

Sehen – Schülvorstellungen, wissenschaftliche Theorie und deren Vermittlung

Harald Gropengießer, Universität Hannover

Inhalt

Einleitung / 2

Die Vorstellungen der Lerner zum Sehen / 3

Wissenschaftliche Theorien zum Sehen / 10

Didaktische Strukturierung / 14

 Eine Sehtheorie und lebensweltliche Vorstellungen im Vergleich / 14

 Unterrichtsziele beim Thema Sehen / 15

 Grundsätze für die Planung / 15

 Lernvorstellungen zum Sehen: Ermittlung und Vermittlung im Unterricht / 16

 Orientierung / 17

 Die (Um-)Welt und die Welt der Wahrnehmung / 18

 Blind für die eigene Blindheit / 20

 Transduktion: Kleine Schritte zum großen Unterschied / 21

 Notwendige Scheidung der Welten / 22

 Die Sehwelt ist eine Denkwelt / 23

 Koordinierung der Sinne und Orientierung in der Umwelt / 24

 Korrespondenzen zwischen lebensweltlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen / 25

 Die Konstruktivität des Gehirns / 26

 Mit den Augen sehen / 27

 Sehen als Tätigkeit des Gehirns: Das Gehirn sieht / 27

 Wahrnehmung und Bewegung / 28

 Bedeutungshaftigkeit der Wahrnehmung / 29

 Sehen und Erinnern / 30

 Verlässlichkeit der Wahrnehmung / 31

 Sehen und Existenz / 31

 Sinnesorgan Auge / 32

 Sehen der anderen Art(en) / 34

 Fächerübergreifende Zusammenarbeit / 34

 Literatur / 35

Einleitung

Sehen ist eine überzeugende Sinneserfahrung: Wir sehen Personen, Gegenstände oder Landschaften klar und farbig vor uns. Erst wenn wir Teile dieser Fähigkeit verlieren, oder gar erblinden, wird deutlich, mit welcher Leichtigkeit und Selbstverständlichkeit wir üblicherweise sehen und welche große Rolle Sehen in unserem Leben spielt. So wundert es nicht, dass Wissen aus derselben Wurzel (vid) stammt, wie das lateinische videre (= sehen).

Wenngleich wir über unsere Sehfähigkeit verfügen, so können wir doch – von einigen grundlegenden Bedingungen wie Licht und Augenöffnen einmal abgesehen – nicht sagen, wie wir diese Fähigkeit zustande bringen. Auch steht die Leichtigkeit und Selbstverständlichkeit, mit der wir sehen, in krassem Widerspruch zu den Schwierigkeiten, ein wissenschaftliches Verständnis dieses Prozesses zu erlangen.

Üblicher Unterricht zum Sehen in den Fächern Physik und Biologie stellt das Auge ins Zentrum. Im Optikunterricht treffen Lichtstrahlen ins Auge, die von beleuchteten Gegenständen reflektiert werden oder direkt aus Lichtquellen stammen; dazu werden bilderzeugende Strukturen und Strahlengänge beschrieben. Im Biologieunterricht werden der Aufbau des Auges und die Funktionen der einzelnen Strukturen wie Hornhaut, Iris, Linse und Netzhaut behandelt. Das Ergebnis dieser üblichen unterrichtlichen Vermittlungsbemühungen ist enttäuschend. Die wissenschaftliche Sichtweise wird nur ausnahmsweise übernommen. Die Lerner verfügen meist – ohne dass ihnen das klar wäre – über zwei verschiedene, beziehungslos nebeneinander stehende Denkfiguren. Nach der einen sehen wir zu etwas hin; nach der anderen fällt Licht in unser Auge. Entsprechend ihrer Herkunft lässt sich die eine Denkfigur als lebensweltlich, die andere als wissenschaftsorientiert kennzeichnen. Aber selbst in wissenschaftsorientierten unterrichtlichen Zusammenhängen ziehen die Lerner die lebensweltlichen Vorstellungen vor. Wird dennoch auf die wissenschaftsorientierten Vorstellungen zurückgegriffen, erweisen sich diese als fragmentarisch und stark beeinflusst durch lebensweltliche Vorstellungen (Andersson & Kärrqvist 1983; Guesne 1984; 1992; Gropengießer 1997a, 129; 1997b, 78; Berge 2000, 12).

Aus der Perspektive einer konstruktivistischen Lerntheorie bietet sich eine Erklärung dieser Befunde der Schülervorstellungsforschung an: Die lebensweltlichen Vorstellungen der Lerner werden nicht oder viel zu wenig beachtet. Lebensweltlich gehen wir selbstverständlich davon aus, dass wir zu jemandem oder zum Horizont hin sehen oder dass wir in ein Behältnis hinein sehen, d.h. nach alltäglichem Erleben führt die Richtung des Sehens vom Auge des Sehenden zum Objekt. Im Unterricht zur Optik und zur Sinnesphysiologie des Auges führt die Richtung des Sehens dagegen vom Objekt zum Auge. Dieser Widerspruch wird üblicherweise im Unterricht nicht thematisiert. Die physikalischen und physiologischen Konzepte werden gelehrt, ohne sie mit lebensweltlichen Vorstellungen in Beziehung zu setzen.

Nicht zuletzt ist auch aus fachlicher Sicht Kritik zu üben. Mit dem Auge wird ein Organ in den Mittelpunkt des Unterrichts gestellt, welches zwar auch in modernen Sehtheorien eine wichtige Rolle spielt, aber die zentrale Rolle, die dem Gehirn heute zugemessen wird, kommt damit nicht in den Blick. Werden – wie heute üblich – vorzugsweise oder gar allein die Aspekte Optik und Sinnesphysiologie gelehrt, dann endet Sehen an der Netzhaut. Doch Sehen geht weit über das Auge hinaus. Sehen umfasst physikalische, neurobiologische, mentale und nicht zuletzt erkenntnistheoretische Aspekte. Wenn Sehen Unterrichtsthema ist, dann werden notwendigerweise erkenntnistheoretische Aussagen getroffen.

Beim Thema Sehen, besonders deutlich beim Auge, ist die Notwendigkeit fachübergreifenden Lernens offensichtlich. Das Auge und dessen Funktion ist ohne Optik und Sinnesphysiologie nicht zu begreifen. Die Lehrkräfte für Physik und Biologie sind hier aufgefordert, deutliche und sinnvolle Bezüge auf das jeweils andere Fach herzustellen und das unterrichtliche Vorgehen abzusprechen. Schwieriger erscheint dagegen die Forderung, Erkenntnistheorie als weiteren,

grundlegend fächerübergreifenden Zusammenhang zu vermitteln. Deshalb werden im Folgenden Unterrichts Anregungen zum Thema Sehen für Schüler ab der 9./10. Jahrgangsstufe vorgestellt, die sowohl von den Vorstellungen der Lerner ausgehen, als auch erkenntnistheoretische Aspekte einbeziehen. Dazu werden Lernangebote vorgestellt, die Seh-Erlebnisse und Seh-Erfahrungen ermöglichen, welche die Lerner an Widersprüche führen. Damit sind Voraussetzungen für Vorstellungsänderungen der Lerner gegeben, die ihre Vorstellungen daraufhin umdeuten und ausbauen oder auch neue Vorstellungen bilden können.

Zunächst werden ausgewählte Befunde der Lernervorstellungsforschung zum Sehen vorgestellt. Damit lassen sich die Perspektiven der Lerner erhellen. Dem werden moderne wissenschaftliche Konzepte des Sehens gegenübergestellt, die für die Vermittlung relevant sind. Die Sicht der Lerner und die wissenschaftliche Theorie werden zusammengebracht, indem Unterrichtsziele gesetzt und Grundsätze der Planung offengelegt werden. Weiterhin wird der Gang des Vermittlungsprozesses bis hin zur Unterrichts Anregung dargestellt. Dabei gilt die Aufmerksamkeit vor allem den Vorstellungen der Lerner und deren Veränderungen.

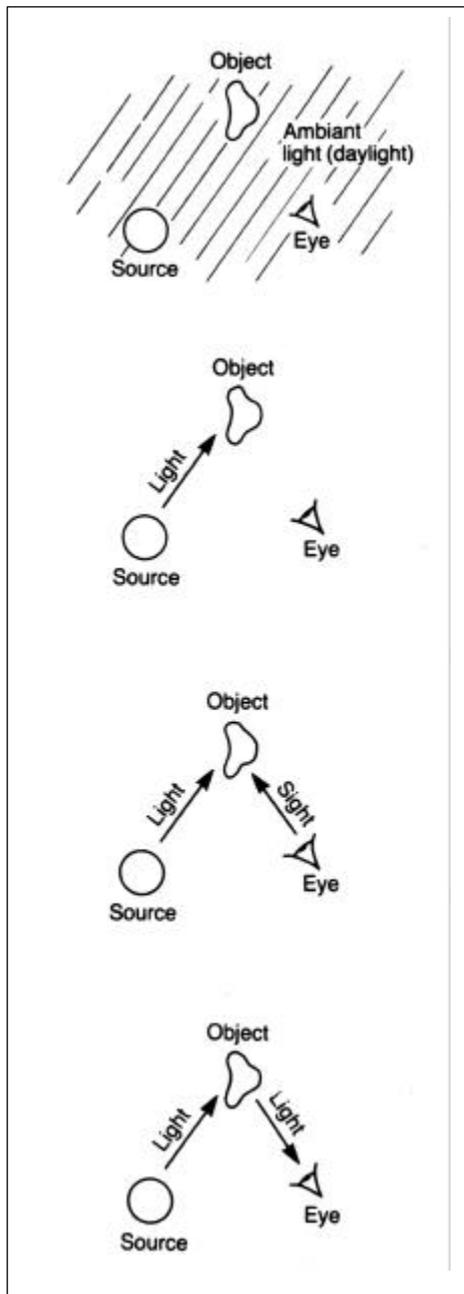
Die Vorstellungen der Lerner zum Sehen

Über Vorstellungen zum Thema »Sehen« liegen eine Reihe von Untersuchungen vor, die aus verschiedenen Bereichen stammen: aus der Psychologie (Piaget 1992), der Physikdidaktik (Jung 1981; 1982; Kärrqvist 1983; Andersson & Kärrqvist 1983; Guesne 1984; 1992; Rice & Feher 1987; Fetherstonhaugh & Treagust 1992; Reiner 1992; Wiesner 1992; Galili, Bendall & Goldberg 1993; Osborne, Meadows & Smith 1993; Whitworth & Millar 1994; Fleer 1996; Selley 1996a; b; Langley, Ronen & Eylon 1997) und der Biologiedidaktik (Gropengießer 1997a; 1997b; 1999).

Jean Piaget (1992, 55f.) berichtet von einigen Beobachtungen zum Thema Sehen und Licht. Bei einem fünfjährigen Knaben und einer Mitarbeiterin, die sich an ihre Kindheit erinnert, findet sich jeweils die Vorstellung, dass sich Blicke begegnen oder kreuzen können und sich dabei möglicherweise vermischen oder aufeinanderprallen. Die Mitarbeiterin fragt sich, warum man den Blick eines anderen Menschen nicht spürt, der auf die Wange blickt. In drei weiteren Fällen werden Sehen und Licht austauschbar. Für eine Zehnjährige sieht eine Lichtquelle und sie macht mit den Augen hell. Auch zwei Sechsjährige sprechen von sehenden Lichtquellen. In einem Fall machen auch die Augen hell, ein klein wenig auch in der Nacht, jedenfalls dann, wenn sie nicht geschlossen sind. Piaget (1992, 56) verallgemeinert: „Für diese Kinder ist der Blick zum Teil dem Auge äußerlich. Er geht aus dem Auge heraus, er gibt hell, und es lässt sich nicht einsehen, weshalb man ihn nicht spüren sollte.“

Edith Guesne (1984; 1992) befragt Schüler im Alter von 10 bis 11 und 13 bis 14 Jahren zu Vorstellungen über Licht mündlich und schriftlich. Licht wird von den Schülern einmal durch seine Quelle und seine Effekte oder als Zustand begriffen. Zum anderen verstehen einige wenige Befragte Licht als eigenes Ereignis im Raum zwischen Quelle und Effekt. Die Idee, dass Licht sich mit einer Geschwindigkeit im Raum bewegt, ist den Kindern sehr fremd. Die Vorstellungen über den Beitrag des Lichts zum Sehen lassen sich in vier Kategorien zusammenfassen (s. Abb. 1): Erstens umgibt das Licht die Quelle, den Gegenstand und das Auge, ohne dass eine Verbindung zwischen Gegenstand und Auge hergestellt würde (»Lichtsee«). Zweitens beleuchtet das Licht den Gegenstand, wobei es ebenfalls keine Verbindung zwischen Gegenstand und Auge gibt (»Beleuchtendes Licht«). Drittens stellen wenige Schüler sich zusätzlich ein Sehen als Bewegung vom Auge auf den Gegenstand vor (»Sicht«). Viertens haben sehr wenige Schüler die Vorstellung, dass Licht von einer Quelle auf das Objekt fällt und ins Auge reflektiert wird; dies gilt vor allem dann, wenn das Objekt nicht selbstleuchtend ist (»physikalisches Modell«). Die

vier Kategorien von Vorstellungen werden von Edith Guesne (1992, 28) hypothetisch als Skala begriffen und deshalb »Fortschritte in den Vorstellungen von 13- bis 14-jährigen hin zu einem physikalischen Modell« genannt.



1. Das Licht umgibt die Quelle, den Gegenstand und das Auge, ohne dass eine Verbindung zwischen Gegenstand und Auge hergestellt würde (»Lichtsee«).
2. Das Licht beleuchtet den Gegenstand, wobei es ebenfalls keine Verbindung zwischen Gegenstand und Auge gibt (»Beleuchtendes Licht«).
3. Wenige Schüler stellen sich zusätzlich ein Sehen als Bewegung vom Auge auf den Gegenstand vor (»Sicht«).
4. Sehr wenige Schüler haben die Vorstellung, dass Licht von einer Quelle auf das Objekt fällt und ins Auge reflektiert wird; dies gilt vor allem dann, wenn das Objekt nicht selbstleuchtend ist (»physikalisches Modell«).

Abb. 1. Kategorien von Vorstellungen 13- bis 14-jähriger zum »Sehen« (Guesne 1992, 28)

Die Vorstellungen von 12- bis 15-jährigen schwedischen Schülern über die Verbindungen zwischen Gegenstand und Auge beim Sehen werden schriftlich anhand einer Zeichenvorlage erhoben (Kärrqvist 1983, Andersson & Kärrqvist 1983). Darauf sind ein Mädchenkopf und ein Buch abgebildet und es wird eine Situation geschildert: Das fiktive Mädchen Lisa diskutiert mit ihrem Physiklehrer darüber, wie wir ein Buch sehen. Ein schriftlicher Dialog ist vorgegeben, in dem gesagt wird, dass Signale vom Auge über Nerven an das Gehirn gehen. Die

Aufmerksamkeit wird dann auf die Verbindung zwischen Auge und Buch gelenkt. Die Antworten werden in fünf Kategorien klassifiziert:

1. Es passiert nichts zwischen dem Buch und dem Auge.
2. Das visuelle System ist aktiv: Das Auge erfasst das Buch, Lisa stellt ihre Linse auf das Buch ein, ihre Augen konzentrieren sich auf das Buch.
3. Eine Art Strahlen (Wellen, Impulse, Blick, Sicht) geht vom Auge zum Buch. Manchmal passiert eigentlich auch gar nichts. Das Auge sieht das Buch. Es scheint Licht ins Auge, und Strahlen gehen von dort zum Buch.
4. Etwas geht rückwärts und vorwärts zwischen Auge und Buch: Das Auge sendet Strahlen aus, die zum Auge zurückkehren. Das Gehirn sendet Signale zum Auge, die zum Buch gehen und zurückkommen. Das Signal wirft auch ein umgekehrtes Buch zurück. Das Gehirn dreht dieses Bild richtig herum.
5. Etwas kommt ins Auge. Dies kann ein Bild sein. Es kann aber auch Licht sein als Wellen oder Photonen.

Sowohl vor dem Optikunterricht als auch danach geben relativ viele Schüler eine Antwort entsprechend (2). Der Anteil von Schülern, die entsprechend der Kategorie (5) antworten, steigt über die Jahre und liegt bei den 15-jährigen Schülern um 30%.

Studenten in Physik-Einführungskursen zweier amerikanischer Universitäten und Lehrerstudenten in Anfangssemestern werden von Galili, Bendall & Goldberg (1993) über ihre Vorstellungen zur Bildentstehung befragt. Zusammenfassend kennzeichnen die Autoren das Verständnis der Studenten als »holistisch«, weil die sich vorstellen, dass es immer das ganze Objekt ist, welches das ganze Bild verursacht. Als wesentliche Begriffe werden verallgemeinert:

- ganzes Objekt und ganzes Bild;
- optisches Gerät;
- Oberfläche für die Bildverortung und -beobachtung.

