen der didaktischen Überlegungen (hier und weiter unten), obwohl sicherlich die (relative) Offenheit, die ein forschend-entwickelnder Unterricht notwendigerweise mit sich bringt, auch Auswirkungen auf die Methodenentscheidungen der Stunde hat.

schende, unerwartete Ideen haben. So kann es durchaus passieren, dass wir uns bei der Deutung eines Phänomens länger aufhalten – und die SchülerInnen möglicherweise Erklärungen abgeben, die ich weder sicher bestätigen noch verwerfen kann. In einem solchen Fall wird es darum gehen, die prinzipielle Möglichkeit einer Vermutung zu bewerten – und darauf zu verweisen, dass wir uns in einem Feld bewegen, das noch viele offene, unerforschte Fragen bereithält. Nicht zuletzt könnten die SchülerInnen auch an einer dritten Stelle Wege einschlagen, die ich nicht berücksichtigt habe: Vielleicht haben sie andere Ideen als ich, wenn sie vorschlagen sollen, auf welche Weise man mehr über das Gehirn erfahren könnte, wie wir also weiter vorgehen sollen, um unsere optischen Täuschungen aufzuklären. Schlagen die SchülerInnen einen Weg vor, der prinzipiell durchführbar ist, für den es aber bestimmter Vorbereitungen bedarf, würde ich diesen Weg in der folgenden Stunde einschlagen und in der heutigen Stunde je nach zur Verfügung stehender Zeit entweder einen meiner vorgesehenen Wege als Alternative anbieten oder den SchülerInnen abschließend noch einige optische Täuschungen zeigen, mit denen sich unsere Liste der „Sehleistungen des Gehirns“ an der Tafel noch ergänzen ließe.

Sollten wir in der heutigen Stunde sehr schnell und gut vorankommen, könnte eine erste Beurteilung zur Leistung des Gehirns schon in der Stunde erfolgen. In diesem Fall würde ich den SchülerInnen ein Interview mit Wolf Singer aus der Zeitschrift *DER SPIEGEL* als Hausaufgabe zu lesen geben (TRAUFETTER; GROLLE: 2001). In diesem Interview werden die SchülerInnen einige Ergebnisse der heutigen Stunde wiederfinden und auch weiterführende Informationen entdecken. Durch die Beschäftigung mit dem *SPIEGEL*-Artikel könnte die gesellschaftliche Relevanz²⁹ unseres derzeitigen Themas (und die Aktualität der Forschung) verdeutlicht werden. Die Beschäftigung mit eher „populärwissenschaftlichen“ Texten halte ich gerade im Hinblick auf die Erziehung zu kompetenter Mediennutzung für eine wichtige Aufgabe des Unterrichts (und zwar nicht nur des Deutschunterrichts).

4.2.3 Lernziele

Das Hauptlernziel, das wir in der heutigen Stunde wohl nicht erreichen werden, für das aber das „Fundament“ gelegt werden soll, lässt sich wie folgt benennen:

Die SchülerInnen sollen Wahrnehmung als Akt der Interpretation und Konstruktion von Ordnung entsprechend der Arbeitsweise des Gehirns begreifen. Sie sollen erkennen, dass das Gehirn unser wichtigstes „Sehorgan“ ist und dass es die „Wirklichkeit“ nicht etwa passiv abbildet oder repräsentiert, sondern dass es sie selbst konstruiert.

Damit erarbeiten sie die Funktion des Gehirns als aktives, Hypothesen formulierendes und diese mit Hilfe der von den Sinnesorganen ankommenden Meldungen verifizierendes System.

Neben diesem kognitiven Lernziel sollen die SchülerInnen lernen, einen naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg zu beschreiten, d.h. ein Problem zu erkennen und zu beschreiben, Hypothesen zu formulieren und Forderungen aufzustellen, wie diese Hypothesen überprüft werden könnten.

Den Erkenntnisweg der heutigen Stunde sollen die SchülerInnen beschreiten, indem sie

- den wechselnden Seheindruck, der durch eine kurze Animation auf einem Bildschirm präsentiert wird, beschreiben (*etwa: Der Seheindruck wechselt: Zum einen sieht man ein sich von unten nach oben bewegendes Dreieck- oder Rautenmuster, zum anderen sieht man sich dynamisch von rechts nach links bzw. von links nach rechts gegeneinander bewegende Balken*).
- erkennen, dass das beobachtete Phänomen nicht auf der Basis der Sinnesrezeptoren im Auge erklärt werden kann, sondern dass für eine Erklärung die Tätigkeit des Gehirns berücksichtigt werden muss. Die SchülerInnen sollen somit das Thema der Stunde („*Die Leistung des Gehirns*“) selbst erschließen und möglicherweise das Problem der Stunde als Frage formulieren (*etwa: Wie verarbeitet das Gehirn die Meldungen, die es vom Auge erhält?*).
- idealerweise eigene Beispiele für ähnliche Phänomene nennen können (*z.B. unterschiedliche optische Täuschungen, Ergänzung des blinden Flecks*).
- Vermutungen anstellen, welche Rückschlüsse die von uns gesammelten „Indizien“ für die Verarbeitung durch das Gehirn (d.h. die Beispiele, bei denen sich Wahrnehmung und Wirklichkeit deutlich unterscheiden) auf die jeweilige „Sehleistung“ des Gehirns zulassen.
- einen Weg (oder verschiedene) Wege vorschlagen, wie sich diese Vermutungen überprüfen ließen und wie wir mehr über die Arbeitsweise des Gehirns erfahren könnten.

Sofern es die Zeit erlaubt, sollen die SchülerInnen anschließend entweder arbeitsteilig die vorgeschlagenen verschiedenen Wege oder gemeinsam einen Weg „betreten“ und mit Hilfe von Materialien, die ihnen zur Verfügung gestellt werden, beispielsweise

²⁹ Vgl. die didaktischen Überlegungen zur Unterrichtseinheit in Kapitel 2.

- Ergebnisse der Hirnforschung auswerten und auf die eigenen Vermutungen beziehen.
- die Anatomie des Gehirns mit Hilfe von Modellen und Zeichnungen untersuchen und Rückschlüsse auf die Arbeitsweise des Gehirns ziehen.
- Ergebnisse aus Forschungen an Patienten mit Hirnschäden auswerten und Rückschlüsse auf die Arbeitsweise des Gehirns ziehen.

Auf diese Weise sollen sie erkennen und in eigenen Worten formulieren, dass das Gehirn nicht hierarchisch organisiert ist, sondern dass jeweils in spezialisierten Zellen, die sich durch Synchronisation temporär zusammenschließen, getrennte Wahrnehmungsaspekte (z.B. Form, Farbe, eine bestimmte Lage, eine bestimmte Bewegung) verarbeitet werden.

In einem weiteren Schritt (voraussichtlich in der folgenden Stunde, möglicherweise auch schon als Hausaufgabe) sollen die SchülerInnen diese Erkenntnis auf die von uns gesammelten „optischen Täuschungen“ übertragen und beispielsweise im Hinblick auf die „Wechselbilder“ (d.h. bei der Computeranimation oder dem Vase-Gesichter-Bild) erarbeiten, dass sich bei den „wechselnden“ Seheindrücken jeweils unterschiedlich spezialisierte Neuronen (z.B. Neuronen mit bestimmter Bewegungspräferenz: Bewegung von oben nach unten bzw. von rechts nach links) durch Synchronisation zusammenschließen und den jeweils präferierten Seheindruck hervorrufen. Zu vermuten ist, dass die unterschiedlich zusammentretenden Ensembles miteinander konkurrieren und so immer wieder einen Wechsel zwischen den beiden Wahrnehmungsmöglichkeiten erzwingen.

4.2.4 Methodische Überlegungen

Nach der Präsentation der von mir ausgewählten Animation, von der ich mir einen motivierten Einstieg in die Beschäftigung mit dem Unterschied zwischen Wahrnehmung und Wirklichkeit erhoffe, werde ich die SchülerInnen nach weiteren Beispielen fragen, die an der Tafel gesammelt werden. Ich verspreche mir davon, dass das Problem der heutigen Stunde (*Wie verarbeitet das Gehirn Eindrücke der Augen?*) zum Problem der SchülerInnen wird. Den SchülerInnen soll deutlich werden, dass ihnen das Problem, dass sich Wirklichkeit und Wahrnehmung unterscheiden, schon häufig begegnet ist – unter anderem können sie mit Sicherheit Beispiele aus dem Referat über das Auge nennen, die wir bisher noch nicht erklären konnten.

Neben der Entscheidung über den Einstieg scheinen mir zwei methodische Aspekte für die heutige Stunde von besonderer Bedeutung: Zum einen die möglichst offene

Planung des Unterrichts, die vor allem von mir erfordert, möglichst vielfältiges Material zur Verfügung stellen zu können; zum anderen das Grundprinzip des forschend-entwickelnden Unterrichts³⁰.

Die Alternative zu einer „offenen“ Stundenplanung bestünde in einer genauen Festlegung bestimmter Methoden, mit deren Hilfe ein streng festgelegter Unterrichtsgang beschritten werden kann, was – wie dargelegt – weder der Lerngruppe noch dem komplexen Thema angemessen wäre. Die SchülerInnen sind daran gewöhnt, über den Verlauf ihres Lern- und Arbeitsprozess mitzuentcheiden, dies möchte ich ihnen auch in der heutigen Stunde ermöglichen.

Das methodische Vorgehen in der heutigen Stunde entspricht, so weit wie möglich, einem forschend-entwickelnden Unterrichtsgang³¹. Ausgehend von beobachtbaren Phänomenen sollen die SchülerInnen zuerst das Problem benennen („Problemgewinnung“), anschließend Vermutungen über die „Schleistung“ des Gehirns anstellen und Vorschläge für eine Überprüfung der Vermutungen machen. Durchaus denkbar wäre, dass die SchülerInnen Vorschläge für verschiedene Versuchsreihen aufstellen.³² Im Unterricht sind solche Versuche voraussichtlich nicht durchführbar. Es bietet sich also an, den SchülerInnen Ergebnisse von Versuchen zu präsentieren und sie diese auswerten zu lassen (entsprechendes Material habe ich vorbereitet). Ergänzend würde ich gerne, wenn die SchülerInnen einen solchen Vorschlag machen, mit ihnen zu einem späteren Zeitpunkt das Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt besuchen, um nicht nur dessen Ergebnisse, sondern auch dessen Arbeitsweise „vor Ort“ vorzustellen.

Für den Verlauf der Stunde habe ich außerdem geplant:

- dass ich an der einen oder anderen Stelle Phasen der Partnerarbeit einschieben werde, in denen die SchülerInnen zu zweit Überlegungen anstellen, bevor wir diese im Plenum sammeln. Damit möchte ich vor allem den schwächeren und stilleren SchülerInnen die Chance geben, sich in den Unterricht einzubringen.
- dass ich selbst die Ergebnisse der SchülerInnen an der Tafel protokolliere, weil dies den Gedankenfluss der SchülerInnen sicherlich weniger aufhält, als wenn ich jeweils SchülerInnen nach vorne bitte. Ich werde eine Schülerin/einen Schüler

³⁰ Vgl. die didaktischen Überlegungen in Kapitel 4.2.2.

³¹ Vgl. beispielsweise SCHMIDKUNZ; LINDEMANN 1999: 23ff.

