



Sehen und die Physik dahinter

– Fächerübergreifender Unterricht Physik-Biologie am Beispiel des Auges –

JENNIFER KASTNER

JENNIFER.KASTNER@GMX.AT

Zusammenfassung

In Schulen werden Fächer meist getrennt unterrichtet und große Themenbereiche auch nicht fächerübergreifend genutzt. In dieser Arbeit wird sich am Beispiel des Auges und des Vorgangs des Sehens exemplarisch mit fächerübergreifenden Themen in der Physik und der Biologie befasst. Es wird Bezug auf österreichische Lehrpläne der Sekundarstufe I und II und die Interessensforschung genommen. Das Licht als Modellvorstellung wird mit Schülerinnen- und Schülervorstellungen in Verbindung gebracht. Exemplarische Schwerpunkte sind unter anderem das menschliche Auge, die Akkommodation, „Sehstrahlen“, Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit, die Lichtumwandlung vom Photon zum Neuron und das Schwarz-Weiß-Sehen im Dunkeln. Fächerübergreifender Unterricht mit den genannten Themen fördert das Erlangen von Schlüsselqualifikationen und hat positive Auswirkungen auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler.

1 Einleitung

Als exemplarisches und fächerübergreifendes Thema im Unterricht fokussiert sich diese Arbeit auf verschiedene Anwendungsbereiche und Themen rund um das Auge im physikalisch-biologischen Schulkontext. Es wird Bezug auf österreichische Lehrpläne der Sekundarstufe I und II und Interessensforschung genommen. Das Licht als Modellvorstellung wird mit Schülerinnen- und Schülervorstellungen in Verbindung gebracht. Exemplarische Schwerpunkte sind unter anderem das menschliche Auge, die Akkommodation, „Sehstrahlen“, Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit, die Lichtumwandlung vom Photon zum Neuron und das Schwarz-Weiß-Sehen im Dunkeln.

2 „Fächerübergreifender Unterricht“ als Oberbegriff

In den folgenden Punkten werden einige Beispiele der Begriffsdefinition „fächerübergreifend“ genauer betrachtet und mit eigenen Beispielen über das Thema „Sehen und die Physik dahinter“ unterlegt. Die Einteilung der Begriffe ist in Anlehnung an Labudde, 2003.

Bei dem Begriff „fachüberschreitend“ steht ein Einzelfach am Anfang, das Elemente aus anderen Fächern integriert. Als Beispiel kann das Fach Physik mit dem Thema Optik genannt werden, welches Erkenntnisse aus der Geschichte des Fernrohres oder in der Biologie den Aufbau des Auges mit einbringt.

- „Fächer verknüpfend“ meint, dass zwei Fächer miteinander verbunden werden. Die Optik in der Physik mit direkter, wechselseitiger

und gleichbedeutender Verbindung des Aufbaus des Linsen Auges in der Biologie ist hier ein Beispiel. Auch der genaue Strahlengang des Lichtes im Auge vom Objekt bis hin zu den Nervenzellen am blinden Fleck können als fächerverknüpfendes Beispiel genannt werden.

- Bei der Bearbeitung eines Themas in mehreren Fächern wird der Begriff „themenzentriert“ herangezogen. Das Thema „Sehen und die Physik dahinter“ kann themenzentriert unterrichtet werden: Sehen in Bezug auf das Auge in der Biologie, Sehen in der philosophischen Erkenntnistheorie, Sehen in Bezug auf die Optik oder die Wellenlängen des Lichtes in der Physik, aber auch Sehen von Strukturen und Farben in Kunst und Bildnerischer Erziehung.
- Die eben genannten Themen können auch im „integrierten Unterricht“ stattfinden. Bei diesem werden fächerübergreifende Inhalte mit integrierter Entwicklung und mit fachspezifischen Begriffen erarbeitet. Für diese Unterrichtsform wurde im Kanton Bern sogar ein eigener Lehrplan, „Natur-Mensch-Mitwelt“, erarbeitet. In Österreich wird dies oft allgemein als „Naturwissenschaftlicher Unterricht“ bezeichnet. So können Physik, Chemie und Biologie in einem Fach gemeinsam das ganze Jahr unterrichtet werden und Themen von verschiedenen Standpunkten her betrachtet werden. Je nach Unterrichtsphase können hier die Methoden stark variieren. (vgl. Labudde, 2003)

2.1 Fächerübergreifender Unterricht und dessen Auswirkung auf Lernende

Fächerübergreifender Unterricht resultiert aus konstruktivistisch orientiertem Unterricht, der einerseits das Lernen als aktiven Prozess und andererseits das Lernen mit den Vorerfahrungen und individuellen Interessen und Überzeugungen verknüpft. Somit ist die Identifikation mit den Lerninhalten beim fächerübergreifenden Unterricht zu berücksichtigen und soll durch Austausch und Wechselspiel von Fragen und Hypothesenbildung die Lernenden fördern. (vgl. Labudde, 2003)

„Ein Unterricht, der an konstruktivistischen Prinzipien orientiert ist und damit 'ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken' (Wagenschein 1970) zum Ziel hat, wird daher über weite Strecken Fach überschreitend, Fächer verknüpfend oder Themen zentriert sein“

(Labudde, 2003, S. 50)

Schlüsselqualifikationen, auch überfachliche Kompetenzen genannt, werden durch fächerübergreifenden Unterricht gefördert und Schülerinnen und Schüler erwerben wichtige transdisziplinäre Fähigkeiten. Ebenso werden beispielsweise Selbstreflexion, Verantwortung, Kooperations- und Kritikfähigkeit, Kreativität, Bewältigungsstrategien und Umweltkompetenz besser vermittelt, als in einseitigem Unterricht. (vgl. Labudde, 2003)

3 Lehrplanbezug

3.1 Lehrplanbezug Biologie

In den österreichischen Lehrplänen der Sekundarstufe I und II für Biologie und Umweltkunde werden die Begriffe „Auge“, „Optik“, „Sehen“ und „Wahrnehmung“ zwar nicht wörtlich genannt, diese Themen werden aber oft exemplarisch für verschiedene andere Themengebiete genutzt und in der Schule durchgenommen.