Als hauptsächliche Ideen werden genannt:

- Licht ist notwendig für die Bildentstehung und -beobachtung.
- Eine optische Einrichtung ist verantwortlich für die Entstehung eines ganzen Bildes aus dem ganzen Objekt.
- Nach der Bildentstehung guckt der Beobachter auf das Bild und sieht es.
- Eine Oberfläche ist notwendig für die Beobachtung und Verortung der Bilder.

Miriam Reiner (1992, 99f.) erhebt mit Gruppen-Interviews und -Diskussionen Muster des Denkens über Licht. Das Wesen des Lichts wird von den ca. 17-jährigen Schülern eines Elektrotechnik-Kurses in Israel verstanden als:

- Partikelstrom;
- Welle, ähnlich einer Wasserwelle oder einem Partikel auf einem wellenförmigen Weg;
- etwas, das im Raum existiert und diesen füllt;
- zusammenhängende Flüssigkeit, wie Wasser aus einem Druckschlauch.

Ein Gegenstand kann nach den Vorstellungen der Schüler gesehen werden, wenn:

- Licht vom Gegenstand das Auge erreicht.
- Licht drum herum ist.
- irgendein Lichtstrahl das Auge trifft.
- Licht das Auge verlässt und den Gegenstand trifft.
- Licht das Auge verlässt, den Gegenstand trifft und zum Auge zurückkehrt.

Eine Intervention, die die Rolle des Lichts klären kann, beschreibt Walter Jung (1981, 29f.; 1982, 217f.). Schülern der 8. und 9. Klassen wird ein Gedankenexperiment geschildert, zu dem sie anschließend schriftlich befragt werden: In einer Dunkelkammer liegt ein weißes Blatt Papier mit einem Rußfleck in der Mitte. Dann wird das Licht ausgeschaltet. Die Frage ist: „Kannst Du

das weiße Blatt noch sehen, vielleicht indem Du es in die Hand nimmst und ganz dicht vor Augen hältst?“ Auch nach dem Optik-Unterricht beantworten 21% bis 33% – erstaunlich viele Schüler, wie Walter Jung meint – diese Frage mit »Ja«. In den Begründungen für das »Ja« werden verschiedene Vorstellungen deutlich. Man kann es sehen, weil:

- (1) sich das weiße Papier vom schwarzen Hintergrund abhebt, oder das weiße Papier leuchtet.
- (2) das Weiße das Licht speichert.
- (3) man das Bild noch kurz in den Augen hat.
- (4) sich die Augen nur langsam an die Dunkelheit gewöhnen.
- (5) die Pupillen aufgehen, wenn das Blatt ganz nahe ans Gesicht gehalten wird.
- (6) das Blatt weiß ist und der Rußfleck nicht gesehen wird, das Weiß also eine Qualität ist, die man sieht.

Diese Befunde zeigen, dass das Wort »Licht« von Schülern nicht unbedingt in einem physikalischen Sinne verwendet wird. Vielmehr werden alltägliche Erfahrungen für die Lösung des Problems herangezogen: Starke Kontraste lassen sich auch nachts, wenn es im lebensweltlichen — aber nicht im physikalischen — Sinne »dunkel« ist, noch erkennen (1). Die Vorstellung, das Weiße könne Licht speichern (2), kann man auf Erfahrungen mit nach- oder selbstleuchtenden Flächen zurückführen, wie sie heute vielfältig zu finden sind, u.a. auf Zifferblättern oder als sternförmige Folien an den Decken von Kinderzimmern. Das Bild, welches man noch kurz vor Augen hat (3), weist auf Erfahrungen mit Nachbildern hin oder auch auf die mentale Möglichkeit, etwas vor sein »inneres Auge« zu stellen. Auch die Begründung, dass sich die Augen langsam an die Dunkelheit gewöhnen (4), geht auf eine lebensweltliche Erfahrung zurück. Mehr wissenschaftsorientiert scheint die Formulierung zu sein, die Pupillen gingen auf, wenn das Blatt ganz nahe ans Gesicht gehalten wird (5). Aber auch lebensweltlich macht diese Aussage Sinn: Bei schlechter Beleuchtung führen wir das Objekt näher an das Auge, um besser sehen zu können.

In den Vorstellungen zur Funktion des Auges ist das Auge oft aktiv: Dreiviertel der 13- bis 15-jährigen australischen Schüler sagen, dass wir sehen, indem wir gucken und nicht, indem Licht in unsere Augen reflektiert wird (Fetherstonhaugh & Treagust 1992, 660). Die Autoren vermuten dahinter die Idee eines Sehstrahls. Selbst nach dem dies im Unterricht thematisiert und die fachliche Sichtweise dargestellt wurde, sagt dies noch einer von vier Schülern — ein Hinweis auf die außerordentliche Resistenz solcher Vorstellungen.

Mit problemzentrierten, leitfaden-strukturierten Einzelinterviews werden von Harald Gropengießer (2001; 1997b) Vorstellungen von Schülern der 11. Klassenstufe über »Sehen« erhoben. Dabei wird u.a. die Aufgabe gestellt, eine Vorlage, auf der ein Kopf und eine Rose abgebildet sind, zeichnerisch zu ergänzen und »Sehen« darzustellen (s. Abb. 2). Die Interviewpartnerin Anna zeichnet dabei einen Pfeil vom Auge auf die Rose („Blickrichtung“), wie auch zwei Pfeile in Richtung auf das Auge, die sie mit „Bild“ beschriftet. Anna kommentiert dies folgendermaßen (redigierte Aussagen): „Das Auge hat die Rose erfasst, das ist das Sehen und das Erkennen, dass das eine Rose ist. Im Gehirn ist das irgendwie auch, was von beiden Augen reingeleitet wird. Man hat auch irgendwann einmal gelernt, dass es eine Rose ist, so dass es dann im Sehzentrum auch automatisch abläuft.“ Und weiter: „Die Richtung ist eigentlich hin und zurück: dass man die Rose sieht sozusagen, dass aber auch das Bild in das Auge reinfällt, und dass die Nerven das weiterleiten ins Gehirn.“ Um dann fortzufahren: „Das Bild der Rose fällt durch die Pupille hinten verkehrt herum auf die Netzhaut, so dass man sie darauf malen könnte. Dies bezieht sich nur auf das Auge und nicht auf das Sehen. Die Blickrichtung ist anders herum das, was man sieht. Man guckt dahin, um das Bild, die Rose zu erkennen.“ Anna unterscheidet also zwei Richtungen: einerseits das Sehen und Hingucken mit der Blickrichtung vom Auge zum Gegenstand und andererseits das Bild, welches vom Gegenstand in das Auge reinfällt.

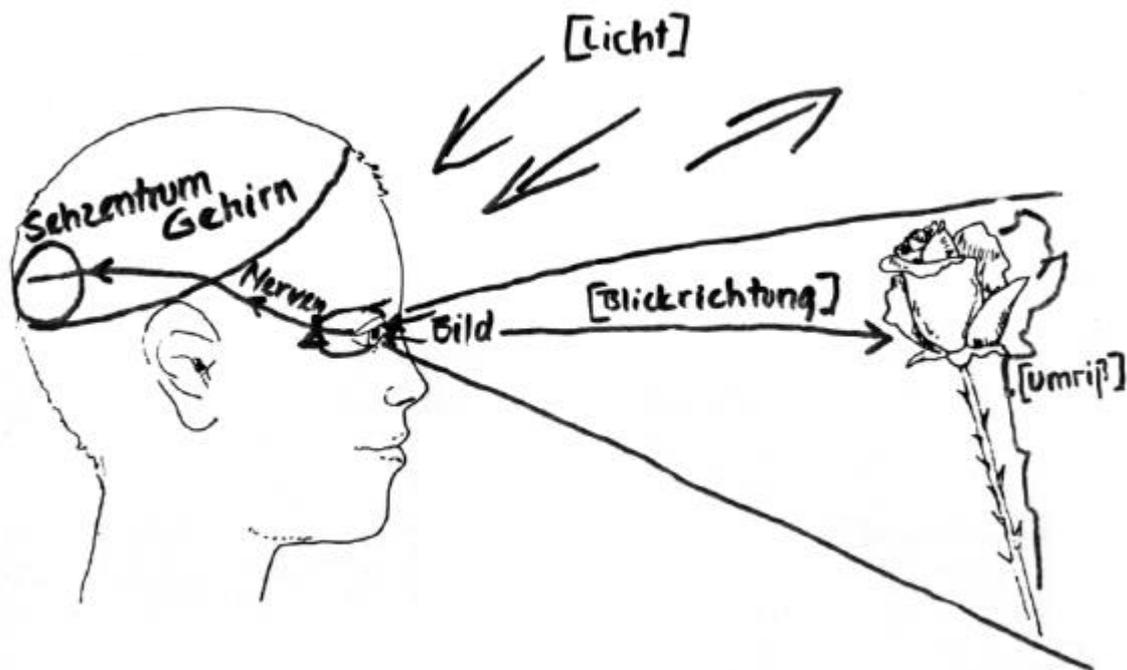


Abb. 2. Von der Schülerin Anna (11. Klassenstufe) ergänzte Zeichenvorlage

Die Befunde der Untersuchung (Gropengießer 1997, 78f; vgl. auch Gropengießer 1999, 73f; Merzyn 2001, 177f) können in drei Denkfiguren verallgemeinert werden (s. Abb. 3): Wir haben es zunächst mit der grundlegenden und kaum hinterfragten Überzeugung darüber zu tun, dass die Dinge existieren (Seinsbehauptung) und dass sie so gesehen werden, wie sie sind (Erkennbarkeit). Dies lässt sich als Denkfigur »Alltäglicher Realismus« kennzeichnen. Auf der Grundlage dieses »Alltäglichen Realismus« verfügen die Interviewpartner gleich über zwei Denkfiguren, nach denen Sehen funktionieren soll: Einerseits die Denkfigur »Evidenz« und andererseits die Denkfigur »Instruktion«. Charakteristisch für die Denkfigur der Evidenz ist das Konzept der Extrospektion, also das Hingucken, Draufsehen und Hineinsehen. Dabei braucht man das Auge (Okuläres Sehen), wobei ein »ich« oder »man«, also ein bewusstes Selbst sieht. Das Gesehene ist fast immer etwas, eine Person, ein Gegenstand oder ein Ereignis (Begriffliches Sehen) und nur in Ausnahmefällen ein zufälliges Muster. Bei der Denkfigur der Evidenz handelt es sich also um einen Komplex von Konzepten, die aus den lebensweltlichen Körper- und Wahrnehmungserfahrungen erwachsen sind. Anders dagegen bei der Denkfigur »Instruktion«: Dabei handelt es sich um wissenschaftsorientierte (wenn auch nicht unbedingt wissenschaftliche) Vorstellungen darüber, wie Sehen funktioniert. Sehen beginnt beim Objekt, von dem ausgehend Bilder, Eindrücke, Strahlen, Licht oder Farben in das Auge gelangen. Das Gehirn, das

Bewusstsein, die Vorstellung oder allgemeiner die wahrnehmende Instanz wird darüber instruiert, wobei diverse weitere Mittel und Stationen herangezogen werden. In diesem Falle ist die Richtung des Sehens also genau anders herum als bei der Denkfigur »Evidenz«.

Denkfigur Evidenz:

Wenn man wo hinsieht, wo draufguckt, dann sieht man das einfach, was da ist.

- *Okuläres Sehen:* Zum Sehen braucht man das Auge.
- *Extrospektion:* Ausgehend vom Auge führt das Gucken oder Sehen in Richtung auf den Gegenstand.
- *Bewusstes Selbst:* Ich selbst bin es, der/die sieht.
 - *Begriffliches Sehen:* Das Gesehene ist etwas Bestimmtes, man erkennt und weiß, was man sieht.

Denkfigur Instruktion:

Beim Sehen instruiert das Objekt die wahrnehmende Instanz.

- *Introdirektionale Wahrnehmung:* Sehen fängt beim Objekt an, verläuft durch das Auge und endet bei der Wahrnehmungsinstanz.
- *Rezeption:* Das Auge nimmt etwas auf (Bilder, Eindrücke, Strahlen, Licht, Farben). (Die Mittel und Stationen dieser Instruktion werden sehr unterschiedlich und dabei manchmal auch stark abweichend von wissenschaftlichen Konzepten beschrieben.)

Denkfigur Alltäglicher Realismus:

Die Dinge existieren und sie werden so gesehen wie sie sind (ontologischer & epistemologischer Realismus).

Abb. 3. Wesentliche Konzepte (•) und Denkfiguren zum Sehen (Gropengießer 1997a; 1997b)

In den Vorstellungen der Lerner lassen sich regelmäßig mindestens drei Brüche, Nachdenklichkeiten oder Widersprüche markieren (Gropengießer 1997a; 1997b):

- Gucke ich vom Auge in Richtung auf den Gegenstand oder nehme ich beim Sehen etwas auf?
- Ist das, was ich sehe, ein Bild vor Augen oder ein Bild im Kopf?
- Handelt es sich beim Sehen um ein geistiges Erleben oder um physikalische und körperliche Vorgänge?

Die Brüche führen entlang der Unterscheidung von lebensweltlichen und wissenschaftsorientierten Vorstellungen, sie tun sich also zwischen den Denkfiguren der Evidenz und der Instruktion auf. Diese disparaten Vorstellungen lassen sich nicht nur zwischen verschiedenen Lernern (interindividuell) aufzeigen, sie finden sich vor allem auch in einzelnen Köpfen (intraindividuell). Mit der recht häufigen intraindividuellen Diversität des Denkens zum Sehen sind die Voraussetzungen für ein Lernen am Widerspruch besonders günstig. Allerdings müssen die Brüche und Widersprüche deutlich herausgearbeitet werden, was Zeit, Anstrengung und ein akzeptierendes Klima in der Lerngruppe verlangt.

Abschließend soll der Versuch unternommen werden, die Befunde der Lernervorstellungsforschung zum Sehen zusammenzufassen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den erkenntnistheoretischen, vor allem aber auf den lebensweltlichen Vorstellungen zum Sehen. Dies bietet sich aus zwei Gründen an: Erstens weisen gerade lebensweltliche Vorstellungen

Ähnlichkeiten in ihren Grundzügen auf und sie lassen zudem eine hohe Resistenz gegen Veränderungen durch Lernen erwarten. Deshalb verdienen sie besondere Aufmerksamkeit bei der Vermittlung. Zweitens zeigen wissenschaftsorientierte Lernervorstellungen entsprechend der unterschiedlichen individuellen Lerngeschichten eine fast beliebige Diversität.

Ganz allgemein lässt sich zunächst festhalten, dass üblicher Unterricht wenig erfolgreich bei den Themen Licht und Sehen ist. Lebensweltliche Vorstellungen sind weit verbreitet und zeigen hohe Resistenz und Penetranz. Wir haben es hier mit einem Primat lebensweltlicher Vorstellungen zu tun. Weiterhin wird eine Dichotomie des Denkens deutlich: Disparate lebensweltliche und wissenschaftsorientierte Vorstellungen finden unbemerkt nebeneinander in einem Kopfe Platz. Lebensweltliche Vorstellungen können auch wissenschaftlich eingekleidet werden (Hybridvorstellungen).

Zusammenfassung wichtiger Befunde zu lebensweltlichen Vorstellungen vom Sehen

1. Alltäglicher Realismus: Es herrscht die Überzeugung, dass die Dinge so gesehen werden, wie sie sind (epistemologischer Realismus) und nicht zuletzt, dass sie sind (ontologischer Realismus).
2. Ich und das Auge: Als Instanz des Sehens wird wahlweise angenommen, dass Ich sehe oder das Auge sieht.
3. Sehen ist einfach: Man guckt dahin und dann sieht man das. Dabei passiert eigentlich nicht viel zwischen Objekt und Auge.
4. Sehen ist Aktivität: Sehen ist eine Tätigkeit – die Lider werden geöffnet, der Kopf wird gewendet, die Augen werden gerichtet und es wird genau und aufmerksam hingesehen.
5. Sehen ist Hingucken: Die Richtung des Sehens führt vom Auge zum vor mir liegenden Gegenstand hin. Fasslich (verdinglicht) werden kann der Blick z. B. als Sehstrahlen, Wellen oder Impulse, die vom Auge ausgehen. Blicke können sich auf diese Weise begegnen oder vermischen oder auch spürbar werden.
6. Sehen ist Erkennen: Man weiß, was man sieht: Es sind bestimmte Dinge wie Objekte und Personen. Durch optische Einrichtungen entstehen diese ganzen Objekte als ganze Bilder auf einer Oberfläche.
7. Notwendigkeit Licht: Licht ist notwendig zum Sehen, ohne Licht sieht man nichts. Licht ist um uns und die Gegenstände herum; es kann auch scheinen und (be)leuchten.
8. Aufnehmendes Auge: Objekte können ins Auge springen. Licht kann ins Auge fallen. Das Auge kann Bilder, Eindrücke, Strahlen, Licht oder Farben aufnehmen.