³² Ich könnte mir beispielsweise vorstellen, dass die SchülerInnen fordern, Gehirnströme verschiedener Gehirnbereiche abzuleiten, während eine Versuchsperson (bzw. ein Versuchstier) das präsentierte Rauten-Balken-Wechselbild betrachtet.

bitten, das Tafelbild zusätzlich auf einer OH-Folie mitzuschreiben, um ggf. in den folgenden Stunden auf unsere heutigen Überlegungen zurückgreifen zu können. Dies ist nötig, weil ich erwarte, dass wir in der heutigen Stunde nicht alle optischen Täuschungen (bzw. ähnliche Phänomene) werden deuten können, sondern dass wir erst im Laufe der Unterrichtseinheit zunehmend mehr Phänomene aufklären werden.

- dass, falls die SchülerInnen verschiedene Vorschläge zum weiteren Vorgehen machen, sie diese unterschiedlichen Vorschläge arbeitsteilig in einer Gruppenarbeit verfolgen. Gerade in dieser Lerngruppe halte ich eine arbeitsteilige Gruppenarbeit für sinnvoll, weil die SchülerInnen so in einer selbstständigen Arbeitsweise und im „Organisieren“ und Strukturieren eines Arbeitsprozesses besonders bestärkt werden können. Einen weiteren Vorteil arbeitsteiliger Gruppenarbeit sehe ich darin, dass wir verschiedene Aspekte weiterverfolgen können und die SchülerInnen meist mit großem Interesse der Ergebnispräsentation folgen, weil ihnen die Ergebnisse der jeweils anderen Gruppen nicht bekannt sind.

4.2.5 *Verlauf der Stunde*

Die Stunde verlief im Großen und Ganzen so wie geplant. Der Einstieg über die Präsentation des Gitternetz-Balken-Filmes vom Max-Planck-Institut war geeignet, sofort die Konzentration der gesamten Gruppe auf das Thema der heutigen Stunde zu lenken. Schön fand ich, dass ohne meine Nachfrage eine Schülerin selbst formulierte, dass wir uns nun wohl mit der Rolle des Gehirns bei der Verarbeitung visueller Reize beschäftigen werden (diese Themenformulierung habe ich an der Tafel festgehalten).

Auf meine Frage nach weiteren Beispielen für Unterschiede zwischen Wahrnehmung und Wirklichkeit konnten die SchülerInnen erfreulicher Weise sehr viele Beispiele nennen. Sie haben jeweils „ihre“ optische Täuschung erläutert, währenddessen habe ich, um sie für alle „vor Augen zu führen“, die genannten Beispiele mithilfe des OH-Projektors projiziert (die meisten optischen Täuschungen hatte ich als Folien dabei); außerdem habe ich eine Kurzbeschreibung der Phänomene an der Tafel festgehalten (siehe die linke Spalte in der untenstehenden Tabelle).

Anschließend hatten die SchülerInnen Zeit, zu zweit oder zu dritt Vermutungen anzustellen, welche Rückschlüsse die Phänomene auf die Arbeitsweise des Gehirns zulassen. Relativ schnell hat der gesamte Kurs sehr intensiv gearbeitet, überlegt und diskutiert.

Nach kurzer Zeit haben wir die Ideen der SchülerInnen an der Tafel gesammelt:

Verarbeitungsleistung des Gehirns bei der Wahrnehmung von Bildern

Phänomene	Vermutete „Leistung“ des Gehirns
Wechsel zwischen Gitternetz, das sich von unten nach oben bewegt, und Balken, die sich seitlich verschieben	Gehirn ist nicht „entscheidungsfreudig“, welcher Eindruck der richtige ist Gehirn verarbeitet ersten Eindruck, ist dann bereit für eine neue Interpretation
2 verschiedene Würfel	abwechselnd Konzentration auf bestimmte Vorder- bzw. Hinterkante; verschiedene Arten der Wahrnehmung
Treppe (führt nach oben / nach unten)	siehe Gitternetz/Balken
alte Frau / junge Frau	siehe Gitternetz/Balken
„Eisenbahnschienen“ (Linien erscheinen ungleich lang)	Gehirn vergleicht (mit Erfahrungen aus dem täglichen Leben)
Pferdebild (man erkennt zuerst nichts, erst nach einiger Zeit lassen sich Pferde erkennen)	Gehirn nimmt Gesamteindruck wahr, es <u>ordnet</u> die Eindrücke, unterscheidet zwischen Vorder- und Hintergrund
Kreise (je nach Außenkreis erscheinen gleich große Kreise ungleich groß)	Gehirn arbeitet mit Verhältnissen

Tabelle 2: Verarbeitungsleistung des Gehirns bei der Wahrnehmung von Bildern

Auf die Frage, wie diese Vermutungen zur Arbeitsweise des Gehirns geprüft werden könnten bzw. welche Informationen sie für eine Überprüfung bräuchten, haben die SchülerInnen einige Vorschläge gemacht, die wir auf einer OH-Folie gesammelt haben:

OH-Folie:

Vorschläge für die weitere Vorgehensweise:	
-	Aufbau des Gehirns (Vernetzung von Gehirnteilen)
-	Weg der Information beim Sehen
-	Was ist Verarbeitung? Wie erfolgt Verarbeitung?
-	Forschung a) Methoden der Hirnforschung b) Ergebnisse der Hirnforschung
-	Vergleich mit Erfahrungen/Erinnerung
-	Erinnern/Sehen

Bis auf den Aspekt der Erinnerung (Thema Lernen/Gedächtnis) hätte ich zu allen Vorschlägen Material zur Verfügung stellen können.³³ Die SchülerInnen sollten entscheiden, ob sie in Arbeitsgruppen verschiedene Themen behandeln oder ob sie sich auf einen gemeinsamen Weg einigen wollen. Weil ich in diesem Kurs schon häufig sehr gute und effektive Phasen der Gruppenarbeit und abwechslungsreiche, überzeugende

³³ Das vorbereitete Material befindet sich im Anhang (Kopien A-M; B1 und B2 wurden neu erstellt).

Präsentationen von Gruppenarbeiten erlebt habe, war ich überrascht, dass sich sofort sehr viele SchülerInnen für einen gemeinsamen weiteren Weg ausgesprochen haben. Der Kurs hat dann entschieden, dass wir uns zuerst mit der Anatomie des Gehirns beschäftigen sollten, um so möglicherweise Rückschlüsse auf die Funktion des Gehirns ziehen zu können. Daraufhin haben sie das Arbeitsblatt A („Bau und Funktion des menschlichen Gehirns“, siehe Anhang) gelesen und sollten beim Lesen darauf achten, welche Gehirnteile beim Sehvorgang von Bedeutung sind. Auf einer OH-Folie haben wir die Gehirnteile, die am Sehvorgang beteiligt sind, rot gekennzeichnet.

4.2.6 Reflexion

Wenn auch das übergeordnete Lernziel – wie zu erwarten – in der Einstiegsstunde noch nicht erreicht werden konnte, war die Stunde doch sicherlich geeignet, den SchülerInnen klar „vor Augen zu führen“, dass wir nicht mit den Augen allein sehen und dass die Verarbeitungsleistung des Gehirns für den Wahrnehmungsvorgang von kaum zu überschätzender Bedeutung ist. *Alle* SchülerInnen haben motiviert und engagiert mitgearbeitet; es war beeindruckend, wie konzentriert und schnell sie gearbeitet haben und zu welchen guten Ergebnissen sie gekommen sind. Der Grundstein dafür, das Gehirn als ein aktives, konstruktiv tätiges, Hypothesen formulierendes und diese mit Hilfe der von den Sinnesorganen ankommenden Meldungen verifizierendes System anzusehen, wurde sicherlich in der heutigen Stunde gelegt. Die von mir eingesetzte Animation aus dem Max-Planck-Institut für Hirnforschung und die von den SchülerInnen genannten Beispiele für optische Täuschungen waren meinem Eindruck nach ein motivierender „Motor“ für die heutige und, wie sich gezeigt hat, auch für die folgenden Stunden. Zudem konnten die SchülerInnen durch sie selbstständig Leistungen des Gehirns erkennen, die auf treffende Weise die Vorstellung des Gehirns, wie es von der aktuellen Hirnforschung modelliert wird, widerspiegeln. Der Wechsel in der Konzentration, die Fähigkeit zu vergleichen, in Bezug zu setzen, zu ordnen und zu interpretieren (alle diese Leistungen wurden von den SchülerInnen mithilfe der optischen Täuschungen vom Gehirn gefordert, vgl. obige Tabelle 2) sind Tätigkeiten eines aktiven, konstruktiven Organs. Wenn die SchülerInnen außerdem die Balken-Rautenmuster-Animation damit erklären, dass das Gehirn „nicht entscheidungsfreudig“ sei, sind sie auf dem richtigen Weg, um den schnell möglichen Wechsel zwischen verschiedenen, jeweils synchron arbeitenden Nervenzellensembles nachvollziehen zu können.

Auch die Ideen der SchülerInnen, wie sich ihre Vermutungen zur Arbeitsweise des Gehirns überprüfen lassen könnten, haben mir gut gefallen. Ich hätte mir vorstellen können, arbeitsteilig mehrere Vorschläge zu bearbeiten und die Ergebnisse der Gruppenarbeit dann zu präsentieren. Anders als von mir erwartet, haben sich die SchülerInnen für ein gemeinsames weiteres Vorgehen entschieden. Ich erkläre mir dies vor allem damit, dass gerade eine recht lange Phase der Gruppenarbeit zu den verschiedenen Sinnesorganen hinter uns lag. Auch wenn den SchülerInnen diese Gruppenarbeit und sicherlich auch die zum Teil sehr beeindruckenden „Themenpräsentationen“ Spaß gemacht und sie viel dabei gelernt haben, schätzt der Kurs doch die gemeinsame Arbeit und das gemeinsame Diskutieren sehr. Mit 14 Personen hat der Kurs eine Größe, in der auch in Plenumsgesprächen alle beteiligt sind. Das Gesprächsklima der SchülerInnen und ihre Fähigkeit, sich in mündlichen Beiträgen aufeinander zu beziehen, ist ausgesprochen gut. Den SchülerInnen gelingt es, Ideen anderer aufzugreifen und weiterzuentwickeln und so gemeinsam zu Ergebnissen zu kommen, die sie einzeln sicher nicht erreichen würden.³⁴ Ich kann verstehen, dass sie gerade beim Thema Gehirn, das mitunter sehr spannend und auch kontrovers diskutiert werden kann, Interesse daran haben, als Gesamtkurs zu diskutieren. Möglicherweise fanden die SchülerInnen auch die gesammelten Vorschläge für eine mögliche Weiterarbeit alle sehr spannend, und wollten sich nicht für die Bearbeitung nur eines Aspekts entschließen, um nicht etwas Interessantes zu verpassen.