„...Grundlagen von Information und Kommunikation in Nervensystemen (Reizaufnahme, Erregungsleitung, Verarbeitung, moderne Hirnforschung, ...)“

(BMB Lehrplan Biologie, AHS-Oberstufe)

Hier können das Auge und der Prozess des Sehens lehrplangerecht im Unterricht gebracht werden. Auch unter „Didaktische Grundsätze“ kann das Thema in den Unterricht aufgenommen werden:

„...Auswahl von Inhalten, die maximalen Erkenntnisgewinn im Sinne von biologischem Basiswissen und zentralen Kompetenzen (z.B. vernetztes Denken) bringen und als Grundlage für lebenslanges Lernen dienen können.“

(BMB Lehrplan Biologie, AHS-Oberstufe)

Die Bearbeitung des fächerübergreifenden Themas „Sehen und die Physik dahinter“ kann das Erwerben dieser Kompetenzen ermöglichen.

Im Lehrplan der Sekundarstufe I findet man die oben genannten Begriffe ebenfalls nicht, kann aber schon konkretere Anhaltspunkte zum Thema „Sehen und die Physik dahinter“ finden.

Hier kann man zielstrebig auf die Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit eingehen:

„...Gesundheit/Krankheit als biologisches und soziales Phänomen...“

(BMB Lehrplan Biologie, AHS-Unterstufe)

Erst in der 4. Klasse der Sekundarstufe I kann unter „Mensch und Gesundheit“ das Auge exemplarisch für den menschlichen Körper durchgenommen werden. Das Auge oder das Sehen werden dennoch im Lehrplan nicht wörtlich gebraucht.

„Die Kenntnisse über Bau und Funktion des menschlichen Körpers (einschließlich der Themenfelder Gesundheit und Krankheit, Psychosomatik und Immunsystem) sind zu erweitern und zu vervollständigen...“

(BMB Lehrplan Biologie, AHS-Unterstufe)

3.2 Lehrplanbezug Physik

Der Lehrplan für die Physik in der Sekundarstufe II in Österreich beinhaltet viele Schwerpunkte, die unter „Bildungs- und Lehraufgabe für das Thema „Sehen und die Physik dahinter“ sprechen:

„Ziel des Physikunterrichts ist daher die Vermittlung des nötigen Rüstzeuges zum verstehenden Erleben von Vorgängen in Natur und Technik und keinesfalls nur das Informieren über sämtliche Teilgebiete der Physik.“

(Lehrplan Physik, AHS-Oberstufe)

Unter der Überschrift „Beiträge zu den Bildungsbereichen“ unter „Kreativität und Gestaltung“ sollte rein fächerübergreifend unterrichtet werden. Hier kann gut ein Wirklichkeitsbezug für die Schülerinnen und Schüler hergestellt werden:

„Prinzipielles über physikalische Grundlagen der Wahrnehmung wissen; sich mit künstlerischen Umsetzungen physikalischer Konzepte auseinandersetzen“

(Lehrplan Physik, AHS-Oberstufe)

Im Lehrplan Physik für die Sekundarstufe I wird ein eigener Punkt dem Thema „Die Welt des Sichtbaren“ gewidmet. Dieser überschneidet sich sehr mit dem Titel dieser Arbeit „Sehen und die Physik dahinter“:

„Ausgehend von Alltagserfahrungen sollen die Schülerinnen und Schüler grundlegendes Verständnis über Entstehung und Ausbreitungsverhalten des Lichtes erwerben und anwenden“

können. Die Voraussetzungen für die Sichtbarkeit von Körpern erkennen und die Folgeerscheinungen der geradlinigen Lichtausbreitung verstehen; Funktionsprinzipien optischer Geräte und deren Grenzen bei der Bilderzeugung verstehen und Einblicke in die kulturhistorische Bedeutung gewinnen (ebener und gekrümmter Spiegel; Brechung und Totalreflexion, Fernrohr und Mikroskop); - grundlegendes Wissen über das Zustandekommen von Farben in der Natur erwerben.“

(Lehrplan Physik, AHS-Unterstufe)

4 Modellvorstellungen - Licht als „Sehstrahl“

In der Schule wird wiederholt noch der Welle-Teilchen-Dualismus des Lichts unterrichtet, ohne ausreichend zu betonen, dass sich dieses Begriffspaar nur auf das klassisch-physikalische Begriffssystem bezieht. Ferner ist seit Entwicklung der Quantentheorie im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts bekannt, dass Licht ein außerordentlich komplexes Phänomen ist.

Aufgrund dieser Tatsache stellt sich die Frage, warum sogar noch einfachere Konzepte wie der „Lichtstrahl“ dennoch in der Schule unterrichtet und auch im Alltag als Begriffe verwendet werden. Die Antwort auf diese Frage lautet Modellbildung, die ein zentrales Hilfsmittel der Begriffs- und Theoriebildung in der Physik ist.

Viele Begriffe der Physik wie auch der des Lichtstrahls beruhen auf Abstraktionen, die sehr oft im Hinblick auf die mathematische Darstellbarkeit bzw. Handhabung gebildet werden. Das Ergebnis sind Modellsysteme wie Massenpunkt, ideales Gas oder eben der Lichtstrahl, die insofern nicht existent sind, als sie kein Bestandteil der Wirklichkeit sind. Viele Überlegungen der Physik und empirischer Wissenschaften allgemein, beruhen nicht nur auf solchen nicht existenten Modellsystemen, sondern viele physikalische Gesetze sind streng gültig auch nur für diese Modellsysteme. Ein Lernziel des NW-Unterrichts sollte sein zu begründen, dass die Naturwissenschaften, obwohl sie wesentlich auf nicht existenten Modellsystemen beruhen, dennoch mit der Wirklichkeit zu tun haben. Aufgrund dieser konstruktiven Aspekte handelt es sich bei Modellen auch nicht um bloße Widerspiegelungen der Wirklichkeit. (vgl. Grodzicki, 2015)

Unter (natur-)wissenschaftstheoretischen Aspekten lassen sich drei Arten von Modellen unterscheiden. (vgl. Strahl, Preißler, 2014):

1. **Reale oder gegenständliche Modelle**, wie etwa Planetenmodelle oder das Modell eines Augapfels, werden zur Anschauung genutzt. Es wird nie komplett nachgebildet, sondern

hebt nur zu betrachtende Eigenschaften hervor.