Wissenschaftliche Theorien zum Sehen

Es ist bislang nicht gelungen, eine allgemein akzeptierte Theorie des Sehens aufzustellen. Sehen kann auch nach einer zweitausendjährigen Wissenschaftsgeschichte nicht befriedigend erklärt werden. Aber es sind Fortschritte festzustellen und der Wandel und Wechsel der wissenschaftlichen Theorien vom Sehen soll zumindest in einigen grundlegenden Kontrastierungen deutlich gemacht werden. Schon die Frage nach der Instanz des Sehens wird historisch und sogar aktuell sehr unterschiedlich beantwortet. In den antiken Sehtheorien sind vor allem die Augen das Organ des Sehens. Descartes hingegen weist dem Auge eine lediglich vermittelnde Funktion zu. Für ihn sieht die Seele und nicht das Auge. Dieses Konzept der sehenden Seele ist allen kartesisch-neuzeitlichen Sehtheorien prinzipiell gemeinsam. In heutigen neurobiologisch-konstruktivistischen Sehtheorien sieht dagegen das Gehirn. Der Geist wird zu einem zerebralen Ereignis.

Damit lassen sich drei Theoriegruppen unterscheiden, entsprechend ihrer jeweiligen grundlegenden Konzepte von den Instanzen des Sehens (Gropengießer 1997a):

- Antike Sehtheorien. Das Auge sieht (Okuläres Sehen): Die Augen sind Werkzeug und Ort der Wahrnehmung. Verlässliches Wissen wird dadurch übertragen, dass das Auge oder Teile des Auges dem Objekt im Akt des Sehens gleichen. Es kommt zu einer Angleichung des Auges an das Objekt (Identifikation).
- Cartesisch-neuzeitliche Sehtheorien. Die Seele sieht (Psychisches Sehen) und nicht das Auge und sie sieht nicht direkt, sondern durch Vermittlung des Gehirns: Sehen ist ein experimentell nicht erfassbarer psychischer Prozeß. Unsere Wahrnehmungen sind mehr oder weniger wahre Repräsentationen der Objekte. Die Wahrheit kann erkannt werden, weil die Verbindung zwischen Objekt und Perzept informationell zureichend ist (Instruktion).
- Heutige neurobiologisch-konstruktivistische Sehtheorien. Das Gehirn sieht (Zerebrales Sehen): Das Gehirn ist das Organ, mit dem die mentalen (Seh-)Erlebnisse erzeugt werden. Diese visuelle Wirklichkeit ist der einzige Teil der Realität, der uns sehend zugänglich ist. Den Augen wird dabei keine instruktive Rolle zugeschrieben. Vielmehr verändern die im Auge ausgelösten sensorischen Prozesse lediglich die neuronalen Erregungsmuster des Gehirns. Die visuelle Wirklichkeit wird dabei vom Gehirn nach internen Regeln erzeugt (Konstruktion). Die Wahrnehmungen sind nicht wahr, sondern es handelt sich lediglich um überlebenswirksame kognitive Konstrukte. Sie gehen einher mit spezifischen Erregungsmustern der Hirnrinde, die in bildgebenden Verfahren experimentell beobachtbar sind.

Interessant ist die Übereinstimmung der antiken Sehtheorien mit den lebensweltlichen Lernervorstellungen: In beiden Fällen ist das Auge die Instanz des Sehens. Auch in heutigen wissenschaftlichen Publikationen lassen sich noch Belege für das Konzept des Okulären Sehens finden. Im Taschenatlas der Physiologie (Silbernagl & Despopoulos 1983, 310) heißt es: "Als Gesichtsfeld bezeichnet man den Ausschnitt der Umwelt, den ein unbewegtes Auge bei fixiertem Kopf sieht." Hier sieht also das Auge. Richtig müsste es heißen: (...) den wir mit einem (...) Auge (...) sehen.

Im Folgenden wird nur noch die Perspektive der neurobiologisch-konstruktivistischen Sehtheorie, speziell der von Gerhard Roth (1994), als heutiger Stand der Forschung dargestellt. Für eine ausführliche fachliche Klärung aller drei Theoriegruppen siehe Gropengießer (2001). Eine Darstellung der sinnes- und neurophysiologischen Details erscheint an dieser Stelle entbehrlich, weil hier eine Reihe von ausgezeichneten Hochschullehrbüchern vorliegen (z.B. Davson 1991; Schmidt & Schaible 2001; Kandel, Schwartz & Jessel 2000). Notwendig erscheint hingegen ein Überblick über das visuelle System mit den wesentlichen Stationen und Vorgängen (s. Abb. 4). Der Überblick kann helfen, die jeweiligen Beiträge des Physik- und Biologieunterrichts in einem gemeinsamen Rahmen zu verorten und nicht der Illusion zu

erliegen, der Teil sei schon das Ganze. Vor allem aber können daran erkenntnistheoretische Fragen geklärt werden. Nun mag man sich fragen, ob Erkenntnistheorie zur wissenschaftlichen Klärung der Sehtheorie beiträgt und ob das nicht zu philosophisch und praxisfern ist. Aber bei der Vermittlung des Sehens haben wir nicht die Wahl, ob wir Erkenntnistheorie thematisieren wollen, sondern nur die Wahl, wie wir mit unseren Vorstellungen und den Vorstellungen der Lerner über Erkenntnismöglichkeiten umgehen wollen – entweder heimlich und möglicherweise unerkant oder reflektiert.

Die wissenschaftliche Erklärung des Sehens beginnt üblicherweise mit dem distalen Reiz (vgl. Abb. 4). Das ist in diesem Falle elektromagnetische Strahlung der Wellenlängen im Bereich von 400 nm bis 750 nm, die von allen Seiten auf unser Auge trifft. Das Auge als Sinnesorgan besteht aus Sinneszellen (Sensoren) und Hilfseinrichtungen (akzessorischen Strukturen), die u.a. der Modifikation des Reizes dienen. Ein wichtiger Aspekt der Modifikation lässt sich als Bilderzeugung kennzeichnen, für die vor allem die gewölbte Grenzfläche zwischen Luft und Hornhaut und zu einem geringeren Anteil auch die Linse verantwortlich ist. In erster Näherung trifft somit alle elektromagnetische Strahlung, die von einem Punkt der Umwelt ausgeht und die Hornhaut des Auges erreicht, auf ein und den selben Punkt der Netzhaut. Bei dieser geordnet auf die Netzhaut fallende elektromagnetische Strahlung handelt es sich dann um dem proximalen Reiz. Der löst an den Sensoren, den Stäbchen und Zapfen der Netzhaut, eine Erregung aus, was in einer elektrischen Spannungsänderung über die Zellmembran messbar wird. Dieser Vorgang, bei dem eine Reiz an einem Sensor eine Erregung auslöst, heißt Transduktion. Oft wird dieser Vorgang so beschrieben, als würden an einem Sensor Reize in Erregung umgewandelt. Dies ist falsch, denn die Energie des Reizes ist um ein Vielfaches kleiner, als die Energie der Erregung. Die Energie der Erregung stammt aus dem Organismus und resultiert nicht aus der Umwandlung der Lichtenergie. Die Transduktion lässt sich besser mit dem Drücken eines Klingelknopfes vergleichen, das einen Stromfluss in Gang setzt, ohne selbst zur Bewegung der Klingel einen energetischen Beitrag zu leisten. In der Netzhaut genügt unter günstigen Bedingungen ein einziges Photon, um eine Erregung des Sensors auszulösen. Die Erregung wird weitergeleitet und in elementaren Operationen umgewandelt. Noch in der Netzhaut wird das Erregungsmuster der 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen verdichtet: Durch die Struktur und die Eigenschaften des Netzes mit einander verknüpfter Nervenzellen (Neuronen) wird ein Erregungsmuster im nur 1 Million Ganglienzellen umfassenden Sehnerv erzeugt. Dieses Erregungsmuster wird weitergeleitet und verursacht die Veränderung des Erregungsmusters der Großhirnrinde (Cortex). Die Aktivierung bestimmter Neuronenpopulationen der Großhirnrinde führt zu visuellen Wahrnehmungen. Weitere damit verknüpfte Bereiche der Großhirnrinde werden aktiviert, was mit Fähigkeiten wie Benennung oder Erwartung folgender Ereignisse einher geht, also dem, was wir unter Wissen zusammenfassen können. Unsere visuellen Wahrnehmungen erleben wir so, als hätten wir es direkt mit den Dingen außerhalb unserer Selbst zu tun. Obwohl es unser Gehirn ist, welches diese visuellen Wahrnehmungen hervorbringt, erleben wir sie doch als vor uns und außerhalb von uns liegend. Die mentalen Seherlebnisse werden kognitiv nach außen verlegt. Dies ist insofern nützlich, als die Koordination mit anderen Sinnen und der Körperbewegung zu erstaunlichen Orientierungsleistungen führt, die es uns sogar gestatten, Zwirn durch ein Nadelöhr zu fädeln oder Fußball zu spielen. Frühkindlich haben wir gelernt, unsere visuelle Wirklichkeit mit unseren Handbewegungen und unserer Fortbewegung zu koordinieren. Wir haben gelernt auf diese Weise zu leben und zu überleben.

Man muss sich an dieser Stelle klar machen, dass wir es bei einem mentalen Seherlebnis (genauso wie bei einem Tasterlebnis) nicht mit den Dingen selbst zu tun haben. Obwohl wir die Dinge klar, deutlich und überzeugend vor uns sehen, handelt es sich dabei doch um eine Leistung unseres Gehirns. Wir sehen vom Gehirn konstruierte phänomenale Gegenstände – nützlich zwar für die Orientierung, manchmal auch überlebenswichtig, aber nicht wahr in dem

Sinne, dass wir die Dinge so sehen oder wahrnehmen, wie sie real sind. Der einzige Teil der Realität, der uns beim Sehen zugänglich ist, sind unsere mentalen Seherlebnisse. Diese Konstrukte werden vom Gehirn nach internen Regeln erzeugt. Das heißt nun aber nicht, dass die Konstrukte beliebig wären oder absichtlich zu verändern seien. Ich kann einen Feuerlöscher nicht nach Belieben rot, grün, gelb oder blau sehen. Vielmehr sind die Konstrukte verlässlich und gerade deshalb auch überlebenswirksam. Aber diese Konstrukte enthalten auch vieles, was in der Außenwelt keine Entsprechung hat. Das Rot des Feuerlöschers ist dafür ein Beispiel, weil es so in der Außenwelt nicht existiert. Wir wenden das Konzept der Farbe auf die Außenwelt an, aber dieses Konzept ist der Außenwelt nicht entnommen.

Erregung ist das Einzige, was das Gehirn von den Sinnesorganen empfängt – noch dazu verändert auf dem Weg über einige Stationen des visuellen Systems. Jenseits der Erregung liegt aber der Reiz und dazwischen der Vorgang der Transduktion. Die Natur der Erregung ist grundlegend anders, als die des Reizes: Spannungsänderungen an Sensoren sind von völlig anderer Qualität als elektromagnetische Strahlung. Der Vorgang der Transduktion trägt damit ganz entscheidend zu einem Verständnis der erkenntnistheoretischen Seite des Sehens bei. Es wird an dieser Stelle auch klar, dass Sinnesorgane keine Bedeutung übertragen können. Es sind lediglich Erregungen, die verglichen und kombiniert werden und denen nach internen Regeln Bedeutungen zugewiesen werden. Diese Bedeutungen können dann wieder in Handlungen an ihrem Erfolg überprüft werden. Eine solche neurobiologisch-konstruktivistische Wahrnehmungstheorie hat damit auch erhebliche Auswirkungen auf unser Bild von Kommunikation und den Möglichkeiten des Lehrens und Lernens.

Der Überblick über das visuelle System (Abb. 4) vereint drei sehr unterschiedliche Welten: Erstens die Welt der (physikalischen) Reize, mit elektromagnetischer Strahlung, deren Intensität, spektrale Zusammensetzung und deren Reflektion, Transmission und Brechung. Zweitens die Welt der physiologischen Vorgänge, wie Erregungen an Sensoren und Neuronen, Transmitterausschüttungen und Muskelkontraktionen. Drittens die Welt der mentalen Erlebnisse, wie Wahrnehmungen, Wissen, Gefühle sowie Ich- und Körpererleben. Direkt zugänglich ist uns nur die Welt der mentalen Erlebnisse. Allerdings sind wir es im Alltag nicht gewohnt, diese Unterscheidung zu treffen. Üblicherweise nehmen wir sogar unsere Wahrnehmungen für die Objekte selbst, wir begreifen unser Seherlebnis als direkten Zugang zur Außenwelt. Von den physiologischen Vorgängen im Nervensystem fehlt uns jede Kunde.

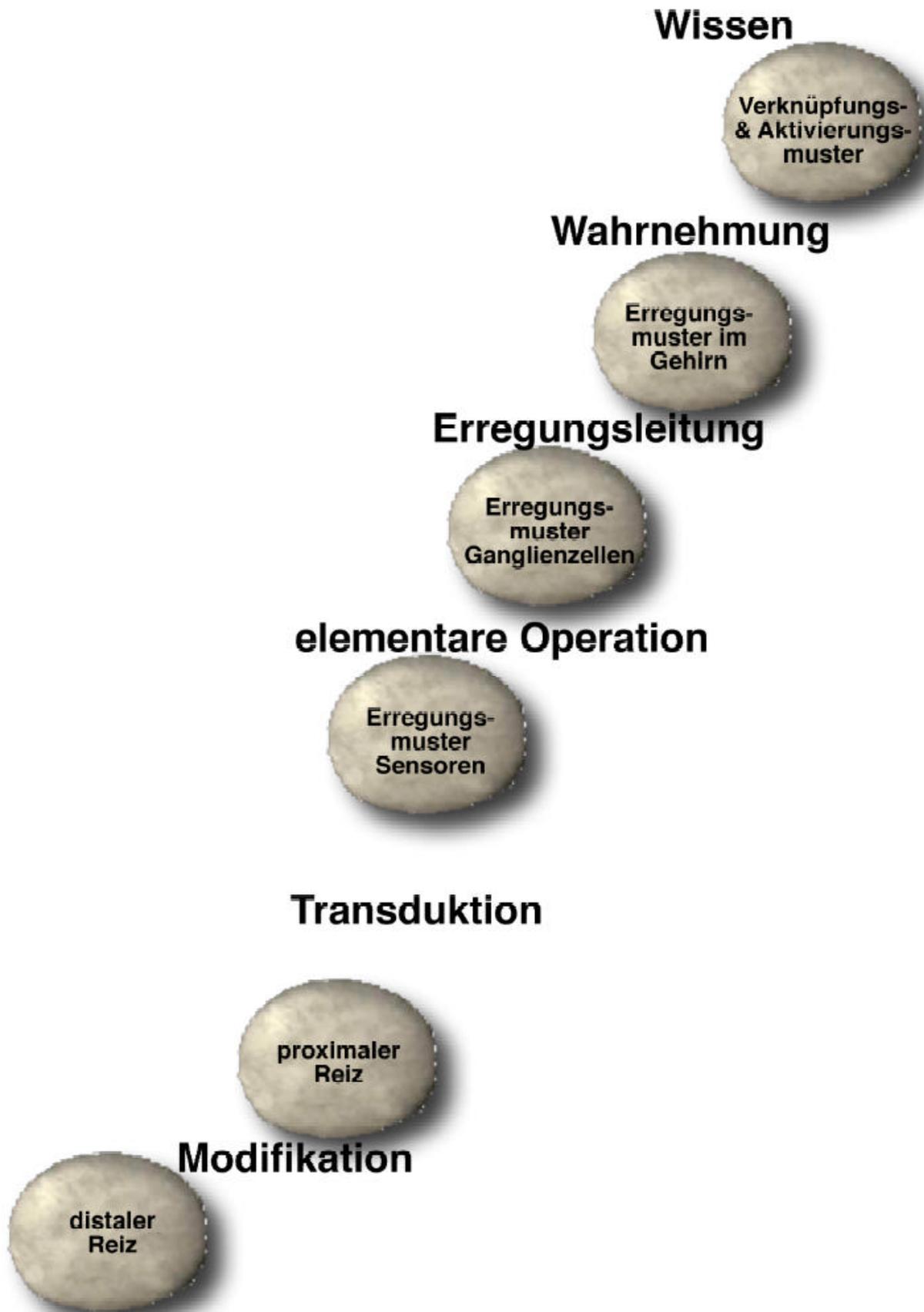


Abb. 4. Das visuelle System im Überblick: Stationen und Schritte (Erklärung s. Text)

Didaktische Strukturierung

Eine Sehtheorie und lebensweltliche Vorstellungen im Vergleich

Vergleicht man die hier gewählte neurobiologisch-konstruktivistische Sehtheorie mit den lebensweltlichen Vorstellungen vom Sehen, sind zunächst die Gemeinsamkeiten zu nennen. Erstens ist dies die Annahme oder Überzeugung, dass die Dinge existieren. Dieser Standpunkt des ontologischen Realismus ist nach der neurobiologisch-konstruktivistischen Sehtheorie logisch notwendig: Denn wenn das reale Gehirn unsere visuelle Wirklichkeit hervorbringt, dann ist davon auszugehen, dass es auch andere reale Gegenstände neben unserem Gehirn gibt. Einer naturwissenschaftlichen Theorie entzöge alles andere als ein ontologischer Realismus auch die Grundlage. Der ontologische Realismus wird allerdings nicht in allen Spielarten des Konstruktivismus akzeptiert. Zweitens erhält in der neurobiologisch-konstruktivistischen Sehtheorie die Aktivität des Wahrnehmenden, vor allem mit der Konstruktivität des Gehirns, einen zentralen Platz, was mit der lebensweltlichen Vorstellung vom Sehen als einer Tätigkeit korrespondiert. Drittens lässt sich im Rahmen der neurobiologisch-konstruktivistischen Sehtheorie die lebensweltliche Vorstellung vom Hingucken erklären, welche den Blick vom Auge zum Gegenstand richtet: Das mentale Seherlebnis wird kognitiv nach außen verlegt.