Als wir uns auf eine gemeinsame Weiterarbeit geeinigt hatten und ich nach einem Vorschlag für eine Auswahl oder Reihenfolge der nächsten Arbeitsschritte fragte, verwunderte es mich nicht, dass die SchülerInnen sich dafür aussprachen, mit der Anatomie des Gehirns zu beginnen. Sicherlich ist dieser „klassische Weg“, aus der Anatomie etwas über die Funktion eines Organs abzuleiten, für SchülerInnen erst einmal naheliegend, weil sie ihn so gewohnt sind. Ich bedauere sehr, dass ich ihnen dann nicht das richtige Arbeitsmaterial zur Verfügung gestellt habe. Das Arbeitsblatt „Im Überblick: Bau und Funktion des menschlichen Gehirns“³⁵ enthält leider nicht nur Angaben über die Anatomie des Gehirns, sondern nennt auch schon vielfältige

³⁴ Dass ihre „gemeinschaftlich“ erarbeiteten mündlichen Leistungen häufig besser sind, als die Leistungen, die sie in Einzelarbeit erreichen, ist mir bei der Korrektur der Klausuren immer wieder aufgefallen. Die schriftlichen Leistungen liegen bei den meisten SchülerInnen unter den mündlichen, was bei einer gemeinsam so engagiert arbeitenden Lerngruppe nicht verwunderlich ist. Zu überlegen wäre, ob es Formen gibt, durch die man die sehr guten Gemeinschaftsleistungen eines solchen Kurses auch schriftlich bewerten kann, indem beispielsweise bei einer Klausuraufgabe durchaus erlaubt ist, dass die SchülerInnen miteinander diskutieren. Zu bewerten wäre dann, wie sie die diskutierten Erkenntnisse darstellen und in ihre schriftliche Arbeit einbringen.

³⁵ Siehe Anhang: Kopie A.

Funktionen. Viel sinnvoller wäre gewesen, den SchülerInnen nach ihrer Forderung, sie wollen sich mit der Anatomie des Gehirns beschäftigen, erst einmal nur ein Gehirnmodell zu zeigen (oder Abbildungen des Gehirns).³⁶ Genau dies erfolgte in der nachfolgenden Stunde, die aus verschiedenen Gründen mit deutlichem zeitlichen Abstand zur Einstiegsstunde stattfand.³⁷

Abschließend sei auf ein Problem der Einstiegsstunde hingewiesen, über das wir in der Nachbesprechung länger diskutiert haben. Ich halte das Vorgehen, die SchülerInnen nach optischen Täuschungen zu fragen, die sie selbst kennen, für sinnvoll. So kann tatsächlich mit den Beispielen der SchülerInnen gearbeitet werden – und nicht etwa mit Beispielen, die allein durch die Lehrende vorgegeben werden. Damit allen SchülerInnen die geschilderten Phänomene nachvollziehbar vor Augen treten (es ist davon auszugehen, dass nicht alle SchülerInnen alle genannten optischen Täuschungen kennen) und weil das Sichtbarmachen der nur verbal genannten Phänomene motivierender ist und zudem auf diese Weise der für optische Täuschungen wichtige optische Kanal genutzt werden kann, halte ich es für wichtig, die genannten Täuschungen, soweit möglich, auch auf dem OH-Projektor zu präsentieren. Dies kann nun aber dazu führen, dass die Rolle der Lehrenden fast der eines „Zauberers“ gleicht, der auf Zuruf aus seinem magischen „Zauberhut“ unzählige Schätze hervorzaubert – und die SchülerInnen sich nur noch in der Rolle der Stichwortgeber sehen. Meinem Eindruck nach war das in meiner Stunde nicht der Fall. Dadurch dass die SchülerInnen ihre eigenen Beispiele sehr ausführlich erklärten und jeweils, nachdem die OH-Folie auflag, noch erläuterten, worin genau die optische Täuschung besteht, blieben es die Beispiele der SchülerInnen, blieb die Aktivität bei ihnen. Schade ist, dass ich nicht auf die Idee gekommen bin, die SchülerInnen ihre eigenen Beispiele selbst an die Tafel schreiben zu lassen. Dies hätte nicht nur dazu geführt, dass die SchülerInnen ihre eigenen Beispiele auch in ihrer eigenen Schrift an der Tafel gesehen hätten, vor allem hätte es mich sehr entlastet (ich hätte nicht ständig zwischen OH-Projektor, Tafel und Gesprächsleitung wechseln müssen). Für mein Gefühl war in dieser Unterrichtsphase zuviel Aktivität an meine Person geknüpft. Es wäre ein Leichtes gewesen, die SchülerInnen, die eine optische Täuschung nennen, jeweils nach vorne zu bitten, ihnen die

³⁶ Zwei verschiedene Gehirnmodelle aus unserer Sammlung hatte ich auf meinem Wagen mit dabei. Ich vermute, dass die Aufregung und Anspannung ob meines fünften Unterrichtsbesuches und der großen Besucherschar in der letzten Reihe dazu geführt haben, dass ich an diese Modelle einfach nicht mehr gedacht habe. Im Anhang befindet sich ein neu von mir gestaltetes Arbeitsblatt (Kopie B), das die Forderung, sich vorerst mit der Anatomie des Gehirns zu beschäftigen, sicherlich besser erfüllt als das von mir in der Stunde eingesetzte.

³⁷ Siehe Kapitel 4.2 dieser Arbeit.

OH-Folie mit dem von ihnen genannten Beispiel in die Hand zu drücken und sie zu bitten, das Beispiel aufzulegen, zu erläutern und in Kurzfassung an der Tafel festzuhalten. Damit hätte ich, wie es gerade für diesen sehr guten Kurs nur angebracht ist, mehr Verantwortung für den Unterricht und das entstehende Tafelbild³⁸ an die SchülerInnen abgegeben.³⁹

Alternativ hätte man den SchülerInnen auch optische Täuschungen zur Verfügung stellen können, mit denen sie sich (in Partnerarbeit) beschäftigen sollen. Sie hätten zum einen beschreiben können, worin die optische Täuschung besteht, und zum anderen schon spekulieren können, welche Schlussfolgerung über die Funktion des Gehirns „ihre“ optische Täuschung zulässt. In einer Präsentationsrunde hätten dann jeweils SchülerInnen dem Rest des Kurses *ihre* optische Täuschung vorgestellt und ihre Überlegungen genannt. Gut gefällt mir an dieser Alternative, dass sich die SchülerInnen in den Zweiergruppen sicherlich recht intensiv mit ihrer optischen Täuschung beschäftigt hätten und dass sie bei der Präsentation sozusagen in die Rolle des/der Lehrenden geschlüpft wären. Bedauern würde ich bei einem solchen Vorgehen, dass die optischen Täuschungen, mit denen gearbeitet wird, auf jeden Fall von dem/der Lehrenden vorgegeben werden müssen, die Beispiele also nicht aus den „Köpfen“ der SchülerInnen stammen. Auch hatte ich das Gefühl, dass die Trennung der Sammelphase (Welche optischen Täuschungen kennt ihr?) von der Auswertungsphase (Welche Schlussfolgerungen lassen diese optischen Täuschungen auf die Arbeitsweise des Gehirns zu?) sehr sinnvoll war. Zum einen neigen SchülerInnen dazu, diese beiden Phasen zu durchmischen und Beobachtungen oft vorschnell zu bewerten und zu deuten; zum anderen war es so möglich, dass sich die SchülerInnen die optische Täuschung, die sie am meisten interessiert oder zu der sie spontan die besten Ideen haben, für ihre weiteren Überlegungen aussuchen.

³⁸ Zum Tafelbild möchte ich gerne eine kurze Anmerkung machen: Der Raumwechsel (wegen des benötigten Beamers fand die Biologiestunde ausnahmsweise nicht im Fachraum, sondern in einem unserer White Board Räume statt) brachte es mit sich, dass ich nicht ganz glücklich mit meinem Tafelbild war. Die zur Verfügung stehende Tafel war sehr viel kleiner als die Tafel, die ich aus den naturwissenschaftlichen Räumen gewohnt bin, weshalb ich kleiner schreiben musste als geplant – und aufgrund der vielen Ideen der SchülerInnen dann auch noch auf die Seitentafeln „ausweichen“ musste. Wenn wir den White Board Raum auch in den Folgestunden zur Verfügung gehabt hätten, hätte ich sehr gerne eben das White Board genutzt und mit Hilfe des Smart-Programms ein „Tafelbild“ erstellt: Dies hätte den Vorteil gehabt, dass der Gang unserer Unterrichtseinheit gesichert wäre und jederzeit „abrufbar“ zur Verfügung stünde. Damit die Erkenntnisse der heutigen Stunde nicht verloren gehen und um zu einem späteren Zeitpunkt einen Rückbezug zu den optischen Täuschungen zu ermöglichen, hat in der heutigen Stunde eine Schülerin das Tafelbild auf eine OH-Folie übertragen.

³⁹ Im Einzelfall formulieren SchülerInnen eben doch anders, wenn sie selbst etwas an die Tafel schreiben, als das eine Lehrende tut, die zumindest mitunter Gefahr läuft, zu interpretieren, was die SchülerInnen wohl „Richtiges“ gemeint haben könnten.

Ich würde wohl auch bei einer Wiederholung dieser Stunde den SchülerInnen keine optischen Täuschungen austeilen, sondern das Vorgehen beibehalten, sie nach den „visuellen Illusionen“ zu fragen, die sie selbst kennen. Gerne würde ich ihnen dann aber sowohl die Präsentation als auch das Tafelbild in Eigenregie überlassen.

4.3 Die weitere Planung der Unterrichtseinheit

Schon in der Einstiegsstunde haben wir eine Entscheidung über den weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit gefällt. Die SchülerInnen wollten, um ihre anhand der optischen Täuschungen gemachten Vermutungen zu überprüfen, die Anatomie des Gehirns untersuchen. In der Folgestunde habe ich, wie bereits oben erwähnt, diesem Vorschlag entsprechend den SchülerInnen ein Gehirnmodell präsentiert. Anhand des Gehirnmodells haben die SchülerInnen selbst erkannt, dass die reine Anatomie nur sehr wenig Rückschlüsse auf die Funktion/Arbeitsweise des Gehirns zulässt. Was zu erkennen ist, sind die vielfältigen Furchen und Windungen, die die enorme Oberflächenvergrößerung des Gehirns verdeutlichen; außerdem zeigt bei einem aufgeschnittenen Präparat auch der Balken (Corpus callosum), dass es zwischen der rechten und der linken Hirnhälfte Verbindungen gibt. Diese wenig aussagekräftigen Erkenntnisse haben dazu geführt, dass die SchülerInnen die Vorschläge über das weitere Vorgehen noch einmal überdenken wollten. Schnell kamen sie auf verschiedene Ideen, die auf der nächsten Seite aufgelistet sind:

Wie könnte man etwas über die ARBEITSWEISE DES GEHIRNS erfahren?