Zur Gewinnung physikalischer Erkenntnisse dienen diese Art der Modelle nur wenig, da sie zwar eine didaktische Funktion haben können, oft aber auf epistemisch irrelevanten Analogien beruhen. So führen diese Modelle oft zu Fehlinterpretationen einer Theorie wie im Fall der Bohrschen Theorie.

2. Die begriffliche Beschreibung des Lichts durch das Modell des Lichtstrahls fällt unter den Begriff **ikonische Modelle**.

„...sind keine Adaption realer Gegenstände, sondern vereinfachte idealisierte Vorstellungen über Gegebenheiten der Realität. Dies meint, dass sie nichts zum Anfassen sind, sondern eine Simplifizierung und Abstrahierung, zum Zwecke der Veranschaulichung eines natürlichen Sachverhaltes.“

(Strahl, Preißler, 2014, S.51)

Die meisten in der Natur vorkommenden Prozesse und Gegenstände sind zu komplex für eine theoretische Beschreibung. Sie müssen daher durch Abstrahierung und gedankliche Konstruktion in ein Modell „übersetzt“ werden, um allgemeine Strukturen zu erkennen. Dazu zählen das Wellenmodell des Lichtes, die Orbitaltheorie der Atome, Fotosynthesevorgänge in grünen Pflanzen und der idealisierte Lichtstrahl in der geometrischen Optik.

3. Eine noch abstraktere Modellbildung findet man, wenn man sich mathematischer Formeln oder chemischer Strukturgleichungen bedient. **Symbolische oder abstrakt-mathematische Modelle** können genauso zum Verstehen der Natur beitragen wie die anderen Arten der Modelle. So wird der optische Strahlengang in der Physik neben skizzenhaften Abbildungen auch durch Formeln ausgedrückt. (vgl. Strahl, Preißler, 2014, S. 51)

Eine weitere Modellklasse findet mit den **experimentell hergestellten „idealen“ Objekten** speziell in der Physik Verwendung. Um zu zeigen, dass es sich bei den nicht existenten Modellsystemen nicht um reine Fiktionen handelt, sind möglichst gute experimentelle Realisierungen dieser Modellsysteme herzustellen. (vgl. Grodzicki 2015)

Alle bisher angeführten und weiteren Beispiele basieren somit auf reinen Modellbildungen.

„Umso anschaulicher ein Modell ist, desto schneller kann es als Wahrheit angesehen werden, ohne zu erkennen, dass es nur ein Modell zur Erklärung einer tiefer liegenden Erkenntnis

ist. Diese Einstellung fordert wieder eine naiv-realistische Vorstellung“

(Strahl, Preisler, 2014)

Unbeschadet der Tatsache, dass jedes Modell Grenzen bezüglich der Anwendbarkeit auf reale Systeme hat, sind Modelle als Hilfsmittel der Begriffs- und Theoriebildung in der Physik unentbehrlich. (vgl. Grodzicki, 2015, S. 176) Es muss für den Lernenden aber klar gemacht werden, wo die Grenzen des jeweiligen Modells sind.

In der geometrischen Optik werden für das Modell des Lichtstrahles die Ausbreitungseigenschaften mithilfe von mathematischen Methoden untersucht, wobei nur der Weg des Lichtes untersucht wird. Während sich ein einzelner Lichtstrahl abstrakt gut mathematisch berechnen lässt, ist er experimentell nur näherungsweise realisierbar. Das Modell des Lichtstrahls wird durch den Wellencharakter des Lichtes begrenzt. Es verliert daher seine Anwendbarkeit, wenn die Wellenlänge des Lichts in die Größenordnung des beleuchteten Objekts kommt. Auch an Grenzflächen, wie bei der Entstehung von Schatten, versagt das Modell.

Dennoch kann und soll das Modell des Lichtstrahls als anschauliches Beispiel für die Modellbildung in der Schule unterrichtet werden, da er ausreichend als Hilfsmittel für das Verstehen einer Reihe optischer Vorgänge dient.

5 Interessensforschung

Drei physikbezogene Interessenbereiche konnten aus den Untersuchungen von L. Hoffmann, P. Häusler und M. Lehrke (zirka 1985) an mehreren tausend Schülerinnen und Schülern unterschieden werden: „Physik und Technik“ (wissenschaftliche Inhalte), „Mensch und Natur“ (Phänomene in der Natur inklusive des Menschen), „Gesellschaft“ (gesellschaftliche und politische Bedeutung). Die Einteilung in Interessensbereiche zeigt, dass vor allem das Thema „Mensch und Natur“ das Interesse der Schülerinnen und Schüler weckt. So ist es besonders wichtig, eine Verknüpfung zwischen der Lebenswelt der Lernenden und den im Unterricht durchgenommenen Themen herzustellen. (vgl. Strahl, Preisler, 2003)

Außerdem lässt sich der Wirklichkeitsbezug von einzelnen, größeren Themenkomplexen gut in fächerübergreifenden Unterricht integrieren und von mannigfaltigen Seiten beleuchten. (vgl. Labudde, 2003)

6 Präkonzepte, Alltagstheorien, Schülervorstellungen

6.1 Schülervorstellungen

Jeder angehenden Lehrperson sollte bewusst sein, wie wichtig die Integration von Vorstellungen und Vorwissen der Schülerinnen und Schüler in die Planung und Durchführung des Unterrichtes ist, da Lernende immer auf Vorwissen aufbauen.

Vor dem Planen eines guten Unterrichtes sollte man sich daher unter anderem folgende Fragen durch den Kopf gehen lassen:

Werden Fachwörter verwendet, die lernhinderliche oder lernförderliche Vorstellungen hervorrufen? Welches Vorwissen zu einem Thema ist bei den Lernenden bereits vorhanden? Welche bereits vorhandenen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler sind zu beachten? (vgl. Kattmann, Duit, et al. 1997, S. 11 – 12)

Oft haben Schüler und Schülerinnen bereits Präkonzepte und unterschiedlich ausgeprägtes Vorwissen und Interesse an wissenschaftlichen Gegebenheiten.

