

Biologie 8. Klasse im LehrplanPLUS – Teil 1: **Informationsaufnahme,** **Informationsverarbeitung und Reaktion** **beim Menschen**

Thomas Nickl, März 2020



Der LehrplanPLUS startet in der 8. Klasse im September 2020. Sie haben – wie immer – die Möglichkeit, Teile des Lehrplans umzustellen, anders zu benennen, anders zu gliedern. In meiner Gliederung habe ich mich weitgehend an den Lehrplan angelehnt. Es ist ebenso gut möglich, den Lernbereich 2 „Informationsaufnahme, -verarbeitung und Reaktion beim Menschen“ in zwei Bereiche zu trennen: „Informationsaufnahme und -verarbeitung im Nervensystem“ und „Informationsaufnahme und -verarbeitung im Hormonsystem“.

Inhalt:

[Grundsätzliche Probleme in der 8. Klasse](#)

[Zeitplan](#)

1 Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion beim Menschen

1.1 Nervenzellen – die Informationshardware

1.1.1 Information und Reiz-Reaktions-Kette

1.1.2 Aufbau einer Nervenzelle

1.1.3 Übertragung der Information an Synapsen

1.2 Der Sehsinn

1.2.1 Der Aufbau des Auges

1.2.2 Optische Funktion des Auges

1.2.3 Sehfehler und ihre Korrektur

1.2.4 Die Funktion der Netzhaut

1.2.5 Optische Wahrnehmung

1.3 Der Hörsinn

1.3.1 Aufbau und Funktion des Ohres

1.3.2 Schäden durch Lärmeinwirkung

1.4 Hormone als Informationsträger

1.5 Regulierung des Blutzuckerspiegels

1.5.1 Regulierung durch Insulin

1.5.2 Regulierung durch Glucagon

1.5.3 Diabetes

1.6 Die Stress-Reaktion

1.7 Vergleich

Mit „ALP“ werden Hinweise gegeben auf den Praktikums-Ordner „Bio? – Logisch!“, Akademebericht 506 der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, Dillingen.

Die im Skript aufgeführten **Arbeitsblätter** und weitere dort genannte Medien finden Sie auf meiner Webseite unter Materialien → Materialien Mittelstufe LehrplanPLUS; außerdem habe ich die docx- und pdf-Dateien der Arbeitsblätter sowie die jpg-Dateien von Fotos in diesem Skript verlinkt.

Grundsätzliche Problemfelder in der 8. Klasse im LehrplanPLUS

Lehrerseitig:

Das Thema „Ökosysteme unter dem Einfluss des Menschen“ ist neu und muss, am besten abgestimmt auf die lokale oder regionale Situation, neu vorbereitet werden. Immerhin dürfte durch die Unterstufe in der Regel bereits etwas Erfahrung mit der Behandlung ökologischer Themen im Unterricht vorhanden sein, auf der aufgebaut werden kann.

Die Sinnes- und Neurobiologie sowie das Thema „Suchtgefahren und Gesundheit“ waren im G8-Lehrplan in der 9. Klasse angesiedelt; das Thema Verhalten erst in der Kursphase. Selbstverständlich kann ein Teil des bisherigen Unterrichtsmaterials auch in der 8. Klasse eingesetzt werden. Eine Gefahr besteht allerdings darin, dass zu wenig darauf geachtet wird, die Didaktik und Methodik des bisherigen Unterrichts in diesen Themen auf die 8. Klasse herunter zu brechen. Selbst das eine Jahr Abstand zur 9. Klasse macht in diesem Alter viel aus, ganz zu schweigen vom Abstand zur 12. Jahrgangsstufe. Wie immer, so gilt auch hier: Weniger ist mehr! (Ich habe in diesem Skript mehr aufgeführt, als man im Unterricht unterbringen kann!)

Schülerseitig:

► **Fehlende Kontinuität**

In der 5. und 6. Jahrgangsstufe lernten die Schüler naturwissenschaftliche Vorgehens- und Denkweisen sowie grundlegende biologische Prinzipien am Beispiel des Menschen kennen und erhielten einen Überblick über die Wirbeltiere und die Blütenpflanzen. In der 7. Jahrgangsstufe gibt es keinen Biologieunterricht, so dass die Biologie in der 8. Jahrgangsstufe wieder einen Neuanfang darstellt. Immerhin sind die Themen im LehrplanPLUS der 8. Klasse deutlich alltagsnäher als sie das im G8 waren.

► **Fehlendes Vorwissen**

Durch die Lücke in der 7. Klasse ist sicher Manches an Grundwissen verschüttet worden und sollte unbedingt reaktiviert werden, beispielsweise durch ein umfangreiches Arbeitsblatt, das in den ersten Unterrichts-Wochen neben dem eigentlichen Unterrichtsgeschehen bearbeitet wird.

Die Themen in der 8. Klasse setzen aber nur wenig Vorwissen voraus, so dass die Schüler viel leichter wieder in die Biologie einsteigen können, als das im G8 der Fall war.

► **Persönlichkeitsentwicklung und Unterrichtsformen**

In der 8. Klasse befinden sich die meisten Schüler bereits in der Hauptphase ihrer Pubertät und sind deshalb oft genug schwer zu handhaben. Ganz allgemein sind viele nur noch schwer zu erreichen, oft trifft man auf „coole“ Ablehnungs- und Verweigerungshaltung, vor allem bei lehrerzentriertem Unterricht. Oft sprechen die Schüler aber gut auf schülerzentrierte Arbeitsweisen an, die sich allerdings nicht für schwierigen, abstrakten neuen Stoff eignen, sondern nur in Bereichen, in denen bereits Vorwissen bzw. deutlicher Alltagsbezug vorhanden ist und in denen die Zusammenhänge nicht zu komplex sind. Das Problem bei schülerzentriertem Unterricht kann darin bestehen, dass bestimmte Schüler zu wenig Verantwortung für ihre Lerntätigkeit übernehmen. Allerdings reagieren nicht alle Klassen gleich: Die einen laufen bei Gruppenarbeit zur Hochform auf, andere fühlen sich im lehrerzentrierten Unterricht wohl. Das sollten Sie unbedingt möglichst früh evaluieren und ihren Unterricht entsprechend darauf abstimmen.

► **Biologie – missverstanden als „Kinderkram“**

Ganz allgemein lehnen Schüler in diesem Alter gerne ab, was sie als Kind noch begeistert hat. Das kann auch das Fach Biologie betreffen, das dann als „Kinderkram“ der Unterstufe betrach-

tet wird. Dem sollte von der ersten Stunde an entgegen gewirkt werden, z. B. indem sofort eine Wiederholung des Grundwissens verlangt wird, indem von Anfang an ein deutlich höheres wissenschaftliches Niveau als in der Unterstufe vorgelegt wird bzw. indem ein höheres Maß an Eigenverantwortlichkeit verlangt (und überprüft) wird.

Die ersten beiden inhaltlichen Lernbereiche waren bereits Thema in der 5. Klasse. Das erleichtert zwar den Einstieg, erfordert aber andererseits, dass sich der Unterricht in der Mittelstufe im wissenschaftlichen Niveau und im Lernanspruch deutlich von dem der Unterstufe unterscheidet.

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 2 „Informationsaufnahme, -verarbeitung und Reaktion beim Menschen“ 20 Unterrichtsstunden vor. Die folgende Tabelle zeigt einen möglichen Zeitplan:

Nummer	Kapitel	Stunden
0	<i>Wiederholung von Grundwissen, Einführung</i>	1*
1.1	Nervenzellen – die Informations-Hardware	4
1.2	Der Sehsinn	8,5
1.3	Der Hörsinn	2
1.4	Hormone als Informationsträger	2
1.5	Regulierung des Blutzuckerspiegels	2
1.6	Die Stress-Reaktion	1
1.7	Vergleich	0,5
	Summe	20 (+ 1)

* Diese Stunde ist nicht in den 20 Stunden des Lernbereichs enthalten.

Hinweis: Die Neurobiologie stellt ein ziemlich abstraktes und alltagsfernes Thema dar und eignet sich damit nicht für den Einstieg. Aufgrund von Erfahrungen aktiver Lehrkräfte empfehle ich, dieses Thema ans Ende des Schuljahres zu stellen.

0 Wiederholung von Grundwissen aus der Unterstufe (1 h)

Auch wenn in der 8. Klasse vergleichsweise wenig Vorwissen vorausgesetzt wird, sollte in den ersten beiden Monaten des Schuljahres das Grundwissen aus der Unterstufe wiederholt werden.

Dazu gehören auch die Ikons für die drei Betrachtungsebenen (jetzt ist eine günstige Gelegenheit, die wissenschaftlichen Bezeichnungen makroskopisch, mikroskopisch und submikroskopisch einzuführen) sowie die Ikons für die vier hauptsächlichen Anforderungen an Lebewesen.

Arbeitsblatt zur gezielten Wiederholung von Grundwissen, abgestimmt auf das Kapitel „Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion beim Menschen“ [[word](#)] [[pdf](#)]

1 Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion beim Menschen (ca. 20 h)

Diese Formulierung ist für den ersten Hefteintrag nach einem Jahr Pause in Biologie nicht eben prickelnd. Formulieren Sie lieber etwas Griffigeres, vielleicht: „Sinne und Nervensystem“.

Virtual Brain Lab: <https://virtualbrainlab.de/>

Unentgeltliches virtuelles Labor mit schülerorientierten Konzepten für Präsenz- und Distanz-Unterricht, u. a.:

- **Mikroskopie:** Eingescannte neurobiologische Präparate werden wie unter einem Mikroskop betrachtet.
- **Elektrophysiologie:** Originale elektrophysiologische Messung aus der Forschung können virtuell durchgeführt, die Reaktion der Zelle live verfolgt werden.

Die Lehrkraft registriert sich, die Schüler erhalten ein Nutzerprofil, dessen E-Mail-Adresse sie lediglich selbst bestätigen müssen. Nur die Lehrkraft hat auch Zugriff auf Lösungsskript und die vorbereitenden Lehrerinformationen.

Zur Verfügung gestellt von der Abteilung für Didaktik der Biowissenschaften der Goethe-Universität Frankfurt am Main in Kooperation mit der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung.

Weiterführende Erläuterungen gibt Sandra Formella-Zimmermann: VirtualBrainLab – Digitale Forschungsexperimente für den neurobiologischen Unterricht. In biuz 4/2022, S. 393f.

1.1. Nervenzellen – die Informations-Hardware (4 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Aufbau einer Nervenzelle, grundlegende Funktionsweise einer chemischen Synapse, Kommunikation als Weiterleitung von Informationen innerhalb einer Reiz-Reaktions-Kette (elektrisch, chemisch; afferent, efferent)	beschreiben den Aufbau einer Nervenzelle und die Kommunikation zwischen den verschiedenen Elementen einer Reiz-Reaktions-Kette, um das komplexe Zusammenwirken von Sinnesorganen, Nervensystem und Erfolgsorganen bei der Reaktion des Organismus auf Reize zu erklären.
Vorwissen: Jgst. 5 Biologie , Lernbereich 2.3.1: Grundprinzip einer Reiz-Reaktions-Kette	Weiterverwendung: Oberstufe: Bau eines Neurons; elektrochemische Vorgänge an einer erregenden chemischen Synapse: Prinzip der Erregungsübertragung, Schlüssel-Schloss-Modell am Rezeptor

1.1.1 Information und Reiz-Reaktions-Kette

Die Schüler haben noch keine tragfähige Vorstellung von dem Begriff „Information“ und sind sich nicht bewusst, dass Information immer an einen Träger gebunden ist.

Brainstorming zum Begriff **Information** ergibt z. B.:

- Reiz-Reaktions-Kette (Informationen der Umwelt gelangen in Sinnesorgane, deren Informationen gelangen ins Gehirn, das verarbeitet sie und gibt ggf. Informationen an Muskeln weiter)
- Schulbuch
- Internet
- Vorwissen aus Informatik (v. a.: das Attribut, der Attributwert*)
* Beispiele: das Attribut „Einzug“ hat die Attributwerte „linksbündig“, „rechtsbündig“, „zentriert“ und „Blocksatz“; das Attribut „Schriftfarbe“ kann sehr viele verschiedene Attributwerte besitzen

In der Biologie unterscheiden wir:

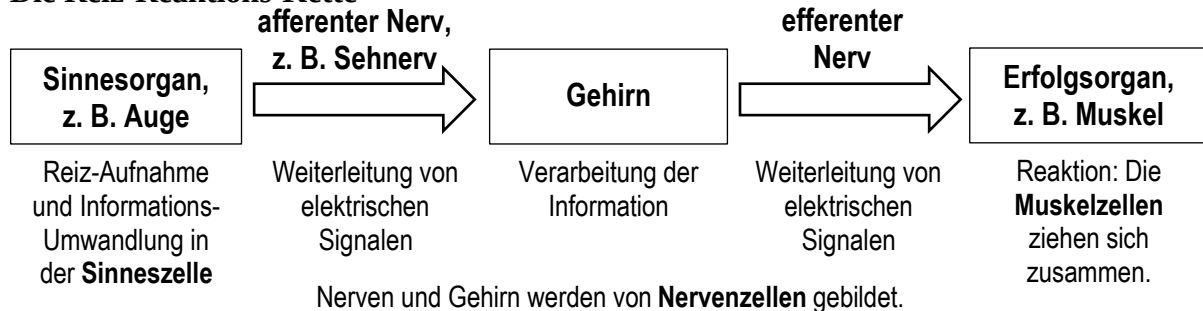
- Informations-**Träger** (z. B. Sinneszelle, Nervenzelle)
- Informations-**Weiterleitung** (z. B. durch Nervenzellen)*
- Informations-**Verarbeitung** (durch Sinnesorgane, Gehirn)

* Vergleich von Nervenzelle und Computer: Beide arbeiten mit einem binären Code, d. h. mit den Zeichen 0 und 1, also der Ab- bzw. Anwesenheit eines elektrischen Signals.

Versuch: Die Lehrkraft wirft einen Tennisball, ein Mitglied der Klasse fängt ihn auf. Es hat mit seinem Sehsinn den Flug des Balles wahrgenommen und mit seinen Armmuskeln entsprechend reagiert.

Wiederholung der Reiz-Reaktions-Kette aus der 5. Klasse mit allen Begriffen (vgl. dazu die Anmerkungen in meinem Didaktik-Skript für die 5. Klasse im LehrplanPLUS) und Ergänzung weiterer Begriffe:

Die Reiz-Reaktions-Kette



der afferente Nerv = die Afferenz; *afferre*, lateinisch: hintragen, zuführen, heranbringen

der efferente Nerv = die Efferenz; *efferre*, lateinisch: hinaustragen, hinausführen

„Kommunikation als Weiterleitung von Informationen innerhalb einer Reiz-Reaktions-Kette“
Diese Formulierung des LehrplanPLUS sollte irgendwo auftauchen

Hinweise: Achten Sie darauf, dass nicht der Reiz (also Lichtenergie) in elektrische Signale umgewandelt wird, sondern lediglich seine Information! (Das steht in manchen Büchern falsch drin.) Das Auge ist keine Solarzelle, die Licht-Energie in elektrische Energie umwandeln würde.