- Versuche am lebenden Gehirn (Elektroden an der Oberfläche des Gehirns platzieren oder „einstecken“: 1. messen, was passiert, wenn die Versuchsperson z.B. durch Bildimpulse gereizt wird; 2. Gehirn von außen durch elektrische Impulse reizen, beobachten, welche Folgen das hat)
- „Unfallopfer“, deren Gehirn geschädigt wurde, untersuchen: Welche Auswirkungen hat die Gehirnschädigung? (Beeinträchtigung von Körperfunktionen?) Nach dem Tod dann Gehirn nach anatomischen Veränderungen untersuchen
- Aktivität des Gehirns hemmen; Auswirkungen beobachten
- Split-Brain-Patienten untersuchen (bei diesen sind die beiden Gehirnhälften nicht mehr durch den „Balken“ verbunden)

Gerne hätte ich die Ideen der SchülerInnen zu Versuchen an lebenden Gehirnen weiter vertieft (Vorschlag 1 und 3). Beispielsweise hätten die SchülerInnen genaue Versuchsreihen entwerfen können. Da diese Versuche an menschlichen Gehirnen weder von uns durchgeführt werden können noch von Forschern durchgeführt werden, haben

wir diesen Weg nicht weiter verfolgt. Prinzipiell wären zwei Möglichkeiten denkbar gewesen:

1. Man hätte eine ausführliche Information über die aktuelle Hirnforschung anschließen können – möglichst verbunden mit einem Besuch des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung in Frankfurt. Diesen Weg hätte ich, wenn uns mehr Zeit zur Verfügung gestanden hätte, sehr gerne eingeschlagen, auch wenn die Hirnforschung ihre Erkenntnisse vor allem durch Versuche mit Gehirnen von Tieren (und nicht den von Menschen) gewinnt und diese Versuche sicherlich noch lange nicht so weit sind, als dass sie alle Fragen von SchülerInnen beantworten könnten.
2. Es hätte auch die Möglichkeit bestanden, den SchülerInnen Informationen über Versuche zur Verfügung zu stellen, die bei Patienten durchgeführt wurden, die während einer Gehirnoperation nur örtlich betäubt waren und so noch auf bestimmte Reize reagieren konnten (vgl. beispielsweise NØRRETRANDERS 1994: 330ff.). Gegen diesen Weg habe ich mich entschieden, weil die Erkenntnisse aus diesen Versuchen weit weniger hilfreich für den Verstehensprozess zum Gehirn sind als die Beobachtungen an verletzten Gehirnen.⁴⁰

Ich habe den SchülerInnen also zuerst Material zur Verfügung gestellt, mit dessen Hilfe ihre zweite Forderung, nämlich Rückschlüsse auf die Funktion des Gehirns (bzw. bestimmter Gehirnbereiche) aus Beeinträchtigungen nach der Verletzung desselben zu ziehen, erfüllt werden konnte.⁴¹ Damit haben sie sich selbst auf den Weg begeben, den auch die Hirnforschung gegangen ist. Auch in der Hirnforschung konnten viele Erkenntnisse gewonnen werden, weil man mit Patienten arbeitete, deren Gehirne aufgrund eines Schlaganfalls oder einer Schädelverletzung auffällige Fehlfunktionen zeigten (vgl. beispielsweise NØRRETRANDERS 1994; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL 1996; ZEKI 1992). Wenn auch die Unterrichtsplanung nicht am historischen Ablauf der Hirnforschung orientiert war, fand ich es doch spannend, dass wir durch einige Vorschläge der SchülerInnen immer wieder „Etappen“ eines historisch-problemorientierten Unterrichts gegangen sind, und so „die kreativen Denkwege in der Geschichte [der Naturwissenschaften] auch für den Lernprozeß im Unterricht nutzbar gemacht werden“ konnten (SCHMIDKUNZ; LINDEMANN 1999: 20). Auf diese Weise haben die SchülerInnen auch etwas über das „Funktionieren“ von Forschung gelernt.

⁴⁰ Dies ist auch der Grund, warum ich mich gegen eine Berücksichtigung von Ergebnissen bei Split-Brain-PatientInnen entschieden habe.

⁴¹ Vgl. Material K, L, M im Anhang.

Nachdem sie auf dem eingeschlagenen Weg selbst „entdeckt“ haben, dass verschiedene „Gehirnfelder“ unterschiedliche Funktionen haben und die Verarbeitung von Form, Farbe, Bewegung, Objekterkennung u.ä. jeweils getrennt in spezialisierten Gehirnbereichen erfolgt⁴², sind wir einen Schritt weiter gegangen und haben uns mit Ergebnissen der aktuellen Hirnforschung beschäftigt. Die Erkenntnisse, die wir mithilfe des Artikels über die aktuelle Hirnforschung gewinnen konnten, haben wir dann auch auf die optischen Täuschungen rückbeziehen können, was im folgenden Kapitel dargestellt wird.

4.4 Die Synchronizitätstheorie – oder: Rückbezug von Erkenntnissen der Hirnforschung auf die optischen Täuschungen

„Ein großes Problem der heutigen Gehirnforschung ist das sogenannte *binding problem*, das Kohärenzproblem.“ (NØRRETRANDERS 1994: 295) Die Signale aller Sinnesorgane werden fortlaufend aufgegliedert und in den unterschiedlichsten Zentren des Gehirns analysiert. Die im Gehirn ankommenden Signale werden auf „Myriaden von Nervenzellen“ verteilt, „deren jede einen Rand oder eine Form, oder eine Bewegung, oder Farbe, oder eine Lichtstärke, oder einen Kontrast, oder eine Richtung, oder eine räumliche Placierung erkennt“ (NØRRETRANDERS 1994: 295). Alle diese Einzelaspekte müssen nicht nur analysiert und verarbeitet, sondern auch zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden. Wie aus diesem „Puzzle“ ein Bild, d.h. eine integrierte Wahrnehmung ermittelt wird, war lange Zeit die zentrale (und unbeantwortete) Frage der Hirnforscher; lässt sich doch im gesamten Gehirn kein übergeordnetes Zentrum, in dem alle Sinneseindrücke zusammengeführt werden, nachweisen.

Das Bindungs- oder Kohärenzproblem könnte man auch das Figur-Hintergrund-Problem nennen und es lässt sich anhand der optischen Täuschungen in folgender Frage auf den Punkt bringen: „Wie findet das Gehirn in den Daten, die es verarbeitet, die Vase und die Gesichter? Wie werden die vielen verschiedenen Aspekte eines Objekts zusammengefügt, wie wird überhaupt erst einmal entschieden, was Figur und was Hintergrund ist?“ (NØRRETRANDERS 1994: 296)⁴³

Aus der eher zufälligen Entdeckung einer Frankfurter Forschergruppe um Wolf Singer, dass im Gehirn einer Katze weit auseinander liegende Nervenzellen in synchrone

⁴² Vgl. die Stundenbeschreibung der 2. und 3. Stunde (vom 15.2.2001) im Anhang.

⁴³ Vgl. die Abbildung der Rubinschen Vase (OT 10) im Anhang.

elektrische Aktivität (und zwar Schwingungen von etwa 40 Hertz) verfallen, wenn sie auf Reize reagieren, die vom selben Objekt ausgehen, wurde eine Modellvorstellung entwickelt, durch die das Kohärenzproblem zu lösen wäre. Die gemeinsamen Schwingungen oder Oszillationen könnten, so die Theorie der Forscher, die zelluläre Basis des Bewusstseins bilden (vgl. SINGER 1998; NØRRETRANDERS 1994: 297).⁴⁴ Durch die Singersche Idee könnte auch das Phänomen der Aufmerksamkeit erklärt werden: Aufmerksamkeit bestünde demnach darin, dass ein spontan gebildetes Nervenzellensemble synchron mit 40 Hertz (d.h. vierzigmal pro Sekunde) schwingt, also im Gleichtakt Aktionspotentiale „feuert“. In jedem Moment sind verschiedene Nervenzellensembles, die sich jeweils für verschiedene Objekte in der Außenwelt zusammengesprochen haben, aktiv und „schwingen“ im Gleichklang. Nur ein Schwingungsmuster wird aber verstärkt, so dass es die dominierende 40-Hertz-Schwingung erreicht und damit die Oberhand gewinnt – dieses Ensemble stellt den Gegenstand des Bewusstseins, die Aufmerksamkeit dar. Die restlichen Ensembles konkurrieren um diese Position. In diesem „Konkurrenzkampf“ kann durchaus sehr schnell ein Wechsel stattfinden. Dies erklärt, warum das Bewusstsein so effektiv zwischen verschiedenen Objekten umschalten kann (vgl. NØRRETRANDERS 1994: 298f.).

Mithilfe der Synchronizitätstheorie lassen sich nun auch die Wechselbilder unter den optischen Täuschungen erklären: „Sind mehrere Deutungen der eintreffenden Informationen möglich [...], dann kann es eine Weile dauern, bis eine bestimmte Deutung ihre Rivalen übertrumpft und sich etabliert. Bei ‚Rivalität‘, wenn die Wahrnehmung wie im Falle des bekannten Necker-Würfels wechselt, habitualisieren sich [...] in gewissem Maße schließlich die Schwingungen, die zuerst etabliert wurden, so daß die andere Deutung die Oberhand gewinnt, indem sie die ihr entsprechenden Schwingungen etabliert und damit den Rivalen unterdrückt. Nach einer Weile wird sie ihrerseits unterdrückt usw.“ (Crick und Koch, zitiert nach NØRRETRANDERS 1994: 299).

Auch wir haben uns in der Unterrichtseinheit zum Gehirn – ausgehend von den optischen Täuschungen – ausführlich mit dem Kohärenzproblem beschäftigt⁴⁵ und uns gefragt, wie bei den Wechselbildern das „Umschalten“ von einer Interpretation zur anderen zustande kommt.

⁴⁴ Auch wenn mittlerweile durchaus Zweifel an der Richtigkeit der Synchronizitätstheorie vorhanden sind (vgl. beispielsweise NØRRETRANDERS 1994: 297, 299), ist sie doch noch nicht widerlegt und sicherlich als ein theoretisches Modell sehr brauchbar.

Um diese Frage zu beantworten, haben die SchülerInnen mithilfe von Auszügen eines Spiegel-Artikels⁴⁶ zuerst ein Gehirnmodell entwickelt, wie man es sich lange Zeit vorgestellt hat (Modell nach Hubel und Wiesel): *Das Gehirn ist hierarchisch organisiert. „Einzelzellen“, die Spezialisten für bestimmte Aspekte sind (für eine Form: z.B. „Balken“; eine Farbe: z.B. „rot“) leiten ihre Eindrücke an übergeordnete Zellen weiter, die jeweils „Kombinierer“ mehrerer Aspekte sind (z.B. Kombinierer für „rote Balken“).* Die Probleme, die mit einem solchen Modell des Gehirns einhergehen, haben die SchülerInnen sofort selbst erkannt:

- Wir bräuchten viel zu viele Zellen (für unendlich viele Eindrücke). Die Anzahl der möglichen Kombinationen von Eindrücken ist viel zu groß, als dass es jeweils separate Zellen geben könnte, die nur auf bestimmte Merkmalskombinationen reagieren.
- Völlig „neue“ Eindrücke (z.B. Computer) könnten nicht verarbeitet werden, weil dafür sicherlich keine „Kombinierer“ vorhanden sind.

Das Problem lag spürbar „in der Luft“. Wenn nachzuweisen ist, dass bestimmte Nervenzellen auf bestimmte Aspekte spezialisiert reagieren, wenn außerdem aber kein übergeordnetes Zentrum im Gehirn vorhanden ist, in dem alle Impulse zusammenlaufen und letztendlich verrechnet werden, wie wird dann aus den „Puzzleteilen“ ein Bild zusammengesetzt? Gut gefallen hat mir, dass die SchülerInnen auf die Idee kamen, dass es am sinnvollsten (und ökonomischsten) wäre, wenn die „Spezialistenzellen“ vielseitig einsatzfähig wären: Die Nervenzelle für den Farbinput „rot“ sollte mit allen möglichen Formen zusammentreten können, wenn diese Formen eben rot seien. Die SchülerInnen spekulierten, dass möglicherweise zwischen den Nervenzellen, die für ein gemeinsames Bild zusammentreten müssen, Verbindungen „gebaut“ werden (dies wurde aber sofort widerlegt: ein solcher Bauvorgang dauerte viel zu lange), bzw. dass Verbindungen zwischen den verschiedenen Spezialisten bestehen, die bei Bedarf genutzt werden. Bei der Frage danach, wie eine solche Nutzung aussehen könnte; wie also aus dem „Befahren einer Verbindungsstraße“ (dem Verschicken von Aktionspotentialen) ein gemeinsames Bild entstehen könnte, kamen wir nicht weiter.