Schülerinnen und Schülervorstellungen sind vorwiegend durch den naiven Realismus geprägt. (vgl. Strahl, Preisler, 2014)

„Bei den Schülervorstellungen geht es nur am Rande um Wissen im Sinne fachlicher Kenntnisse; Ziel ist es vielmehr, Vorstellungen zu erfassen, die die Schüler im alltäglichen und wissenschaftlichen Kontext verwenden. Lebensweltliche Vorstellungen und wissenschaftsorientierte Vorstellungen werden als zunächst nichtbewertete kognitive Konstrukte betrachtet.“

(Gropengießer, 2001, S. 17)

Für Schülerinnen und Schüler entspricht jede ihrer Vorstellung der Wahrheit und jede Vorstellung hat in ihrem bestimmten Kontext für sie auch Sinn. Daher dürfen „Fehlvorstellungen“ auch nicht als „falsch“ abgewertet werden, da diese unter dem Aspekt der Alltagstheorien und in der Sichtweise des naiven Realismus betrachtet werden und nicht im fachwissenschaftlichen Konzept. (vgl. Gropengießer, 2001, S. 17)

Ein Lernziel sollte daher sein, wie diese Vorstellungen durch physikalische Erkenntnisse korrigiert werden. (vgl. Grodzicki, 2015)

6.2 Schülervorstellungen zum Sehvorgang nach Gropengießer

Gropengießer führte mit Schülerinnen und Schülern Interviews zum Thema Sehen. Eine Zusammenfassung und Verallgemeinerung der Ergebnisse lassen Denkstrukturen zum Thema Sehen erkennen. Gropengießer bezeichnet den naiven

Realismus als alltäglichen Realismus. Die Denkfigur des alltäglichen Realismus lässt sich im Zuge der Ergebnisse der Interviews noch weiter unterteilen:

„Die einzelnen alltäglichen Konzepte dieser Denkfigur zum Sehen werden exemplarisch formuliert: Die Dinge werden so gesehen wie sie da sind.... Was gesehen wird, ist da.... Weil etwas da ist, wird es gesehen. ...Was gesehen wird, ist wahrhaftig so. ...Jeder sieht unter gleichen Bedingungen das Gleiche.... Wenn man etwas sieht, weiß man es.“

(Gropengießer, 2001, S. 183)

In der vorangegangenen Denkfigur des alltäglichen Realismus differenzieren sich zwei gegensätzliche Denkfiguren.

Als erstes ist die Denkfigur der Evidenz genannt, die sich durch Wahrnehmungserfahrungen entwickelt hat.

„Wenn man wo hinsieht, wo drauf guckt, dann sieht man das einfach.“

(Gropengießer, 2001, S. 184)

...„Ausgehend vom Auge führt das Gucken oder Sehen in Richtung auf den Gegenstand.“ ... „Zum Sehen braucht man das Auge, man sieht mit dem Auge...“

(Gropengießer, 2001, S. 185)

Das Sehen ist etwas Alltägliches, etwas selbstverständliches und ein einfacher Vorgang. Das Gesehene Bild ist das Bild selbst.

Die Denkfigur der Instruktion basiert auf der Vorstellung, dass Sehen vom Objekt instruiert wird bzw. beim Gegenstand beginnt. Der Vorgang des Sehens ist hier vermutlich wissenschaftlichen Ursprungs und wurde schulisch oder durch die Medien oder durch Bezugspersonen vermittelt. Der Vorgang des Sehens beinhaltet unter dieser Denkfigur verschiedene Teilprozesse (Aufnahme, Weiterleitung, Verarbeitung), die bei den Interviewpartnern teils auch stark abweichend von wissenschaftlichen Konzepten sind:

„... Aus allen Lichtstrahlen vom Gegenstand erzeugt die Linse das ganze Bild auf der Netzhaut“

(Gropengießer, 2001, S. 188)

Die Auswertung der Interviews zeigte, dass Widersprüche und Brüche in der Argumentation zum Sehvorgang einem Muster folgen. Die Widersprüche der Vorstellungen über das Sehen können verallgemeinert in drei Bereiche unterteilt werden:

1. „Bild im Kopf“ versus „Bild vor Augen“: Obwohl ein Bild real vor unseren Augen ist, entsteht es dennoch erst im Gehirn. Ob sich das Bild nun im Kopf oder vor

den Augen befindet, steht für Schülerinnen und Schüler oft im Konflikt zu deren Denkstrukturen des naiven Realismus. Die Schülerinnen und Schüler entdecken hier einen Widerspruch zwischen der lebensweltlichen und der wissenschaftsorientierten Perspektive.

2. Blickrichtung versus Informationsaufnahme: Die Frage, ob sich der Blick vom Auge auf den Gegenstand richtet oder das Licht vom Gegenstand in das Auge fällt, ist für Lernende schwer zu trennen.
3. Physisches Bild versus Vorstellungsbild: Obwohl das physische Bild physikalisch und körperlich vorhanden ist, wird das Bild zu einem geistigen, nicht anfassbaren Erlebnis.

„Alle drei Widersprüche entstehen durch disparate Vorstellungen aus nicht zu vereinbarenden Bereichen der Schülervorstellungen, nämlich aus dem Zusammenhang des Evidenz-Prinzips und dem Zusammenhang des Instruktions-Prinzips. ...Sieht man das einfach, wenn man wo hinguckt oder handelt es sich um einen komplizierten Instruktionvorgang ausgehend vom Gegenstand hin zum Vorstellungsbild?“

(Gropengießer, 2001, S. 191)

Hier ist die Schwierigkeit einer Unterscheidung zwischen einer „Aktivität des Sehens“ und einer „Passivität des Sehens“ gegeben. Für Lehrpersonen können die Muster solcher Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler für die didaktische Strukturierung des Unterrichts wertvoll sein. (vgl. Gropengießer, 2001, S. 191)

6.3 Der Sehvorgang, Evaluation

Im Rahmen einer Diplomarbeit der School of Education der Universität Salzburg befasste sich Eidenberger I. (2004) mit Schülerinnen- und Schülervorstellungen zu naturwissenschaftlichen Themen. Dazu wurden von 227 Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Unterstufe (=Sekundarstufe I) und der Hauptschule (=Neue Mittelschule) ein Fragebogen ausgefüllt und im Zuge der Diplomarbeit evaluiert.