Beachten Sie auch, dass nicht wenige Schüler das Reiz-Reaktions-Schema aufgrund seiner Abstraktheit in der 5. Klasse nicht ganz verstanden haben. Evaluieren Sie das und besprechen Sie es ggf. neu.

Es ist sinnvoll, mit der Reiz-Reaktions-Kette einzusteigen (auch wenn sie in der LehrplanPLUS-Formulierung erst weiter hinten steht), weil sie mehr oder weniger bekannt ist, v. a. aber weil sie einen Alltags-Kontext darstellt, in den die folgenden Abschnitte eingebettet werden.

Das Schema oben verdeutlicht auch, dass Organe aus Zellen aufgebaut sind; dies sollte explizit betont werden.

In der 5. Klasse wurde bei der Menschenkunde zwar schon der Begriff Nerv eingeführt (Sehnerv, Hörnerv), aber nicht tiefer behandelt.

1.1.2 Aufbau einer Nervenzelle

= das Neuron, -en (neben „Neuronen“ lässt der Wahrig auch den Plural „Neuren“ zu)

Zusammen mit den Schülern wird eine Schema-Zeichnung entwickelt und beschriftet. Zur Veranschaulichung sollten Bilder unterschiedlicher Nervenzelltypen projiziert werden*. Erstaunlich: Bei Giraffen können Axone mehrere Meter lang werden. Das in vielen Schulen vorhandene Kunststoff-Tischmodell eines Neurons könnte in der 8. Klasse möglicherweise mehr verwirren als klären, weil es keine vollständige Zelle zeigt, indem Dendriten und Axon-Verzweigungen abgeschnitten sind und das Axon stark verkürzt ist.

* Historische **Zeichnungen** von Santiago Ramón y Cajal finden Sie im Internet. Dieser spanische Mediziner hat Nervenzellen mit der Golgi-Färbung angefärbt, mikroskopiert, sehr genau gezeichnet, klassifiziert und seine Ergebnisse zwischen 1888 und 1891 veröffentlicht. Seine Klassifikation der Neuronen ist heute noch gültig. Er entdeckte dabei, dass Neuronen voneinander getrennt sind und nicht ineinander übergehen (Camillo Golgi vertrat vehement die Gegenmeinung). Trotzdem gemeinsamer Nobelpreis 1906 an Ramón y Cajal und Golgi.

Zur Aussprache dieser Namen: „Ramón“ mit stark rollendem R, kurzem, dunklen O wie in offen, auf der zweiten Silbe betont; „Cajal“ auf der zweiten Silbe betont, das J klingt wie CH in Dach; „Golgi“ auf der ersten Silbe betont, die zweite Silbe klingt wie DSCHI.

Das Nervensystem ist aus vielen Nervenzellen aufgebaut. Sie können sehr unterschiedlich aussehen, haben aber folgende Gemeinsamkeiten:

- das Soma, -ta (= der Zellkörper): mit dem Zellkern; sammelt und verarbeitet Information
- der Dendrit, -en: Input-Station: bringt Information zum Soma; eine Nervenzelle hat in der Regel viele Dendriten
- der/das Axon, -e: leitet Information an die nächste Zelle (Zielzelle) weiter; eine Nervenzelle hat nur ein Axon
- die Axon-Verzweigung, -en: verteilt Information an mehrere Zellen

Arbeitsblatt dazu (mit einfachem Axon ohne Myelinscheide) [[word](#)] [[pdf](#)] [[jpg](#)] sowie alternative **Abbildung** (mit Myelinscheide) [[jpg](#)]; ich empfehle aber, die Myelinscheide in der 8. Klasse wegzulassen

Wortherleitungen:

soma, altgriechisch: Körper; dendron, altgriechisch: Baum; axon, altgriechisch: Achse

Didaktische Reduktion: In der 8. Klasse Verzicht auf die Unterscheidung zwischen markhaltigen und marklosen Axonen (weil Aktionspotentiale nicht Stoff sind), vor allem aber auf Ranvier-sche Schnürringe, Schwannsche Hüllzellen, Endknöpfchen sowie Nissl-Schollen. Das Neuron ist in der Kursphase noch einmal Thema und wird dort differenzierter behandelt.

Unterliegen Sie nicht der Versuchung, weitere Aspekte behandeln zu wollen wie die Entstehung des Ruhepotentials oder gar eines Aktionspotentials am Schnürring bzw. Axonhügel. Davon steht absolut nichts im LehrplanPLUS der 8. Klasse! Es genügt vollauf, wenn die Aktionspotentiale als „elektrische Impulse / Signale“ bezeichnet werden.

Falsche Formulierungen vermeiden! Didaktische Reduktion bzw. die Verwendung von Analogien sind deshalb so anspruchsvoll, weil dabei schnell Gefahr läuft, falsche Vorstellungen zu erwecken. Das Axon hat mit einem Kabel in einem Computer gemeinsam, dass es binäre Signale linear weiter leitet und dass diese Signale auf unterschiedlichen Ladungen beruhen. Mehr aber auch nicht. Das Axon ist kein Kabel. Wer formuliert, dass der Stromfluss an der Synapse unterbricht, macht zwei Fehler auf ein Mal: Das Axon leitet keinen Strom (denn es werden keine Ladungen über die gesamte Länge des Axons transportiert) und an einer Lücke in einem Stromkabel endet der Stromfluss nicht, sondern er findet überhaupt nicht statt, weil der Stromkreis nicht geschlossen ist. Auch ist es irreführend, von einer „Reizweiterleitung an der

Synapse“ zu sprechen, weil die Schüler sonst nicht zwischen externem Reiz (optisch, akustisch usw.) und interner Signal-Weiterleitung unterscheiden. (Vgl. natura 8, Biologie für Gymnasien, Prüfaufgabe 2020, S. 9).

Auch der Begriff „Reiz“ wird in der Neurobiologie oft falsch verwendet. Nur das am Dendrit eines Neurons ankommende Signal kann als Reiz gelten (bzw. ein künstlicher elektrischer Reiz im Experiment, der von einer Reizelektrode ausgeht, aber das ist nicht Thema in der 8. Klasse). Im Axon werden unter keinen Umständen „Reize“ weiter geleitet!

Wesentliche weitere Aspekte:

- Viele Informationen gelangen über viele Dendriten zum Soma; das Soma verarbeitet alle diese Informationen und bildet daraus ein Ausgangssignal.
- Die Information des Ausgangssignals wird umgewandelt in eine Abfolge von elektrischen Impulsen, die über die gesamte Länge des Axons erzeugt werden; so wird Information vom Soma bis zu den Enden der Axon-Verzweigungen weiter geleitet (Vergleich mit einer Lichterkette, bei der die einzelnen Lämpchen hintereinander an- und abgeschaltet werden, so dass die Illusion entsteht, dass sich das Licht von links nach rechts bewegt). *Das müssen Sie gar nicht so genau besprechen, sondern einfach von der Informations-Leitung entlang des Axons in Form elektrischer Impulse sprechen. Sagen Sie aber nie, dass diese Impulse am Axon entlang wandern würden, das wäre falsch.*
- Ein Nerv enthält ein Bündel von Axonen (also keine kompletten Nervenzellen). *Fehlvorstellung: Nerven seien so feine Gebilde, dass man sie kaum sehen könnte. Betonen, dass Nerven Durchmesser im Bereich von Zehntelmillimetern bis Millimetern haben und somit makroskopisch sichtbar sind.*

1.1.3 Übertragung der Information an Synapsen

Die Stelle, an der die Information von einer Nervenzelle auf die nächste Zelle übertragen wird, heißt die Synapse, -n.

syn, altgriechisch: zusammen; *haptain*, altgriechisch: halten

Hinweis: Der Begriff „chemische Synapse“ erscheint im Lehrplantext bei „Inhalten“, sollte von den Schülern also gelernt werden. Aber er muss von ihnen nicht von dem Begriff „elektrische Synapse“ unterschieden werden.

Wesentlich sind folgende Aspekte:

- Zielzellen können Muskelzellen, Drüsenzellen oder weitere Nervenzellen sein.
- Das Ende der Axon-Verzweigung und die Zielzelle stoßen nicht direkt aneinander, sondern zwischen ihnen liegt der synaptische Spalt, der mit extrazellulärer Flüssigkeit gefüllt ist.
- Vom Soma bis zum Ende der Axon-Verzweigung wird die Information in Form von elektrischen Signalen weiter geleitet.
- Über den synaptischen Spalt hinweg wird die Information in Form von Transmitter-Teilchen* geleitet, die von der Zellmembran der Nervenzelle bis zur Zellmembran der Zielzelle diffundieren. Die Information wird hier chemisch geleitet: chemische Synapse.
- An der Membran der Zielzelle werden die Transmitter-Teilchen* von Rezeptor-Teilchen* nach dem Schlüssel-Schloss-Modell** erkannt und gebunden.
- Die Bindung von Transmitter-Teilchen* an Rezeptor-Teilchen* bewirkt die Erzeugung eines elektrischen Signals in der Zielzelle. Ab hier wird die Information wieder auf elektrischem Weg weiter geleitet.
- Die chemische Synapse verzögert die Signalübertragung und ist sehr aufwendig in Bau und Unterhalt. Also muss sie einen großen Vorteil mit sich bringen. Der besteht wohl

darin, dass Stoffe, die von außerhalb in den synaptischen Spalt kommen, die Übertragung der Information beeinflussen können. Ein Beispiel ist das Gewebshormon Serotonin, das in unterschiedlichen Synapsen an Rezeptoren andockt und dadurch bestimmte Wirkungen erzielt, z. B. in der Niere eine Verengung der Blutgefäße, in Skelettmuskeln eine Erweiterung der Blutgefäße oder im Gehirn Glücksgefühle (Serotonin kann die Blut-Hirn-Schranke nicht überwinden; im Gehirn wirksames Serotonin wird im Gehirn selbst erzeugt). Auch künstlich zugeführte Stoffe können an Synapsen blockierend bzw. erregend wirken wie Schmerzmittel oder halluzinogene Drogen. *Dies alles ist kein Lernstoff, aber den evolutiven Vorteil eines so aufwendigen Systems sollte man ansprechen. Dass eine Synapse überhaupt Transmitter erzeugt, liegt an der Entstehungsschicht der Neuronen, die sich von Zellen ableiten, die Hormone erzeugen und freisetzen.*

Worterklärungen:

extrazellulär: *extra*, lateinisch: außerhalb

der Transmitter: *trans*, lateinisch: hinüber; *mittere*, lateinisch: schicken

der Rezeptor: *recipere*, lateinisch: aufnehmen, empfangen

- * Der Begriff „Molekül“ steht nicht (mehr) im LehrplanPLUS der Unterstufe, kann also nicht vorausgesetzt werden. Nur wenn alle Schüler den Molekülbegriff kennen, kann auch formuliert werden: Transmitter- bzw. Rezeptor-Molekül. Das Fach Chemie hilft an dieser Stelle auch nicht weiter, denn die NTG-Schüler lernen Moleküle erst am Ende der 8. Klasse kennen und alle anderen fangen erst im Folgejahr mit Chemie an. *Achten Sie sorgfältig darauf, die Begriffe der jeweiligen Betrachtungsebene zu verwenden: „Transmitter-Substanz“ ist makroskopisch, also Stoff-Ebene; „Transmitter-Molekül“ ist submikroskopisch, also Teilchen-Ebene.*
- ** Dies ist die erste Begegnung der Schüler mit dem Schlüssel-Schloss-Modell. Es muss deshalb ausführlich besprochen und entsprechend differenziert gesichert werden (auch wenn der LehrplanPLUS den Begriff „Schlüssel-Schloss-Modell“ erst bei den Hormonen bringt.)

Arbeitsblatt: Bau und Funktionsweise der Synapse [[word](#)] [[pdf](#)]

1.2 Der Sehsinn (8,5 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
lichtbrechender Apparat des Auges, Funktion und Beeinträchtigungen (Bau, Akkommodation, Sehfehler und Korrektur); Umwandlung der Information des Lichtes in elektrische Impulse in den Stäbchen und Zapfen; selektive Wahrnehmung im Gehirn, optische Täuschungen	erklären die Wahrnehmung von Licht als Zusammenwirken von lichtbrechendem Apparat des Auges, den Sehsinneszellen der Netzhaut sowie dem Gehirn und leiten Ursachen von Sehfehlern sowie Möglichkeiten für deren Korrektur ab.
Vorwissen: Jgst. 5 Biologie , Lernbereich 2.3.1: Überblick über die Sinne und Sinnesorgane Jgst. 7 Physik (in NT) , Lernbereich 1.2: Optische Phänomene (Licht, Sehvorgang)*	Weiterverwendung: Jgst. 8 Physik , Lernbereich 2 Optik

* **Inhalte zu den Kompetenzen** aus Lernbereich 1.2, Jgst. 7 Physik (in NT):

- Schülerexperiment: Farben beleuchteter Gegenstände
- Lichtquellen und beleuchtete Körper, Sehvorgang, Absorption und Reflexion von Licht als Ursache für die Farbe eines Gegenstandes
- Schülerexperiment: Schattenbilder
- geradlinige Ausbreitung des Lichts, Kern-, Halb- und Übergangsschatten
- Mondphasen, Mond- und Sonnenfinsternis

Spätestens beim Thema Sehsinn wird den Schülern klar vor Augen geführt, dass Biologie alles andere als Kinderkram ist, sondern eine anspruchsvolle Naturwissenschaft. Das zeigt sich bereits in der Fülle an neuen Fachbegriffen, vor allem aber bei der Diskussion komplexer Zusammenhänge wie z. B. der Entstehung der Bildes auf der Netzhaut, der Korrektur von Sehfehlern oder den Vorgängen in der Netzhaut.

Das Thema „Sehsinn“ ist das zentrale Kapitel innerhalb des Lernbereichs.

1.2.1 Der Aufbau des Auges

Wiederholung aus der 5. Klasse (am besten als vorbereitende Hausaufgabe anhand eines Arbeitsblatts und mit Hilfe des Buches); weitere Details werden selbständig oder im Unterricht ergänzt. Gut ist ein Vergleich zwischen Auge und Mikroskop bzw. Auge und Loch-Kamera / Fotokamera.