Der Vergleich sollte allerdings auch Unterschiede deutlich werden lassen. Schüler sehen die Dinge, wie sie sind. Was gesehen wird, ist für sie wahrhaftig so. Im Gegensatz dazu wird in der konstruktivistischen Sehtheorie die vom realen Gehirn erzeugte Wirklichkeit (Konstruktion) als einzig zugänglicher Teil der Welt von der nur erschlossenen und unzugänglichen Realität geschieden. Während die Überzeugung der Schüler somit als epistemologischer Realismus gekennzeichnet werden kann, ist die erkenntnistheoretische Grundannahme der wissenschaftlichen Sehtheorie ein Konstruktivismus. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass Sehen nach den lebensweltlichen Vorstellungen der Lerner ohne Sensoren, Neuronen oder Transmitter auskommt. Daneben und zusätzlich ist für Lerner ein Komplex von Vorstellungen verfügbar, die vermutlich schulisch oder medial vermittelt sind und als wissenschaftsorientiert gekennzeichnet werden können. Allerdings sind die wissenschaftsorientierten Vorstellungen sehr variabel und weichen in der Regel stark von wissenschaftlichen Theorien ab. Dagegen spielen in einer wissenschaftlichen Theorie die physiologischen Strukturen und Vorgänge im Sehsystem eine ganz entscheidende Rolle.

Im Vergleich werden auch die Eigenheiten der Konzepte deutlich. Aus konstruktivistischer Sicht wird das Organ Gehirn mit seiner konstruktivistischen Fähigkeit zum Charakteristikum der theoretischen Überlegungen. Aus der Sicht der Lerner sieht nicht das Gehirn, sondern wir oder die Augen sehen einfach, was da ist.

Darüber hinaus kann ein Vergleich auch die Begrenztheiten der Vorstellungen deutlich werden lassen. Die wissenschaftliche Sehtheorie wird als unvollständig empfunden: Die Welt der mentalen Erlebnisse ist nur schwach mit der Welt der neurologischen Ereignisse verknüpft. Die Verbindungen zwischen den entsprechenden Bereichstheorien sind bislang wenig spezifiziert und differenziert. Für lebensweltliche Situationen ist eine konstruktivistische Erkenntnistheorie – ähnlich wie ein heliozentrisches Weltbild – nur in begrenztem Maße hilfreich und nur in besonderen Fällen geeignet. Im Alltag werden wir es auch weiterhin vorziehen, es mit den Dingen und Personen, mit den Tönen und Farben selbst zu tun zu haben und nicht nur mit unseren Konstrukten. Wir sollten im Alltag von der Straße gehen, wenn sich ein Auto nähert – ohne lange darüber nachzudenken, dass dies zunächst nur ein mentales Erlebnis ist. Im Alltag sind konstruktivistische Ausdrucksweisen meist zu kompliziert und im lebensweltlichen Kontext auch oft unverständlich.

Unterrichtsziele beim Thema Sehen

Warum und wozu sollten sich Schüler mit dem Thema Sehen befassen? Lerner haben ein Recht darauf, Ziel und Zweck eines Unterrichtsthemas zu kennen, denn sinnvolles Lernen macht es leichter, die notwendigen Anstrengungen auf sich zu nehmen. Auf die obige Frage lassen sich nun ganz verschiedene Antworten geben. Zunächst einmal kann der eigene Körper mit sinnes- und neurophysiologischem Wissen besser verstanden werden. In diesem Thema steckt aber auch die Chance, etwas darüber zu lernen, wie unsere Wahrnehmung zustande kommt und welche Möglichkeiten und Grenzen der Wahrnehmung innewohnen. Erkenntnistheoretisches Wissen, wie es z.B. eine konstruktivistische Sehtheorie bietet, kann helfen, sich selbst als Mensch und die Welt besser zu verstehen. Weiterhin können an diesem Thema noch Kompetenzen im Zusammenhang mit fachgemäßen Arbeitsweisen wie Erkundungs- oder Modellierungstechniken erworben werden. Nicht zuletzt eignet sich das Thema, um verschiedene Sehtheorien zu vergleichen und damit Wissenschaft als Prozess zu begreifen.

Der weiter unten dargestellte Vermittlungsprozess zielt auf Möglichkeiten und Grenzen der visuellen Wahrnehmung, also auf Erkenntnistheorie. Vor allem vor diesem Hintergrund gewinnt sinnes- und neurophysiologisches Wissen an Bedeutung und kann zu einem Verständnis der eigenen Natur beitragen.

Grundsätze für die Planung

Die für die Lerner jeweils verfügbaren Vorstellungen zum Sehen, ihre kognitiven Werkzeuge und individuellen Gedankengebäude, sind Grundlagen und Ausgangspunkte für mögliches Lernen. Deshalb sind die Lernangebote und Lernumgebungen mit Blick auf die Perspektiven der Lerner zu wählen. Aber Biologieunterricht zielt nicht zuletzt auf die Vermittlung von wissenschaftlichem Wissen. Wir haben es also nicht nur mit dem Wissen der Lerner zu tun, sondern auch mit dem Wissen der Wissenschaftler. Im Rahmen einer schulnahen fachdidaktischen Lehr-/Lernforschung werden nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann u.a. 1997; Gropengießer 1997a) diese beiden Wissensformen miteinander und darüber hinaus zu einer dritten, dem unterrichtlichen Wissen, in Beziehung gesetzt. Bei der Vermittlung eines Themas wie »Sehen« berühren und überschneiden sich also mindestens drei verschiedene Wissensformen: Erstens das alltägliche oder lebensweltliche Wissen zum Sehen, über das wir alle verfügen und welches aus unseren praktischen Erfahrungen, unserem Vertrautsein mit dieser Wahrnehmungsform und dem Denken darüber erwächst. Zweitens ein spezielles wissenschaftliches Wissen über Sehen, welches Wissenschaftlern zur Verfügung steht und distanzierter, systematischer, nachprüfbarer und methodisch kontrolliert ist. Drittens das unterrichtliche Wissen, welches Entscheidungen darüber enthält, was von einem Thema in welchem Umfang, mit welchem Schwierigkeitsgrad, mit welchen Bezügen und Einbettungen vermittelt werden soll. Den drei Wissensformen kommt ein jeweils unterschiedlicher Status zu: Vom lebensweltlichen Wissen ist auszugehen, denn dabei handelt es sich um die mentalen Strukturen, über die die Lerner verfügen. Hingegen orientieren sich die Ziele der Vermittlung zumindest teilweise am wissenschaftlichen Wissen. Das lebensweltliche Wissen der Schüler und das wissenschaftliche Wissen sind deshalb in Beziehung zu setzen zum unterrichtlichen Wissen.

Die Didaktische Strukturierung des Sehens geht von den Perspektiven der Lerner aus. Darauf zugeschnittene Lernangebote nehmen hauptsächlich zwei Formate an: Einmal dienen verfügbare Lernervorstellungen als Hilfen zum Verständnis, indem sie übernommen und ausgebaut oder tiefergreifend umgedeutet, neu interpretiert und verknüpft werden. Zum anderen werden Lernervorstellungen mit wissenschaftlichen Vorstellungen konfrontiert, was zu produktiver Auseinandersetzung anregt und zum Lernen am Widerspruch führt. Darüber hinaus gibt es noch

weitere Ansätze, die mehr in den Bereich der Metakognition gehören: Dabei geht es um Einsicht in die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Vorstellungen, die Einordnung bestimmter Vorstellungen in größere Zusammenhänge und die wechselseitige Neuinterpretation von Vorstellungen. Im Falle des Themas »Sehen« sollen die in lebenslangen Erfahrungen gegründeten Vorstellungen auch im Rahmen einer wissenschaftlichen Sehtheorie verständlich sein und Sinn machen; genauso wie die wissenschaftlichen Vorstellungen einer Sehtheorie in alltäglichen Zusammenhängen Sinn machen sollen.

Lernervorstellungen zum Sehen: Ermittlung und Vermittlung im Unterricht

Die Vorstellungen der Lerner können mit einer Zeichenvorlage (s. Abb. 5) und der Anweisung: „Stelle als Skizze dar, wie Sehen funktioniert“ zumindest teilweise hervorgehoben werden. Vorstellungen werden dabei zu Darstellungen.

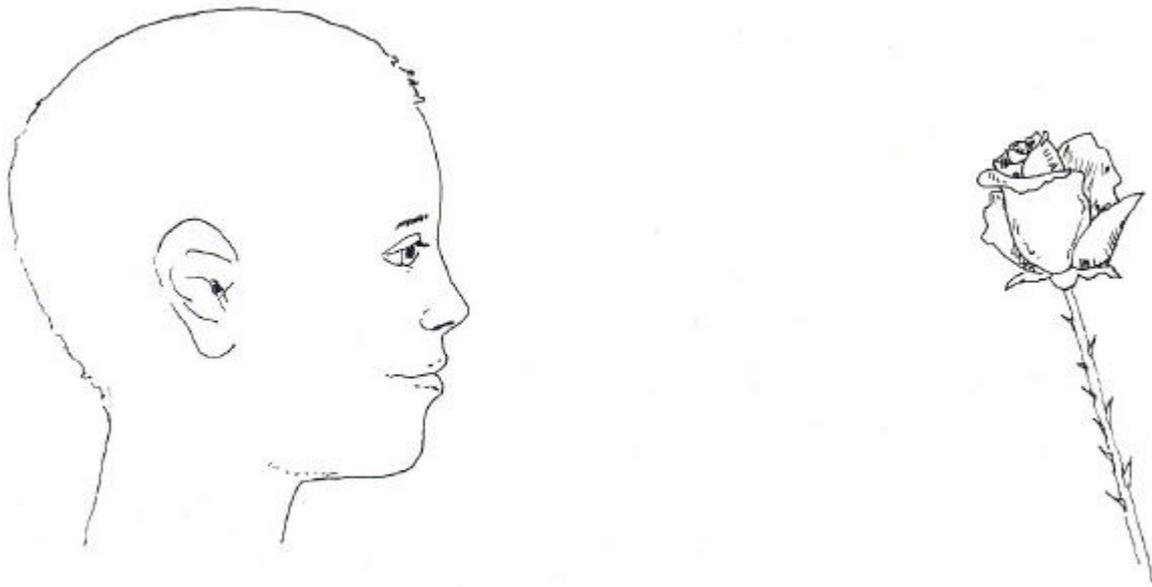


Abb. 5. Zeichenvorlage für das Erfassen von Vorstellungen zum Sehen

Die entstandenen Zeichnungen können aufgehängt oder auf einem Tisch ausgelegt und nach selbstgefundenen Kriterien geordnet werden: z.B. nach der Art der Beziehung(en) zwischen Auge und Objekt, nach der Beachtung einer Lichtquelle, nach der Einbeziehung des Gehirns oder nach der Instanz des Sehens. Die Zusammenfassung wichtiger Befunde zu lebensweltlichen Vorstellungen vom Sehen, sowie die regelmäßig zu entdeckenden Brüche, Nachdenklichkeiten und Widersprüche sind für die Lehrperson als Interpretationshilfe nützlich. Diese durchaus unterhaltsame Gruppenaktivität verdeutlicht den Lernern die Vielfalt der Verständnisse. Durch eine Diskussion der Darstellungen werden die eigenen und die fremden Vorstellungen bewusst und begrifflich fassbar wie auch benennbar (vgl. Gropengießer 1996, 12). Allerdings verlangt diese Arbeit ein akzeptierendes Klima in der Lerngruppe.

Wenn vor, während und am Ende der Unterrichtseinheit Zeichnungen angefertigt werden, lässt sich zudem der Wandel und Wechsel von Vorstellungen veranschaulichen und dokumentieren und nicht zuletzt reflektieren. Die Aufmerksamkeit, die den Vorstellungen und deren Veränderungen geschenkt wird, ist noch dazu ein erster Schritt hin zu einer eigenverantwortlichen Lernprozesssteuerung, indem den Lernern klar wird, wie sie über ein Thema denken und in welche Richtung die eigenen Vorstellungen zu verändern oder zu ergänzen sind.

Orientierung

Um sich zunächst einen Überblick zu verschaffen, können die folgenden Fragen bei der Orientierung helfen:

- a) Welche Organe oder Teile des Menschen sind für den Sehvorgang notwendig?
- b) Welches Organ sieht?
- c) Mit welchen Vorgängen lässt sich Sehen vergleichen?

Die Beantwortung der Fragen kann frei geschehen, oder es kann eine Sammlung von Ereignistexten eingesetzt werden (Arbeitsbogen »Sichtliche Ereignisse«).

Sichtliche Ereignisse (Arbeitsbogen)

Lest zunächst alle Ereignistexte durch und diskutiert in der Gruppe über folgende Fragen:

- a) Welche Organe oder Teile des Menschen sind für den Sehvorgang notwendig?
- b) Welches Organ sieht?
- c) Mit welchen Vorgängen lässt sich Sehen vergleichen?

1. Wenn wir bei Tage die Augen öffnen, haben wir ein klares, farbiges Bild vor Augen.
2. Nicht alles, was wir vor Augen haben, fällt uns auch auf. Manches übersehen wir. (Ich sehe was, was du nicht siehst und das ist ...)
3. Manchmal, wenn wir noch einmal genau und prüfend hinschauen, ist es anders, als wir gedacht haben: Dann haben wir uns versehen.
4. Wenn wir die Augen schließen, sehen wir immer noch helle Streifen.
5. Wenn wir die Augen schließen, dann können wir uns Gegenstände vorstellen – manchmal sogar in Farbe.
6. Manche Träume sind voller deutlicher Bilder.
7. Manchmal stellt sich vor Gericht heraus, dass auch Szenen, die ein Zeuge als deutliches Bild erinnert, falsch sind.
8. Manche Menschen haben Halluzinationen, das sind deutlich wahrgenommene Bilder von Gegenständen, Tieren oder Menschen, von denen sie wissen, dass sie nicht existieren.
9. Um bei Gehirnoperationen unnötige Schäden zu vermeiden, werden manchmal kleine elektrische Spannungen an verschiedenen Stellen der Gehirnrinde angelegt. An einigen Stellen hat der Patient ein deutliches Seherlebnis, z.B. eine grüne Wiese.

Die Antworten lassen sich nur beispielhaft aufführen, weil mehrere sinnvolle Antworten möglich sind. Besonders die Fragen b) und c) können je nach Definition des Sehens unterschiedlich beantwortet werden.

zu a) *Augen, Gehirn, Sehnerv, Augenlider, Augenmuskeln, Herz*

zu b) *Das Auge sieht. Ich selbst sehe. Das Gehirn sieht (mit Hilfe der Augen).*

zu c) *Mit Hören, Riechen, Schmecken (Sinne, -leistungen, -swelten); mit Denken, Vorstellen, Träumen (mentalener oder kognitiver Leistungen); mit Sprechen (Handlungen) oder auch mit nichts*

Die (Um-)Welt und die Welt der Wahrnehmung

Vorstellungen zum Sehen können auch im Verlaufe einer Reihe von Experimenten deutlich werden, deren Ergebnisse den lebensweltlichen Erwartungen widersprechen. So lässt sich experimentell zeigen (s. Abb. 7), dass die Wahrnehmung der Farbe Rot durch sehr unterschiedliche Reizkonstellationen erlangt werden kann – ja, »rot« kann sogar ganz ohne jeden Reiz wahrgenommen werden. Die mentalen Erlebnisse sind mit der Welt der Reize also nur schwach verknüpft. Dies steht in deutlichem Widerspruch zur Denkfigur »Alltäglicher Realismus«. Offensichtlich werden die Dinge nicht einfach so gesehen wie sie sind. Wenn »rot« gesehen wird, kann dies nicht eindeutig auf etwas Bestimmtes in unserer Umwelt zurückgeführt werden. Weil wir »rot« sehen, heißt dies also noch lange nicht, es gäbe auch so etwas wie »rot« als physikalisches Ereignis in unserer Umwelt.