Eine Frage zum Thema „Der Sehvorgang“ lautete: „Du sitzt am Schreibtisch und schaust dir ein Fotoalbum an. Warum siehst du das Foto? Kreuze die richtigen Antworten an!“ Dabei standen folgende Ankreuzmöglichkeiten zur Verfügung:

1. Das Licht der **Schreibtischlampe** fällt auf das Album und von dort gelangt es zum Auge.
2. Das Auge sendet **Sehstrahlen** aus, wodurch ich die Fotos sehen kann.

3. Das **Foto** selbst strahlt Licht aus, somit kann ich es sehen.

Ziele der Fragestellung waren unter anderem, ob die Schülerinnen und Schüler Wissen verknüpft haben. Der Aufbau des Auges in der Biologie wird oft nicht mit dem gelernten Strahlengang in der Physik verknüpft. (vgl. Eidenberger, 2004)

ANMERKUNG ZUR EVALUATION: HIER LASSEN SICH VIELLEICHT EINIGE MÄNGEL DER FRAGESTELLUNG FINDEN, WIE ZUM BEISPIEL, DASS DAS FOTO IN GEWISSE WEISE TATSÄCHLICH LICHT AUSSTRAHLT/REFLEKTIERT. AUßERDEM WURDE NICHT ÜBERPRÜFT, OB DIE BEIDEN THEMEN BEREITS IM UNTERRICHT DURCHGENOMMEN WORDEN SIND. DIESE MÄNGEL KÖNNEN IN HINBLICK AUF DIE ZIELE DER FRAGESTELLUNG VERNACHLÄSSIGT WERDEN.

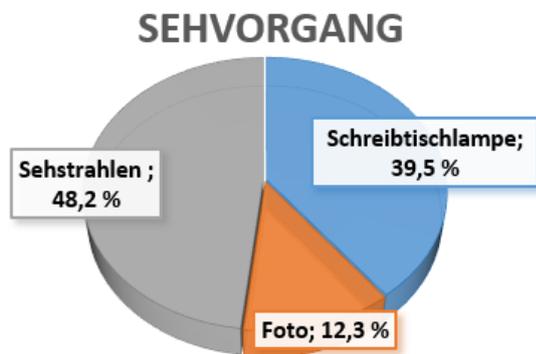


Abb. 1 - Sehvorgang, Ergebnisse der Fragestellung

Die richtige Antwort, dass Licht der Schreibtischlampe auf das Album fällt und von dort zum Auge gelangt, wurde nur von 39,5 % der Schülerinnen und Schüler gewählt.

12,3 % entschieden sich dafür, dass das Foto Licht ausstrahlt.

Bei dem größten Anteil der Schülerinnen und Schüler, nämlich 48,2 % kann man die Alltagsvorstellung „Sehstrahl“ erkennen. Obwohl es für die meisten Erwachsenen logisch wäre, dass nur die Lampe Licht ausstrahlt, entschieden sich dennoch die meisten der Schülerinnen und Schüler für die Sehstrahlen, die vom Auge ausgesendet werden. (vgl. Eidenberger, 2004)

Dies kann man mit den bereits behandelten Modellvorstellungen in dieser Arbeit begründen, die falsch von den Schülerinnen und Schülern angewendet worden sind. Außerdem spielt hier der naive Realismus eine übergeordnete Rolle, weil durch den fachlich getrennten Unterricht die Verbindungen der Prozesse des Sehens nicht in Zusammenhang gebracht werden können.

7 Das menschliche Auge und die Physik dahinter

Um sehen zu können, muss das Licht von der Umgebung durch das Auge zu den Sehnerven und dann ins Gehirn gelangen. Zuerst tritt das Licht durch die Hornhaut über das Kammerwasser und durch die Pupille zur Linse ein (Abb. 3). Einfallende Lichtstrahlen werden im menschlichen Auge physikalisch wie in einer Kamera mit Linse und Blende reguliert. Als Blende wirkt im Auge die Pupille. Die Linse des Auges projiziert ähnlich wie bei der Kamera ein Bild der sichtbaren Umgebung auf die dahinterliegende Fläche, die Netzhaut im Auge (Abb.3). Die Netzhaut, die Retina, besteht aus Fotorezeptoren und Nervenzellen und ist für die Informationsweitergabe über den Sehnerv ins Gehirn verantwortlich. (vgl. Thompson, 2001)

7.1 Abbildungen im Auge

Das in Abbildung 2 skizzierte Auge zeigt, wie ein Bild, das gesehen wird, auf der Netzhaut abgebildet wird. Das Bild auf der Netzhaut ist umgekehrt.

Das obere rechte Eck eines Gegenstandes wird auf der Netzhaut unten links projiziert (Abb. 2).

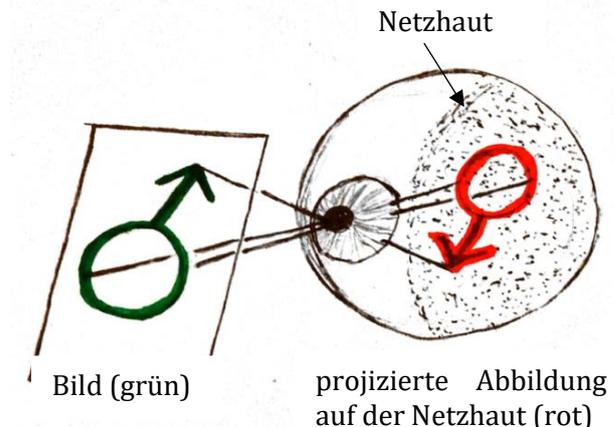


Abb. 2 - Ein Bild, das vom Auge gesehen wird, ist auf der Netzhaut links und rechts sowie oben und unten gegeneinander vertauscht projiziert. (nach Thompson, 2001)

Außerdem sehen beide Augen einen Gegenstand aus einem anderen Winkel und in jedem Auge entsteht dadurch ein etwas anders Bild auf der Netzhaut. Aus diesen beiden Bildern „berechnet“ das Gehirn Informationen über die Entfernung des Gegenstandes. Den Vorteil des Entfernungsehens und der Tiefenwahrnehmung kann man auch selbst erkennen, indem man einen Raum zuerst mit beiden Augen und dann mit einem Auge verdeckt betrachtet. (vgl. Thompson, 2001)