Arbeitsblatt Aufbau des Auges [[word](#)] [[pdf](#)] [[jpg](#)]

Fachbegriffe und Zusammenhänge: (Nummern aus dem Arbeitsblatt)

- 1 die Hornhaut: durchsichtiger vorderer Abschnitt der Lederhaut, wirkt als Linse
- 2 die Regenbogenhaut = die Iris: undurchsichtig, wirkt als Blende
- 3 die Pupille: zentrales Loch in der Iris, kann sich in großem Umfang vergrößern und verkleinern und lässt dadurch mehr oder weniger Lichtstrahlen durch
- 4 die Lederhaut: sehr widerstandsfähig, gibt dem Auge die Form
- 5 die Aderhaut: enthält viele Adern zur Versorgung des Auges mit Sauerstoff und Traubenzucker, zur Entsorgung von Kohlenstoffdioxid usw.*
- 6 die Netzhaut: enthält die Sehsinneszellen und nachgeschaltete Nervenzellen
- 7 der Glaskörper: durchsichtig, wirkt als Linse, gibt dem Auge die Form
- 8 der Sehnerv: enthält die Axone der Nervenzellen, die zum Gehirn ziehen
- 9 die Linse: durchsichtig, wirkt als Linse, kann ihre Form und damit ihre Wirkung verändern
- 10 der Augenmuskel: Insgesamt 7 Augenmuskeln drehen den Augapfel.
- 11 der Ziliarmuskel: Ringmuskel hinter der Iris, der beim Zusammenziehen enger wird; dadurch wird die Linse dicker und weniger hoch und breit (sie kugelt sich ab)

- 12 die Zonulafasern: verbinden Ziliarmuskel und Linse; wenn der Ziliarmuskel erschlafft und dadurch einen größeren Durchmesser bekommt, ziehen die Zonulafasern die Linse in eine flachere Form; wenn der Ziliarmuskel sehr stark zusammengezogen ist, sind die Zonulafasern locker
- 13 der Gelbe Fleck: liegt in der horizontalen Augenachse, bildet eine Grube mit sehr vielen Sehsinneszellen (ausschließlich für das Farbsehen); der Ort des schärfsten Sehens
- 14 der Blinde Fleck: Region ohne Sehsinneszellen, weil dort der Sehnerv austritt; liegt etwa 15° nasenwärts von der horizontalen Augenachse

* an dieser Stelle kurze Wiederholung der Zellatmung als Lieferant von Zellenergie, die für den Sehvorgang benötigt wird

Weil das Auge im späteren Unterricht nicht mehr auftritt, ist es sinnvoll, an dieser Stelle auch Aspekte wie den Gelben oder Blinden Fleck kurz anzusprechen.

ALP Blatt 06_v05 Präparation des Schweineauges (Unbedingt durchführen! Dauer: 1 Unterrichtsstunde; am besten so legen, dass interessierte Schüler noch länger weiter arbeiten können.)

ALP Blatt 07_1_v06 Nachweis des blinden Flecks (eignet sich auch als praktische Hausaufgabe)

ALP Blatt 07_1_v08 Pupillenreflex (eignet sich auch als praktische Hausaufgabe)

1.2.2 Optische Funktion des Auges

Wiederholung und damit Evaluation des Vorwissens zum Sehvorgang aus Physik (7. Klasse).

ALP Blatt 07_v01 Erzeugen eines Bildes auf der Mattscheibe (als kurzes Schülerpraktikum)

*Hinweis: In der 8. Klasse ist Optik auch Thema im **Physikunterricht**, aber erst nach der Biologie und zwar mit folgenden Aspekten (mit Bezug zum Biologie-Lehrplan): Lichtbrechung, Entstehung reeller und virtueller Bilder, Auge und Fehlsichtigkeit, Zerstreuungslinsen sowie ein Schülerexperiment „Abbildung durch eine Sammellinse“. Das heißt: Der Biologieunterricht kann nicht auf Vorkenntnisse aus Physik zurückgreifen, sondern liefert Vorwissen für die Physik. Absprache bezüglich der Fachtermini und ggf. der geplanten Zeit des Unterrichts ist also sinnvoll.*

Ich halte es nicht für sinnvoll, den Lernbereich 2 zur Information nach hinten zu verschieben, weil die Lernbereiche 3 bis 5 darauf aufbauen.

a) Der Strahlengang im Auge

Die Schüler wissen aus Physik, dass sich Licht geradlinig ausbreitet, und beschreiben den Gang eines Lichtstrahls durch das Auge:

Hornhaut > Pupille > Linse > Glaskörper > Netzhaut

(Auf die vordere und hintere Augenkammer habe ich hier aus Gründen der didaktischen Reduktion verzichtet.) Hornhaut, Linse und Glaskörper wirken jeweils als Linse, ähnlich einem anspruchsvolleren Mikroskop mit drei hintereinander geschalteten Linsen.

b) Abbildung auf der Netzhaut: Vergleich mit der Lochkamera

Darstellung anhand einer einfachen Lochkamera ohne Linsen. Das Loch entspricht der Pupille, der Bildschirm entspricht der Netzhaut (dass diese im Gegensatz zum Bildschirm gewölbt ist, bleibt außer Acht). Dadurch lassen sich zwei Phänomene erklären:

- Das Bild auf der Netzhaut steht auf dem Kopf.
- Je kleiner das Loch ist, desto dunkler ist das Bild (weil weniger Lichtstrahlen durchkommen) und desto schärfer ist das Bild (weil Lichtstrahlen von weniger Ausgangspunkten auf die selbe Sehzelle fallen) und umgekehrt.

ALP Blatt 01_v04 Einfache Lochkamera (Durchführung mit selbst gebauten oder im Lehrmittelhandel gekauften Lochkameras; auch als Hausaufgabe mit von den Schülern selbst gebauten Lochkameras)

Dazu das **Arbeitsblatt** „Strahlengänge in der Lochkamera“ [\[word\]](#) [\[pdf\]](#) *Ich habe auch mein Original-Dokument auf die Webseite gestellt, falls jemand an den Graphikobjekten direkt etwas verändern möchte: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)*

c) Abbildung auf der Netzhaut: Vergleich mit der Linsenkamera

Neues Bauteil: Hinter dem Loch der Lochkamera befindet sich im einfachsten Fall eine Linse (entspricht der Linse im Auge).

Vorteil der Linse: Auch wenn das Loch relativ weit ist, bündelt die Linse die Lichtstrahlen, die von einem Ursprungspunkt (A) ausgehen so, dass sie auf dem Bildschirm auf dem selben Punkt zusammentreffen (A', A'' usw. fallen also zusammen). Weites Loch bedeutet: Viel Licht fällt auf die Netzhaut, so dass auch bei niedriger Beleuchtungsstärke gut gesehen werden kann.

Dies sollte in einer Skizze mit Strahlengang dargestellt werden (vgl. Schulbücher).

Praktikum: Im Lehrmittelhandel gibt es kleine Augenmodelle, bei denen wahlweise eine Scheibe mit enger bzw. weiter Pupille sowie eine Augenlinse eingefügt werden kann. Damit können die Schüler die oben dargestellten Anordnungen durchspielen und die Effekte selbst beobachten. (Vgl. dazu das Arbeitsblatt „Wir arbeiten mit einem Augenmodell“ in meinem Skript „Kapitel Licht“ in der Abteilung „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ bei Materialien Unterstufe Natur und Technik LehrplanPLUS“ auf meiner Webseite.)

d) Die Akkomodation

= Scharfstellen; *accomodare*, lateinisch: anpassen

Problem: Die Bündelung der Lichtstrahlen, die vom selben Punkt ausgehen, auf der Netzhaut funktioniert nur bei einem bestimmten Abstand des Objekts vom Auge. Steht das Objekt näher am Auge oder weiter von ihm entfernt, wird das Bild auf der Netzhaut unscharf.

Lösung 1: In einer (mechanischen) Kamera wird der Abstand zwischen Linse und Film bzw. den Lichtsensoren verändert, die starre Linse wird vor- bzw. zurück gefahren. Dieses System ist bei Fischen verwirklicht: Muskeln bewegen ihre fast kugelförmige, formstabile Linse zum Scharfstellen vor und zurück.

Lösung 2: Die Linse bleibt an Ort und Stelle, aber sie verändert ihre Form, wodurch ihre sogenannten Brechungs-Eigenschaften verändert werden, also die Entfernung, in der die vom gleichen Ursprungspunkt kommenden Lichtstrahlen auf ein und denselben Punkt gebündelt werden. Dieses System ist im Auge von höheren Wirbeltieren sowie (unabhängig davon entstanden) bei Tintenfischen verwirklicht: Der Ziliarmuskel übt über die Zonulafasern mehr oder weniger starken Zug auf die Linse aus und flacht sie damit mehr oder weniger stark ab; bei sehr stark zusammen gezogenem Ziliarmuskel sind die Zonulafasern locker und die Linse ist maximal gekrümmt.

ALP Blatt 07_1_v04 Optische Bank (Demonstrations-Versuch; wenn in der Biologie-Sammlung keine optische Bank vorhanden ist, aus der Physik ausleihen; damit lässt sich Lösung 1 sehr anschaulich demonstrieren)

Lösung 2 sollte in zwei Skizzen mit Strahlengang dargestellt werden (vgl. Schulbücher).

Ob Sie Begriffe wie Fokus, Brennweite, Nahpunkt usw. einführen wollen, bleibt Ihnen überlassen; aus der Optik der 7. Klasse bringen die Schüler sie jedenfalls nicht mit. Vermutlich wird sie die Physiklehrkraft am Ende der 8. Klasse aufgreifen => Absprache!

e) Die Adaptation durch die Pupille*

** Dieses Thema ist vom LehrplanPLUS nicht vorgesehen, kann aber (kurz!) besprochen werden. Der Fachbegriff heißt beim Auge Adaptation und nicht Adaption.*

Durch die Linse ist das Problem der Unschärfe gelöst, theoretisch könnte das Sehloch also maximal groß sein, um möglichst viel Licht ins Auge zu lassen.

Problem: Bei zu starkem Lichteinfall wird das Auge geblendet, d. h. die Sehzellen können die Information des Lichts nicht mehr richtig verarbeiten.

Lösung: Bei starkem Lichteinfall werden durch die Muskeln in der Iris die Pupillen verengt und zwar in beiden Augen gleichzeitig und gleichartig.

ALP Blatt 07_1_v08 Pupillenreflex (Eignet sich auch als praktische Hausaufgabe.)

Das Auge verfügt noch über weitere Adaptations-Mechanismen, aber deren Besprechung würde zu weit führen.

1.2.3 Sehfehler und ihre Korrektur

Hinweis: „Auge und Fehlsichtigkeit“ steht in Lernbereich 2 Optik des **Physiklehrplans** in der 8. Klasse und zwar als Übung zur Kommunikations-Kompetenz unter Verwendung von Quellen aus dem Internet. Hierbei sollte unbedingt eine Absprache mit der Physiklehrkraft stattfinden, damit die Schüler nicht durch bloße Wiederholungen gelangweilt werden. Vielmehr sollte eine Arbeitsteilung bzw. eine Zusammenarbeit zwischen beiden Fächern abgesprochen werden. Bitte achten Sie auf einheitliche Verwendung von Fachbegriffen.

<https://www.planet-schule.de/mm/brillensimulator/>

Erklär-Videos für den Strahlengang und die Korrekturen für drei Entfernungen bei normal-, kurz-, weit- und alterssichtigen Menschen (die Schärfenebene im Bild verändert sich entsprechend); interaktiv im Expertenmodus: stufenlose Einstellungen für die Länge des Augapfels, die Form der Augenlinse sowie die Form des Brillenglases (der Bildpunkt wandert jeweils mit)

a) Altersweitsichtigkeit

Problem: Etwa ab 50 Lebensjahren lässt bei den meisten Menschen die Elastizität der Linse nach, so dass sie sich nicht mehr so stark abkugelt wie in jungen Jahren. Dadurch rückt der sogenannte Nahpunkt (kleinste Entfernung zwischen Auge und Objekt, bei der gerade noch ein scharfes Bild auf der Netzhaut entsteht) weiter weg. Während die minimale Sehweite bei Kindern und Jugendlichen um die 10 cm liegt, beträgt sie bei vielen über 50jährigen einen halben Meter und mehr (Lesen mit ausgestreckten Armen).

Lösung: Vor das Auge wird eine konvexe Linse gesetzt (als Brille oder als Kontaktlinse); diese Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen nach innen ab, so dass sie – nach dem Durchgang durch Hornhaut, Augenlinse und Glaskörper – auf der Netzhaut wieder in einem Punkt zusammen treffen.

Demonstrationsversuch mit der optischen Bank, wobei das Modell der Augenlinse zu schwach für den kurzen Abstand zwischen Objekt und Bildschirm gewählt wird; Korrektur mit einer Sammellinse.

Hinweis: Die Altersweitsichtigkeit kann, trotz ihres Alltagsbezugs, auch weggelassen werden.

b) Weitsichtigkeit

Problem: Menschen mit Weitsichtigkeit können weit entfernte Objekte scharf sehen, nahe Objekte dagegen nur unscharf. Die Ursache ist ein zu kurzer Augapfel. Die zusammen gehörenden Lichtstrahlen würden sich theoretisch erst hinter der Netzhaut treffen.

Lösung: Eine Sammellinse vor dem Auge (s. o.).

Demonstrationsversuch mit der optischen Bank, wobei der zuvor korrekte Abstand zwischen Linse und Bildschirm verkleinert wird (Bildschirm an die Linse heranhelfen); Korrektur mit einer Sammellinse.

c) Kurzsichtigkeit

Problem: Menschen mit Kurzsichtigkeit können nahe Objekte scharf sehen, weit entfernte Objekte dagegen nur unscharf. Die Ursache ist ein zu langer Augapfel. Die zusammen gehörenden Lichtstrahlen treffen sich bereits vor der Netzhaut.

Lösung: Eine konkave Linse (Zerstreuungslinse) vor dem Auge, welche die Lichtstrahlen nach außen ablenkt.

Demonstrationsversuch mit der optischen Bank, wobei der zuvor korrekte Abstand zwischen Linse und Bildschirm vergrößert wird (Bildschirm von der Linse wegfahren); Korrektur mit einer Zerstreuungslinse.

Die Begriffe konvex, konkav, Zerstreuungs- und Sammellinse sind den Schülern nicht aus früherem Unterricht bekannt und müssen neu eingeführt werden. Die Begriffe Zerstreuungs- und Sammellinse ergeben sich aus der Ablenkung der Lichtstrahlen. Als konkav bezeichnet man eine Wölbung, die nach innen geht (Merkhilfe: Da wo der Kaffee reinpasst, ist konkav); konvex ist dann die andere Alternative, also die Wölbung nach außen.

d) Grauer Star*

** Sollte kurz thematisiert werden, wenn diese Alterserkrankung von Schülerseite eingebracht worden ist.*

Problem: Als Grauen Star oder Katarakt bezeichnet man eine Trübung der Linse. Dadurch wird das Bild lichtschrach und unscharf, man sieht wie durch einen Nebel. Außerdem wird das Auge empfindlicher gegen Blendung (weil das Licht durch die Linsentrübung stark gestreut wird). Im fortgeschrittenen Stadium ist die graue Färbung von außen erkennbar. Die Bezeichnung Star kommt von starren.

Lösung: Entfernung der getrübten Augenlinse und Ersatz durch eine künstliche Linse, die allerdings starr ist, weshalb keine Akkomodation möglich ist; eine Gleitsichtbrille löst dieses Problem weitgehend.

1.2.4 Die Funktion der Netzhaut

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Lehrplänen wird im LehrplanPLUS die Signal-Umwandlung in der Netzhaut explizit als Lerninhalt formuliert.

a) Aufbau der Netzhaut

aus verschiedenen Typen von Sehsinneszellen und nachgeschalteten Nervenzellen (die Begriffe Zapfen und Stäbchen sollten die Schüler jetzt kennenlernen; Bipolare Nervenzellen sind kein Lernstoff, aber sie sollten gezeigt werden, denn dieser Zelltyp zeigt eine Variante des Neurons mit nur einem einzigen Dendriten).

Sehsinneszellen bestehen aus zwei Abschnitten: Der vordere Abschnitt besitzt im Inneren sehr viele flache Membranstapel (Oberflächenvergrößerung!). In diesen Membranen sitzen Farbstoff-Teilchen; dieser Farbstoff heißt der Sehpurpur (das Rhodopsin). Der hintere Abschnitt enthält alle anderen Organellen der Zelle und endet in einem kurzen Axon, dessen Axonverzweigungen zu den Dendriten der nachgeschalteten Nervenzellen ziehen.