Selbst die Behauptung, elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge um 640 nm führe zu der Wahrnehmung »rot« ist nicht richtig. Werden rote Farbkärtchen bei geringer Leuchtdichte betrachtet, wird »grau« wahrgenommen. Dies gilt auch für die Peripherie unseres Gesichtsfeldes. Es sei denn, ein Beobachter weiß um die Farbe des Gegenstandes – dann wird der Gegenstand wieder »rot« gesehen.



Abb. 6. Reizvorlage mit Fixationskreuz zum fünften Experiment in der Tabelle von Abb. 7

Experimentelle Situation	Reiz	mentales Seherlebnis
Lampe mit Rotfilter oder rote Farbkärtchen bei ausreichender Leuchtdichte	elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge um 680 nm	rot
Fixieren eines weiß erscheinenden Untergrundes, nachdem vorher für eine Minute eine grün aussehende Figur (z.B. Rechteck oder Dreieck) für 1 Minute fixiert wurde	elektromagnetische Strahlung aller sichtbaren Wellenlängen	rote Figur (rotes Rechteck oder Dreieck)
Bei Tageslicht wird eine grün aussehende Folie mit dem Tageslichtprojektor auf eine weiß aussehende Fläche projiziert. Ein Gegenstand (z.B. Hand) wirft einen Schatten.	im Schatten: elektromagnetische Strahlung aller sichtbaren Wellenlängen	roter (rötlicher) Schatten des Gegenstandes
Eine Scheibe mit schwarz-weißem Muster nach Benham wird gedreht.	elektromagnetische Strahlung aller sichtbaren Wellenlängen mit schnellem Wechsel der Intensität	u.a. roter Bereich auf der Scheibe
Ein rot aussehender, von oben nach unten über das weiße Papier reichender, 1 cm dicker Balken, mittig durch eine 1 cm lange Lücke unterbrochen; links davon, in 10 cm Abstand, eine Markierung (Abb. 6). Allein das rechte Auge wird geöffnet und die Markierung fixiert. Das Blatt wird aus Armeslänge auf das Auge zu geführt, wobei Markierung und Lücke horizontal auf einer (gedachten) Linie liegen sollten.	in der Lücke: elektromagnetische Strahlung aller sichtbaren Wellenlängen; allerdings: kein Reiz, da die Lücke auf den Blinden Fleck der Netzhaut projiziert wird, an dem keine Sensoren vorhanden sind	in einer bestimmten Entfernung: ein durchgehender roter Balken
Bei geschlossenen Augen stellt man sich einen roten Gegenstand vor.	kein Reiz beteiligt	rot von geringer Intensität
Elektrische Stimulation bei einer Gehirnoperation, wodurch eine Erregung bestimmter Nervenzellen ausgelöst wird.	kein Reiz im Sinne der Sinnesphysiologie, da kein Sensor beteiligt ist	rot
Bei ausreichender Beleuchtung rot erscheinende Farbkärtchen werden bei geringer Leuchtdichte betrachtet.	elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge um 680 nm von geringer Intensität	grau
Bei Fixierung rot erscheinende Farbkärtchen werden seitlich von hinten in das periphere Gesichtsfeld geführt.	elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge um 680 nm	grau

Abb. 7. Experimente rund um die Wahrnehmung von »rot«

Blind für die eigene Blindheit

Menschen, deren Netzhaut in Teilbereichen geschädigt ist, bemerken dies oft gar nicht oder aber sehr spät. Eine Netzhautausfall, auch Skotom genannt, ist nicht zu sehen, sondern höchstens an Orientierungsschwierigkeiten zu erkennen. Solche Menschen stoßen evtl. häufiger gegen Hindernisse.

Wir alle haben ein natürlich vorkommendes Skotom an der Stelle, an der der Sehnerv mit der Netzhaut verbunden ist. Mit der Boyle-Mariotteschen Figur lässt sich dies deutlich machen.

Der Kopf wird mit der linken Hand abgestützt, wobei das linke Auge abgedeckt wird. Mit dem rechten Auge wird das Fixationskreuz in der Abb. 8 angestarrt. Die Wahrnehmung des Kreises wird beobachtet.

+

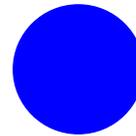


Abb. 8. Boyle-Mariottesche Figur als Reizvorlage

Als Beobachtung wird oft formuliert:

- *Der Kreis verschwindet / ist weg.*
- *Ich sehe nichts.*

Beides sind keine präzisen Beschreibungen der Wahrnehmungen. Wie durch einen zweiten Beobachter leicht bestätigt werden kann, verschwindet der Fleck bei der Versuchsdurchführung nicht in einem bestimmten Moment, um anschließend wieder vorhanden zu sein. Der Fleck bleibt durchgängig auf dem Papier erhalten. Ebenfalls nicht richtig ist die Behauptung nichts zu sehen. Wir sehen durchaus etwas: mindestens das Fixationskreuz. Auch die Formulierung

- *Ich sehe keinen Kreis*

greift noch zu kurz, denn der Versuch mit der Reizvorlage aus der Abbildung 6 hat gezeigt, dass wir durchaus etwas sehen. Dort jedenfalls haben wir einen durchgehenden roten Balken wahrgenommen. Dem entsprechend müssen wir unsere Beobachtung der Wahrnehmung formulieren.

- *Ich sehe eine durchgehende weiße Papierfläche an der Stelle des Kreises.*

Das erstaunliche Ergebnis dieses Versuchs liegt darin, dass wir mit der Boyle-Mariotteschen Figur ein mentales Seherlebnis haben, obwohl der Reiz auf eine Stelle trifft, an der keine Sensoren vorhanden sind. Ja, wir haben eine Wahrnehmung, die nichts weniger als konstruiert ist. Hier wird der Alltägliche Realismus mit der Überzeugung, dass die Dinge so gesehen werden, wie sie sind, in Frage gestellt. Selbst Dinge, die unmittelbar vor Augen liegen, sind nicht notwendigerweise sichtbar und was gesehen wird, ist nicht unbedingt vorhanden.

Transduktion: Kleine Schritte zum großen Unterschied

Nicht nur bei der Farbwahrnehmung sondern auch im Zusammenhang mit unserer Lichtwahrnehmung lässt sich die Denkfigur Alltäglicher Realismus in Frage stellen. Unzufriedenheit mit einer verfügbaren Vorstellung ist immerhin eine Bedingung für die Bereitschaft der Lerner, ihre Vorstellungen zu ändern (Posner et al. 1982). Ein kleiner Versuch und ein wenig Theorie erweisen sich hier als erkenntnisfördernd.

Phosphenversuch: Bei geschlossenen Augenlidern wird leicht mit dem Fingernagel am äußeren (temporalen) Rand der Augenhöhle auf den Augapfel gedrückt. Das Auge wird dabei auf die Nasenspitze gerichtet und der Fingernagel wird leicht bewegt.

Es lässt sich unter diesen Bedingungen eine helle Fläche in Richtung auf die Nase beobachten. Diese Erscheinung ist als »Phosphen« bekannt. Viele haben ein ähnliches Seherlebnis auch schon nach einem Schlag auf das Auge etwas heftiger erfahren, indem sie »Sterne gesehen haben«.

Das Ergebnis dieses Versuchs ist – bezogen auf unsere lebensweltliche erkenntnistheoretische Überzeugung – eine Zumutung: Licht kann man auch dann sehen, wenn äußeres Licht als Reiz nicht infrage kommt. Ein leichter Druck auf die Sensoren der Netzhaut, auf die Stäbchen und Zapfen, kann zu der Wahrnehmung von Lichterscheinungen führen. Zwei unterschiedliche Reize, der eine elektromagnetischer, der andere mechanischer Natur, können also zur selben Klasse von Wahrnehmungen führen. Darüber hinaus kann auch ein elektrischer Reiz zur Wahrnehmung von Licht führen. Es stellt sich hier die Frage nach dem Verhältnis von Reiz und Erregung an oder in einem Sensor. Hilfreich ist dabei die Vorstellung des Auslösens: Dazu kann auf Erfahrungen und Beispiele zurückgegriffen wie das Kippen eines Schalters (Reiz), das eine Druckmaschine in Gang setzt (Erregung); auf den Knopfdruck (Reiz), der eine Glocke läuten lässt (Erregung); auf eine Schlüsselumdrehung (Reiz), die ein Auto startet (Erregung). In prinzipiell ähnlicher Weise löst Licht (Reiz) eine Spannungsänderung am Sensor (Erregung) aus, gekoppelt mit einer veränderten Transmitterausschüttung. Erregung kann in einem Nervensystem generell die Form der Spannungsänderung an Zellmembranen (Sensorpotential, Aktionspotential) annehmen oder die einer veränderten Transmitterausschüttung.

Das Verhältnis von Reiz und Erregung als Umwandlung zu begreifen, leitet hingegen völlig fehl. Zwar kann elektromagnetische Strahlung in elektrischen Strom umgewandelt werden – aber genau dies geschieht an einem Sensor nicht. Vielmehr löst eine kleine Reizenergie (möglicherweise nur ein einziges Photon) eine Spannungsänderung am Sensor aus. Die Energie für diese Spannungsänderung, die im Vergleich zur Reizenergie sehr groß ist, kommt aus dem Sensor, aus dem Organismus selbst. Dieser entscheidende Vorgang an den Sensoren, bei dem ein Reiz eine Erregung auslöst, wird »Transduktion« genannt. Für das Verständnis des Sehens – wie auch der Wahrnehmung generell – ist der Vorgang der Transduktion essentiell. Der dabei ablaufende biochemische Vorgang der Transduktion ist aufgeklärt (Kandel, Schwartz & Jessel 2000): In einem ersten Schritt absorbiert der in den Sensoren enthaltene Sehpurpur elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge von 400-750nm. Die einzelnen Rhodopsinmoleküle, aus denen der Sehpurpur besteht, erleiden dabei eine photochemische Reaktion. Ein Zwischenprodukt setzt dann eine biochemische Kaskade in der Zelle in Gang, was letztlich dazu führt, dass Ionenkanäle in der Zellmembran geschlossen werden. Dadurch verändert sich die Spannung an der Zellmembran und die Ausschüttung des Transmitters wird gestoppt.

Im Nervensystem zählen nur noch Erregungen (Veränderungen von Spannungen an Neuronen) und Transmitterausschüttungen und nicht mehr die elektromagnetische Strahlung oder andere Reize, die diese Erregungen an unseren Sensoren ausgelöst haben. Sind bestimmte Cortexbereiche unseres Gehirns besonders aktiv, erleben wir z.B. eine Wahrnehmung wie Töne, Schmerz, Farbe oder eben Licht. Dabei ist es gleichgültig, wie diese Erregung zustande kommt. Die kleinen Schritte bei der Transduktion führen damit zu einem großen Unterschied: Die elektromagnetische Strahlung ist von völlig anderer Qualität, als die Erregung von Sinneszellen oder gar unser mentales Erleben von Licht oder Farbe.

Notwendige Scheidung der Welten

Wenn einfach nur von »Licht« gesprochen wird, dann kann damit die »empfundene Helligkeit« gemeint sein, also ein mentales Seherlebnis. Genauso gut kann aber auch »elektromagnetische Strahlung von 400 bis 750 nm«, also physikalisches Licht in Rede stehen. Oder es kann eine Lichtquelle bezeichnet werden. Zusätzlich möglich ist auch die metaphorische Verwendung des Wortes „Licht“ (s. Abb. 9). Ähnliches gilt für Wörter wie „Farbe“ und „Bild“. Auch bei diesen Wörtern zeigt sich die Möglichkeit einer gestaffelten Bedeutungszuordnung, die vom mentalen Erlebnis über das physikalische Ereignis, über das Objekt bis hin zur Metapher reicht (s. Abb. 9).

Rein vordergründig handelt es sich dabei um eine terminologische Frage. Auf dem Hintergrund der Experimente rund um die Wahrnehmung von »rot« und zum Phosphenversuch sowie deren Auswertung lässt sich daran aber eine begriffliche Klärung anschließen, die zu einem tieferen Verständnis des Sehens beitragen kann. Von physikdidaktischer Seite ist bereits beklagt worden, dass »Licht als physikalisches Objekt« mit »Licht als Wahrnehmung« oder »Licht als elektromagnetische Strahlung« mit »Licht als Helligkeit« vermennt werden (Kärrqvist 1983, 373; Jung 1993, 88; Galili & Lavrik 1998, 602). Darüber hinaus kommen noch weitere Bedeutungen ins Spiel, wie die Tabelle in Abbildung 8 zeigt. Nicht nur das Wort »Licht« kann klärend-kritisch betrachtet werden, auch für die Wörter »Farbe« oder »Bild« gilt Entsprechendes.

Wir haben es mit verschiedenen Welten zu tun: mit der physikalischen Welt der Reize, mit der physiologischen Welt der Spannungsänderungen an Sensoren und Neuronen und mit der uns so vertrauten Welt des mentalen Erlebens von Licht oder Farbe. Ohne diese Welten voneinander zu scheiden, ist ein Verständnis des Sehens nicht möglich. Wissenschaft beginnt mit Unterscheidungen. Es muss in jedem Fall geklärt werden, auf welche dieser Welten sich eine Aussage bezieht. Besonders bei Wörtern wie »Licht« »Farbe« oder »Bild« sind diese Unterscheidungen zu treffen.

Wird im Falle von physikalischen oder sinnesphysiologischen Lehrwerken nicht eindeutig zwischen Licht 1 und Licht 2 unterscheiden, ist sogar eine unerkannte erkenntnistheoretische Aussage zu vermuten: Es wird schon deshalb nicht zwischen »mentalem Licht« und »physikalischem Licht« differenziert, weil die lebensweltliche Überzeugung besteht, dass die Dinge so gesehen werden, wie sie sind, dass also (äußeres) Licht als (inneres) Licht gesehen wird. Dahinter steckt die erkenntnistheoretische Denkfigur des »Alltäglichen Realismus«. Auf jeden Fall sollte immer deutlich werden, welches Licht, welche Farbe oder welches Bild in Rede steht.

Wort	Bedeutungen			
„Licht“	<i>Licht 1, mentales Licht</i> »empfundene Helligkeit«, »Lichtwahrnehmung«, »inneres Licht«	<i>Licht 2, physikalisches Licht</i> »elektromagnetische Strahlung von 400 bis 750 nm«, »Photonen«, oder »äußeres Licht«	<i>Licht 3, Lichtquelle</i> »Wenn alle Lichter brennen«, »Mach das Licht an.«, »Leuchte«, »Leuchtmittel«	<i>Licht 4, metaphorisches Licht</i> z.B. »mir geht ein Licht auf«, d.h. Gedanken sind Lichtquellen
„Farbe“	<i>Farbe 1, mentale Farbe</i> »empfundene Farbe«, »Farbwahrnehmung«, »Farbeindruck«	<i>Farbe 2, physikalische Farbe</i> »elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlänge«, »farbiges Licht«	<i>Farbe 3, Farbstoff, Farbquelle</i> »rote Lackfarbe«, »Farbbeutel«, »Ampelfarben« »farbige Lichter«	<i>Farbe 4, metaphorische Farbe</i> z.B. »eine farbige Schilderung«, »ich sehe rot«
„Bild“	<i>Bild 1, mentales Bild</i> »Bildsehen«, »Bild vor (dem inneren) Auge«, »Bildwahrnehmung«	<i>Bild 2, physikalisches Bild</i> »Netzhautbild«, »Bilderzeugung«, »Bildentstehung«	<i>Bild 3, Objekt, Abbildung</i> »Bildwerfer«, »Bilderausstellung«, »Leuchtbilder«, »Abziehbild«	<i>Bild 4, metaphorisches Bild</i> z.B. »sich ein Bild machen«, »sprachliches Bild«, »Idealbild«, »Einbildung«,
	mentales Erlebnis	physikalisches Ereignis (Reiz)	Objekt (Quelle, Stoff, Gegenstand)	Metapher

Abb. 9. Wörter im Zusammenhang mit Sehen und die Staffelung ihrer Bedeutungen (Auswahl)

Der Phosphenversuch zeigt, dass der lebensweltlich vorausgesetzte Alltägliche Realismus so nicht haltbar ist. Dies lässt sich auch mit einigen der sogenannten „optischen Täuschungen“ demonstrieren – was ja wohl auch einen Teil der Faszination dieser Phänomene ausmacht. Licht kann auch dann wahrgenommen werden, wenn Licht 2 oder Licht 3 nicht im Spiel ist. Die Beziehung von Licht 1 zu Licht 2 und Licht 3 ist also nicht zwingend. Allerdings funktioniert sie in lebensweltlichen Zusammenhängen. Deshalb ist die lebensweltliche Grundüberzeugung des Alltäglichen Realismus durchaus brauchbar. Aber erkenntnistheoretisch ist diese Überzeugung fragwürdig, weil dabei bestimmte mentale Erlebnisse umstandslos für Objekte gehalten werden. Solches Denken lässt sich deshalb als objektivistisch kennzeichnen (Lakoff 1987, xiv).