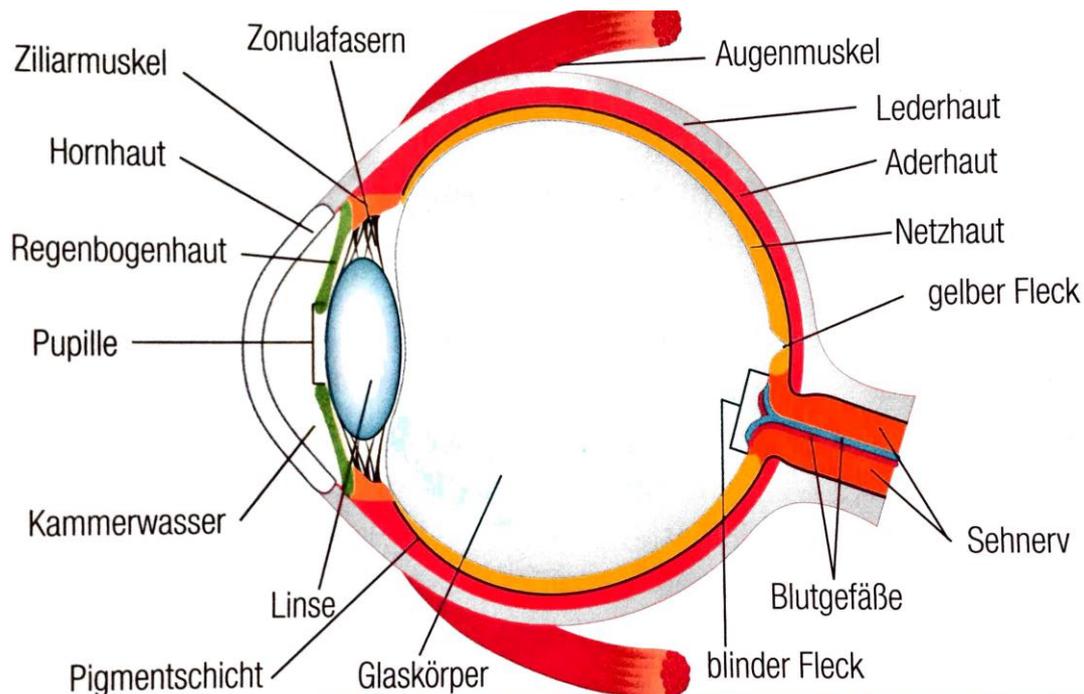


Abb. 3 - Querschnitt durch ein menschliches Auge, die wichtigsten Teile im Inneren,
 Brigitte Gold, Wien © Veritas-Verlag, Linz. Entnommen aus: Andreas Schermaier, Herbert Weisl, Dagmar Miksche: bio@school 4. Linz: Veritas-Verlag 2016 (4. Auflage), S. 47

7.2 Auflösungsvermögen des Auges

Das menschliche Auge hat eine begrenzte Auflösung, die man berechnen kann:

„Das Beugungslimit ergibt sich nach Abbe für kohärent beleuchtete Objekte bei einem Winkel von $\alpha_{\min} = \arcsin\left(1,22 \frac{\lambda}{d}\right)$

mit der Lichtwellenlänge λ und dem Durchmesser d der Eintrittspupille.“

(Ehrmann, Błachowicz 2015)

Formel 1: Abbe-Auflösung

Die Auflösung des menschlichen Auges ist somit begrenzt durch die Beugung am abbildenden Linsensystem und die Dichte der Sehzellen auf der Netzhaut. Die größte Dichte an Sehzellen und somit die Stelle des schärfsten Sehens weist der gelbe Fleck - auch Fovea centralis genannt- auf, ein Bereich der Rückwand des Augapfels (Abb. 3).

Der Pupillendurchmesser des Auges beträgt zirka 2 mm und die maximale Sensitivität des Auges liegt bei einer Wellenlänge von zirka 555 nm für Tagsehen. Durch diese Werte erhält man einen Winkel von $\alpha_{\min} \approx 0,02^\circ$ oder $69''$.

Formel 2: Winkel

Aus dem Winkel resultiert ein Auflösungsvermögen von 0,34 mm in 1 m Entfernung. Indem man den Abstand der Netzhaut zur Pupille mit zirka 22mm annimmt, erhält man den Abstand von zwei Punkten, die in 1 m Entfernung gerade noch vom menschlichen Auge voneinander unterscheidbar sind. $0,02^\circ * \frac{2\pi}{360^\circ} * 22 \text{ mm} = 7,5 \mu\text{m}$.

Formel 3: Abstand

(vgl. Ehrmann, Błachowicz 2015)

7.3 Dioptrien

An der Hornhaut, deren Brechungsindex konstant ist, erfolgt der größte Teil der Brechung (Abb. 3). Die elastische Linse kann ihren Brechungsindex an das zu betrachtende Objekt anpassen.

Die Brechkraft des Auges wird in Dioptrien (dpt, 1/m) gemessen und entspricht dem Kehrwert der Brennweite f . Die Linsengleichung definiert, wie Gegenstandsweite g , Bildweite b und Brennweite f zusammenhängen:

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$$

Formel 4: Linsengleichung

„Beim Betrachten naher Objekte nimmt $1/g$ zu, und damit muss auch die Brechkraft erhöht werden, um ein scharfes Bild auf der Netzhaut zu erhalten.“

(Ehrmann, Błachowicz, 2015)

Mit zunehmendem Alter lässt die Elastizität der Linse nach und die Dioptrien ändern sich dadurch, woraus die Altersweitsichtigkeit resultiert. (vgl. Ehrmann, Błachowicz, 2015)

7.4 Hyperopie (Weitsichtigkeit)

Ist man „weitsichtig“, bedeutet das, dass man nur in der Weite scharf sieht, jedoch nahegelegene Objekte nur unscharf. Der Mensch hat dabei entweder einen zu kurzen Augapfel oder seltener eine zu wenig gekrümmte Hornhaut (Abb. 4). Um dies zu korrigieren - und man auch z. B. lesen kann - braucht man in einem gewissen Abstand vor dem Auge eine Sammellinse. Eine ähnliche Akkommodationsstörung ist die Alterssichtigkeit, bei der die Akkommodationsfähigkeit, also die Fähigkeit zu fokussieren, nachlässt. (vgl. Giancoli, 2010)

„In diesem Fall würden sich parallel einfallende Strahlen hinter der Netzhaut vereinigen und auf der Netzhaut entsteht ein unscharfes Bild.“

(Colicchia, Künzl, Wiesner, 2016)

In Abbildung 4 ist zu sehen, dass Weitsichtigkeit die Strahlen eines nahen Objektes hinter die Netzhaut projiziert und das Bild somit unscharf ist. Eine Sammellinse vor dem Auge kann dies beheben und die Strahlen auf die Netzhaut fokussieren.