Bereits in der Netzhaut werden die Signale der Sehsinneszellen massiv verarbeitet. Die Informationen benachbarter Sehsinneszellen (und Nervenzellen) werden verglichen und entsprechend verarbeitet (Kontraste werden verstärkt, manches wird ausgeblendet; bestimmte Aspekte wie horizontale Bewegung, vertikale Bewegung werden ermittelt usw.).

b) Der Weg des Lichts in der Netzhaut

Das Licht trifft zunächst auf die Schicht der Sehnervenzellen (Ganglienzellen), geht dann durch die Schicht der Bipolaren Zellen und gelangt erst danach zu den Sehzellen selbst (und auch das von hinten her):

Das wirft die Frage auf, wieso diese Schichten verkehrt herum angeordnet sind. Diese Anordnung hat keinen Sinn, sondern hat mit der Entstehung des Wirbeltierauges zu tun (in der Evolution entstehen neue Bauteile nicht aus dem Nichts, sondern durch Abwandlung bereits vorhandener Bauteile): Die Netzhaut ist ein hochentwickelter Teil der Gehirns, der auch beim Embryo von innen her nach außen wächst. (Bei Tintenfischen, die ein sehr ähnlich gebautes Auge haben, ist die Reihenfolge der Schichten genau umgekehrt; sie haben deshalb auch keinen Blinden Fleck. Bei ihnen hat die Netzhaut einen anderen Ursprung.)

Gleichzeitig stellt sich die Frage, ob auf der Wanderung durch diese Zellschichten nicht zu viel Licht verloren geht. Die Antwort ist: nein, weil diese Zellen farblos und fast vollkommen durchsichtig sind. *(Hinweis: Nicht alle Schüler kennen den Unterschied zwischen farblos und durchsichtig. Evaluieren und klären!)*

Die Zellen der an die Netzhaut angrenzenden Aderhautzellen (Pigmentzellen) enthalten einen Farbstoff (das Pigment), der das Licht schluckt, das durch die Sehsinneszellen hindurch getreten ist, um Blendungseffekte zu vermeiden.

c) Vom Reiz zum elektrischen Signal

In den Membranen des vorderen Abschnitts der Sehsinneszellen sitzt der Sehpurpur. Wenn Licht auf ein Sehpurpur-Teilchen trifft, verändert es seine Form. Diese Veränderung löst ein winziges elektrisches Signal aus, das über das kurze Axon der Sehsinneszelle weiter geleitet wird. Der veränderte Sehpurpur muss wieder in seinen ursprünglichen Zustand umgewandelt werden; dazu ist Zellenergie nötig. *(Diese Umwandlung findet in der Pigmentschicht statt, aber das ist kein Unterrichtsstoff.)*

d) Stäbchen und Zapfen

Die meisten Sehsinneszellen sind Stäbchen, die etwas länger und schlanker sind als die Zapfen. In den Außenbereichen der Netzhaut (also anatomisch gesehen vorne, um die Regenbogenhaut herum) gibt es nur Stäbchen. Nach der Bildmitte zu (also anatomisch gesehen in Richtung nach hinten zum Gelben Fleck) nimmt die Zahl der Zapfen zu; im Gelben Fleck sitzen nur Zapfen.

Die vielen Stäbchen unterscheiden keine Farben, sondern nur unterschiedliche Helligkeiten; sie sind verantwortlich für ein scharfes Schwarz-Weiß-Bild (also nur Hell-Dunkel-Sehen). Zusätzlich besitzt der Mensch drei Typen von Zapfen, die bei unterschiedlichen Lichtsorten besonders intensiv reagieren nämlich bei Rot, Grün bzw. Blau. Weil in der Netzhaut vergleichsweise wenige Zapfen sitzen, können sie kein scharfes Bild liefern. Was wir wahrnehmen ähnelt also einem kolorierten Schwarz-Weiß-Bild (vor der Erfindung der Farbfotografie wurden Post-

kartenbilder mit der Hand eingefärbt; alte Schwarz-Weiß-Filme werden inzwischen digital koloriert).

Beobachtungsaufgabe: Die Schüler untersuchen einen eingeschalteten Fernsehbildschirm so nah wie möglich mit bloßem Auge bzw. mit der Lupe an einer weißen Fläche. Beobachtung: Es sind winzige rote, grüne und blaue Flächen zu sehen. Erklärung: An dieser Stelle entsteht der Eindruck „Weiß“ aufgrund der additiven Farbmischung aus Rot, Grün und Blau. *Die Schüler kennen aus der 7. Klasse Physik und Kunst die subtraktive Farbmischung; dieser Effekt ist also neu für sie, wenn auch kein Lernstoff in Biologie.*



Vögel besitzen zusätzlich einen vierten Typ Zapfen für Ultraviolett (das der Mensch nicht sehen kann); sie sehen vor allem bunte bzw. schwarz-schillernde Gefieder also völlig anders als der Mensch.

Bienen sehen ebenfalls im ultravioletten Bereich, besitzen dafür aber keine Zapfen im roten Bereich, weshalb sie die Farbe Rot als Schwarz wahrnehmen: Während eine Mohnblüte für den Menschen orangerot leuchtet mit einem samtigen Schwarz in der Mitte, sieht sie für eine Biene genau umgekehrt aus: Fast schwarze Blütenblätter umrahmen eine ultraviolett leuchtende Innenfläche. [jpg]

ALP Blatt 07_1_v10 Rot-Grün-Blindheit: Bei Menschen mit Rot-Grün-Blindheit fehlen die Zapfen für die Rot- oder die Grün-Wahrnehmung bzw. sie sind defekt. Solche Menschen können deshalb rote von grünen Farbtönen nicht unterscheiden. Rot-Grün-Blinde nehmen orange Warnwesten als unscheinbar braun wahr, gelbe Warnwesten dagegen als grell gefärbt. Im Internet findet man Rot-Grün-Testbilder, z. B. unter: <https://www.brillen-sehhilfen.de/sehtest/farbsehtest.php>.

Hinweise: Verkürzte Ausdrücke wie „blaue Zapfen“ sollten Sie vermeiden, weil die Schüler sonst missverstehen könnten, dass diese Zellen blau gefärbt wären; sie sind aber farblos.) Während bei Stäbchen die Verkleinerungsform gebraucht wird, darf diese bei Zapfen nicht verwendet werden, weil der Begriff Zäpfchen medizinisch bereits für das Anhängsel im Gaumen vergeben ist.

1.2.5 Optische Wahrnehmung

Der Mensch ist ein Augentier und hält das, was er sieht, meist naiv für die Wirklichkeit. Nicht einmal Film und Fernsehen, bei denen bewegte Bilder bekanntlich massiv manipuliert werden, haben an dieser Illusion viel geändert. Dabei ist unsere optische Wahrnehmung alles andere als objektiv. Optische Täuschungen erlauben uns einen „Blick“ hinter die Kulissen unserer eigenen Wahrnehmungs-Mechanismen. Für 13-Jährige ist es ziemlich schwer zu akzeptieren, dass das Bild, das wir von der Welt haben, eine Konstruktion unseres Gehirns ist, in das zwar die Informationen von den Sinnesorganen differenziert einfließen, aber diese werden stark selektiert, nachbearbeitet und mit den individuellen Erfahrungen abgeglichen, bevor es zur eigentlichen Wahrnehmung kommt. Das ist auch für die meisten Erwachsenen nur schwer zu begreifen.

Die Stäbchen und Zapfen nehmen nur einen engen Ausschnitt der elektromagnetischen Strahlung wahr (die Schüler können mit diesem Begriff noch nichts anfangen, lassen sich aber durchaus auf die Aussage ein, dass „vor“ dem Rot das unsichtbare, aber fühlbare Infrarot steht und „hinter“ dem Violett das unsichtbare Ultraviolett; am besten mit einer klaren Graphik

veranschaulichen. Die Neuronen in der Netzhaut verarbeiten die Signale aus den Sehsinneszellen in ganz erheblichem Umfang. Der Sehnerv sendet an das Gehirn Informationen, die bereits nach 12 verschiedenen Kategorien aufgetrennt sind. Im Gehirn entsteht also keinesfalls ein optisches Bild mit vielen Bildpunkten, ähnlich einer analogen oder digitalen Kamera, und schon gleich gar kein „objektives“ Bild, das dann vom Gehirn betrachtet und ausgewertet würde. Ein spannender Artikel dazu steht in: Spektrum der Wissenschaft, Heft 5 2008, S. 40: „Wie das Auge die Welt verfilmt“.

Der Einstieg erfolgt am besten mit dem **Sehspektrum**. Anschließend werden verschiedene **optische Täuschungen** betrachtet, aber nicht zur Unterhaltung, sondern es sollen Beispiele ausgewählt werden, deren Interpretation Aussagen zu den Mechanismen unserer Wahrnehmung machen. Deshalb fallen manche, teils sehr bekannte, Täuschungen weg, weil sie immer noch nicht ausreichend gut erklärbar sind wie das Hermann-Gitter oder weil die Erklärung im Rahmen der 8. Klasse zu anspruchsvoll wäre.

Um den wissenschaftlichen Wert der optischen Täuschungen auch für die Schüler deutlich zu machen, wird das Schema der Erkenntnisgewinnung mit Versuchsaufbau (VA), Beobachtung (B) und Erklärung (E) gewählt. Treffen Sie eine Auswahl an Beispielen und vereinfachen Sie ggf. die Fachsprache (die folgenden Formulierungen sind eher für die Lehrkraft gedacht). Aktivieren Sie das entsprechende Vorwissen Ihrer Schüler aus Natur und Technik sowie aus Kunst und lassen Sie es anwenden bzw. vertiefen Sie es (Hinweise erfolgen jeweils im Text).

Simultankontrast schwarz-weiß (Hering-Kontrast)

simul, lateinisch: zugleich, gleichzeitig; *contra*, lateinisch: gegen, dagegen; *stare*, lateinisch: stehen

- VA In der Mitte eines großen weißen bzw. schwarzen Quadrats befindet sich je ein kleineres graues Quadrat. Die grauen Quadrate besitzen exakt den selben Farbton. Am eindrucksvollsten wirkt der Test, wenn Tafelapplikationen aus Pappe verwendet werden, bei denen die beiden grauen Quadrate ausgetauscht werden können, oder die Flächen in einer Multimedia-Präsentationen verschoben werden können.
- B Das graue Quadrat in der schwarzen Umgebung wirkt heller als das in der weißen Umgebung.
- E Von der weißen Fläche aus fällt viel Licht auf die Stäbchen. Diese senden deshalb besonders intensiv elektrische Signale aus. Durch die Mithilfe bestimmter Nervenzellen in der Netzhaut bewirken diese intensiven Signale, dass schwächere Signale, die von den Stäbchen kommen, die durch schwächeres Licht angeregt werden, noch weiter abgeschwächt werden. Das heißt, dass die graue Fläche dunkler erscheint, als sie tatsächlich ist.
- Durch den selben Effekt erscheint die schwarze Fläche noch dunkler, wenn neben ihr eine graue Fläche liegt.
- Durch diesen aktiven Hemm-Mechanismus (laterale Hemmung) wird der Kontrast erhöht, d. h. Helles erscheint noch heller, Dunkles erscheint noch dunkler.



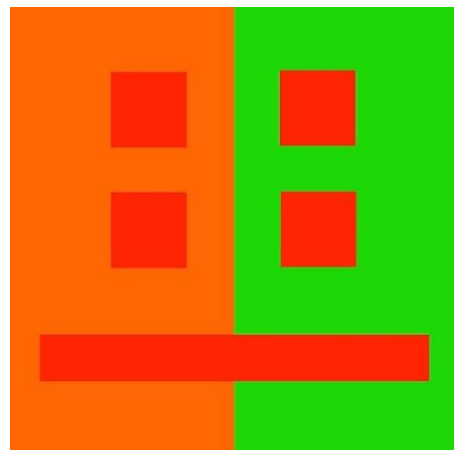
Simultankontrast – schwarz-weiß (Machsche Streifen)

- VA Mehrere vertikale gleich große, einfarbige Streifen mit abgestuften Grautönen liegen nebeneinander. Auch hier ist es gut, wenn die Streifen einzeln herausgenommen und wieder eingefügt werden können.
- B Die Färbung jedes der Streifen wird nicht als einheitlich wahrgenommen, sondern sie erscheint direkt neben dem helleren Streifen dunkler und direkt neben dem dunkleren Streifen heller.
- E Gleiche Erklärung wie beim Hering-Kontrast.



Simultankontrast – farbig

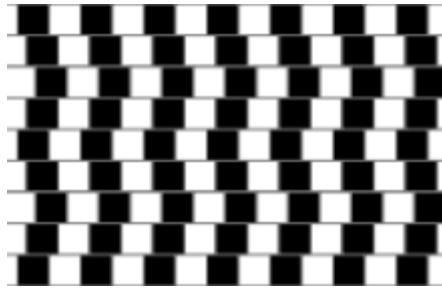
- VA Zwei gleich helle, unterschiedlich gefärbte Flächen grenzen aneinander. In ihnen befinden sich jeweils gleiche Figuren in einer dritten Farbe gleicher Helligkeit.
- B Beispielsweise erscheint Rot in orange-farbener Umgebung dunkler, bläulich und getrübt und in grüner Umgebung besonders leuchtend.
- E Gleiche Erklärung wie beim Hering-Kontrast, nur dass hier Hemmung bei den Signalen von Zapfen auftritt.



Weil der Effekt nur bei bestimmten Kombinationen von Farben gut zu sehen ist, wähle ich hier eine Abbildung aus dem Internet: Von FriedeWie - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=79963285>

Münsterberg-Täuschung

- VA Die Räume zwischen parallelen, waagrecht, grauen Linien werden mit einem schräg angeordneten Muster aus schwarzen und weißen Feldern ausgefüllt. (Davon gibt es viele unterschiedliche Varianten.)
- B Die in Wahrheit parallelen Linien werden als schräg gestellt bzw. krumm empfunden.
- E Hell-Dunkel-Kontrast wie oben: Ein Abschnitt der grauen Linie, der zwischen schwarzen Feldern liegt, wird heller und damit breiter wahrgenommen als ein Abschnitt der grauen Linie, der zwischen weißen Feldern liegt. Die heller erscheinenden Abschnitte der Linie werden bei der Wahrnehmung mit den Ecken der weißen Felder verbunden, die dunkler erscheinenden Abschnitte der Linie mit den Ecken der schwarzen Felder. Dadurch erscheinen die Linien nicht gerade bzw. nicht waagrecht.