Ich habe den SchülerInnen dann die Fortsetzung des oben genannten Artikels ausgeteilt, die das Singersche Synchronizitätsmodell vorstellt. Wir haben es dem hierarchischen Modell an der Tafel kontrastierend gegenübergestellt und wie folgt beschrieben:

⁴⁵ Vgl. die Stundenbeschreibung der 2. und 3. Stunde (vom 15.2.2001), der 4. Stunde (21.2.2001) und der 5. und 6. Stunde (22.2.2001) im Anhang.

⁴⁶ Vgl. Arbeitsblätter G und H im Anhang (Quelle: DER SPIEGEL 11/1992).

*Übergeordnete Zellen sind nicht vorhanden. Einzelzellen („Expertenzellen“), die gemeinsam für die Wahrnehmung eines bestimmten Objekts zuständig sind, senden im Gleichtakt Aktionspotentiale. Diese Gleichzeitigkeit entspricht dem „Gesamteindruck“. Das Gehirn arbeitet also **dezentral** (in verschiedenen Zellen werden Teilergebnisse verarbeitet, durch Synchronizität werden diese verbunden), und es ist **konstruktiv** tätig (es greift auf Vorwissen zurück, verbindet gespeicherte Information; Wahrnehmen ist ein **aktiver**, erwartungsgesteuerter Suchprozess, der von Gestaltungsdruck geprägt ist).*

Diese Modellvorstellung des Gehirns haben wir auf die Ausgangsfrage (Wie kommen die verschiedenen Eindrücke bei Wechselbildern zustande?) rückbezogen und eine modellgemäße Erklärung für die Wechselbilder erarbeitet: *Nervenzellen schließen sich zu unterschiedlichen Ensembles zusammen (z.B. Ensemble 1: Spezialisten für dunkle Flächen, Spezialisten für Gesichter; Ensemble 2: Spezialisten für helle Flächen, Spezialisten für Objekte). Diese Ensembles konkurrieren um „die Gunst unserer Aufmerksamkeit“ (d.h. um die bevorzugte 40-Hertz-Schwingung) und erzwingen so immer wieder einen Wechsel der Wahrnehmung.* Die SchülerInnen haben dann noch eine vergleichbare Erklärung für den Balken-Rautenmuster-Film formuliert: *Ensembles von Neuronen, die selektiv für die Bewegung eines Musters von rechts nach links (bzw. von links nach rechts) sind, konkurrieren mit einem Neuronenverband, der spezialisiert ist für eine Gesamtmusterbewegung nach oben. Das Ensemble, das in der 40-Hertz-Schwingung Aktionspotentiale generieren kann, verursacht die Wahrnehmung, die in unser Bewusstsein, in unsere Aufmerksamkeit gelangt.*

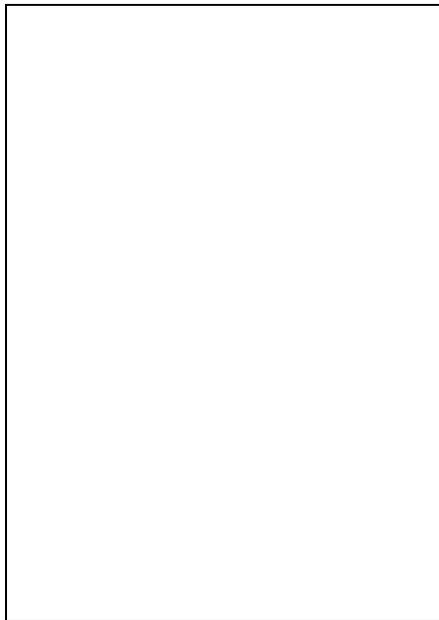
Dass die optischen Täuschungen in hohem Maße geeignet sind, um die Erkenntnisse der aktuellen Hirnforschung zu veranschaulichen, sei abschließend anhand einiger Beispiele noch einmal betont:

- Mithilfe der **Wechselbilder** lässt sich sehr gut die Vorstellung konkurrierender Ensembles verdeutlichen.
- Die konstruktive Tätigkeit des Gehirns kann durch einige optische Täuschungen hervorgehoben werden. So belegen beispielsweise die **Fleckenbilder**, dass Wahrnehmen ein erwartungsgesteuerter, von Gestaltungsdruck geprägter Suchprozess ist.

- Die **illusionären Konturen** und die **geometrischen Täuschungen** veranschaulichen, dass das Gehirn mit Erfahrungswissen vergleicht und Abbildungen nicht einfach nur „wahrnimmt“, sondern interpretiert.
- Auch die **unmöglichen Figuren** zeigen, dass unsere Erfahrungen mit Dreidimensionalität (d.h. unser Vorwissen) bei der Wahrnehmung einer zweidimensionalen Zeichnung berücksichtigt werden.

4.5 Eine optische Täuschung als Klausuraufgabe

Ob sie die anhand der optischen Täuschungen erarbeiteten Kenntnisse über die Funktion des Gehirns in einem neuen Zusammenhang einbringen können, sollten die SchülerInnen in der Klausur am Ende der Unterrichtseinheit unter Beweis stellen. Die erste Aufgabe der Klausur⁴⁷ forderte die SchülerInnen auf, eine optische Täuschung (siehe Abbildung 2), die wir im Unterricht noch nicht besprochen hatten, zu betrachten, das beobachtete Phänomen zu beschreiben und zu erklären. Außerdem sollten die SchülerInnen ein weiteres optisches Phänomen vorstellen und erklären, welche Rückschlüsse das von ihnen gewählte Phänomen auf die Arbeitsweise des Gehirns erlaubt.



Erwartet hatte ich, dass die SchülerInnen beschreiben, dass sich auf der Abbildung zwei verschiedene „dreidimensionale Bilder“ entdecken lassen, die sich eigentlich gegenseitig ausschließen. Der untere Teil der Abbildung wirkt wie drei quadratische Säulen, die in einem rechten Winkel angeordnet (d.h. zwei Säulen stehen nebeneinander, eine steht dahinter) auf einer quadratischen Grundfläche stehen. Diese drei Säulen scheinen dann Übergangslos in ein „gabelartiges Gebilde“ überzugehen: in einen Balken, von dem drei „Arme“

⁴⁷ Eine Kopie der Klausur und der dazugehörige Erwartungshorizont befinden sich im Anhang. Exemplarisch sind außerdem drei Antworten verschiedener SchülerInnen mit in den Anhang aufgenommen.

Abb. 2

Optische Täuschung aus der Klausur
(entnommen aus Klett: Natura 3: 232)

Zu erklären ist die vorliegende optische Täuschung damit, dass das Gehirn eine zweidimensionale Linienzeichnung aufgrund von Erfahrungswissen aus der „dreidimensionalen Welt“ als dreidimensionales Bild interpretiert.

Als weitere optische Phänomene hatte ich vor allem Beispiele aus den Bereichen erwartet, mit denen wir uns ausführlicher beschäftigt haben, d.h. Wechselbilder, Fleckenbilder oder geometrische Täuschungen. In der Tabelle sind „Musterlösungen“ für diese drei Bereiche angegeben.

Phänomen	Erklärung
Wechselbilder (z.B. Vase-Gesichter-Bild; Rauten-Balken-Film; Neckar-Würfel)	unterschiedlich zusammentretende synchron schwingende Ensembles konkurrieren miteinander und erzwingen einen Wechsel der Wahrnehmung
„Fleckenbilder“ (das eigentliche Bild wird erst später erkannt) (z.B. Hundebild, Pferdebild)	Gehirn sucht aktiv, setzt zusammen, ergänzt (Gestaltungsdruck), Gehirn sucht nach bekannten Formen, vergleicht mit Erinnerungen
„falsche“ Größenverhältnisse (z.B. Eisenbahnschiene, kleine bzw. große Kreise um Kreis; ...)	Gehirn vergleicht, nimmt Alltagserfahrungen (= Erinnerungen) zur Hilfe, es nimmt Größenverhältnisse wahr

Tabelle 3: Musterlösungen für die Klausuraufgabe

Wie sind die SchülerInnen nun mit dieser Klausuraufgabe umgegangen? Die Beschreibung der komplexen Abbildung fiel den meisten nicht leicht. Als sicherlich sinnvolle „Hilfsbrücke“ benutzten sie überwiegend alltagssprachliche Begriffe (z.B. Tischbeine, Säulen, Füße), um die Zeichnung in Worte zu fassen. Einige formulieren dabei aber recht ungeschickt, so dass man sich, sähe man die Zeichnung nicht vor Augen, das Beschriebene wohl kaum richtig vorstellen könnte (vgl. beispielsweise Klausur 3 im Anhang). Fast alle SchülerInnen benennen aber sehr treffend, dass die optische Täuschung darin besteht, dass eine zweidimensionale Zeichnung als dreidimensionales Gebilde interpretiert werde und dass bei diesem Interpretationsvorgang kein sinnvolles, mit unserem Erfahrungswissen in Einklang zu bringendes Ergebnis erzielt werden könne. Als Erklärung hierfür formuliert ein Schüler: „Wenn das Gebilde wie in diesem Fall nicht strikt nach den Regeln des dreidimensionalen Zeichnens aufgebaut ist, kann das Gehirn keine (richtige) logische Transformation ins Dreidimensionale vollziehen.“ (Klausur 1) Damit hat er sicherlich nicht Unrecht: Den Regeln des korrekten dreidimensionalen Zeichnens gehorcht die Abbildung nicht. Dennoch ent-

steht die Verwirrung gerade dadurch, dass der Zeichner die Gesetze der perspektivischen Zeichnung durchaus kennt und zwei für sich genommen logische räumliche Gebilde zeichnet, die sich gegenseitig ausschließen.

Fast alle SchülerInnen erklären die optische Täuschung damit, dass das Gehirn die wahrgenommene Abbildung mit seinem Vorwissen, d.h. mit bekannten dreidimensionalen Figuren vergleiche und dabei zu einem „schiefen Ergebnis“ komme: „Die Figur scheint so nicht möglich zu sein, da sie den Erwartungen [...] widerspricht.“ (aus der Klausur einer Schülerin). Nur zwei Schülerinnen schlagen einen anderen Weg ein, um die Abbildung zu deuten. Sie verstehen die optische Täuschung in der Klausur als ein Wechselbild und erklären sie mithilfe der Synchronizitätstheorie (vgl. als Beispiel Klausur 3). Die beiden unterschiedlichen, für sich alleine aber „richtigen“ Bilder, die man erhalte, wenn man jeweils eine Hälfte der Abbildung abdecke, beschreiben sie als zwei „Interpretationsmöglichkeiten“, zwischen denen das Gehirn hin und her wechsle. Mich überzeugt diese Erklärung nicht ganz, weil hier nicht, wie bei den typischen Wechselbildern, zwei unterschiedliche Interpretationen der gleichen Formen vorliegen, sondern zwei verschiedene Teile einer Zeichnung miteinander in Konkurrenz stehen. Die Wahrnehmung besteht nicht in dem Wechsel zwischen zwei verschiedenen, aber möglichen Interpretationen, sondern darin, eine Gesamtabbildung nicht dreidimensional deuten zu können.

Gut gefallen hat mir, dass in den Klausuren der SchülerInnen als Beispiele für weitere optische Phänomene, die etwas über die Arbeitsweise des Gehirns verraten, aus allen von mir erwarteten Bereichen Beispiele genannt werden. Einige SchülerInnen belegen mit den **Fleckenbildern**, dass das Gehirn aktiv und konstruktiv tätig sei, dass es interpretiere, kombiniere und unter Gestaltungsdruck stehe (vgl. Klausur 3). Andere nennen **Wechselbilder** als Veranschaulichung der Synchronizitätstheorie (vgl. Klausur 2); wieder andere verdeutlichen mithilfe **geometrischer Täuschungen**, dass das Gehirn keine „realen Größen“ wahrnehme, sondern Größen vergleiche und zueinander ins Verhältnis setze (vgl. Klausur 1).