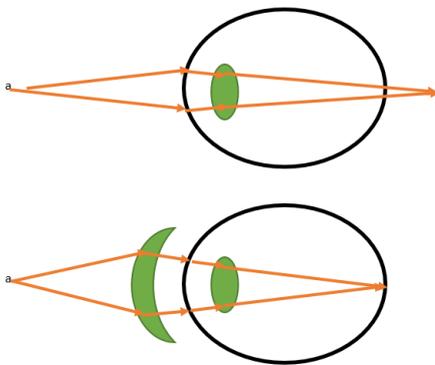


Abb. 4 - Strahlengang des Auges bei Weitsichtigkeit: oben weitsichtiges Auge, unten Korrektur mit einer Sammellinse (nach Giancoli, 2010)

7.5 Myopie (Kurzsichtigkeit)

„Kurzichtig“ bedeutet, dass nur nahegelegene Objekte scharf gestellt werden können. Diese Akkommodationsstörung entsteht durch einen zu langen Augapfel oder seltener durch eine zu starke Krümmung der Hornhaut (Abb. 5). Eine Zerstreuungslinse in einem gewissen Abstand vor dem Auge kann ein Scharfstellen auf ferne Objekte ermöglichen. (vgl.: Giancoli, 2010)

„Auf der Netzhaut entstehen Zerstreuungskreise und damit ein unscharfes Bild. Der Fernpunkt liegt in endlicher Entfernung von dem

Auge und auch der Nahpunkt liegt näher am Auge als bei Normalsichtigkeit.“

(Colicchia, Künzl, Wiesner, 2016)

In Abbildung 5 ist zu sehen, dass der zu kurze Augapfel die Kurzsichtigkeit verursacht, indem weit entfernte Gegenstände vor der Netzhaut, aber nicht auf der Netzhaut projiziert werden. Eine Zerstreuungslinse in einem gewissen Abstand vor dem Auge lässt die Strahlen auf der Netzhaut fokussiert und das Objekt wird scharf gesehen (Abb.5).

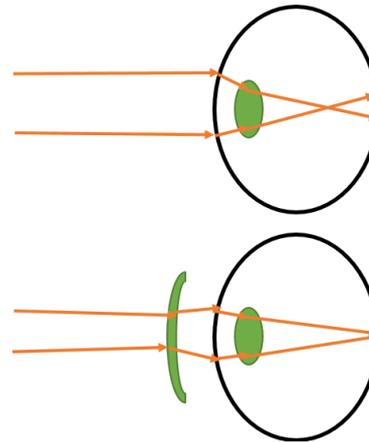


Abb. 5 - oben kurzsichtiges Auge, unten Korrektur mit Zerstreuungslinse (nach Giancoli, 2010)

7.6 Warum sieht man im Dunkeln nur Schwarz-Weiß?

Es gibt zwei Haupttypen von Sehzellen: Die Stäbchen, mit denen man hell und dunkel unterscheidet, und die Zapfen, mit denen man Farbe sieht. Am Tag sieht man mit den Zapfen, da genug Licht vorhanden ist.

Das Sehen in der Dämmerung ist nur mit den Stäbchen möglich, da diese eine geringere Empfindlichkeitsschwelle gegenüber der Lichtintensität haben.

Da bei Dämmerung immer weniger Licht vorhanden ist, können die Zapfen die geringe Lichtintensität nicht mehr wahrnehmen und es herrscht keine Farbunterscheidung mehr. Daher sieht man in der Dämmerung alles in Grautönen, also schwarz-weiß. (vgl. Spektrum.de, 2016)

„Dabei verschiebt sich das Maximum der spektralen Empfindlichkeit von ca. 555 nm beim Tagessehen auf etwa 505 nm beim Dämmerungssehen (Purkinje-Phänomen).“

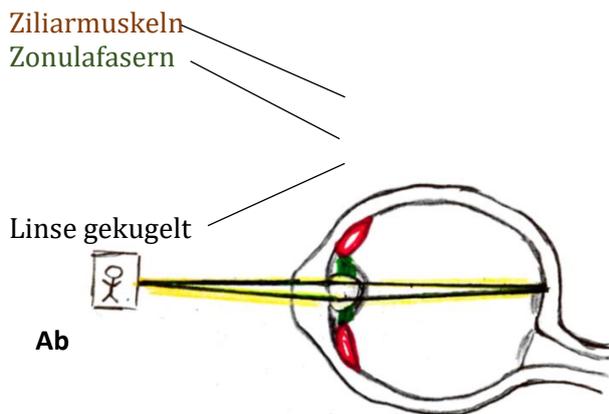
(Spektrum.de, 2016)

7.7 Akkommodation

Die Form der Linse - und dadurch auch die Brechung des Lichts - wird durch den Vorgang der Akkommodation reguliert. Die Akkommodation, also das Fokussieren eines Gegenstandes, ist beim Menschen ein Zusammenspiel von Ziliarmuskeln und Zonulafasern (Abb. 3).

Bei der Nahakkommodation ist durch Kontraktion der Ziliarmuskeln und dem Erschlaffen der Zonulafasern die Linse gekugelt (Abb.6). Durch die dadurch erhöhte Brechkraft der Linse werden nahe Objekte scharf gestellt.