Die Schwelt ist eine Denkwelt

Nun können wir zwar die physikalische Welt von der physiologischen und von der mentalen Welt scheiden, wir können auch überzeugt sein, dass es diese Welten gibt – aber wir treffen diese Unterscheidung innerhalb unserer kognitiven Welt. Schlimmer noch: Wir haben überhaupt keine Möglichkeit, aus dieser mentalen Welt hervorzutreten. Wir haben keine Möglichkeit, die (Um-)Welt unvermittelt und direkt, so wie sie ist, wahrzunehmen. Gegeben ist uns immer eine Welt für uns, vermittelt durch unsere Sinnesorgane, generiert durch unserer Gehirn und damit sowohl abhängig davon, wie die Welt ist, als auch davon, wie wir sind. Die Welt in der wir

leben, ist eine Welt der mentalen Erlebnisse. Nur mittels unserer Sinnesorgane und unserer Sensoren können wir überhaupt etwas spüren. Aber zwischen diesem Erleben und der Welt um uns liegt immer der Vorgang der Transduktion. Immer haben wir es kognitiv nicht mit den Reizen, sondern nur mit unseren mentalen Erlebnissen zu tun (vgl. Roth 1994). In dieser Welt der mentalen Erlebnisse, die ohne unseren Leib buchstäblich nicht denkbar wäre, entwickeln wir unsere Verständnisse und danach sind lebensweltliche Vorstellungen wie die Denkfigur »Alltäglicher Realismus« und »Evidenz« kognitiv einfach. Hingegen sind wissenschaftliche Vorstellungen oft schwierig und nur kontraintuitiv zu denken. Auf jeden Fall kommt ein wissenschaftliches Verständnis des »Sehens« nicht ohne Erkenntnistheorie aus. Dies wirft sofort die Frage auf, ab welchem Alter der Lerner solche Themen behandelt werden können. Die Frage ist nicht geklärt, aber meine Interviews mit Schülern der 11. Klassenstufe legen es nahe, dass Schüler der 10. und möglicherweise auch der 9. Klasse über solche Fragen nachdenken (Gropengießer 2001, z.B. 181).

Beispielsweise beschreibt meine Interviewpartnerin Anna, wie im Sehnerv kleine elektrische Impulse weitergeleitet werden. Dass man es sich dann trotzdem wieder vorstellen kann, dass daraus dann wieder ein Bild entsteht, das – so drückt sie es aus – geht über die menschliche Vorstellungskraft hinaus. Was Anna hier Schwierigkeiten bereitet, ist der Widerspruch zwischen einer wissenschaftsorientierten Wahrnehmungstheorie und ihrer lebensweltlichen Überzeugung, dass die Dinge so gesehen werden, wie sie sind. Deshalb besteht für sie die Notwendigkeit des Wiederdarstellens eines Bildes. Hier kann auf die Scheidung der Welten verwiesen werden. Die mentale Welt muss nicht genauso sein, wie die äußere Welt; es genügt schon, wenn sie so ist, dass sie uns Orientierung bietet beim Leben und Überleben.

Wenn wir die Feststellung ernst nehmen, dass die Welt in der wir leben, eine Welt der mentalen Erlebnisse ist, dann ist es eigentlich nur folgerichtig, von diesen Erlebnissen auszugehen. Anders als üblich beginnt der Unterricht zum Sehen gerade nicht mit dem Objekt und endet auch nicht schon an der Netzhaut. Denn damit würde die Richtung des Sehens, die nach lebensweltlicher Vorstellung vom Auge zum Objekt läuft (Hingucken, Anstarren usw.), umgedreht – oft ohne dass dies auch nur erwähnt wird. Dagegen wird hier vorgeschlagen, mit dem zu beginnen, was uns beim Sehen gegeben ist: mit unserem Seherlebnis. Wenn wir sehen, haben wir es zunächst mit einer kognitiven Welt zu tun, mit den Erzeugnissen oder Konstruktionen unseres Gehirns. Sehen ist zentral eine kognitive Leistung des Gehirns - Sehen heißt Denken.

Koordinierung der Sinne und Orientierung in der Umwelt

Wir haben gelernt, die phänomenale Welt kognitiv dem »draußen« zuzuordnen. Insofern erhält das Hingucken, Drauf- oder Hineinsehen, also das lebensweltliche Extrospektionskonzept, hier eine neue, eine wissenschaftliche Bedeutung. Wir haben in unserer frühen Kindheit hart daran gearbeitet, die Haltungen und Bewegungen unserer beiden Augen zu koordinieren. Wir haben lange geübt, die Bewegungen unserer Hände mit unseren visuellen Wahrnehmungen zu koordinieren. Entsprechendes gilt für unsere Fortbewegung. Auf diese Weise können wir unsere phänomenale Welt nutzen, um uns angemessen in der Umwelt zu orientieren. Üblicherweise erleben wir unsere kognitive Welt aber nicht als kognitiv, sondern wir meinen und verhalten uns so, wir hätten es mit den Objekten selbst zu tun: Wir erleben unsere Welt objektivistisch. Was anscheinend auch durch schmerzhaft Erfahrungen bekräftigt wird, wenn wir etwas übersehen haben und anecken.

Die Koordinierungsleistung wird erfahrbar, wenn wir eine neue Brille aufsetzen oder Kontaktlinsen einsetzen und dann zunächst Verzerrungen z.B. an Gebäuden wahrnehmen, die aber bald wieder verschwinden oder wenn wir anfangs eine Treppe unsicher hinabsteigen. Noch

heftiger lässt sich der Verlust an Koordination hinter einer Prismenbrille erfahren: Händeschütteln oder einfache Fortbewegung im Raum wird zunächst zur Qual, gelingt dann aber immer besser. Bei Würfeln mit Jonglierbällen auf konzentrische Zielkreise an der Tafel zeigt sich nach dem Aufsetzen der Prismenbrille ein schlagartiger Verfall der Treffsicherheit und eine anschließende, allmähliche Annäherung an die alte Treffsicherheit (Lindner-Effland 1997, 34f). Es wird also eine neue Koordination von visueller Raumwahrnehmung und Wurfbewegung erlernt. Neu erlernen lässt sich eine solche Koordination auch beim Zeichnen einer Figur, z.B. eines Sterns, über ein Spiegelbild (Jaé 1997, 38f).

Wahrnehmungen sind also brauchbar, angemessen oder viabel in dem Sinne, dass wir uns mit Hilfe der daraus erzeugten phänomenalen Welt in unserer Umwelt orientieren können. Dazu verlegen wir unsere Schwelt in passender Weise kognitiv nach außen – passend in Bezug auf Überlebenswirksamkeit und auf andere Sinnesqualitäten (vgl. Roth 1994, 72). Die Schwelt in unserem Kopf wird gedanklich so in unsere Umwelt projiziert, dass sie mit unserer Tast-, Hör- und Körperbewegungswelt übereinstimmt. Unsere mental erlebten Wahrnehmungen sind weder wahr in dem Sinne, dass sie den Reizen der physikalischen Welt entsprächen, noch werden sie aufgenommen. »Wahrnehmung« kommt etymologisch eben nicht von »Wahrheit«, sondern von »wahren«, wovon wir noch das »gewahren« kennen, was soviel wie »aufpassen« oder »aufmerksam sein« bedeutet. Dies ist auch treffend, denn Wahrnehmung hat mit Aufmerksamkeit sehr viel zu tun, wie auch das Spiel »Ich sehe was, was du nicht siehst« sehr schön zeigt.

Korrespondenzen zwischen lebensweltlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen

Lebensweltlich erleben wir Sehen meist extrospektiv als Äußerung (Gropengießer 1999, 66f), als *Hinsehen, Angucken, Ausschau halten*, da wird ein *Auge geworfen*, der *Blick durchdringt* den Nebel und viele Biologen sehen *durch* das Mikroskop. Diese lebensweltliche Vorstellung des »Sehens nach außen« erhält nun eine neue Bedeutung im Rahmen einer wissenschaftlichen Theorie: Aus konstruktivistischer Sicht haben wir es mit einer phänomenalen Welt zu tun, einem Konstrukt unseres Gehirns, einer bildlichen Vorstellung, welche (rein kognitiv) dem »draußen« zugeordnet wird. Weil wir dies als Äußerung, als nach außen gerichteten Vorgang erleben, machen die Vorstellungen der konstruktivistischen Sehtheorie auch in alltäglichen Zusammenhängen Sinn.

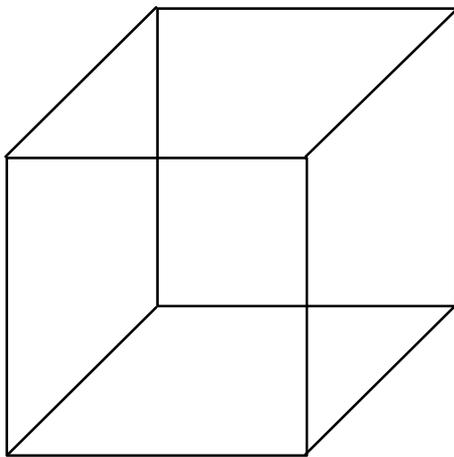
Wird hingegen eine physikalische und physiologische Theorie isoliert gelehrt, ohne Beziehung zur lebensweltlichen Erfahrung und den daraus entwickelten Vorstellungen, dann werden fachliche Vorstellungen entweder einfach neben den Alltagskonzepten gebraucht oder auch so modifiziert, dass sie einigermaßen in die Alltagstheorien hineinpassen. Mehr Erfolg versprechen hier unterrichtliche Ansätze, die von Phänomenen ausgehen und dadurch die für die wissenschaftliche Konzepte notwendigen Erfahrungen überhaupt erst stiften (z.B. Schön 1994; Erb & Schön 1996) oder die (s.o.) auf Erfahrungen und Vorstellungen der Lerner zurückgreifen bzw. darauf aufbauen (Gropengießer 1997c; 1997d).

Wie die Forschungen zu Schülervorstellungen gezeigt haben, trägt jedenfalls die Hoffnung, die wissenschaftlichen Vorstellungen würden die lebensweltlichen Vorstellungen einfach ersetzen oder auslöschen (Wandersee, Mintzes & Novak 1994). „Lebensweltliche Vorstellungen sollten nicht abgeschafft oder überwunden werden, sondern vielmehr erhellt, verstanden und selbst – soweit es geht – systematisiert werden. Naturwissenschaftliche Denkweisen können nicht an ihre Stelle treten, denn sie gehören in einen anderen funktionalen Zusammenhang. Sie sollten zusätzlich erworben und in der Konfrontation mit lebensweltlichen Vorstellungen in ihrer

Spezifität erkannt werden, andererseits aber auch die lebensweltlichen Erfahrungsweisen durchsichtig machen“ (Böhme 1981, 109). Notwendig ist also die metakognitive Einsicht, dass es zum »Sehen« zwei Denkfiguren gibt, die jeweils in bestimmten Kontexten erfolgreich eingesetzt werden können: eine lebensweltliche und eine wissenschaftliche. Diese Denkfiguren sind in Beziehung zu setzen.

Die Konstruktivität des Gehirns

Betrachtet man eine Necker-Figur (s. Abb. 10) lässt sich reflektierend beobachten, dass wir es sind, die hier sehen: Es lässt sich beobachten, wie wir konstruktiv sehend tätig werden. Dies wird zunächst durch das Phänomen des Kippens deutlich: Wir nehmen die Figur auf den ersten Blick als Würfel wahr - wobei einmal diese, dann wieder jene Ecke vorn erscheint.



*Abb. 10.
Figur nach Louis Necker*

Nun lässt sich die Figur aber auch viel einfacher als Fliesenmuster sehen oder interpretieren. Oder noch einfacher als ein wenig Graphit, linienhaft auf Papier gebracht (oder als Gips auf einer Tafel). Die Figur lässt sich aber auch noch in ganz anderer Weise sehen: z.B. als Pyramidenstumpf (s. Abb. 11). Worauf es hier ankommt: Es bleibt immer das selbe Objekt – aber wir sehen sehr Unterschiedliches. Wir haben unterschiedliche Wahrnehmungen trotz (oder neutraler: bei) gleicher Reizkonstellation. Dabei wird deutlich, daß Sehen in entscheidendem Maße unsere Leistung ist. Wir können sozusagen die Konstruktivität unseres Gehirns beobachten. Im Rückblick kann nun auch unsere Fähigkeit, Farben zu sehen, als konstruktive Leistung gekennzeichnet werden.

Sehen ist also kein passives, rezeptives Aufnehmen. Die Dinge werden auch nicht einfach so gesehen, wie sie sind. Dies widerspricht den lebensweltlichen Überzeugungen und Vorstellungen (s. Zusammenfassung wichtiger Befunde...).

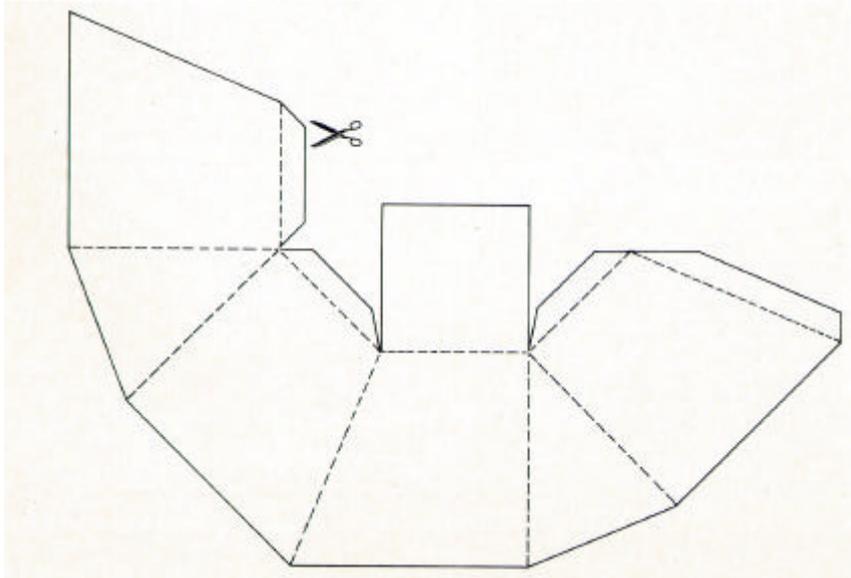


Abb. 11. Plan (verkleinert) eines Pyramidenstumpfs, der in der Neckerfigur gesehen werden kann (Gropengießer 1986)

Mit den Augen sehen

Lebensweltlich werden die Augen als Organe begriffen, die sehen. Auch in den antiken Sehtheorien sind die Augen Werkzeuge aber vor allem auch Orte der Wahrnehmung. Für Descartes hingegen sieht die Seele. Sehen ist damit ein (experimentell nicht näher erfassbarer) psychischer Vorgang. Noch anders in einer konstruktivistischen Sehtheorie: Danach sieht das Gehirn. Das Gehirn ist das Organ, mit dem die phänomenale Welt der Wahrnehmung erzeugt wird (Gropengießer 1997, 87). Ausgewählte wissenschaftshistorische Texte (z.B. Platon, Descartes, Helmholtz; vgl. Lind 1983, Gropengießer 1997, 155) können dazu beitragen, Wissenschaft als Prozess erkennbar werden zu lassen.

Es ist also deutlich zu machen, dass es unser Gehirn ist, welches mit den Augen sieht. Seherlebnisse sind auch möglich, wenn wir die Augen schließen und uns etwas vorstellen. Allerdings sind solche visuellen Vorstellungen meist nicht so intensiv, wie Sehen mit den Augen, was an dem höheren Erregungsniveau der entsprechenden Hirnrindenareale liegt. Vor allem aber sind Seherlebnisse besonders dann für eine Orientierung in der Umwelt nützlich, wenn unser Gehirn mit den Augen sieht.