Von Fibonacci - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1788689>

Sukzessivkontrast – schwarz-weiß (Nachbilder)

succedere, lateinisch: nachfolgen, aufeinander folgen

- VA Ein Negativbild, das nur schwarze und weiße Flächen enthält, wird im abgedunkelten Raum projiziert. Der Betrachter blickt starr auf die Mitte des Bildes (am besten befindet sich dort eine Markierung). Nach etwa einer Minute wird nur eine weiße Fläche projiziert, während der Betrachter weiterhin auf die selbe Stelle starrt.
- B Nach kurzer Zeit erscheint auf der weißen Fläche das Bild von vorhin, wobei die vormals schwarzen Flächen jetzt hell und die vormals weißen jetzt dunkel erscheinen. Das Bild bewegt sich mit der Bewegung der Augen. Dann verschwindet es wieder, um nach einiger Zeit erneut zu erscheinen, wenn auch schwächer.
- E In den Stäbchen, die von den weißen Flächen des Objekts besonders viel Licht erhalten haben, ist besonders viel Sehpurpur verbraucht worden. In den Stäbchen, die wegen der schwarzen Flächen des Objekts besonders wenig Licht erhalten haben, ist besonders wenig Sehpurpur verbraucht worden.
 Wenn alle Stäbchen danach gleich viel Licht erhalten, reagieren die Stäbchen mit viel Sehpurpur intensiver als die mit weniger Sehpurpur.
 Dass sich das Nachbild mit bewegt, wenn sich die Augen bewegen, beweist, dass sich die Strukturen, die für das Nachbild verantwortlich sind (hier: die Stäbchen), im Auge befinden.



Das hier dargestellte einfache Beispiel funktioniert gut, wenn der Betrachter z. B. die Lücke im Buchstaben e fixiert. Spannender sind aber Bilder von bekannten Gesichtern wie Charly Chaplin oder Jesus*, die im Negativbild spontan praktisch nie erkannt werden. An den erstaunten Rufen der Betrachter wird klar, wann bei ihnen das Nachbild erscheint bzw. sie es identifiziert haben.

* <https://www.sehtestbilder.de/optische-taeuschungen-illusionen/optische-taeuschung-jesus.php>

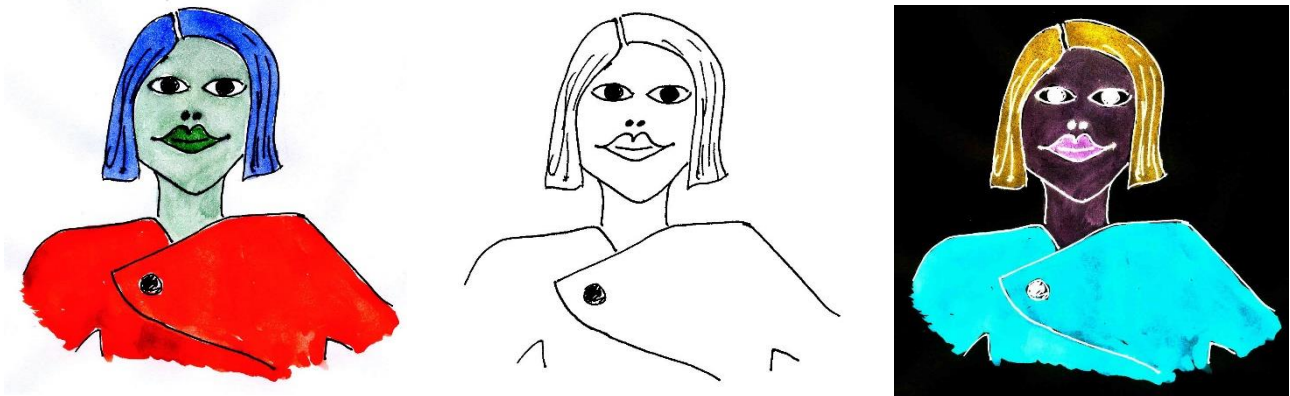
Sukzessivkontrast – farbig (Nachbilder)

- VA Eine farbig ausgemalte Zeichnung wird eine Minute lang projiziert. Der Betrachter blickt starr auf die Mitte des Bildes. Nach etwa einer Minute wird an der selben Stelle

die selbe Zeichnung projiziert, allerdings ohne die Farbflächen, während der Betrachter weiterhin auf die selbe Stelle starrt.

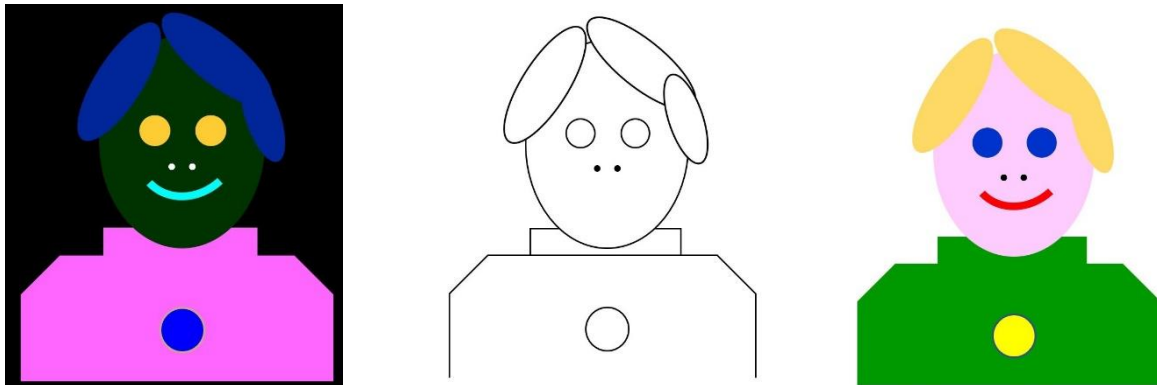
- B Nach kurzer Zeit erscheinen farbige Flächen, allerdings in Komplementärfarben: Was vorher grün war, wird rot; was vorher rot war, wird grün; was vorher blau war, wird orange usw.
- E Ähnlich wie beim letzten Beispiel, nur dass jetzt die drei Typen von Zapfen betroffen sind.

Beispiel mit einer aquarellierten Zeichnung:



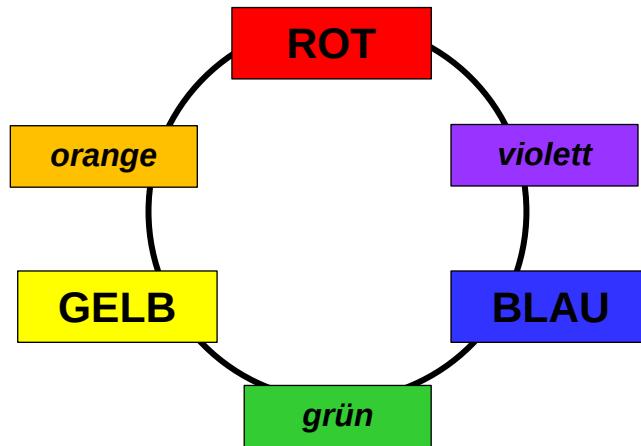
Zuerst wird das linke Bild projiziert [jpg 1], danach das mittlere [jpg 2]. Es ergibt sich das Nachbild (rechts) [jpg 3].

Ein weiteres Beispiel mit einer Vektorgraphik:



Projektion 1 [jpg 1] [word 1] Projektion 2 [jpg 2] [word 2] Nachbild [jpg 3]

Vorwissen zu Komplementärfarben könnten die Schüler vielleicht aus dem Physikunterricht der 7. Klasse haben, sicher aber aus dem Kunstunterricht der 7. Klasse (Lernbereich 1 „Bildende Kunst“ nennt subtraktive Farbmischung; Komplementärkontrast, Hell-Dunkel-Kontrast). In der 5. Klasse sollten die Schüler in Naturwissenschaftlich Arbeiten die sechs Hauptfarben des Regenbogens kennen. Aus ihnen lässt sich ein Farbkreis mit den Hauptfarben Rot, Gelb, Blau und den primären Mischfarben Orange, Grün, Violett erstellen:



Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), der sehr an Naturwissenschaften (wie Geologie, Anatomie, Farbigkeit) interessiert war, beschrieb seine Erfahrungen mit dem farblichen Nachbild in seinem Werk „Zur Farbenlehre“ von 1810:

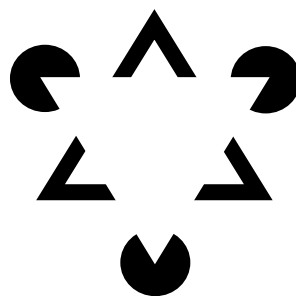
„Als ich gegen Abend in ein Wirtshaus eintraf und ein wohlgewachsenes Mädchen mit einem blendend weißen Gesicht, schwarzen Haaren und einem scharlachroten Mieder zu mir ins Zimmer trat, blickte ich sie, die in einiger Entfernung von mir stand, in der Halbdämmerung scharf an. Indem sie sich nun darauf hinwegbewegt, sah ich auf der mir entgegengesetzten weißen Wand ein schwarzes Gesicht, mit einem hellen Schein umgeben, und die übrige Bekleidung der völlig deutlichen Figur erschien in einem schönen Meergrün.“

Unter <https://www.spektrum.de/raetsel/des-lebens-goldner-baum/1336892> finden Sie ein Aquarell von Goethe, das er zu diesem Thema angefertigt hat. Es zeigt das Negativ (wenn auch nicht das erwähnte Mieder). Analog zu Goethes Wirtshausbesuch, wird das Bild zunächst eine Minute lang projiziert und vom Betrachter fixiert (z. B. auf der Nasenspitze), dann fixiert er die selbe Stelle auf einer weißen Fläche. Bald erscheint das Bild, aber komplementär gefärbt.

Unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Farbenlehre_\(Goethe\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Farbenlehre_(Goethe)) finden Sie Goethes historische Darstellung des Farbkreises aus seiner „Farbenlehre“.

Interpretation anhand von Erfahrung: nicht vorhandene Teile sehen

- VA Bestimmte Figuren mit fehlenden Teilen werden projiziert.
- B Der Betrachter ergänzt in seiner Wahrnehmung die fehlenden Teile; hier drei Kreise sowie das weiße und das schwarze Dreieck.
- E Aufgrund seiner Vorerfahrung erwartet der Betrachter bestimmte Teile und ergänzt sie automatisch, obwohl sie objektiv nicht vorhanden sind.



Das Kanizsa-Dreieck

Interpretation anhand von Erfahrung: Mehrdeutige Figuren – Kippfiguren

- VA Eine mehrdeutige Figur wie z. B. der Neckerwürfel¹⁾, das Verwechselbild von Vase bzw. zwei Gesichtern²⁾ oder das Verwechselbild von alter und junger Frau³⁾ wird projiziert.
- B Eine der beiden Deutungen wird genannt und per Handzeichen abgefragt, wer diese Form wahrnimmt. Dann wird die andere Deutung genannt und wieder abgefragt. Dabei gibt es Schüler, die beiden Formen wahrnehmen können, aber nie gleichzeitig (deswegen Kippfigur, weil sie von der einen in die andere Deutung kippt). Für alle anderen werden beide Deutungen nacheinander geduldig so lange erklärt, bis sie jeder sehen und zwischen ihnen wechseln kann.
- E Die Figuren sind sehr einfach gezeichnet, d. h. es kann nur wenig Information aus Details gewonnen werden. Das Gehirn ist also gezwungen, die Figuren mit dem zu vergleichen, was es bereits kennt, und sich für eine Deutung zu entscheiden.

1) <https://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/necker-wuerfel/10374>

2) https://de.wikipedia.org/wiki/Kippfigur#/media/Datei:Cup_or_faces_paradox.svg

3) <https://www.brillen-sehhilfen.de/optische-taeschungen/kippbilder.php> (mit Auflösungen und vielen weiteren Beispielen)

Interpretation anhand von Erfahrung: Perspektive

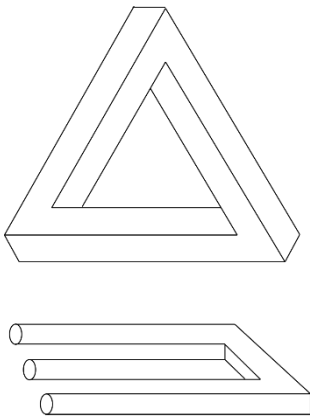
- VA Eine perspektivisch angelegte Zeichnung¹⁾ wird projiziert, in der der gleiche Gegenstand zwei oder mehr Mal auftaucht, immer in der selben Größe, aber einmal in einem Bildteil, das den Vordergrund darstellt, einmal in einem Bildteil, das den Hintergrund darstellt. Am besten wirkt es, wenn diese Gegenstände verschoben werden können, der kleiner erscheinende mit dem größer erscheinenden also ausgetauscht werden kann.
- B Der Gegenstand erscheint dort im Vergleich viel größer, wo er vor dem Hintergrund abgebildet ist.
- E Das Gehirn kombiniert im Babyalter optische und haptische Erfahrungen. Unter anderem lernt es dabei, dass Objekte umso kleiner wirken, je weiter entfernt sie sind (perspektivische Verkleinerung; vgl. Kunst 6. Klasse „zeichnerische Mittel zur Raumdarstellung“; 7. Klasse „Raumillusion in der Zeichnung: Parallelperspektive“; 8. Klasse ganz am Anfang „Raumdarstellung: Zentralperspektive“). Deshalb wird ein gleich großer Gegenstand im Vordergrund als kleiner wahrgenommen als im Hintergrund.

1) <https://www.brillen-sehhilfen.de/optische-taeschungen/optische-taeschung-perspektive-groesse.php>

Interpretation anhand von Erfahrung: unmögliche Figuren

- VA: Eine unmögliche Figur wird projiziert; das ist eine zweidimensionale Darstellung, die aufgrund ihrer Machart dreidimensional interpretiert wird und dabei zu Widersprüchen führt. Um die Diskussion zu erleichtern wird zwischendurch ein Teil der Figur abgedeckt.
- B: Wenn man einen Ausschnitt aus der Figur betrachtet, ist die dreidimensionale Wahrnehmung problemlos. Wenn man aber die gesamte Figur betrachtet, kommt es zu unauf löslichen Widersprüchen.
- E: Unser Gehirn lernt bereits im Kleinkindalter, visuelle Eindrücke, die ja zweidimensional sind, dreidimensional zu interpretieren. Neben der perspektivischen Verkürzung ist im zweidimensionalen Bild das Zusammenspiel von sichtbaren und verdeckten Flächen wesentlich, ebenso die Interpretation, dass sich zwischen Linien eine Fläche befindet.

Penrose-Dreieck und unmöglicher Dreizack sind nur die bekanntesten Beispiele für eine Vielzahl unmöglicher Objekte:



https://de.wikipedia.org/wiki/Unm%C3%B6gliche_Figur#/media/Datei:Impossible_objects.svg
gemeinfreie Datei

Interpretation anhand von Erfahrung: die Dallenbachsche Figur

Das ist eine der verblüffendsten und eindrucksvollsten optischen Täuschungen.

- VA Die Dallenbachsche Figur¹⁾ wird projiziert. Das ist eine Ansammlung von schwarzen und weißen Flächen und Strichen, die unter dem Stichwort „Dallenbachsche Figur“ bekannt ist.
- B Wer die Figur bereits kennt, darf sich nicht äußern! Schüler ohne Kenntnis formulieren, was sie in dem Bild wahrnehmen. Darunter sind immer sehr phantasievolle Interpretationen. Nach mehreren Beiträgen sagt (!) die Lehrkraft die Lösung: „Das Bild zeigt eine Kuh.“ In der Regel hilft das kaum jemandem weiter.
- VA/B Dann wird die Ergänzung der Dallenbachschen Figur zum ganzen Tier projiziert. Zwischen der ersten und der zweiten Abbildung wird mehrfach hin und her gewechselt, bis alle im ersten Bild die Kuh wahrnehmen.
- E Das Gehirn vergleicht die Sinneseindrücke immer mit bereits abgespeicherten Erfahrungen. Wenn keine Zuordnung möglich ist, wird mit immer mehr Phantasie mit immer weiter entfernten Erfahrungen interpretiert. Sobald aber eine plausible Lösung im Erfahrungsschatz gespeichert wird (hier durch Bild 2), wird das zunächst kaum interpretierbare Bild 1 klar erkannt.