Zusammenfassend ist die gute Bearbeitung der Klausuraufgabe (und der Klausur insgesamt) sicherlich als Indiz dafür zu werten, dass die SchülerInnen nicht nur vieles zur Funktion des Gehirns verstanden haben, sondern dass sie ihr Wissen auch in einem (relativ) neuen Zusammenhang einbringen können. Die optischen Täuschungen, so ist mein Eindruck, haben dazu in hohem Maße beigetragen.

5 Reflexion

Im Schlusskapitel meiner Arbeit werde ich noch einmal zusammenfassend beurteilen, was die optischen Täuschungen als Einstieg in die Unterrichtseinheit Gehirn/aktuelle Hirnforschung geleistet haben. Außerdem werde ich kurz darstellen, welche weiteren Wege sich nach dem Einstieg für uns ergeben haben – und noch einige Anmerkungen zur Frage des Bewusstseins machen, weil dies wohl eine der zentralen Fragen für meine SchülerInnen war. Nach dem Abwägen von Alternativen zu dem von mir gewählten Vorgehen soll nicht zuletzt auf die Schwierigkeiten, die mit einer Unterrichtseinheit wie der vorliegenden verbunden sind, eingegangen werden.

Die Unterrichtseinheit in meinem Biologiekurs hat gezeigt, dass optische Täuschungen ein sinnvoller und hilfreicher Einstieg in die aktuelle Hirnforschung sind. Der von mir gewählte Einstieg war geeignet, das Interesse der SchülerInnen für das Thema Gehirn zu wecken und eine Fragehaltung bei ihnen hervorzurufen, die über die gesamte Einheit erhalten blieb. Der Einstieg war sogar geeignet, das eigentliche Thema von den SchülerInnen selbst erschließen zu lassen. Sie konnten ihr bisher erarbeitetes Wissen über den Sehvorgang einbringen und erkennen, dass die präsentierte Balken-Rautengitter-Animation auf der Basis der Lichtsinnesrezeptoren nicht zu erklären ist, dass wir uns also mit dem Gehirn beschäftigen müssen. Die Forderung, das Gehirn zum Thema zu machen, war *allen* SchülerInnen sofort einsichtig. In diesem Sinne waren die optischen Täuschungen nicht nur ein Denkanstoß, sondern vielmehr das Rätsel, das es in den folgenden Stunden zu knacken galt. Die Irritation, die von den optischen Täuschungen ausgeht, wurde zum „Motor“, dem Geheimnis des Gehirns auf den Grund zu gehen. Dass die SchülerInnen über einen längeren Zeitraum motiviert, interessiert und immer wieder mit Spannung und Freude gearbeitet und gelernt haben, ist sicherlich ein Verdienst der optischen Täuschungen.

Die optischen Täuschungen haben zudem geholfen, ein wichtiges Ergebnis der aktuellen Hirnforschung, die Synchronizitätstheorie zu veranschaulichen. Es war für ihren Lernprozess hilfreich, dass die SchülerInnen ihr Wissen über das Synchronizitätsmodell, das sie sich „theoretisch“ mithilfe eines Artikels erschlossen hatten, an einem praktischen Beispiel (nämlich den Wechselbildern) anwenden konnten. Die SchülerInnen fanden es motivierend und überzeugend, eine Theorie kennen gelernt zu haben, die eine mögliche Erklärung für manche optische Täuschungen gibt.

Zudem erlaubten die optischen Täuschungen viele hilfreiche Rückkopplungen zur „Modellvorstellung Gehirn“, wie sie heute vertreten wird. Die Besonderheiten der Funktionsweise des Gehirns konnten immer wieder mit bestimmten optischen Täuschungen veranschaulicht werden (vgl. Kapitel 4.4 dieser Arbeit). Noch einmal hervorzuheben sei, dass die Einstiegsstunde gezeigt hat, dass die SchülerInnen schon nach einer ersten Beschäftigung mit optischen Täuschungen sehr gute, zutreffende Vermutungen über die Tätigkeit des Gehirns anstellen konnten (vgl. Kapitel 4.2.7).

Besonders wichtig für den Erfolg der Unterrichtseinheit war sicherlich auch die offene Planung, die am ehesten dem komplexen und vielschichtigen Thema Gehirn gerecht wird. Ausgehend von den optischen Täuschungen sind wir auf Fragen nach der Anatomie des Gehirns, nach Auswirkungen von Gehirnschädigungen und nach Ergebnissen der Hirnforschung gekommen. Dabei fanden die SchülerInnen es immer wieder spannend und motivierend, zu hören, dass einige ihrer Ideen und Vorschläge in der Vergangenheit auch von Wissenschaftlern umgesetzt wurden. Das eigene Nachvollziehen eines wissenschaftlichen Erkenntnisganges hat sich als ein lohnenswerter Weg für den Unterricht zum Gehirn herausgestellt; ein solcher Weg bietet sich sicherlich an vielen Stellen des Biologieunterrichts an.

Alle weiteren Themen, mit denen wir uns noch befasst haben, ergaben sich aus den Unterrichtssituationen: Die SchülerInnen haben immer wieder eigene Ideen eingebracht und durch ihre Fragen und Themenvorschläge den Unterrichtsgang bestimmt. So hat sich relativ schnell herausgestellt, dass die Frage nach dem Bewusstsein für viele SchülerInnen eine zentrale Frage war, weshalb wir uns ausführlich mit ihr beschäftigt haben. Die SchülerInnen waren m.E. dabei mit ihren Fragen ganz nah am Puls der aktuellen Hirnforschung. Welche Rückschlüsse die Ergebnisse der Hirnforschung auf das Bewusstsein und den „freien Willen“ zulassen, ist die Frage, mit der sich zur Zeit sehr viele Hirnforscher, Psychologen und Philosophen beschäftigen (vgl. z.B. TRAUFFETTER/GROLLE 2001; NØRRETRANDERS 1994; CRICK, KOCH 1992; ASSHEUER/SCHNABEL 2000). Auch für das Nachdenken über das Bewusstsein können optische Täuschungen eine Rolle spielen: „Die Existenz optischer Täuschungen [...] zeigt jedoch, daß das, was wir erleben, eine Simulation dessen ist, was wir durch unsere Sinne wahrnehmen. Es hat bereits ein Aussortieren von Information und somit eine Deutung der Sinnesdaten stattgefunden, ehe diese das Bewußtsein erreichen. Das mentale Leben des Menschen findet zum größten Teil unbewußt statt, und dies ist nicht als Resultat von Verdrängung im Sinne Freuds zu verstehen, sondern als seine normale Funktionsweise. Bewußtsein [...] erscheint als geschlossenes und teilweise

irreführendes Phänomen, das vorgibt, man erlebe das, was durch die Sinne aufgenommen wird. Die optischen Täuschungen zeigen, daß die Dinge komplizierter sind. Bewußtsein läßt sich auch von außen betrachten, doch ist dann schwer zu begreifen, wie aus den großen Mengen an Information, die ihm angeboten werden, schließlich ein einheitliches und vollständiges Bild der erlebten Wirklichkeit wird.“ (NØRRETRANDERS 1994: 305). Nørretranders weist nach, dass das Bewusstsein Zeit benötige, um die wichtigen Funktionen des Auswählens, Aussortierens und Abwählens zu erfüllen, wodurch es der aktuellen Zeit immer ein wenig hinterher hinke. Das Bewusstsein sei eine Täuschung, „bei der allerlei buchhalterische Mühen bezüglich der Zeitfolge und der Initiativen aufgewendet werden müssen“ (ebd.: 350). Er stellt Versuche vor, die belegen, dass der Wunsch, eine Handlung zu vollziehen, einer Versuchsperson erst dann bewusst werde, wenn das Gehirn mit Vorbereitungen für diese Handlung schon begonnen habe (vgl. ebd.: Kapitel 9: Das Bewußtsein. Eine halbe Sekunde Verspätung, 311-360). So spannend diese Ergebnisse auch sind, sie haben bei meinen SchülerInnen (und auch bei mir) für eine gehörige Menge Verunsicherung gesorgt, weil sie so gar nicht mit unserem Alltagsverständnis von „Bewusstsein“ und „freiem Willen“ in Einklang zu bringen sind. Ich fand beeindruckend, dass die SchülerInnen sich nicht haben entmutigen lassen, sondern sehr intensiv diskutiert und durchaus überzeugende Gegenargumente gegen den „Singerschen Abgesang des freien Willens“ gefunden haben. Auch Nørretranders, dies hat uns alle wieder etwas versöhnt, hat eine produktive Lösung für den freien Willen gefunden: Zum einen postuliert er unter Bezug auf Benjamin Libet ein „Vetorecht“ des Bewusstseins: Wir hätten einen freien Willen, weil „das Bewußtsein [...] die Handlung zwar nicht beginnen [kann], es kann aber beschließen, daß sie nicht realisiert wird“ (ebd.: 351). Zum anderen führt er als neue Kategorie das „Selbst“ ein, das dem Bewusstsein sozusagen vorgelagert sei (ebd. 361ff.). Das „Ich“ sei der bewusste Akteur (und dieser sei eben nicht frei, sondern gaukle uns freie Entscheidungen nur vor), das Selbst dagegen, d.h. die „Person im übrigen“, sei „frei“ und habe Einfluss auf das Ich (ebd.: 370).

Neben dem Thema „Bewusstsein“, das uns eine ganze Weile beschäftigt hat, wollten die SchülerInnen etwas über die Entwicklung des Gehirns wissen. Außerdem hatten sie viele Fragen zu den Themen Lernen/Gedächtnis und Drogenwirkungen auf das Gehirn. In der Stunde direkt vor der Klausur wollte eine Schülerin über die Aktivität des Gehirns beim Schlafen und Träumen sprechen – diese Frage habe ich nicht ausführlich thematisiert, weil ich einer Klausuraufgabe nicht vorgreifen wollte. Dennoch hat es mir gut gefallen, dass die Schülerin sozusagen eine Klausuraufgabe antizipiert

hat bzw. ich mit der Klausuraufgabe einen Themenwunsch der SchülerInnen getroffen habe.⁴⁸ Alle zuletzt genannten Themen haben sich *nicht* direkt aus dem Einstieg über die optischen Täuschungen ergeben. Weder die Ontogenese und Phylogenese des Gehirns noch die Themen Lernen, Drogen und Schlafen/Träumen lassen sich m.E. sinnvoll aus dem von mir gewählten Einstieg erschließen. Die Unterrichtsreihe hat aber gezeigt, dass es nicht nötig ist, dass sich *alle* Themen direkt aus einem Einstieg ergeben. Wenn es gelingt, das Interesse der SchülerInnen zu wecken und Neugier, „Rätselfest“ sowie eine fragende, forschende Haltung bei ihnen herbeizuführen, kann man darauf vertrauen, dass sie auch selbst auf zentrale Fragen stoßen und diese in den Unterricht einbringen werden. Berck nennt einen Unterricht, der solchermassen die Fragen und Ideen der SchülerInnen zu „Leitlinien von Unterrichtsstunden und Unterrichtseinheiten“ macht, Unterricht nach „konstruktivistischen Prinzipien“ (BERCK 1999: 41) – wo könnte ein solcher Unterricht noch mehr angebracht sein als bei einer Einheit zum konstruktiv tätigen, sich selbst organisierenden Gehirn?