Bei der Fernsicht ist die Linse abgeflacht und ferne Objekte werden scharf gestellt (Abb. 7). Das geschieht, indem sich die Ziliarmuskeln entspannen und dadurch die Zonulafasern an der Linse ziehen. (vgl. Campbell, 2015)



Linse wird durch die Ziliarmuskeln zusammengedrückt und wird „runder“ und „dicker“ (nach Campbell, 2015)

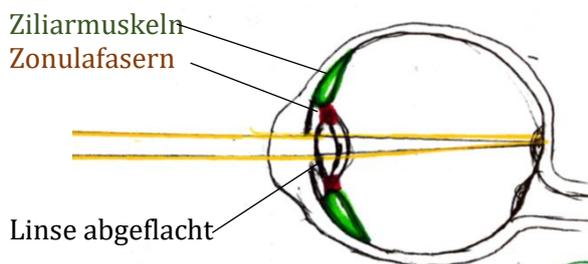


Abb. 7 - Fernsicht (Fernakkommodation):
Ziliarmuskeln erschlafft (grün),
Zonulafasern gespannt (rot),
Linse wird durch die Zonulafasern „gestreckt“ und wird „ovaler“
(nach Campbell, 2015)

Je dicker die Linse durch die Kontraktion der Ziliarmuskeln ist, umso stärker werden die Lichtstrahlen gebrochen.

Auch andere Akkommodationsformen bei Tieren sind möglich. Fische und manche Reptilien akkommodieren durch das Vor- oder Zurückbewegen der Linse. (vgl. Campbell, 2015)

7.8 Lichtumwandlung vom Photon zum Neuron

Die Netzhaut - auch Retina genannt - ist aus mehreren Zellschichten aufgebaut und besteht aus spezialisierten Zellen und aus spezialisiertem Nervengewebe. Fotorezeptoren, die das Sehen

ermöglichen, beherbergen ein komplexes Eiweißmolekül namens Rhodopsin. Rhodopsin hat das Molekül Retinal eingebettet. Wenn ein Photon auf ein Stäbchen, den Fotorezeptor mit Retinal, trifft, wird das Lichtquant in eine atomare Bewegung umgewandelt: Das Retinal ändert durch das Photon seine chemische Struktur. Dies dauert nur wenige Picosekunden.

Dieser Vorgang ist reversibel und die Information wird über aktivierte und deaktivierete Ionenkanäle an das dahinterliegende Nervengewebe weitergegeben. (vgl. Thompson, 2001, S. 243)

8 Fazit und Resümee

Falsche Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, aber auch falsche Modellinterpretationen, lassen komplexe Themengebiete, wie den Prozess des Sehens, schwer verstehen. Fächerübergreifender Unterricht fördert die Schülerinnen und Schüler im Erlangen eines besseren Verständnisses der Lehrinhalte. Das Gelernte bleibt durch fächerübergreifenden Unterricht besser erhalten, da die Lebenswelt der Kinder miteinbezogen wird und nicht Prozesse aus einzelnen Fächern abstrahiert werden. Meiner Meinung nach sollten viele Themen der Naturwissenschaften durch fächerübergreifenden Unterricht vermittelt werden. Am Beispiel dieser Arbeit mit dem Thema „Sehen und die Physik dahinter“ habe ich Beispiele im physikalisch-biologischen Kontext erläutert.

9 Danksagungen

Für Anregungen bei der Formulierung des vierten Kapitels bedanke ich mich bei M. Grodzicki. Für Abb.3 danke ich dem Veritas-Verlag. Für Hilfestellungen und Tipps bedanke ich mich außerdem bei R. Kastner M. Pammer und A. Strahl.

10 Literatur

- BMB: Lehrplan Biologie und Umweltkunde für die AHS-Unterstufe. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?5i84ju (19.11.16)
- BMB: Lehrplan Biologie und Umweltkunde für die AHS-Oberstufe. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf (19.11.16)
- BMB: Lehrplan Physik für die AHS-Unterstufe. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?5i81nx (19.11.16)
- BMB: Lehrplan Physik für die AHS-Oberstufe. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf (19.11.16)
- Campbell, N., A., Reece, J., B., Urry, L., A., Cain, M., L., Wasserman, S., A., Minorsky, P., V., Jackson, R., B. (2015) Campbell Biologie. 10. aktualisierte Auflage., Pearson.
- Colicchia, G., Künzl, A., Wiesner, H. (2016) Physik und Medizin. Sehen. Lehrstuhl für Didaktik der Physik. Ludwig-Maximilians-Universität München. http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/phy_med_opt/lehrerinfo_optik.pdf (18.11.16)

- Eidenberger, I. (2004) Diplomarbeit. Schülervorstellungen zu naturwissenschaftlichen Themen: eine Evaluation mit Jugendlichen der 5. bis 8. Schulstufe. School of Education. Universität Salzburg.
- Ehrmann, A., Błachowicz, T. (2005) Das menschliche Auge. Physik in unserer Zeit. 2015 Bd. 46 (3) S. 136 -139
- Giancoli, D., C. (2010) Physik Lehr- und Übungsbuch. 3., aktualisierte Auflage. Pearson
- Gold, B. (2016) Wien © Veritas-Verlag, Linz. Entnommen aus: Andreas Schermaier, Herbert Weisl, Dagmar Miksche: bio@school 4. Linz: Veritas-Verlag 2016 (4. Auflage), S. 47
- Grodzicki, M. (2015) Physikalische Wirklichkeit- Konstruktion oder Entdeckung? Eine Einführung in die Methoden und Ziele der Physik. Living Edition. Pöllauberg
- Gropengießer, H. (2001) Didaktische Rekonstruktion des Sehens: Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Oldenburg.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. (1997) Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3, S. 3–18
- Labudde, P. (2003) Fächerübergreifender Unterricht in und mit Physik: Eine zu wenig genutzte Chance. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. Nr. 2 Band 1. S. 48-66
- Spektrum.de (2016) Lexikon der Biologie. Dämmerungssehen. Spektrum Akademischer Verlag, 1999, Heidelberg. <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/daemmerungssehen/16739> (26.11.16)
- Strahl, A., Preißler, I. (2014) Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik. BoD
- Thompson, R., F. (2001) Das Gehirn. Von der Nervenzelle zur Verhaltenssteuerung. 3. Auflage. Springer Spektrum, S. 240 -246