1) http://media.kswillissau.ch/nt/ws_sehen/wahr12.html (führt weiter zur Auflösung)

***Hinweis:** Verlieren Sie nicht zu viel Zeit mit den optischen Täuschungen, auch wenn die Schüler noch so viel Freude daran haben. Sie sollten auch aus den hier dargestellten Beispielen nur eine Auswahl verwenden. Wenn die Euphorie der Schüler zu groß ist, dürfen einige von ihnen über Multimedia je ein Beispiel kurz vorstellen; Bedingung: Sie müssen eine biologische Erklärung für den Effekt liefern (gerne auch eine, die im Unterricht schon aufgetaucht ist).*

Wesentliche Aspekte:

- Optische Wahrnehmung bildet nicht die Wirklichkeit ab. Das menschliche Auge ist (ebensowenig wie die anderen Sinnesorgane) kein objektives Messinstrument.
- Die Informationen aus den Sehsinneszellen werden gewichtet, manche werden verworfen (selektiert), andere werden verstärkt; im Gehirn werden sie mit bereits vorhandenen Erfahrungen verglichen und entsprechend interpretiert.
- Wahrnehmung ist also ein Konstruktions-Vorgang, bei dem ein „Bild“ aus den ausgewählten Informationen, Erfahrungen und kreativer Phantasie erzeugt wird. (Der Ausdruck „sich ein Bild von etwas machen“ ist also auch sinnesphysiologisch absolut korrekt.)

- Dies ist sinnvoll, denn in der Natur muss ein Lebewesen auch aus sehr lückenhaften Informationen rasch ein „Bild“ gewinnen, wenn es überleben will. Wer erst wegrennt, wenn der Löwe hinter dem Busch nicht nur zu ahnen ist, sondern sich in voller Größe zeigt, wird schnell zu Löwenfutter. Wer erst dann seinen Speer wirft, wenn die Gazelle aus der Deckung kommt, könnte verhungern.

1.3 Der Hörsinn (2 h)

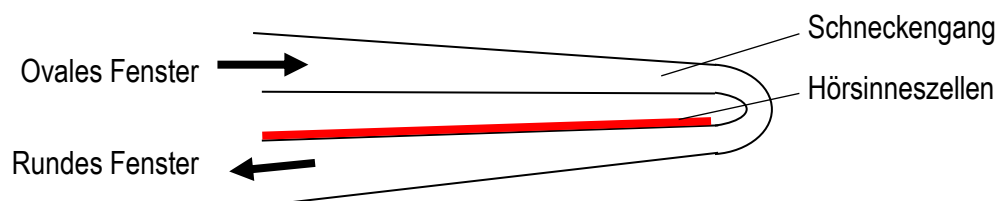
Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Grundlagen des Hörvorgangs; Schäden durch Lärm- einwirkung, u. a. laute Musik	leiten aus den Kenntnissen zum Hörvorgang Maß- nahmen zur Vermeidung von Hörschäden ab.
Vorwissen: Jgst. 5 Biologie , Lernbereich 2.3.1: Überblick über die Sinne und Sinnesorgane; Gehörschutz	Weiterverwendung: –

1.3.1 Aufbau und Funktion des Ohres

Im Gegensatz zum Auge, das den Schülern aus der Unterstufe und oft auch aus der Grundschule bekannt ist, ist es wenig Erfolg versprechend, beim Ohr mit einem Arbeitsblatt zu seinem Aufbau einzusteigen, denn der ist viel zu komplex und die Schüler haben viel zu wenig Vorwissen dazu. Es kommt nicht darauf an, dass die Schüler möglichst viele Fachbegriffe lernen, sondern dass sie Zusammenhänge verstehen.

Besonders effektiv ist hier ein **problemorientierter Unterricht**, der an den wesentlichen Stellen den Zusammenhang von Struktur und Funktion aufzeigt, und auf die dafür nicht wesentlichen Details so weit wie möglich verzichtet. Eine Abbildung vom Aufbau des Ohres kann zwar früh ausgeteilt werden, sie wird aber je nach Unterrichtsfortschritt erst nach und nach ausgefüllt.

Die komplexen räumlichen Zusammenhänge in der Gehörschnecke des Innenohrs sollten sehr stark vereinfacht werden (vor allem der Querschnitt durch die Gehörschnecke ist extrem unübersichtlich), etwa in dieser Art:



Problem 1: Was ist Schall?

Ein kurzes Brainstorming zeigt eventuelle Unsicherheiten der Schüler auf.

- Unter Schall versteht man regelmäßige Schwingungen von Materie (Luft, Holz, Schnur, Knochen, Lautsprecher-Membran ...).
- Die Ausbreitung erfolgt durch Schallwellen; dabei wandern Bereiche von abwechselnder Verdichtung und Verdünnung von einer Schallquelle ausgehend in alle Richtungen.
- Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde nennt man Frequenz; die Einheit ist 1/sec oder Hertz (Hz). Beispielsweise schwingt die Luft beim Kammerton a' (beim Violin-schlüssel die Note im zweituntersten Zwischenraum) mit 400 Hertz.
- Der Schalldruck entspricht der Lautstärke; die Einheit ist Dezibel (dB; betont auf der ersten Silbe, denn „dezi“ bedeutet 1/10). Ein normal sprechender Mensch erzeugt in 1 Meter Entfernung einen Schalldruck von 40-60 dB am Ohr des Lauschenden.

Luft dient in der Regel als Überträger-Medium zwischen Schallquelle und menschlichem Ohr. Dazu führen die Schüler **Untersuchungen** und **Experimente** durch, z. B.:

ALP Blatt 02_v02: Flaschentonleiter; Blatt 02_v03: Dosentelefon; Blatt 07_2_v01 bis v08: Schallübertragung; vgl. auch „Lernzirkel Schall“ im Skript „Luft“ zu Naturwissenschaftliches Arbeiten bei den Materialien Unterstufe auf meiner Webseite

Hinweis: Begriffe wie Frequenz oder Amplitude (und deren Inhalte) können nicht vorausgesetzt werden. Beispielsweise taucht der Begriff Amplitude erst in der 10. Klasse in Mathematik auf (im Lernbereich 3: Sinus- und Kosinusfunktion). Wenn Sie diese Begriffe verwenden wollen, dann müssen Sie diese explizit einführen.

Problem 2: Wie könnte Schall von Sinneszellen aufgefangen werden?

Während der Besprechung dieses Problems werden aus der Problemstellung heraus bestimmte Anforderungen an Strukturen des Hörorgans erarbeitet, die dann sukzessiv (also nicht auf einmal!) in eine Abbildung vom Aufbau des Ohres eingetragen werden (unterstrichene Begriffe).

Arbeitsblatt: Aufbau des Ohres [[pdf](#)] [[jpg](#)]

- Im Innenohr befindet sich die Gehörschnecke (zusätzliche Abb.: s. o.) mit mehreren Gängen. In einem dieser Gänge sitzen die Hör-Sinneszellen.
- Hör-Sinneszellen benötigen Elemente, die mit den Schwingungen der Schallwellen hin- und herschwingen können: Diese Elemente sind die Sinneshärchen, die in einen flüssigkeitsgefüllten Gang ragen und am ihrem Ende mit einer Deckmembran verbunden sind.
- Wenn Schall in das Innenohr eintritt, erzeugt er dort eine Welle, die durch die Flüssigkeit wandert und dadurch die Deckmembran zum Schwingen bringt.
- Durch das Schwingen der Deckmembran werden die Sinneshärchen ausgelenkt. Je größer der Schalldruck ist, desto stärker ist die Auslenkung. (Skizze dazu: vgl. Lehrbücher)
- Die kurzen Axone der Hör-Sinneszellen leiten ihre elektrischen Signale auf Nervenzellen, die sich im Ohr befinden und die Information der Hör-Sinneszellen bereits einer ersten Bearbeitung unterwerfen. Die Axone dieser Nervenzellen bilden den Hörnerv, der zum Gehirn zieht.
- Damit die Flüssigkeit im Gang der Gehörschnecke hin- und herschwingen kann, muss der Gang am Anfang und am Ende elastisch sein: ovales und rundes Fenster.

Mehr an Anatomie oder funktionellen Details wäre nicht hilfreich.

Ggf. Vergleich zum Seitenlinienorgan der Fische (eventuell in der 6. Klasse besprochen, ansonsten jetzt neu): In einem längs verlaufenden Kanal unter der Haut sitzen Sinneszellen mit Sinneshärchen; der Kanal hat Kontakt zum Wasser der Umgebung. Das Wasser im Kanal schwingt in gleicher Weise wie das Wasser der Umgebung. Die Sinneshärchen nehmen diese Schwingungen auf. Ihre Information nutzt das Gehirn, um Hindernisse, Fressfeinde und Beutetiere wahrzunehmen.

Problem 3: Übertragung von Luft auf Wasser

Beim Fisch werden die Sinneshärchen direkt durch die Schwingungen des Wassers bewegt. Beim Menschen befinden sich die Sinneshärchen auch in einer Flüssigkeit. Aber die Schallwellen kommen aus der Luft. => Die Luft muss also eine Flüssigkeit bewegen, was sehr problematisch ist, weil die Flüssigkeit eine erheblich größere Dichte besitzt und damit sehr viel träger ist als Luft. Vergleich: Während ein starker Wind Herbstblätter weit umher wirbelt, verursacht er auf einem Teich lediglich ein Kräuseln der Wasseroberfläche.

Lösung: Schallverstärkung

- Die große Fläche der Ohrmuschel fängt viele Schallwellen auf. Dazu Versuch (s. u.).
- Der Gehörgang wird von außen nach innen immer enger. Dadurch „staut“ sich der Druck durch den Düseneffekt immer mehr auf. Analoge Beispiele: Wenn bei einer Sturmflut das Meereswasser in eine Flussmündung gedrückt wird, dann steigt der Wasserpegel immer höher an, je enger das Flusstal wird (ein Problem, das Hamburg 1962 zum Verhängnis geworden ist). Jede Düse, z. B. am Gartenschlauch, erhöht zur Spitze hin den Druck.
- Schallverstärkung im Mittelohr: Drei hintereinander angeordnete Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss und Steigbügel) übertragen den durch ihre Knochensubstanz geleiteten Schall und verstärken ihn jeweils aufgrund von Hebelwirkung. Der Steigbügel überträgt die Schwingungen auf das Trommelfell*, eine Haut, die das ovale Fenster verschließt, und damit auf die dahinter befindliche Flüssigkeit im Gang der Gehörschnecke.

* „Fell“ ist ein veralteter Begriff für „Haut“; vgl. Zwerchfell.

Versuch:

- VA: Die Lehrkraft spricht in konstanter Lautstärke. Die Schüler hören zunächst mit freien Ohren zu, dann legen sie ihre Handflächen nach vorne gerichtet hinter die Ohrmuscheln, schließlich schirmen sie mit ihren Handflächen die Ohrmuscheln vorne ab.
- B: Anfangs nehmen sie eine mittlere Lautstärke wahr, dann eine deutlich höhere, schließlich eine deutlich geringere.
- E: Je größer die Fläche ist, die den Schall auffängt, desto größer ist der Schalldruck und damit die wahrgenommene Lautstärke.

Problem 4: Unterscheidung der Frequenzen im Innenohr (fakultativ)

Eine einzelne Hörsinneszelle reagiert zwar unterschiedlich auf unterschiedlichen Schalldruck (kann diesen codieren), aber ihre Sinneshärchen schwingen nicht unterschiedlich schnell bei unterschiedlichen Frequenzen.

Je höher die Frequenz eines Tones ist, d. h. je öfter die Luft pro Sekunde hin und her schwingt, desto höher ist der Ton und umgekehrt.

Der Gang in der Gehörschnecke wird zur Spitze hin zwar immer schmaler, aber die darin befindliche Deckmembran wird zur Spitze hin immer breiter und dünner.

Am Anfang der Gehörschnecke wird die dort schmalere und dickere Deckmembran durch hohe Frequenzen zum Schwingen gebracht, in der Nähe der Spitze dagegen durch niedrige Frequenzen. So schwingt jeder Abschnitt der Deckmembran nur dann merklich, wenn die Schallwelle genau „seine“ Frequenz besitzt.

Der Hörbereich bei Jugendlichen liegt ungefähr zwischen 20 und 20.000 Hertz. Im Bereich zwischen 2.000 und 5.000 Hertz ist das Ohr am empfindlichsten, reagiert also bereits bei sehr geringen Lautstärken; dies ist der Bereich für die meisten Laute der gesprochenen Sprache (nicht aber für die Unterscheidung zwischen N und M) sowie für viele Geräusche, die für den Urmenschen wesentlich waren (Blätterrascheln, Tierlaute usw.).

Beschriftung der noch übrigen Strukturen auf dem Arbeitsblatt

aber ohne genauere Besprechung!

- Die Ohrtrompete ist ein Verbindungsgang zwischen Mittelohr und Mundhöhle. Bei Schnupfen ist sie verstopft. Über die Ohrtrompete erfolgt der Druckausgleich zwischen

Mittelohr und Luftraum; der kann durch Bewegungen des Unterkiefers beschleunigt werden.

- Das Ohr (außer der Ohrmuschel) ist eingebettet in den Schädelknochen und dadurch sehr gut vor Verletzungen geschützt.
- Die drei Bogengänge bilden ein eigenes Sinnesorgan für die Wahrnehmung der Schwerkraft (Lagesinn) und der Bewegung des Kopfes (Drehsinn). Diese Informationen sind für das Gleichgewicht wesentlich.

1.3.2 Schäden durch Lärmeinwirkung

Musik wird oft nicht schön gefunden,
weil sie stets mit Geräusch verbunden.

Wilhelm Busch

Die Bilder dazu unter:

<https://oldthing.de/Kuenstler-Ak-Busch-Wilhelm-Musik-wird-oft-nicht-schoen-gefunden-Dideldum-Nr-2-0029104928>

und

<https://www.alamy.de/stockfoto-literatur-wilhelm-busch-der-maulwurf-dideldum-illustration-von-w-busch-1832-1908-der-kunstler-das-urheberrecht-nicht-geloscht-werden-47944855.html>

Mit ihren Kenntnissen aus dem letzten Abschnitt überlegen die Schüler, an welchen Stellen der Hörsinn durch Lärmeinwirkung geschädigt werden könnte (so verlangt es der LehrplanPLUS). Dann werden Quellen herangezogen wie eine Tabelle, die bestimmten Schallquellen durchschnittliche Lautstärken (in dB (A)) zuordnet (vgl. Lehrbücher oder Quellentexte und Abbildungen im Internet z. B. <https://de.wikipedia.org/wiki/Schalldruckpegel>).

Schädliche Lärmquellen:

- zu laut eingestellte Kopfhörer (die Geräte sind zwar in der Regel auf eine maximale Lautstärke eingestellt, aber das kann durchaus unerlaubt verändert werden)
- zu laute Musik im Club (Discothek)
- Lärm von Baustellen, dem Straßen- und Flugverkehr, im Pausenhof
- usw.