In der Planung der Unterrichtseinheit hatte ich auch über eine Alternative zu dem von mir ausgewählten Einstieg nachgedacht. Eine weitere Möglichkeit, in das Thema Gehirn einzusteigen, beträfe das Thema Sprache/Sprachverarbeitung und Gehirn. Aufgrund von Forschungen an Patienten mit Hirnschäden ist die Hirnforschung in der Lage, bestimmte Funktionen der Sprachproduktion und -rezeption spezifischen Regionen der Großhirnrinde zuzuordnen. Mit Hilfe von Informationen über unterschiedliche Aphasien infolge von Hirnverletzungen an unterschiedlichen Stellen könnten die SchülerInnen die Spezialisierung der Hirnrinde für bestimmte Aufgaben fordern; von dieser Forderung ausgehend könnte die „Architektur“ des Gehirns erarbeitet werden. Ich habe mich gegen diesen Weg entschieden, weil Erkenntnisse zur Sprache im Zusammenhang mit dem Gehirn in erster Linie an Patienten mit Hirnschäden, nicht aber anhand eigener Beobachtungen gewonnen werden können.

Rückblickend habe ich außerdem überlegt, ob ich die optischen Täuschungen auch schon zu einem früheren Zeitpunkt hätte einbringen können. So wäre durchaus denkbar, mit den optischen Täuschungen schon in das Thema Sinnesorgane, ggf. sogar in die Nervenphysiologie einzusteigen. In einem solchen Fall müssten anhand der opti-

⁴⁸ Wenn uns mehr Zeit zur Verfügung gestanden hätte, hätte ich gerne mit den SchülerInnen noch über Gehirnerkrankungen (z.B. Alzheimer, Parkinson, Epilepsie, Depressionen, Schizophrenie), über Schmerz (vgl. beispielsweise BAYRHUBER; PRECHTL 1998) und über „Sprache und Kognition“ gesprochen.

schen Täuschungen nicht nur Besonderheiten des Sinnesorgans Auge, sondern auch Forderungen an die weiterverarbeitenden Strukturen zu stellen sein. Ich verbinde mit einem solchen „Unterrichtsgroßprojekt“ einige Gefahren: Zum einen glaube ich, dass es kaum möglich ist, dass SchülerInnen, denen jegliche Grundkenntnisse aus der Nervenphysiologie fehlen, anhand optischer Täuschungen sinnvolle Forderungen an Nervenzellen stellen können. Zum anderen befürchte ich, dass der Bogen, den die optischen Täuschungen in diesem Falle zu schlagen hätten, zu groß ist, dass die Zusammenhänge und Rückbezüge nur schwer sichtbar zu machen sind und die Schwierigkeiten und die sehr lange Zeit, die zum Lösen des spannenden Rätsels der optischen Täuschungen benötigt wird, dazu führen, dass zumindest einige SchülerInnen lust- oder mutlos aufgeben. Aus verschiedenen Gründen halte ich das in dieser Arbeit vorgestellte Vorgehen für sinnvoller:

- Die SchülerInnen können so bereits erarbeitetes Wissen aus der Nerven- und Sinnesphysiologie in einem neuen Zusammenhang einbringen. Auf diese Weise gelingt es ihnen, verschiedene Wissensgebiete selbst zu verknüpfen und eigene Kenntnisse anzuwenden.
- Der Spannungsbogen, der durch den Einstieg aufgebaut wird, wird nicht „überspannt“. Sofort, dies hat die Einstiegsstunde gezeigt, können sinnvolle Vermutungen über die Arbeitsweise des Gehirns aufgestellt werden. Und relativ schnell können erarbeitete Ergebnisse wieder auf die optischen Täuschungen zurückbezogen werden. Die SchülerInnen kommen also recht bald zu Erfolgserlebnissen: Ein Erkenntnisgewinn führt dazu, dass sie optische Täuschungen erklären können.
- Nicht zuletzt lassen sich zum Thema Sinnesorgane genug andere motivierende und interessante „Versuche“ in den Unterricht einbeziehen⁴⁹, so dass es nicht nötig ist, schon hier die optischen Täuschungen zu nutzen.

Ich bin nicht nur mit dem gewählten Einstieg, sondern auch mit der gesamten Unterrichtseinheit zum Gehirn, zur aktuellen Hirnforschung zufrieden. Die SchülerInnen haben an einem elementaren Thema Einsichten, die für die Biologie grundlegend sind, gewinnen können. Sie haben biologische Erkenntnisse in weiten Teilen selbst herausgefunden und auch etwas darüber gelernt, wie man zu diesem Wissen gekommen ist. Dank der optischen Täuschungen haben sie das Thema Gehirn nicht völlig abstrakt,

⁴⁹ Viele dieser Versuche können von SchülerInnen sogar in Eigenregie durchgeführt werden. Bei der Präsentation der Gruppenarbeit zu den Sinnesorganen haben viele Gruppen solche Versuche durchgeführt: z.B. zum Richtungshören, zum Schmecken und Riechen, zum Fühlen, zum Sehfeld, zum blinden Fleck und zu Nachbildern.

sondern anhand „augenscheinlicher Phänomene“ erarbeiten können. Und dass sie an einem für den Menschen fundamental bedeutsamen Thema gearbeitet haben, zeigen die neuesten Ergebnisse der Hirnforschung, die geeignet sein könnten, unser Selbstverständnis in Frage zu stellen und zu verändern.⁵⁰

Auf zwei Schwierigkeiten, die ich im Zusammenhang mit meiner Unterrichtsreihe sehe, würde ich abschließend gerne eingehen.

Zum einen befürchte ich, dass in dem dicht gedrängten „Fachkanon“ kaum die Möglichkeit besteht, sich mit dem Thema Gehirn so ausführlich zu beschäftigen. Da Frau Michael und ich das Thema Evolution, das eigentlich im Schulhalbjahr 13/II im Mittelpunkt stehen sollte, immer wieder im Zusammenhang mit anderen biologischen Themen in den Unterricht eingebracht haben, erschien es mir gerechtfertigt, mir im Halbjahr 13/II die Zeit, die wir für das Gehirn benötigt haben, auch zu nehmen. Das Ergebnis zeigt m.E., dass diese Entscheidung richtig war.

Zum anderen bin ich mir bewusst, dass das Einbeziehen aktueller Forschungsergebnisse in den Biologieunterricht im normalen Schulalltag nicht immer möglich sein wird. Bedauerlicherweise wird man wohl nur selten Zeit haben, sich so intensiv mit einem Thema zu beschäftigen – und auch die sehr kooperativen und unglaublich hilfsbereiten Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung in Frankfurt werden nicht immer die Möglichkeit haben, so hilfreich zur Verfügung zu stehen. Ich freue mich, dass ich durch das HeLP-Seminar und den Kontakt mit Herrn Neuenschwander und Herrn Baron die Chance hatte, einen aktuellen Forschungsbereich näher kennen zu lernen. Im Ausblick dieser Arbeit werde ich ein spannendes Projekt des Stadtschulamtes Frankfurt und des Max-Planck-Instituts vorstellen und außerdem den Versuch unternehmen, einen möglichen Weg aufzuzeigen, wie meine doch eher zufällig gemachten Erfahrungen mit dem Max-Planck-Institut auch für andere nutzbar gemacht werden könnten.

⁵⁰ In den vorangegangenen Ausführungen begründe ich mithilfe des exemplarischen Prinzips nach Wagenschein (vgl. hierzu die Zusammenfassung bei BERCK 1999: 55ff.).

6 Ausblick

Wie können aktuelle Forschungsergebnisse möglichst direkt (und nicht erst mit jahrzehntelanger „Verspätung“, nämlich durch die universitäre Ausbildung von neuen LehrerInnen) sowie anschaulich und motivierend in Schulen eingebracht werden?

Das unter maßgeblicher Beteiligung von Prof. Dr. Wolf Singer ins Leben gerufene Projekt „Brücken schlagen“ des Stadtschulamtes Frankfurt und der BHF-Bank-Stiftung will genau dieses Ziel erreichen: Das Projekt ermöglicht (und finanziert) den Kontakt zwischen Experten aus den unterschiedlichsten Forschungsinstituten im Großraum Frankfurt mit OberstufenschülerInnen – und will eine Brücke schlagen zwischen denen, die Wissenschaft „machen“ und denen, die sich auf wissenschaftliches Arbeiten vorbereiten (vgl. den Antrag des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung für den Öffentlichkeitspreis zu diesem Projekt). Zwei Ziele werden mit dem Informations- und Diskussionsangebot des Projektes „Brücken schlagen“ verfolgt: Zum einen soll der naturwissenschaftliche Unterricht praxisnah und am aktuellen Wissenstand orientiert werden; zum anderen sollen SchülerInnen durch den „Einblick in den Forschungsalltag“ (hoffentlich) motivierende Anregungen für die Wahl ihres Studienfaches erhalten.⁵¹

Auch ich hatte darüber nachgedacht, wie andere LehrerInnen von den überaus positiven Erfahrungen, die ich mit dem MPIfH gemacht habe, profitieren können. In Gesprächen mit Dr. Sergio Neuenschwander vom MPIfH in Frankfurt entstand die Idee, Informationen zur aktuellen Hirnforschung und Informationen zum MPIfH (mit einem kurzen Filmbeitrag) zusammen mit der Balken-Rautengitter-Animation und anderen optischen Täuschungen auf eine CD-ROM für LehrerInnen zu brennen. Die optischen Täuschungen sollten jeweils mit Erklärungen, durch welche Leistungen des Gehirns sie zustande kommen, „verlinkt“ sein. Komplettiert würde die CD-ROM durch bausteinartige Vorschläge, wie einzelne Unterrichtsstunden zum Thema Gehirn/aktuelle Hirnforschung gestaltet werden könnten. Eine solche CD-ROM wäre für LehrerInnen, die sich auf eine Unterrichtseinheit zum Gehirn vorbereiten, sicherlich eine hilfreiche Unterstützung und Anregung.

Dieses von Herrn Neuenschwander und mir geplante Projekt ist der Grund, warum ich im Anhang dieser Arbeit meine Unterrichtseinheit so ausführlich dokumentiere und

⁵¹ Interessierte LehrerInnen können beim „Verein Jugendbildung e.V.“ im Schuldezernat der Stadt Frankfurt Weiteres über das Projekt „Brücken schlagen“ erfahren.

den Versuch unternehme, die optischen Täuschungen auf der Basis meiner Kenntnisse aus der aktuellen Hirnforschung zu erklären. Mittlerweile sind mir bedauerlicherweise die immensen Schwierigkeiten (weniger technischer als vor allem urheberrechtlicher und „distributiver“ Art), die mit unserem CD-ROM-Projekt einhergehen, bekannt. Ich bin gespannt, ob sich in einem zweiten Anlauf – nach meinem zweiten Staatsexamen – doch noch ein Weg ergeben wird, „Optische Täuschungen als Einstieg in die aktuelle Hirnforschung“ auf CD-ROM zu bannen.

7 Literatur

Assheuer, Thomas; Schnabel, Ulrich (2000): Wer deutet die Welt? Ein Streitgespräch zwischen dem Philosophen Lutz Wingert und dem Hirnforscher Wolf Singer über den freien Willen, das moderne Menschenbild und das gestörte Verhältnis zwischen Geistes- und Naturwissenschaften. In: DIE ZEIT Nr. 50, 7.12.2000.