Sehen als Tätigkeit des Gehirns: Das Gehirn sieht

Die Rolle des Gehirns bei der Wahrnehmung lässt sich heute sichtbar machen. Mit bildgebenden Verfahren lassen sich Hirnprozesse beobachten und als »Bilder des Geistes« darstellen (Kandel, Schwartz & Jessel 2000; Posner & Raichle 1996). Mit solchen „Erfahrungen aus zweiter Hand“ kann im Unterricht gearbeitet werden (vgl. z.B. Sievert & Greber 1998, 37f). An den »Bildern des Geistes« lässt sich zeigen, dass spezielle Seherlebnisse zu Erregungen in bestimmten Hirnregionen führen. Umgekehrt kann man von Erregungen in bestimmten Hirnregionen auf Klassen von Seherlebnissen schließen. Unsere Seherlebnisse sind sehr eng mit Erregungsmustern bestimmter Hirnregionen korreliert, um nicht zu sagen: Die Erregungsmuster sind ein Aspekt

unserer Seherlebnisse. Alles, was im Nervensystem zählt oder einen Unterschied ausmachen kann, sind Aktionspotentiale und Transmitterausschüttungen.

Wahrnehmung und Bewegung

Das Muster der Erregungen in bestimmten Hirnregionen ändert sich, wenn Reize an Sinneszellen Erregungen auslösen (Transduktion), die bis ins Gehirn fortgeleitet werden. Diese Erregungsänderungen über Sinnesorgane werden aktiv gesucht: Bewegungen des Sinnesorgans Auge ermöglichen bzw. verbessern und gestalten viele Wahrnehmungen erst. Wird die Augenmuskulatur mit dem Anästhetikum Novocain gelähmt, ist der Augapfel gegenüber dem Kopf unbeweglich (Ditfurth 1981, 130; vgl. Gropengießer 1997c, 4f). Legt die Versuchsperson den Kopf dann still auf ein Gestell, sieht sie nach kurzer Zeit nur noch ein helles Grau. Diese Erscheinung nennt man Fixationsblindheit. Bewegte Dinge tauchen allerdings aus diesem Grau auf, z.B. ein fallendes Blatt oder eine Person, die sich bewegt. Auch die ruhenden Dinge der Umgebung werden wieder sichtbar, wenn die Versuchsperson den Kopf kurz bewegt. Ein prinzipiell ähnlicher Versuch (vgl. Gilchrist 1986; Schmees-Pili 1998) zeigt im Zusammenhang mit Farbwahrnehmung, wie wichtig Bewegung für die Wahrnehmung ist.

Farbblind. Man legt die Reizvorlage (Abb. 12) vor sich auf den Tisch und stützt den Kopf mit beiden Armen ab, wobei die linke Hand das linke Auge verdeckt. Mit dem rechten Auge wird das Kreuz fixiert. Beobachtet wird die Farbwahrnehmung der Reizvorlage.

Nach kurzer Fixation nehmen die Beobachter keinen grünen Innenkreis mehr wahr, sondern allein einen roten Vollkreis. Eine kleine Bewegung – in welche Richtung auch immer – und wir können wieder einen grünen Kreis im roten Kreisring sehen.

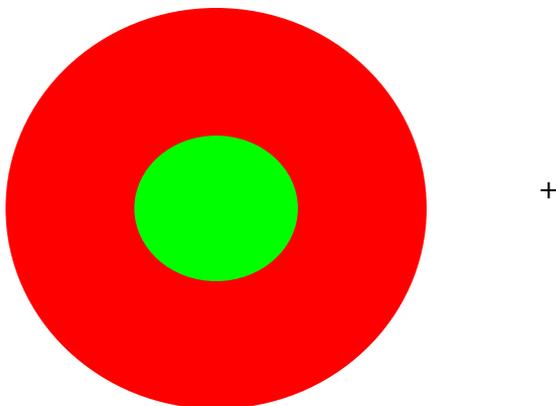


Abb. 12. Reizvorlage (innerer Kreis grün, Kreisring rot erscheinend) mit Fixationskreuz

Dieser Ausschaltversuch zeigt, dass unsere sprunghaften Augenbewegungen (Sakkaden) ganz offensichtlich einen wesentlichen Beitrag zur Farbwahrnehmung leisten. Damit wird die lebensweltliche Vorstellung vom Sehen als Aktivität auch experimentell gestützt. Aber der Alltägliche Realismus wird in Frage gestellt: Die Dinge sind eben nicht so zu sehen, wie sie sind. In diesem Sinne handelt es sich bei diesem Versuch um ein weiteres Beispiel der in Abbildung 7 angeführten Experimente rund um die Wahrnehmung von »rot«. Es wird weiterhin deutlich, dass für die Farbwahrnehmung keineswegs die Wellenlänge der von der Reizvorlage reflektierten elektromagnetischen Strahlung entscheidend ist.

Übrigens ist die Versuchsanordnung mit Bedacht so gewählt, dass ein Erklärungsansatz über den Blinden Fleck nicht in Frage kommt. Wird der Versuch mit dem linken Auge wiederholt, sollte das Fixationskreuz auf die linke Seite gesetzt werden.

Bedeutungshaftigkeit der Wahrnehmung

Sehen heißt (fast) immer auch *sehen als*. Wir sehen immer schon Gegenstände, wir sehen immer schon etwas mit Sinn und Bedeutung (Begriffliches Sehen). Wenn das einmal nicht so ist, dann suchen wir nach Sinn und Bedeutung. Im Sternenhimmel sowie in Wolken sehen wir Figuren, ja sogar in völlig zufällig verteilte Punktwolken sehen wir Muster hinein. Unter dem Aspekt der Suche nach Bedeutung lassen sich auch die verschiedenen Interpretationen der Kippfiguren (Necker-Figur; alte-Frau/junge-Frau; Ente/Hase) verstehen. Sogar völlig gleichmäßig in einem Raster angeordnete Punkte machen bei Betrachtung einen unruhigen Eindruck. Wir sehen Diagonalen, Rechtecke, Fliesenmuster, Kreuze und vieles mehr. Wir können uns so bei der Suche nach einem Muster beobachten.

Die Suche, ja den Drang nach Bedeutung in der Wahrnehmung sollte man kennen, wenn es um eine kritische Einschätzung von Interpretationen geht.

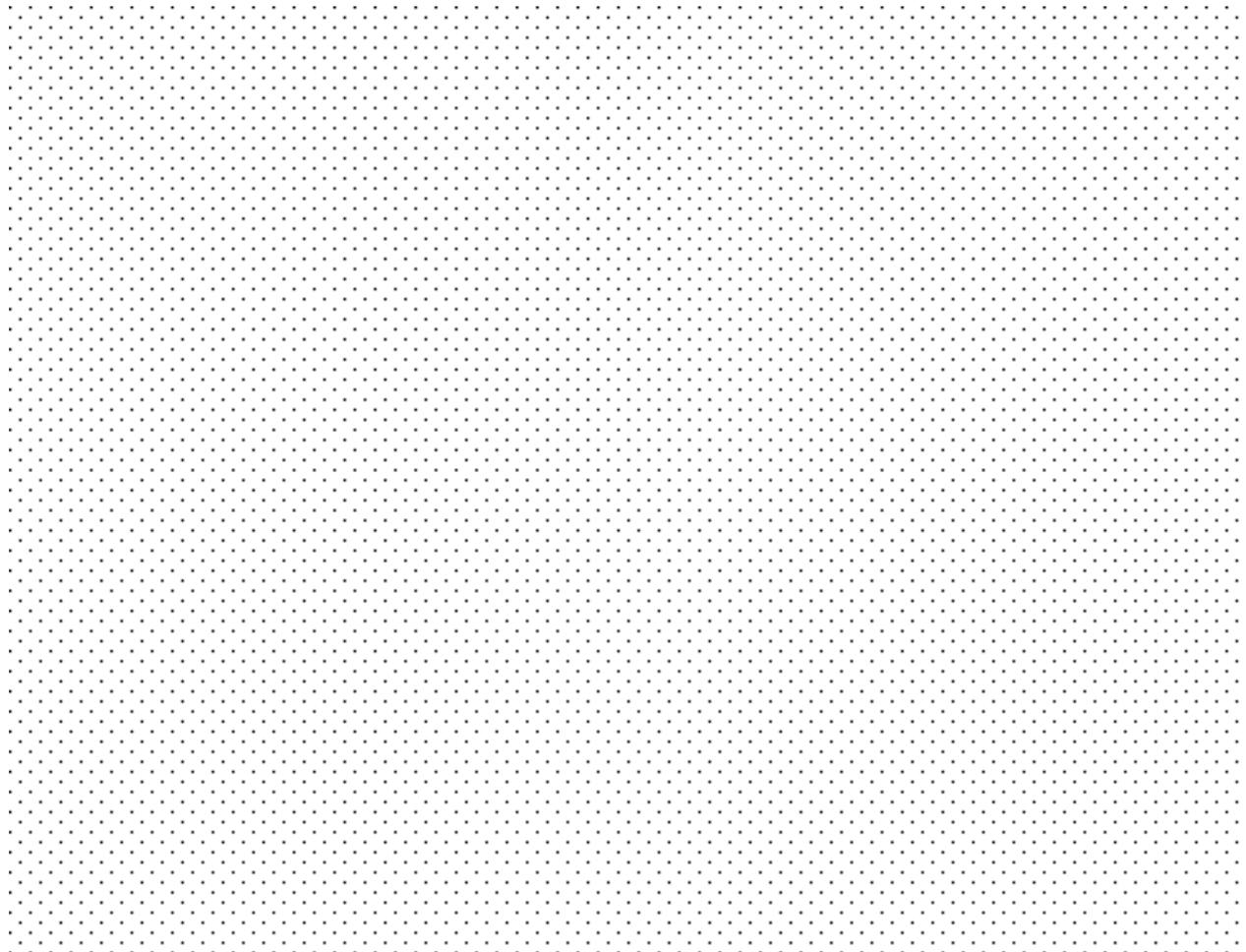


Abb. 13. Reizvorlage Punktemuster

Sehen und Erinnern

Unser mentales Erleben beim Sehen ist zu einem guten Teil durch unser Gedächtnis gestützt. Unser Gedächtnis kann deshalb auch als unser wichtigstes Sinnesorgan betrachtet werden (vgl. Roth 1994). Belegen lässt sich dies sowohl sinnesphysiologisch als auch durch alltägliche Begebenheiten. So lassen z.B. mit dem Sinnesorgan Auge nur eine geringe Anzahl von Unterscheidungen pro Sekunde bewusst treffen. Das von uns wahrgenommene mentale Bild ist dagegen deutlich informationsreicher. Wenn wir in ein für uns unbekanntes Zimmer eintreten, haben wir sofort den Eindruck eines vollständigen Bildes. Erst wenn wir mit einer anderen Person über unsere Eindrücke reden, stellen wir fest, dass uns einiges überhaupt nicht aufgefallen ist. Es braucht erstaunlich viel Zeit, bis unser Bild, welches wir uns machen, vollständig ist. Selbst radikale Veränderungen müssen uns dann nicht sofort auffallen. Deshalb sind besondere Maßnahmen wie der Polizist aus Pappe am Strassenrand notwendig, um Autofahrer auf eine veränderte Vorfahrtsregelung hinzuweisen, denn viele Autofahrer rollen hauptsächlich durch ihre Erinnerung.

Einmal gesehen ... Sieht man sich die schwarzen und weißen Flächen der Abbildung 14 an, so fällt es zunächst schwer, hier eine Bedeutung heranzutragen. Weiß man aber, dass es sich um die Abbildung eines Dalmatiners handelt, dessen Kopf sich im Bildzentrum befindet, gelingt das Erkennen beim nächsten Mal schneller.

Unsere Erinnerung hilft uns hier, zu einem sinnvollen Seherlebnis zu kommen.



*Abb. 14. Reizvorlage.
Was sehen Sie?*

Mit diesem Versuch kann die lebensweltliche Gleichsetzung von Sehen und Erkennen thematisiert werden. Üblicherweise sehen wir Personen, Häuser, Straßen usw., ohne uns klar zu machen, dass solche bedeutungshaften Wahrnehmungen auf Gedächtnisleistungen angewiesen sind. Erkennendes Sehen ist eng mit unserem Wissen verbunden.

Verlässlichkeit der Wahrnehmung

Wahrnehmungen sind verlässlich insoweit, als sie wiederholbar und oft auch intersubjektiv nachvollziehbar sind. Obwohl sie unsere Leistung sind, obwohl wir sie generiert und konstruiert haben, lassen sich Wahrnehmungen nicht willkürlich oder beliebig verändern. Ich sehe einen Feuerlöscher unter geeigneten Bedingungen immer wieder rot, ganz gleich, ob ich ihn lieber blau oder grün sehen möchte.

Die Verlässlichkeit und Funktionalität unserer Wahrnehmungen (und nicht zuletzt unserer Motorik) zeigt sich auch im Zusammenhang mit relativ schwierigen Aufgaben, wie z.B. dem Einfädeln eines Fadens in ein Nadelöhr. Dabei geht es allerdings zentral immer um die Koordination von Wahrnehmungen und Bewegungen.

Sehen und Existenz

Etwas sehen heißt in lebensweltlichen Zusammenhängen, dass es existiert. Was ich sehe, das glaube ich. Wir machen meist keinen Unterschied zwischen unseren Wahrnehmungen und der Realität. Diese notwendige Unterscheidung kann aber am Beispiel der sogenannten »optischen Täuschungen« herausgearbeitet werden, die besser als »visuelle Täuschungen« zu bezeichnen sind. »Visuelle Täuschungen« wie z.B. das »Loch in der Hand« (s. Kasten) werden als kognitive Leistungen des Gehirns erkennbar.

Loch in der Hand: Ein Blatt Papier (DIN A4) wird längs auf ca. 2 bis 3 cm Durchmesser zusammengerollt. Mit der rechten Hand wird die Rolle vor das rechte Auge gesetzt. Die linke Hand wird neben die Rolle gehalten, mit der Innenseite zum linken Auge weisend.

Gesehen wird ein Loch in der Hand, durch das hindurch sich entferntere Dinge zeigen.

Bei den Versuchen kann auch die Beschreibung mentaler Erlebnisse geübt werden. Wenn es um Beobachtungen im Zusammenhang mit Sehen geht, ganz besonders bei visuellen Täuschungen, ist es unerlässlich, die Beobachtungen mentalistisch zu beschreiben. Es darf dann nicht heißen: „Da ist ein Loch in der Hand“ – das wäre eine objektivistische Beschreibung – sondern es muss heißen: „Ich sehe ein Loch in der Hand“ oder: „Ich nehme ein Loch in der Hand wahr“ oder: „Mir erscheint ein Loch in der Hand“. Entscheidend für die Wahl einer mentalistischen Beschreibungsebene ist die Fragestellung: Es geht zunächst nicht um die Hand, sondern um mein visuelles System und dessen Funktion. Erfahrbar sind bei diesem Versuch nur die mentalen Erlebnisse. Diese bilden die einzige Welt, die uns unmittelbar gegeben ist. Mentalistische Beschreibungen beziehen sich auf diese mentalen Erlebnisse. Objektivistische Beschreibungen beziehen sich auf Tatsachenbehauptungen über Objekte. Bei visuellen Täuschungen haben wir es oft mit widersprüchlichen mentalen Erlebnissen zu tun: Normalerweise nehme ich kein Loch in der Hand wahr, diese Wahrnehmung habe ich nur unter ganz bestimmten Umständen. Ich vertraue dann mehr meinen Handlungen unter Hinzuziehung anderer Sinne. Ich kann z.B. meine Hand betasten. Auf diese Weise komme ich ausgehend von mentalistischen Aussagen zu objektivistischen Aussagen.

Sinnesorgan Auge

Sinnesorgane bestehen im Wesentlichen aus Sensoren und Hilfsstrukturen (akzessorischen Strukturen). Während die Funktion der Sensoren in der Transduktion besteht, lässt sich die Funktion der Hilfsstrukturen als Modifikation kennzeichnen. Hilfsstrukturen modifizieren den distalen Reiz zu einem proximalen Reiz. So sorgen Strukturen wie die Hornhaut und die Linse dafür, dass (in erster Näherung) alle elektromagnetische Strahlung, welche von einem Punkt der Umwelt stammt, auf dieselbe Sensorzelle fällt. Auf der Hornhaut ist die Situation noch völlig anders: Auf jeden Punkt der Hornhaut kann von jedem Punkt der Umwelt physikalisches Licht auftreffen. Die Grenzflächen vor allem zwischen Luft und Hornhaut sowie die zwischen Linse und Kammerwasser sorgen für eine Brechung des Lichts zu einem (physikalischen) Netzhautbild. Das Netzhautbild entspricht einem Muster geordneter proximaler Reize.

Die Iris als Hilfsstruktur modifiziert dagegen die Fläche des Sehlochs, durch das elektromagnetische Strahlung einfallen kann. Dadurch kann die Beleuchtungsstärke im Auge einigermaßen geregelt werden. Wenn die Beleuchtungsstärke zu groß ausfällt, kann das Auge mit dem Lid abgedeckt werden; gleichzeitig wird durch den Lidschlag die Hornhaut mit Tränenflüssigkeit befeuchtet und ernährt.