Schädigungen:

- Das Trommelfell platzt bei zu lautem Knall; durch spitze Gegenstände kann es verletzt werden. Ein Riss kann heilen, Operation ist möglich.
- Sinneshärchen der Hör-Sinneszellen brechen bei zu heftiger Bewegung ab. Dieser Schaden wird in der Regel nicht repariert. Medizinische Hilfe ist nicht möglich.
- Bei dauerhafter Überbelastung durch anhaltenden Lärm können Hör-Sinneszellen absterben, weil ihr Energiebedarf nicht mehr gedeckt wird.
- Der Umfang der Schädigungen hängt einerseits von der Lautstärke des Lärms ab und andererseits von der Dauer. Beide Faktoren verstärken sich gegenseitig.

Die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) schreibt vor, dass der Lärmpegel in Arbeitsräumen, bezogen auf 8 Stunden, höchstens 85 dB betragen darf.

Dezibel-Skala:

Die Dezibel-Skala ist nicht linear, d. h. 80 dB ist nicht doppelt so laut wie 40 dB. Vielmehr gilt: Eine Erhöhung um 6 dB bedeutet eine Verdopplung des Schalldrucks. Die Schüler sollen dann

berechnen, was eine Erhöhung um 12, 18, 24 dB bedeutet (nämlich eine Erhöhung des Schalldrucks auf das 4-, 8-, 16-Fache).

Schwerhörigkeit:

Schwerhörigkeit kann verschiedene Ursachen haben: genetische Schäden, entzündliche Krankheiten, Lärmschädigung. Zu betonen ist v. a., dass Schäden im Innenohr nicht repariert werden können.

Es ist sinnvoll, die Auswirkungen einer Schwerhörigkeit zu diskutieren, am besten unter Beteiligung einer betroffenen Person: z. B. starke Einschränkungen bei der Kommunikation in lauter Umgebung wie Pausenhof, Wirtshaus, Bahnhof; dadurch teilweise soziale Isolation bzw. extrem höherer Aufwand, wenn man sozial mithalten will; genervte Reaktionen von Gesprächspartnern bei der Bitte, den Satz nochmal zu wiederholen.

Am besten werden Tipps im Umgang mit Schwerhörigen erarbeitet.

Ein modernes Hörgerät stellt keine normale Hör-Wahrnehmung her, es verstärkt lediglich den Schalldruck (dabei kann zwischen den verschiedenen Tonhöhen differenziert werden) und es kann Geräusche aus nicht erwünschten Richtungen ausblenden.

Bei Hörverlust lassen sich viele Patienten ein Cochlea-Implantat einsetzen. Dieses Gerät hat ein Empfangsteil (Mikrophon) wie ein Hörgerät und sendet elektrische Signale über mehrere Leitungen direkt in die Gehör-Schnecke (Cochlea). Je nachdem, an welcher Stelle der elektrische Reiz ankommt, reagieren bestimmte Nervenzellen darauf und leiten ihre Information an das Gehirn weiter. Bekommt das Gehirn Signale von einer Nervenzelle am Anfang der Gehör-Schnecke, werden diese alte tiefe Töne wahrgenommen usw.

Hörgeräte und Cochlea-Implantate können so beschaffen sein, dass sie künstlich gesendete (elektromagnetische) Signale auffangen und hörbar machen. Beispielsweise findet man in vielen Kirchen Bereiche ausgeschildet, wo die Predigt auf diesem Weg gehört werden kann.

Ggf. legen die Schüler ein Protokoll darüber an, welchen Lärmquellen sie im Verlauf eines Tages ausgesetzt sind, wie laut der Lärm jeweils war und wie lange er angedauert hat. Dies schafft ein Problembewusstsein.

Wenn die Schüler einen weiteren Aspekt zum Hören – beispielsweise Tinnitus – vertiefen wollen, sollte man darauf eingehen. Oft steckt ein persönliches Schicksal dahinter.

1.4 Hormone als Informations-Träger (1,5 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
zellulärer Wirkungsmechanismus der Hormone: Rezeptorbindung nach dem Schlüssel-Schloss-Modell, spezifische Reaktion der Zielzelle	beschreiben mithilfe von Modellvorstellungen den Wirkungsmechanismus von Hormonen und deren Bedeutung für die Informationsübertragung im menschlichen Körper.
Vorwissen: Jgst. 5 Biologie, Lernbereich 2.3.4 Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung: Hormone; Jgst. 8 Biologie, Lernbereich 2.1: Funktionsweise einer chemischen Synapse	Weiterverwendung: –

Die Formulierung im Lehrplan ist eindeutig: Es geht hier um die vertiefte Behandlung des molekularen Mechanismus, nach dem Hormon-Moleküle an Zielzellen andocken und dass dies eine spezifische Reaktion auslöst. Eine Übersicht über Hormondrüsen, ellenlange Listen von Namen und Aufgaben diverser Hormone sind definitiv nicht gefordert und sollten deshalb tunlichst unterbleiben! Während der alte G8-Lehrplan der 9. Klasse ausdrücklich Hormone bei Tieren und Pflanzen verlangt hat, beschränkt sich der LehrplanPLUS auf den Menschen.

Die Schüler kennen den Begriff „Hormon“ bereits aus der 5. Klasse: Hormone steuern den Umbau des menschlichen Körpers in der Pubertät. Dies wird kurz wiederholt. Das Schlüssel-Schloss-Modell wurde bereits beim Thema Synapse eingeführt und wird nun vertieft.

Begriffsklärung: Das Hormon ist ein Stoff, der vom Körper selbst (in Hormondrüsen) gebildet und vom Blut im ganzen Körper verbreitet wird. Ein Hormon ist in sehr kleinen Mengen wirksam, aber nur bei ganz bestimmten Zelltypen.

Wirkungsmechanismus:

Zusammen mit den Schülern wird ein Tafelbild entwickelt, in dem die gemeinsam erarbeiteten Aspekte dargestellt und zueinander in Beziehung gesetzt werden. Dabei ist sicher zu stellen, dass alle Schüler jeden dieser Aspekte der mikroskopischen bzw. der submikroskopischen Ebene zuordnen können (ggf. entsprechende Icons einsetzen).

- Die Zellen der Hormondrüsen stellen jeweils „ihr“ Hormon her und schütten es (in vergleichsweise geringen Mengen) ins Blut aus.
- Das Blut transportiert die Hormon-Teilchen durch den ganzen Körper.
- Die Hormon-Teilchen diffundieren durch die Wand des Blutgefäßes bis an die Zellmembran der Zielzelle.
- In der Zellmembran der Zielzelle sitzen Rezeptor-Teilchen, an die die Hormon-Teilchen nach dem Schlüssel-Schloss-Modell andocken, d. h. das Hormon-Teilchen passt aufgrund seiner besonderen Form – wie ein Schlüssel in Schloss – in eine Vertiefung des Rezeptor-Teilchens und wird dort gebunden.
- Die Bindung von Hormon-Teilchen an Rezeptor-Teilchen bewirkt eine ganz besondere Reaktion in der Zielzelle: Beispielsweise stellt sie einen besonderen Stoff her, der in der Zelle eine besondere Wirkung hat, oder sie nimmt bestimmte Stoffe aus dem extrazellulären Raum in das Zellplasma auf bzw. gibt selbst hergestellte Stoffe nach außen ab, die Zelle zieht sich zusammen usw. (vgl. Beispiel unten)
- Unterschiedliche Zellen, die an ihren Rezeptoren das selbe Hormon binden können, reagieren oft unterschiedlich; die Art der Zellreaktion hängt also nicht vom Hormon, sondern vom Zelltyp ab.

Tafelbild zur Wirkungsweise von Hormonen [[word](#)] [[pdf als scan](#)]

Anregungen für ein plakatives Tafelbild finden sie auch in den Lehrbüchern. Die oben stehende Liste gibt Anhaltspunkte dafür, welche Aspekte ich für wesentlich halte (was dort fehlt, halte ich für nicht wesentlich, das sollte weggelassen werden).

Auch Dreizehnjährige lernen lieber am Beispiel als ausschließlich anhand allgemeiner Begriffe. Deshalb empfehle ich, im Anschluss ein konkretes Beispiel kurz vorzustellen:

Beispiel: das Stresshormon Adrenalin

ad, lateinisch: an, bei; ren, lateinisch: Niere

Aussehen und Lage von Niere und Nebenniere visualisieren.

Adrenalin wird im inneren Teil der Nebenniere (Nebennierenmark) erzeugt; diese Hormondrüse sitzt oben auf den Nieren. Bei Stress schütten beide Nebennieren Adrenalin ins Blut aus. So erreicht dieses Hormon zwar alle Zellen des Körpers; es dockt aber nur bei ganz bestimmten Zellen an, nämlich denen, die den richtigen Rezeptor dafür besitzen. Je nach Zelltyp kommt es dadurch zu unterschiedlichen Reaktionen (nach <https://de.wikipedia.org/wiki/Adrenalin#Herz-Kreislauf-System>):

- Herzmuskelzellen: kommen in einen Erregungszustand, der bewirkt, dass die Schlagfrequenz des Herzens erhöht wird. => Blutdruck steigt.
- Muskelzellen in kleinen Blutgefäßen: ziehen sich zusammen. => Blutdruck steigt.
- Fettspeicherzellen: mobilisieren Enzyme, die Speichersfett abbauen. Die Abbauprodukte der Fett-Teilchen kommen in die Zellatmung. => Viel Zell-Energie steht schnell zur Verfügung.
- Skelettmuskelzellen: mobilisieren Enzyme, die den Speicherstoff Glykogen* zerlegen, so dass Traubenzucker freigesetzt wird. Der kommt in die Zellatmung. => Viel Zell-Energie steht schnell zur Verfügung.
- Leberzellen: mobilisieren Enzyme, die den Speicherstoff Glykogen* zerlegen, so dass Traubenzucker freigesetzt wird. Der kommt ins Blut. => Der Blutzucker-Spiegel steigt. => Für Gehirn- und Skelettmuskelzellen steht noch mehr Traubenzucker zur Verfügung.
- Muskelzellen des Darmes: werden schlaff. => Darmtätigkeit wird geringer. => Einsparung von Energie im Verdauungsbereich (das ist nach dem Gehirn der zweitgrößte Energiefresser im Körper)
- Muskelzellen im Schließmuskel der Harnblase: ziehen sich zusammen. => Es wird garantiert kein Urin abgegeben.

Alle diese Reaktionen passen zur Stress-Situation: Sie machen den Körper fit für Kampf oder Flucht und sie schalten alles ab, was in so einer Situation nicht benötigt wird wie Verdauung oder Urinabgabe.

** Den Langzeit-Energiespeicher Glykogen kennen die Schüler in der Regel noch nicht. Er muss deshalb kurz neu eingeführt werden. Es ist sinnvoll, dies an dieser Stelle zu machen, damit der Begriff bereits bekannt ist, bevor im nächsten Abschnitt das Hormon Glucagon auftritt, das vom Wortklang her leicht mit Glykogen verwechselt werden kann. Glykogen heißt auch „tierische Stärke“, weil es chemisch sehr ähnlich aufgebaut ist. Ich habe hier Glykogen mit K geschrieben und Glucagon mit C, was den Unterschied optisch ein wenig deutlicher macht. (Beide Wörter kann man aber wahlweise mit K oder C schreiben).*

Hinweise: Ich habe dieses Beispiel wegen seiner Anschaulichkeit gewählt, weil hierbei deutlich gezeigt wird, wie unterschiedlich die verschiedenen Zelltypen auf ein und dasselbe Hormon reagieren, aber alle innerhalb eines Gesamtkonzepts. Dieses Beispiel soll also kein Lernstoff sein, die Stressreaktion ist später ohnehin Thema.

Ich halte nichts davon, wenn die Schüler biochemische Details über die spezifischen Reaktionen der Zielzelle nach der Bindung eines Hormon-Moleküls an ein Rezeptor-Molekül lernen sollen wie z. B. Aktivierung einer Adenylatcyclase und dadurch Bildung von cAMP als sekundären Messenger. Das ist eigentlich Stoff für ein Biologiestudium und hat vor allem am Anfang der Mittelstufe des Gymnasiums absolut nichts zu suchen!

1.5 Regulierung des Blutzuckerspiegels (2 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Blutzuckerregulation durch Hormone, Diabetes auch als Zivilisationskrankheit	erläutern die Regulation des Blutzuckerspiegels durch Hormone und stellen einen Zusammenhang zwischen Lebensgewohnheiten sowie Veranlagung und dem Auftreten von Diabetes her, indem sie erklären, welche Faktoren die Regulation des Blutzuckerspiegels beeinflussen.
Vorwissen: Jgst. 5 Biologie Lernbereich 2.3.3 Stoffwechsel	Weiterverwendung: –

Wiederholung von Vorwissen: Lage von Leber, Bauchspeicheldrüse, Magen, Darm; Vorgänge bei der Verdauung von Stärke; Energie- und Stoff-Umwandlung bei der Zellatmung

Begriffsklärungen:

- Blutzucker = Traubenzucker (Glucose) im Blutplasma
- Blutzuckerspiegel = Konzentration von Glucose im Blutplasma

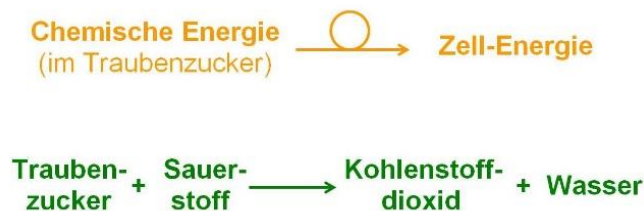
Herkunft der Glucose im Blut:

Unter Rückgriff auf das Vorwissen aus der 5. Klasse wird der Zusammenhang hergestellt:

- > Aufnahme und mechanische Zerkleinerung der Nahrung im Mund
- > Verdauung von Stärke durch Enzyme im Mund und vor allem im Dünndarm
- > dadurch Freisetzung von Glucose im Dünndarm
- > Aufnahme der Glucose aus dem Dünndarm ins Blut => erhöht den Blutzuckerspiegel

Bedeutung:

Die Glucose besitzt einen hohen Energieinhalt. Sie wird von den Zellen aufgenommen und in der Zellatmung verarbeitet. Dabei wird ein großer Teil der chemischen Energie der Glucose in Zell-Energie umgewandelt. Wiederholung der Energie- und Stoff-Umwandlung bei der Zellatmung:



Bevor die Regulierung selbst besprochen wird, ist es sinnvoll, die Quellen und Senken für Blutzucker explizit zu benennen:

Erhöhung des Blutzuckerspiegels	Erniedrigung des Blutzuckerspiegels
durch die Aufnahme von Glucose aus dem Dünndarm, v. a. nach zucker- oder stärkehaltiger Mahlzeit	durch den Übertritt von Glucose in Zellen mit hohem Energiebedarf*, z. B. in Muskelzellen bei körperlicher Anstrengung
durch den Abbau von Glycogen in der Leber und die Abgabe der freigesetzten Glucose ins Blut	wenn wenig Nachschub an Glucose aus dem Darm kommt z. B., weil die letzte Mahlzeit schon länger zurück liegt, bzw. beim Fasten

* Achten Sie darauf, dass nicht von „Energieverbrauch“ gesprochen wird, denn Energie wird nicht verbraucht, sondern lediglich in eine andere Energieform umgewandelt.