Bartmann, Rita (2001): Entwurf zum fünften Unterrichtsbesuch im Fach Biologie. Thema der Unterrichtseinheit: Das Gehirn // Thema der Unterrichtsstunde: Einstieg: Wie verarbeitet das Gehirn Eindrücke der Augen?

Bayhuber, Horst; Prechtel, Helmut (1998): Funktionen des Gehirns. In: Unterricht Biologie 233/1998, S. 4-13.

Berck, Karl-Heinz (1999): Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden. Wiebelsheim: Quelle und Mayer.

Bömer, Brigitte; Fahrenhorst, Hartmut; Rist, Uwe (1995): Sinne erschließen die Umwelt. Wie Mensch, Tier und Pflanze ihre Umwelt wahrnehmen. Mühlheim: Verlag an der Ruhr.

Crick, Francis; Koch, Christof (1992): Das Problem des Bewußtseins. In: Spektrum der Wissenschaft, November 1992, S. 144-152.

DAS BESTE (1976): Optische Täuschungen. Illusionen und Merkwürdigkeiten, Unbegreifliches und Unmögliches. Stuttgart: DAS BESTE GmbH.

DER SPIEGEL (1992): „Lernen, wie Geist funktioniert“ – Forscher erkunden das Bewußtsein, Teil 1. In: DER SPIEGEL 10/1992, S. 218-236.

DER SPIEGEL (1992): „Lernen, wie Geist funktioniert“ – Forscher erkunden das Bewußtsein, Teil 2. In: DER SPIEGEL 11/1992, S. 238-254.

DER SPIEGEL (1996): Neurologie. Kommandos aus dem Bauch. In: DER SPIEGEL 10/1996. S. 210-213.

Dröschner, Vitus B. (1991): Magie der Sinne im Tierreich. München: dtv. ⁵1991.

Ernst, Bruno (1986): Der Zauberspiegel des M.C. Escher. Berlin: Taco Verlagsgesellschaft.

Eschenhagen, Dieter (1989): Didaktische Überlegungen zum Thema „Gehirn“. In: Unterricht Biologie 149/1989, S. 11.

Explora (1996): Ausstellungsführer zur Dauerausstellung „Visuelle Visionen“. Explora: Museum + Wissenschaft + Technik. Frankfurt am Main.

Frisby, John P. (1987): Optische Täuschungen. Sehen, Wahrnehmen, Gedächtnis. Augsburg: Weltbild-Verlag.

Gentil, Karl (1962): Optische Täuschungen. Experimentelle Behandlung für die Mittel- und Oberstufe. Köln: Aulis Verlag Deubner.

- Graf, Erwin** (1998): Gehirn – Kognition und Emotion. In: Biologie in der Schule 47/1998, S. 178-185.
- Greber, Elisabeth; Greber, Winfried** (1989): Funktionen der Großhirnrinde. In: Unterricht Biologie 149/1989, S. 41-47.
- Greving, Johannes; Paradies, Liane** (1996): Unterrichts-Einstiege. Ein Studien- und Praxisbuch. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Guss, Kurt** (1993): Folienmappe Optische Täuschungen. Borgentreich: Papillon Verlag.
- Hessisches Kultusministerium** (1994): Rahmenplan Gymnasiale Oberstufe, Aufgabenfeld III: Biologie.
- Hubel, David** (1989): Auge und Gehirn. Neurobiologie des Sehens. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaften Verlagsgesellschaft.
- Jendrszok, Susan** (1998): Auf der Suche nach den neuronalen Wurzeln der Sprache. In: Unterricht Biologie 233/1998, S. 42-47.
- Kandel, Eric R.; Hawkins, Robert D.** (1992): Molekulare Grundlagen des Lernens. In: Spektrum der Wissenschaft, November 1992, S. 66-76.
- Kandel, Eric R.; Schwartz, James H.; Jessell, Thomas M.,** Hrsg. (1996): Neurowissenschaften. Eine Einführung. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- Klebe, Inge; Klebe, Joachim** (1988): Durch die Augen in den Sinn. Ein epopulärwissenschaftliche Darstellung über richtiges Sehen und optische Täuschungen. Berlin; Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Körperwelten.** Einblicke in den menschlichen Körper. Ausstellungskatalog. Hrsg. vom Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim.
- Lindner-Effland, Martin; Pasdziemy, Bernhard; Reurink, Christiane; Schletter, Christoph** (1998): (Ein) Blick ins Gehirn. In: Unterricht Biologie 233/1998, S. 27-30.
- Luczak, Hania** (2000): Signale aus dem Reich der Mitte. Das „zweite Gehirn“. In: GEO, November 2000, S. 136-162.
- Maelicke, Alfred,** Hrsg. (1990): Vom Reiz der Sinne. Weinheim, New York, Basel: VCH Verlagsgesellschaft.
- Max-Planck-Institut für Hirnforschung** (2000): Antrag für den Öffentlichkeitspreis zu dem Projekt „Brücken schlagen“. Per eMail erhalten von Herrn von Wangenheim.
- Nørretranders, Tor** (1994): Spüre die Welt. Die Wissenschaft des Bewußtseins. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag GmbH.
- Logothetis, Nikos K.** (2000): Das Sehen – ein Fenster zum Bewußtsein. In: Spektrum der Wissenschaft, Januar 2000, S. 36-43.

- Rock, Irvin** (1998): Wahrnehmung. Vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Roth, Gerhard** (1989): Das Gehirn und seine Leistungen. In: Unterricht Biologie 149/1989, S. 2-10.
- Roos, Roland** (1977): Unterrichtseinheit: Sinneswahrnehmung und Umwelt. In: Hessisches Institut für Lehrerfortbildung: Protokoll des Lehrgangs F 1164: Der Lernprozeß im Biologieunterricht. Hauptstelle Reinhardswaldschule, Fuldata, 1977, S. 134-181.
- Schletter, Jens Christoph** (1998): Gedächtnisnetze. In: Unterricht Biologie 233/1998, S. 31-36.
- Schmidkunz, Heinz; Lindemann, Helmut** (1999): Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Hohenwarleben: Westarp Wissenschaften. ⁵1999.
- Sievert, Andrea; Greber, Wilfried** (1998): Hirnfunktionen sichtbar gemacht. In: Unterricht Biologie 233/1998, S. 37-41.
- Singer, Wolf** (1998): Das Bild im Kopf – ein Paradigmenwechsel. In: Ganten, Detlev (Hrsg.): Gene, Neurone, Qubits & Co. Unsere Welt der Information. Stuttgart: S. Hirzel Verlag, S. 267-278.
- Singer, Wolf** (1992): Das Gehirn: Ein biologisches Lernsystem, das sich selbst organisiert. In: Klivington, Kenneth A.: Gehirn und Geist. Heidelberg, Berlin, New York: Spektrum Akademischer Verlag, S. 174-178.
- Spitzer, Manfred** (2000): Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Thadden, Elisabeth von** (2001): Nur das Beste für das Kind. In: Die Zeit Nr. 5 / 25.1.2001.
- Traufetter, Gerald** (2001): Demut vor dem letzten Rätsel. Mit der Erforschung des Bewusstseins stößt die Wissenschaft an ihre Grenzen: Ist das Gehirn des Menschen mit seinem Gewirr von Milliarden Nervenzellen fähig, sich selbst zu erkennen? In: DER SPIEGEL 1/2001, S. 148-153.
- Traufetter, Gerald; Grolle, Johann** (2001): Das falsche Rot der Rose. SPIEGEL-Gespräch mit Wolf Singer. In: DER SPIEGEL 1/2001, S. 154-160.
- Vester, Frederic** (²³1996, Erstauflage 1975): Denken, Lernen, Vergessen. Was geht in unserem Kopf vor, wie lernt das Gehirn und wann läßt es uns im Stich? München: dtv.
- von Wangenheim, Klaus et al. („BiologInnen-Stammtisch“)** (o.J.): Unterrichtsgang und Materialien zum Thema „Sehen“. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Wehner, Rüdiger; Gehring, Walter** (1990): Zoologie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, ²²1990.

Wolf, Rainer (1999): Das elfte Gebot: „Du sollst dich nicht täuschen!“ In: Skeptiker 12. 4/1999, S. 140-149.

Zanker, Johannes M. (1994): Illusionen als Schlüssel zur Wirklichkeit. Optische Täuschungen und die Arbeitsweise des Gehirns. In: Naturwissenschaftliche Rundschau Heft 8/1994.

Zeki, Semir M. (1992): Das geistige Abbild der Welt. In: Spektrum der Wissenschaft, November 1992, S. 54-63.

Schulbücher

C.C. Buchner: Vita nova. Biologie für die Sekundarstufe II. Von Hartmut Solbach. Bamberg: C.C. Buchner Verlag, 2000.

Cornelsen Biologie 7-10: Biologie 7 – 10 Hessen. Von Reiner Kleinert et al. Berlin: Cornelsen Verlag, 1997.

Cornelsen Biologie Oberstufe: Gesamtband. Herausgegeben von Ulrich Weber. Berlin: Cornelsen Verlag, 2001.

Klett Natura Biologie für Gymnasien Band 2: 7. bis 10. Schuljahr. Von Roman Claus et al. Stuttgart, Düsseldorf, Leipzig: Ernst Klett Verlag, ⁹1998.

Klett Natura Biologie für Gymnasien Band 3: Oberstufe. Von Horst Bickel et al. Stuttgart, Düsseldorf, Leipzig: Ernst Klett Verlag, ⁵1998.

Klett Natura Oberstufe Themenheft: Neurobiologie und Verhalten. Von Horst Bickel et al. Stuttgart, Düsseldorf, Leipzig: Ernst Klett Verlag, 1997.

Schroedel Biologie heute: Sekundarstufe II. Ein Lehr- und Arbeitsbuch. Herausgegeben von Wolfgang Miram und Karl-Heinz Scharf. Hannover: Schroedel Schulbuchverlag, 1997.

Schroedel Materialien für die Sekundarstufe II Biologie: Informationsverarbeitung. Reizphysiologie. Sinnesphysiologie, Neurophysiologie; Kybernetik. Von Wolfgang Miram. Hannover: Schroedel Schulbuchverlag, 1978.

8 Anhang

Inhaltsverzeichnis des Anhangs

1. Auflistung und Quellennachweise für die optischen Täuschungen	Anhang 1-3
2. Welche gehirnspezifischen Prozesse liegen bestimmten optischen Täuschungen zugrunde? (Mögliche Erklärungen zu den optischen Täuschungen)	Anhang 4-15
3. Material: Optische Täuschungen	Anhang 16-39
4. Auflistung und Quellennachweise für die Arbeitsblätter	Anhang 40
5. Material: Arbeitsblätter	Anhang 41-67
6. Kurzübersicht über die Unterrichtseinheit „Gehirn/aktuelle Hirnforschung“	Anhang 68-69
7. Verlauf der Unterrichtseinheit „Gehirn/aktuelle Hirnforschung“	Anhang 70-84
8. Tabellarische Verlaufsplanung der Einstiegsstunde in die Unterrichtseinheit „Gehirn/aktuelle Hirnforschung“	Anhang 85-86
9. Drei Bearbeitungen der ersten Klausuraufgabe durch SchülerInnen	Anhang 87-92

Der Anhang kann in der ausgedruckten Version meiner Arbeit im Studienseminar III für Gymnasien in Frankfurt am Main eingesehen werden.