Erkenntnisfördernd ist hier die Betrachtung, Zeichnung und Beschreibung des menschlichen Auges, soweit es von außen sichtbar ist (s. Abb. 15). Nützlich für die Erkundung weiterer Strukturen und Funktionen des Auges ist die Präparation eines Schweineauges.

Sieh mir aufs Auge. Das eigene Auge wird im Spiegel betrachtet. (Alternativ: Das Auge der Partnerin/des Partners wird betrachtet.) Die Aufgabe besteht darin, eine Zeichnung aller von außen ohne Hilfsmittel sichtbaren Strukturen anzufertigen und zu beschriften.

Welche Funktionen haben die Strukturen?

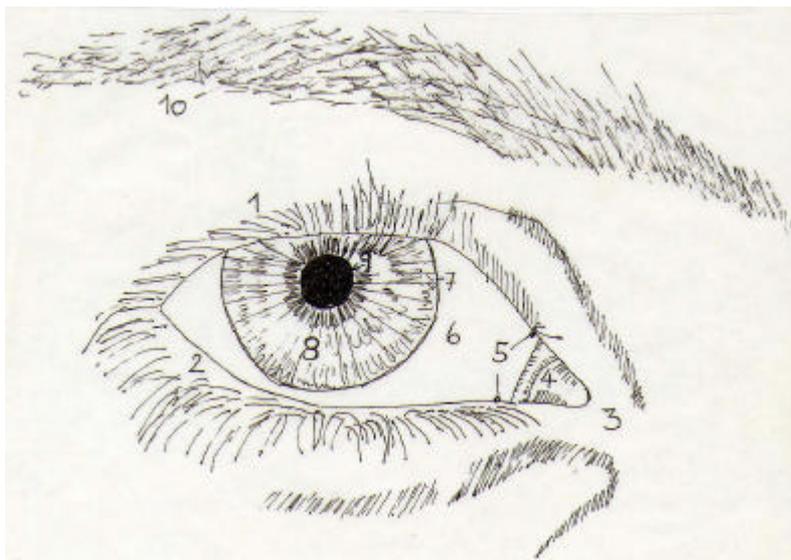


Abb. 15. Zeichnung eines Auges von außen (1 Oberlid mit Augenwimpern, 2 Unterlid mit Augenwimpern, 3 Außenwinkel, 4 Karunkel oder Tränenwärtchen, 5 Öffnung der Tränenkanälchen, 6 Augenbindehaut oder Konjunktiva, 7 Hornhaut oder Cornea, 8 Regenbogenhaut oder Iris, 9 Sehloch oder Pupille, 10 Augenbraue)

Die Hornhaut wird wegen ihrer Durchsichtigkeit meistens übersehen. Hier hilft eine seitliche Betrachtung. Auch wird irrigerweise angenommen, das Weiße im (besser: am) Auge sei die Lederhaut. Die ist aber unter normalen Umständen nicht zu sehen. Das Weiße am Auge ist die Bindehaut oder Konjunktiva, die rund um die Hornhaut ansetzt. In ihr sind feine Blutgefäße zu entdecken. Was aber, wenn „eine Mücke ins Auge fliegt“? Die Mücke befindet sich dann entweder auf der Hornhaut, auf der Bindehaut oder unter einem Lid – also nicht im Auge, sondern auf oder am Auge. Oft besteht die Vorstellung, ein Fremdkörper könne hinter das Auge gelangen. Dem ist nicht so. Bindehaut und Lider sind zu einer umlaufenden Tasche variabler Tiefe verbunden, die am Karunkel die Oberfläche erreicht. Deshalb können Fremdkörper wie eine Mücke am Karunkel in den Augwinkel gewischt werden. Technisch betrachtet handelt es sich bei der Bindehaut um eine Manschettendichtung, welche die Bewegung des Augapfels gegenüber dem Kopf erlaubt.

Die Präparation eines Schweineauges gelingt am Besten mit ganz frischem Material. Von der Lehrperson sollten evtl. anhängende Lider und Blut entfernt werden, um eine Annäherung der Lerner zu erleichtern. Diese sollten auch Gelegenheit erhalten, sich vorab gedanklich mit dem Vorhaben zu beschäftigen und es sollten ihnen Möglichkeiten für den Umgang mit Ekel angeboten werden (Gropengießer & Gropengießer 1985). Von außen sollte auf jeden Fall die Muskulatur und der Sehnerv beachtet werden. Mit einer spitzen Schere wird dann die Lederhaut durchtrennt, so dass eine vordere und eine hintere Augenhälfte vorliegen. Die hintere Augenhälfte wird in Wasser hin und her geschwenkt, wodurch sich die leicht gräuliche Netzhaut abhebt und faltig zusammenlegt, weil sie noch an einer Stelle mit dem Augapfel verbunden bleibt. An eben dieser Stelle sitzt der Sehnerv. Es handelt sich um den Blinden Fleck, der schon aus den sinnesphysiologischen Versuchen bekannt ist. In diesem Bereich befinden sich keine Sensoren. Die Netzhaut kann mikroskopisch untersucht werden, wobei allerdings unter schulischen Bedingungen nicht viel mehr, als ein geometrisches Muster der Sensorzellen sichtbar wird.

In der vorderen Augenhälfte sollte noch die Linse mit den Linsenbändern und der Ziliarmuskel untersucht werden. Dabei darf aber nicht der Eindruck entstehen, die Linse sei die einzige bilderzeugende Struktur. Die Linse ist vorwiegend für die Funktion der Akkomodation, für die Wahl der Gegenstandsweite, die scharf auf die Netzhaut abgebildet wird, zuständig. Wichtiger für die Bilderzeugung ist die äußere Grenzfläche der Hornhaut.

Ein weiterer Versuch an einem Schweineauge macht das Netzhautbild sichtbar: Von hinten wird ein Loch etwa von der Größe eines Centstücks in den Augapfel geschnitten. Das Heraustreten (Auslaufen) des Auges wird mit einem Stück Zeichenpergamentpapier, welches gleichzeitig als Mattscheibe dient, verhindert. Das so präparierte Auge wird in einem abgedunkelten Raum zur Festlegung und Formung auf die Öffnung eines dünnhalsigen Erlenmeyerkolbens gesetzt und auf eine brennende Kerze ausgerichtet. Auf dem Pergamentpapier ist das Bild einer umgedrehten Kerze zu erkennen, das Netzhautbild. Die Deutung dieser beeindruckenden Beobachtung ist sorgfältig vorzunehmen, weil einige Missverständnisse nahe liegen:

1. Da wir sowohl Kerze und Netzhautbild am Schweineauge sehen können, liegt die Vermutung nahe, das Bild der Kerze existiere auch schon vor dem Auge, es werde sozusagen verkleinert und umgedreht. Durch Versuche an Linsen und Lochkamas lässt sich dagegen zeigen, dass Bilder durch Linsen oder ein kleines Loch erst erzeugt werden.
2. Verwandt damit ist eine weitere, die »holistische« Vorstellung (s. *Die Vorstellungen der Lerner...*): Das ganze Bild entsteht aus dem ganzen Objekt. Dies hängt auch mit der Vorstellung vom Sehen–ist–Erkennen zusammen – es sind Objekte, die gesehen werden. Dem gegenüber stellen sich Physiker vor, dass von jedem Punkt des Objekts elektromagnetische Strahlung in alle Richtungen ausgesandt wird. Der Teil der von jedem Punkt ausgesandten Strahlung, der auf die Hornhaut trifft, wird auf einem Punkt der Netzhaut (Pergamentpapier) vereinigt. Dies geschieht in räumlicher Punkt–für–Punkt

Zuordnung. Die Frage des Zusammenhaltens der von einem erkannten Objekt ausgehenden Strahlung, stellt sich für Physiker so nicht.

3. Da wir sowohl Kerze und Netzhautbild am Schweineauge sehen können, liegt die Vermutung nahe, was wir sähen, sei das Netzhautbild. Was wir sehen, ist aber in beiden Fällen ein mentales Erlebnis. In beiden Fällen ist das mentale Seherlebnis, welches wir bei der Betrachtung haben, von unserem Gehirn hervorgebracht. Wir haben keine Möglichkeit, direkt, ohne Transduktion und andere Funktionen unseres visuellen Systems, die Kerze oder das Netzhautbild zu schauen. Vielmehr muss klar werden, dass die in der Netzhaut angeordneten Sensoren es lediglich mit einer jeweils unterschiedlichen Intensität und spektralen Zusammensetzung der elektromagnetischen Strahlung (entsprechend dem Muster des Netzhautbildes) als Reiz zu tun haben, was dann eine entsprechende Erregung auslöst. Gesehen wird von uns nicht das Netzhautbild. Unser Gehirn sieht. Allerdings ist die geordnete Abbildung elektromagnetischer Strahlung auf die Netzhaut eine wesentliche Voraussetzung für ein deutliches und klares mentales Seherlebnis und eine wesentliche Voraussetzung für unsere Orientierung in der Welt.

Sehen der anderen Art(en)

Ein zwischenartlicher Vergleich der Sehsinne kann genutzt werden, über unseren Alltäglichen Realismus nachzudenken. Relativ einfach sind die Begrenzungen der Wahrnehmungsmöglichkeiten anderer Arten nachzuvollziehen. Ausschaltversuche wie verbundene Augen (kein Lichtsinn) oder Milchglasbrillen (kein Bildsehen) leisten hier gute Dienste. Viel schwieriger ist die Einsicht, dass auch der menschliche Sehsinn begrenzt ist. Hier können Aufnahmen mit verschiedenen Empfindlichkeitsbereichen (z.B. thermografische Aufnahmen, UV-Aufnahmen) eingesetzt werden oder auch Polarisationsfolien. Die Beschränkungen aber auch die Leistungsfähigkeit können auf diese Weise erfahrbar werden, gepaart mit der Einsicht, dass es für uns äußerst schwierig ist, uns vorzustellen, wie eine Biene sieht.

Fächerübergreifende Zusammenarbeit

Der Unterrichtsverlauf zum Sehsystem nimmt seinen Ausgang vom Standpunkt des Gehirns und gelangt erst dann zum Auge. Hier am Auge ergänzen sich nun die biologischen und die physikalischen Perspektiven. Hier kann eine Zusammenarbeit der Fächer Biologie und Physik nur förderlich sein. Die fachspezifischen Perspektiven, möglicherweise auch deren Grenzen, können hier deutlich herausgearbeitet werden.

Literatur

- Andersson, B. & Kärrqvist C. (1983). How Swedish Pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal of Science Education* 5, 387-402
- Berge, O. E. (2000). Das Auge im Optik-Unterricht der Sekundarstufe I. *Unterricht Physik* 11, H. 56, 10-14
- Böhme, G. (1981). Die Verwissenschaftlichung der Erfahrung — wissenschaftsdidaktische Konsequenzen. In Duit, R., Jung, W. & Pfundt, H. (Hrsg.), 85-113. Auch in Böhme, G. & Engelhardt, M. v. (Hrsg.), *Entfremdete Wissenschaft*. Frankfurt a. M. 1979, 114-136
- Davson, Hugh (1991). *Physiology of the Eye*. Macmillan, Houndmills and London
- Ditfurth, H. v. (1981). *Der Geist fiel nicht vom Himmel*. dtv, München
- Erb, R. & Schön, L. (1996). Vom Sehen zur Optik — Ein Curriculum für die Mittelstufe. *Praxis der Naturwissenschaften Physik* 45, H. 8, 31-36
- Fetherstonhaugh, T. & Treagust, D. (1992). Students' Understanding of Light and Its Properties: Teaching to Engender Conceptual Change, *Science Education* 76(6), 653-672
- Fleer, M. (1996). Early learning about light: mapping preschool children's thinking about light before, during and after involvement in a two week teaching program. *International Journal of Science Education* 18, No. 7, 819-836
- Galili, I., Bendall, S. & Goldberg, F. (1993). The Effects of Prior Knowledge and Instruction on Understanding Image Formation. *Journal of Research in Science Teaching* 30, 271-301
- Gilchrist, A. (1986). Die Wahrnehmung schwarzer und weißer Flächen. In: *Wahrnehmung und visuelles System*. Spektrum, Heidelberg (Verständliche Forschung)
- Guesne, E. (1984). Die Vorstellungen von Kindern über Licht. *physica didactica* 11, 79-98
- Guesne, E. (1992). Light. In: Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (Eds.), *Children's Ideas in Science*. Open University Press, Milton Keynes
- Gropengießer, H. (1986). Briefe an die Redaktion. *Spektrum der Wissenschaft* 12/1986, 4
- Gropengießer, H. (1997a). Didaktische Rekonstruktion des »Sehens«. *ZpB Zentrum für pädagogische Berufspraxis*, Oldenburg. ISBN 3-8142-0589-8
- Gropengießer, H. (1997b). Schülervorstellungen zum Sehen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3, H. 1, 71-87
- Gropengießer, H. (1997c). Wahrnehmung und Bewegung. *Unterricht Biologie* 21, H. 228, 4-13
- Gropengießer, H. (2000). Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Oldenburg: Habilitationsschrift (Veröff. i. Vorb.)
- Gropengießer, H. & Gropengießer, I. (1985). Ekel im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie* 9, H. 106, 40-42
- Jaé, E. (1997). Handelnde Widersprüche. *Unterricht Biologie* 21, H. 228, 38-41
- Jung, W. (1981). Ergebnisse einer Optik-Erhebung. *physica didactica* 8, 19-34
- Jung, W. (1982). Fallstudien zur Optik. *physica didactica* 9, 199-220
- Kandel, Eric, Schwartz, James H. & Jessel, Thomas M. (Eds.) (2000). *Principles of Neural Science*. MacGraw-Hill
- Kärrqvist, C. (1983). How Swedish Pupils, age 12-15, understand Light and its Properties. In: Helm, H. & Novak, J. D. (Eds.), *Proceedings of the International Seminar on "Misconceptions in Science and Mathematics"*. Cornell University, Ithaca, N. Y.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion — Ein theoretischer Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3, H. 3, 3-18
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire and Dangerous Things*. What Categories Reveal about the Mind. The University of Chicago Press, Chicago and London
- Langley, D., Ronen, M. & Eylon B.-S. (1997). Light Propagation and Visual Patterns: Preinstruction Learners' Conceptions. *Journal of Research in Science Teaching* 34, 399-424

- Lind, G. (1983). Die Brechung des Lichts: Theorien zur Erklärung eines Phänomens. Textband und Kommentarband. Verlag Barbara Franzbecker & IPN, Bad Salzdetfurth
- Lindner-Effland, M. (1997). Voll ins Schwarze. *Unterricht Biologie* 21, H. 228, 34-37
- Merzyn, G. (1984). zur Optik in der Sekundarstufe I. *NiU-P/C* 32, Nr. 2
- Merzyn, G. (2001). Das Sehen aus der Perspektive von Schülern, Biologen, Physikern und im Spiegel der Sprache. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 7, 177-179
- Osborne, J. F., Meadows, J. & Smith, M. (1993). Young children`s (7-11) ideas about light and their development. *International Journal of Science Education* 15, 83-93
- Piaget, J. (1992). Das Weltbild des Kindes. dtv, München
- Posner, G. et al. (1982). Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education* 66, 211-227
- Reiner, M. (1992). Patterns of thought on light, and underlying commitments. In: Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel: IPN, 99-109
- Rice, K. & Feher, E. (1987). Pinholes and Images: Children`s Conceptions of Light and Vision. I. *Science Education* 71, 629-639
- Roth, G. (1994). Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen. Frankfurt a. M.: Suhrkamp
- Schmees-Pili, U. (1998). Experimente zum Farbsehen als Grundlage für ein Verständnis der Wahrnehmung. Staatsexamensarbeit Universität Oldenburg, unveröff.
- Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. (Hrsg.) (2001). *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Springer-Verlag, Berlin u. Heidelberg
- Schön, L. (1994). Ein Blick in den Spiegel. Von der Wahrnehmung zur Physik. *Physik in der Schule* 32, H. 1, 2-5
- Selley, N. J. (1996a). Children`s ideas on light and vision. *Int. J. Sci. Educ.* 18, 713-723
- Selley, N. J. (1996b). Towards a phenomenography of light and vision. *Int. J. Sci. Educ.* 18, 837-846
- Sievert, A. & Greber, W. (1998). Hirnfunktionen sichtbar gemacht. *Unterricht Biologie* 22, H. 233, 37-41
- Silbernagl, S. & Despopoulos, A. (1983). *Taschenatlas der Physiologie*. Thieme, Stuttgart
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in Science. In Gabel, D. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: NSTA / Macmillan
- Whitworth, G. & Millar, R. (1994). How do we see? Teaching children the scientific model of vision. *School Science Report* 76, 113-116
- Wiesner, H. (1992). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik (I). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. *Physik in der Schule* 30, H. 9, 286-290