Beim Thema „Regulierung des Blutzuckerspiegels“ muss behutsam vorgegangen werden, die Inhalte müssen Schritt für Schritt erarbeitet und gesichert werden, damit die Schüler von dem doch sehr abstrakten Stoff nicht überfordert werden. Am besten werden die beiden Regelkreise deutlich voneinander getrennt besprochen (zwei Überschriften). Die Ergebnisse werden dann in eingetragen in das **Arbeitsblatt** Blutzuckerregulation [[word](#)] [[pdf als scan](#)].

1.5.1 Regulierung durch Insulin

Das Hormon Insulin wird in der Bauchspeicheldrüse hergestellt (und zwar in den Inselzellen der Bauchspeicheldrüse, daher der Name), gespeichert und von ihr bei Bedarf ins Blut ausgeschüttet.

Wirkungsmechanismus:

- > aus dem Darm wird Glucose ins Blut aufgenommen
- > dadurch steigt der Blutzuckerspiegel
- > erhöhter Blutzuckerspiegel regt die Bauchspeicheldrüse an zur Ausschüttung von Insulin ins Blut
- > Insulin dockt an passende Rezeptoren von Leber- und Muskelzellen an
- > diese reagieren darauf, indem sie verstärkt Glucose aufnehmen und daraus den Langzeit-Speicherstoff Glykogen (tierische Stärke) herstellen
- > damit sinkt der Blutzuckerspiegel wieder

Diese Erkenntnisse werden in das Regelkreis-Schema eingetragen. Während das geschieht, wird die Symbolik eines Regelkreises explizit erklärt und gesichert (steht bereits auf meinem Vorschlag für das Arbeitsblatt), vor allem die zweifache Bedeutung jedes Vorzeichens:

⊕	je mehr, desto mehr je weniger, desto weniger	⊖	je mehr, desto weniger je weniger, desto mehr
---	--	---	--

Ein Regelkreis bewirkt, dass eine Größe – hier: die Konzentration von Glucose im Blutplasma – einigermaßen konstant gehalten wird, wenn sich ein Einfluss von außen – hier: Zufuhr von Glucose aus dem Darm oder Entzug von Glucose durch die Zellen – ändert.

Ein Regelkreis liegt immer dann vor, wenn die Summe aller Vorzeichen im Kreis „Minus“ ergibt. Daher der Begriff: negative Rückkopplung. (Dieser Begriff muss nicht unbedingt genannt werden).

Die Schüler sollen beide Möglichkeiten in diesem Regelkreis in Worten formulieren, z. B.: „Je höher der Blutzuckerspiegel steigt, desto mehr Insulin wird ausgeschüttet, desto mehr Glucose wird von den (Muskel- und Leber-)Zellen aufgenommen, desto niedriger wird der Blutzuckerspiegel.“ – „Je niedriger der Blutzuckerspiegel ist, desto weniger Insulin wird

ausgeschüttet, desto weniger Glucose wird von den Zellen aufgenommen, desto höher steigt der Blutzuckerspiegel (durch die ständige Aufnahme von Glucose aus dem Darm).“

1.5.2 Regulierung durch Glucagon

Erst wenn die Regulierung durch Insulin verstanden ist, wird das Glucagon besprochen. Ideal wäre es, wenn die beiden Hormone nicht am selben Tag thematisiert werden, so dass sich das neue Wissen über den Regelkreis und die Verwendung des Begriffs Glykogen erst einmal setzen kann („Drüber schlafen“ ist nachgewiesenermaßen lernfördernd; „zeitlicher Kontrast“).

Das Hormon Glucagon wird ebenfalls in der Bauchspeicheldrüse hergestellt, gespeichert und bei Bedarf ins Blut ausgeschüttet.

Aufgrund Ihrer Vorkenntnisse über Insulin können die Schüler den Glucagon-Regelkreis selbstständig erarbeiten und in Worten formulieren:

Wirkungsmechanismus:

- > alle Zellen entnehmen dem Blut Glucose
- > dadurch sinkt der Blutzuckerspiegel
- > erniedrigter Blutzuckerspiegel regt die Bauchspeicheldrüse an zur Ausschüttung von Glucagon ins Blut
- > Glucagon dockt an passende Rezeptoren von Leberzellen an
- > diese reagieren darauf, indem sie verstärkt Glykogen abbauen, wobei Glucose freigesetzt und ins Blut ausgeschüttet wird
- > damit steigt der Blutzuckerspiegel wieder

Hinweise:

Nicht übertreiben bei den Fachbegriffen im Regelkreisschema; nicht zu viele Elemente aufnehmen, sondern möglichst stark vereinfachen! (Auf allgemeine Begriffe wie Sollwert, Istwert, Stellglied usw. würde ich bei der Einführung des Regelkreises verzichten, weil zu viele Details das mentale Bild der Schüler beeinträchtigen würden.)

Regulationsvorgänge können schauspielerisch von Schülern dargestellt werden. Am besten schreiben die Schüler selbst die Spielregeln bzw. das Drehbuch dazu. Kostet aber Zeit!

1.5.3 Diabetes

Diabetes mellitus („honigsüßer Durchfluss“) = Zuckerkrankheit

Aufgrund ihres Vorwissens können die Schüler Hypthesen über die Ursachen aufstellen, warum der Urin bei Diabetikern viel Glucose enthält. Daraus kann der nachstehende Wirkungsmechanismus (Typ 1) erarbeitet werden.

Wirkungsmechanismus bei Diabetes Typ I:

- > Insulin wird zu wenig oder nicht hergestellt
- > deswegen wird zu wenig Glucose vom Blut in Muskel- und Leberzellen aufgenommen
- > deswegen ist der Blutzuckerspiegel erhöht
- > deswegen wird relativ viel Glucose über die Niere im Urin ausgeschieden

Wirkungsmechanismus bei Diabetes Typ II:

- > Patienten mit Diabetes Typ II produzieren zwar genügend Insulin, oft sogar deutlich mehr als üblich, ...
- > ... aber die Muskel- und Leberzellen sind weitgehend gegen das Hormon resistent, d. h. sie reagieren nicht auf das hormonelle Signal und nehmen zu wenig Glucose auf.
- > Dadurch erhöht sich der Blutzuckerspiegel.
- > Überschüssige Glucose wird über den Urin ausgeschieden.

In jungen Jahren wird diese weitgehende Insulin-Resistenz oft noch ausgeglichen durch eine stark erhöhte Produktion und Ausschüttung von Insulin. Aber mit fortschreitendem Alter werden die Zellen der Bauchspeicheldrüse, die das Hormon herstellen, durch die Überbeanspruchung immer stärker geschädigt, so dass dann nicht mehr genügend Insulin zur Verfügung steht.

Auswirkungen von langjährigem starken Diabetes:

Durch den permanent erhöhten Blutzuckerspiegel werden Zellen im Nervensystem und im Blutgefäßsystem geschädigt. Dies führt in schweren Fällen u. a. zu Erblindung, Nierenversagen oder zu Pfropf-Bildung in den Blutgefäßen, letztere bewirkt Schlaganfall bzw. Herzinfarkt.

Ursachen des Diabetes:

Diabetes Typ I wird meist durch mehrere gleichzeitig wirkende Ursachen hervorgerufen; in der Regel sind mehrere genetische Defekte gleichzeitig daran beteiligt (das ist Veranlagung), aber auch eine Art der Auto-Immunreaktion, bei der die körpereigenen Antikörper (die sind den Schülern noch nicht bekannt!) Zellen der Bauchspeicheldrüse bekämpfen, so dass diese zu wenig oder kein Insulin erzeugen.

Diabetes Typ II tritt vorwiegend bei älteren Menschen auf, aber auch bei jüngeren. (Der Ausdruck „Altersdiabetes“ ist also nicht korrekt.) Als Ursache gilt eine zu große Menge an Zucker in der Nahrung. Damit einher geht oft Übergewicht.

Therapie:

Bei Diabetes Typ I wird Insulin gespritzt, z. B. vor dem Essen. Das Hormon wird von Bakterien hergestellt, denen man die menschliche Erbinformation für den Bau von Insulin eingepflanzt hat (gentechnisch veränderter Organismus). Das ist sinnvoll, weil viele Patienten auf Schweine-Insulin, das billig aus Schlachtabfällen (Bauchspeicheldrüsen von Schweinen) hergestellt werden kann und früher verwendet wurde, überempfindlich reagieren.

Bei Diabetes Typ II wird ebenfalls Insulin gespritzt, aber auch eine zucker- und stärkearme Diät eingehalten. Ausreichende Bewegung bewirkt ebenfalls, dass der Blutzuckerspiegel nicht zu hoch wird. Im schlimmsten Fall sorgen Tabletten dafür, dass der Blutzuckerspiegel sinkt. Bei Vorsorgeuntersuchungen wird in der Regel der Blutzuckerspiegel gemessen, damit der Patient bereits im Vorstadium von Diabetes durch eine entsprechende Diät dafür sorgen kann, dass der Blutzuckerspiegel nicht zu hoch steigt und die Erkrankung nicht weiter fortschreitet.

Hinweise:

Ich habe beim Thema Diabetes vor allem Fakten zusammen getragen, die teilweise erst noch in eine altersgemäße Fachsprache herunter gebrochen werden müssen. Wesentlich ist, dass die Schüler aufgrund ihres Vorwissens selbst Zusammenhänge herstellen wie Wirkungsmechanismen, aber auch Therapien sowie eine Bewertung der eigenen Lebensgewohnheiten. Dabei kann die Frage diskutiert werden, inwiefern Diabetes eine Zivilisationskrankheit darstellt. Eine plakative Visualisierung der Zusammenhänge ist hier besonders wichtig.

1.6 Die Stress-Reaktion (1 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Stressreaktion: Zusammenwirken von Nerven- und Hormonsystem, Hinweis auf das vegetative Nervensystem, Möglichkeiten sinnvoller Stressbewältigung	erklären das Auftreten körperlicher Symptome bei der Stressreaktion durch das Zusammenspiel von Nervensystem und hormonellen Faktoren und nutzen ihre Kenntnisse für die individuelle Stressbewältigung.
Vorwissen: aus den letzten Unterrichtswochen	Weiterverwendung: –

Eindrucksvoller Einstieg: Es wird eine Stegreifaufgabe angekündigt und ein Arbeitsblatt ausgeteilt, das genau so aussieht. Dadurch kommen die Schüler in eine Stress-Situation. In der ersten Aufgabe werden sie aufgefordert aufzuschreiben, was sie gerade empfinden. Die übrigen Aufgaben dienen nur dem Design und sind ohne Bedeutung.

Arbeitsblatt: Pseudo-Stegreifaufgabe zum Thema Stress [[word](#)] [[pdf](#)]

Das vegetative Nervensystem:

Dieser Teil des Nervensystems, der nicht unserem Willen unterworfen ist, besteht aus zwei Teilbereichen:

- der **Sympathicus** = das sympathische Nervensystem: wirkt anregend, macht kampfbereit und fluchtbereit, d. h. es wirkt anregend auf die Tätigkeit von Herz und Lunge (damit die Muskelzellen mit genug Sauerstoff und Glucose versorgt werden) und gleichzeitig hemmend auf Magen, Darm und Blase (damit die in der Stress-Situation nicht zu viel Energie für sich beanspruchen).
- der **Parasympathicus** = das parasympathische Nervensystem: wirkt entspannend, d. h. es wirkt hemmend auf Herz und Lunge sowie gleichzeitig anregend auf Magen, Darm und Blase.

Zusammenwirken von Nerven- und Hormonsystem:

Meldungen der Sinnesorgane führen zur Wahrnehmung einer Stress-Situation (Prüfungssituation in der Schule, akute Gefahren-Situation, Jagdfieber usw.). Das Gehirn alarmiert den Sympathicus, der die oben genannten Organe anregt bzw. hemmt.

Gleichzeitig regt der Sympathicus aber auch die Hormondrüse Nebenniere an, ihr Stress-Hormon Adrenalin ins Blut auszuschütten (vgl. Abschnitt 1.4). Adrenalin wirkt seinerseits anregend auf Herz und Skelettmuskeln, lässt kleine Blutgefäße kontrahieren, so dass der Blutdruck steigt, und regt Fettspeicher- und Leberzellen dazu an, Energiespeicherstoffe wie z. B. Glucose ins Blut abzugeben (Vgl. Beispiel in Abschnitt 1.4).

Die Stress-Reaktion ist biologisch sinnvoll, weil sie den Körper in einer Ausnahmesituation fit für Angriff oder Flucht macht („fight or flight“). In der Natur hält so eine Stress-Situation aber nicht lange an. Danach entspannt sich der Körper wieder. So einen gesunden Stress nennt man Eustress.

Wenn eine Stress-Situation aber viele Tage und Wochen hindurch andauert, kann sie krank machen. Das bezeichnet man als Distress.

Stressbewältigung:

Die Schüler ermitteln Möglichkeiten, wie Dauerstress vermieden werden kann bzw. wie man sich nach einer Stress-Situation wieder entspannen kann.

Gut ist eine Skala von Boreout (Distress durch Unterforderung) über Herausforderung (Eustress) zu Burnout (Distress durch Überforderung).

Gesunder versus übertriebener Ehrgeiz.

Umgang mit Stress bei Prüfungen: z. B. Massage von Akupressur-Punkten an den Ohrläppchen (die sind damit üppig bestückt); im schlimmsten Fall die Augen schließen und 20-30 Sekunden lang ruhig und tief atmen (Schultern nach unten, Brust heraus, Zwerchfellbewegung muss deutlich zu spüren sein).

1.7 Vergleich (0,5 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Vergleich der Informationsübertragungssysteme: u. a. Geschwindigkeit und Weg der Informationsübertragung	vergleichen die Informationsübertragung im Nervensystem mit der Informationsübertragung durch Hormone
Vorwissen: <i>aus den letzten Unterrichtswochen</i>	Weiterverwendung: –

Nervensystem	Hormone
Information verschlüsselt in Form von elektrischen Signalen (Nervenimpulse)	Information verschlüsselt in Form chemischen Botenstoffen
sehr schnelle Informations-Leitung über die Axone	gemächliche Informations-Leitung mit dem Blutstrom
Information erreicht punktgenau 1 Stelle => nur 1 Stelle reagiert	Information wird im ganzen Körper verteilt, aber nur von Zellen mit den passenden Rezeptoren empfangen => verschiedene Teile des Körpers reagieren koordiniert (Ganzkörper-Steuerung)
wirkt nur im Augenblick der Signal-Ankunft	Wirkung hält länger an. nämlich bis das Hormon wieder abgebaut ist.

Ggf. erwähnen, dass Nervenzellen sich im Laufe der Erdgeschichte aus hormon-ausschüttenden Zellen entwickelt haben. Ein Transmitter ist sozusagen ein Hormon mit extrem geringer Reichweite (er gelangt nicht ins Blut, sondern bleibt im synaptischen Spalt). Bestimmte Synapsen arbeiten mit einem Transmitter-Stoff, der an anderer Stelle als Hormon verwendet wird, z. B. Adrenalin.

Thomas Nickl, ergänzt am 22.5.2020 und 13.8.2023